



Niedersachsen

Anwenderhandbuch Zusatzberatung Wasserschutz

Grundwasser Bd. 21



Grundwasser

Band 21

Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz

Grundwasserschutzorientierte
Bewirtschaftungsmaßnahmen in der
Landwirtschaft und Methoden
zu ihrer Erfolgskontrolle



Niedersachsen



Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz

Grundwasserschutzorientierte
Bewirtschaftungsmaßnahmen in der
Landwirtschaft und Methoden
zu ihrer Erfolgskontrolle



Niedersachsen

Herausgeber:

Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Am Sportplatz 23
26506 Norden

Beteiligte Institutionen und Autoren:

[enercity \(Stadtwerke Hannover AG\)](#)

Olaf Zander

[Geries Ingenieure GmbH](#)

Detlef Seitz

[Harzwasserwerke GmbH](#)

Bettina Teske-Ast, Lisa Unger

[Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt \(IGLU\)](#)

Dr. Christine von Buttlar, Dr. Hans-Bernhard von Buttlar, Burkhard Gödecke, Martin Horstkötter, Jörg Penk, Andreas Rode

[Ingenieurdienst Umweltsteuerung \(INGUS\)](#)

Dr. Franz Antony, Christian Dreyer, Cord Persiehl-Schultz, Christian Reinert, Petra Witt-Altfelder

[Landwirtschaftskammer Niedersachsen](#)

Dr. Heidi Bouws, Dr. Barbara Fisahn, Dorothea Flassig, Angelika Klatka, Stefan Schrader, Onno Seitz

[Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz \(NLWKN\)](#)

Britta Apelt, Raimund Esch, Petra Hannig, Thorsten Hartung, Silke Hasse-Marquard, Hans-Christian von Korn, Georg Kühling, Andreas Löloff, Oliver Melzer, Dr. Markus Quirin, Friedrich Rathing, Andreas Roskam, Lena Sakowsky, Hubertus Schültken, Thomas Waesch, Dr. Susanne Wanner, Dr. Gunter Wriedt

[Thünen-Institut für Agrarklimaschutz](#)

Dr. Annette Freibauer

Koordinierung:

Hubertus Schültken, NLWKN Betriebsstelle Hannover-Hildesheim

2. aktualisierte Auflage: Februar 2015, 600 Stück

Schutzgebühr: 15 € zzgl. Versandkostenpauschale

Gestaltung und Satz: Anke Rüschel, Katja Töpfer (IGLU)

Bildnachweis:

Titelbild: IGLU

Kapitelanfänge: Kap. 2, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 3, 3.1, 3.2, 3.3, 4: IGLU;

Kap. 1: fotolia; Kap. 4.1: NLWKN

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Link zum Download und zum Webshop:

http://www.nlwkn.niedersachsen.de/service/veroeffentlichungen_webshop/

Inhalt

Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	16
Vorwort	20
1. Grund- und Trinkwasserschutz in Niedersachsen	21
2. Umsetzung des Niedersächsischen Kooperationsmodells zum Trinkwasserschutz.....	23
2.1 Erhebung und Auswertung von Grundlagendaten.....	26
2.1.1 Gebietserfassung.....	26
2.1.2 Ist-Zustandsanalyse.....	31
2.1.3 Innergebietliche Prioritätensetzung	34
2.2 Schutzkonzepte	37
2.3 Beratung	38
2.3.1 Beratung zur Düngung.....	40
2.3.1.1 Düngeplanung	45
2.3.1.2 Düngeberatung zu Vegetationsbeginn.....	49
2.3.1.3 Vegetationsbegleitende Düngeberatung.....	53
2.3.1.4 Stickstoffdüngberatung im Herbst.....	60
2.3.1.5 Düngeberatung für Standorte mit erhöhter Stickstoffnachlieferung.....	62
2.3.1.6 Umgang mit organischen Nährstoffträgern	66
2.3.1.7 Gesamt- und überbetriebliches Nährstoffmanagement	72
2.3.1.8 Düngeberatung zu Erwerbsgartenbau und Baumschulwirtschaft.....	77
2.3.2 Beratung im ökologischen Landbau	83
2.3.3 Beratung zum Pflanzenschutz	89
2.3.4 Beratung zur Bodenbearbeitung.....	95
2.3.5 Beratung in der Forstwirtschaft.....	101
2.3.6 Beratung zu ausgleichspflichtigen Maßnahmen	104
2.3.7 Demonstrationsversuche	107
2.4 Landwirtschaftliche und erwerbsgärtnerische Flächenmaßnahmen	111
2.4.1 Begrünungsmaßnahmen	112
2.4.1.1 Zwischenfruchtanbau.....	113
2.4.1.2 Untersaaten	117
2.4.1.3 Brachebegrünung	119

2.4.2	Reduzierte Bodenbearbeitung	122
2.4.2.1	Reduzierte Bodenbearbeitung nach Mais.....	127
2.4.2.2	Reduzierte Bodenbearbeitung nach Raps.....	128
2.4.3	Maßnahmen zur Stickstoffdüngung	132
2.4.3.1	Stabilisierte Stickstoffdünger.....	133
2.4.3.2	Reduzierte Stickstoffdüngung	135
2.4.4	Maßnahmen zur Wirtschaftsdüngung	137
2.4.4.1	Zeitliche Beschränkung der Aufbringung von Wirtschaftsdüngern	137
2.4.4.2	Gewässerschonende Ausbringung von Wirtschaftsdüngern	141
2.4.4.3	Verzicht auf den Einsatz organischer Wirtschaftsdünger	147
2.4.4.4	Wirtschaftsdünger-, Boden- und Pflanzenuntersuchungen	149
2.4.5	Maßnahmen zur Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen.....	153
2.4.6	Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung	155
2.4.7	Ökologischer Landbau.....	158
2.4.8	Grünlandmaßnahmen.....	161
2.4.8.1	Extensive Bewirtschaftung von Grünland	162
2.4.8.2	Umbruchlose Grünlanderneuerung	166
2.4.8.3	Begleitende Maßnahmen bei Grünlandumbruch	169
2.4.9	Umwandlung von Acker in extensives Grünland / extensives Feldgras	172
2.4.10	Unterfußdüngung.....	176
2.4.11	Maisengsaat	179
2.4.12	Schlagspezifische Aufzeichnung	181
2.4.13	Präzisionslandwirtschaft	182
2.4.14	Kurzumtriebsplantagen.....	186
2.5	Anwendungsbeispiele für grundwasserschonende Produktionssysteme	190
2.5.1	Wintergetreide	191
2.5.2	Mais	191
2.5.3	Winterraps	195
2.5.4	Kartoffel.....	196
2.5.5	Gemüse – Beispiel Salat	198
2.5.6	Energiepflanzen	202
2.6	Forstwirtschaftliche Maßnahmen.....	210
2.6.1	Erosionsschutz Forst	210
2.6.2	Waldumbau.....	213

2.7	Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen	219
2.7.1	Akzeptanz von Grundwasserschutzmaßnahmen	222
2.7.2	Das Zonenmodell als Grundlage für die Methoden der Erfolgskontrolle	225
2.7.3	Nährstoffbilanzierung	229
2.7.3.1	Hoftorbilanz	230
2.7.3.2	Feld-Stall-Bilanz	234
2.7.3.3	Schlagbilanz	236
2.7.4	Untersuchung der Wurzelzone – Herbst-N _{min}	238
2.7.5	Untersuchung der Sickerwasser-Dränzone	244
2.7.5.1	Saugsonden und Lysimeter	244
2.7.5.2	Nitrat-Tiefenprofile	248
2.7.6	Untersuchung des Grundwassers	252
2.7.6.1	Beprobung der Grundwasseroberfläche	253
2.7.6.2	Beprobung des Grundwassers	255
2.7.6.3	Altersbestimmung des Grundwassers	264
2.7.7	Untersuchung des Rohwassers	268
2.7.8	Beprobung der Dränausläufe und Oberflächengewässer	269
2.7.9	Untersuchung der Denitrifikation	272
2.7.10	Modellanwendung zur Erfolgskontrolle	275
2.7.11	Praktische Durchführung der Erfolgskontrolle im Trinkwasserschutz	279
2.8	Berichte und Dokumentationen	284
3.	Anforderungen der EG-WRRL an den stofflichen Gewässerschutz	289
3.1	Beratung und Flächenmaßnahmen in der Maßnahmenkulisse zur Nitratreduktion	292
3.2	Wirkungsmonitoring in der EG-WRRL Maßnahmenkulisse Nitratreduktion	296
3.3	Schutz der Oberflächengewässer als zusätzliche Herausforderung	300
4.	Weitere Umweltleistungen von Grundwasserschutzmaßnahmen	305
4.1	Naturschutz	306
4.2	Klimaschutz	311
4.3	Bodenschutz	316
4.4	Die Maßnahmenwirkung im Überblick	319
5.	Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick	323
	Literaturverzeichnis	325

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Intensität der Beratung und Maßnahmen nach Handlungsbereichen (MU 2007a).....	24
Tab. 2:	Handlungsbereiche, Fördersätze und deren Qualitätsziele (MU 2007a)	24
Tab. 3:	Ausschnitt Antrag auf Agrarförderung (SLA 2014)	27
Tab. 4:	Beispiel Übersicht der erfassten Betriebsstrukturen und Nutzungsdaten eines TGG (LWK NIEDERSACHSEN 2013d)	30
Tab. 5:	Ermittlung des einzelbetrieblichen N-Düngeüberhangs (INGUS)	49
Tab. 6:	N-Düngereinsparungen pro Jahr gemäß eines Spätfrühjahrs-N _{min} -(SFN)Programms in einem WRRL- Beratungsgebiet in Schleswig-Holstein; UFD* = Unterfußdüngung (INGUS 2011).....	59
Tab. 7:	N-Düngereinsparungen pro Jahr gemäß eines Nitrachek-Programms im TGG Ristedt der Harzwasser- werke GmbH mit mittlerem Einsatz an organischen Nährstoffträgern (INGUS 2012a).....	59
Tab. 8:	Beispielhafte Herleitung von N-Düngeabschlägen für humusreiche Böden zu Mais (INGUS 2012b)	65
Tab. 9:	Nährstoffspannen und Mittelwerte (kg/t Frischmasse) aus mehrjährigen Gärrestanalysen (www.lwk-nie- dersachsen.de, Webcode: 01019712)	66
Tab. 10:	Mindestanrechenbarkeit von Stickstoff (% vom Gesamt-N) in organischen Nährstoffträgern unter optima- len Bedingungen gem. Empfehlungen der LWK Niedersachsen (www.lwk-niedersachsen.de, Webcode: 01016600)	67
Tab. 11:	Empfehlungen für grundwasserschonende Lagerkapazitäten flüssiger Wirtschaftsdünger	69
Tab. 12:	Zeitschema für Aufbringungsverbote und -beschränkungen für Gülle, Jauche, Silosickersaft, Gärreste und Geflügelkot (inklusive Hähnchenmist) gemäß SchuVO (hellgrün) bzw. DüV (türkis) (LWK NIEDERSACH- SEN 2013a).....	69
Tab. 13:	Zeitraumen für die pflanzenbedarfsgerechte Ausbringung von Gülle, Jauche, Geflügelkot (inkl. Hähn- chenmist) und Gärresten mit besonderer Beachtung des vorbeugenden Trinkwasserschutzes (LWK NIEDERSACHSEN 2013a).....	70
Tab. 14:	Beispiel für die Gülleverteilung auf einem Betrieb mit Milchvieh und Biogasanlage	75
Tab. 15:	N-Sollwerte für Feldgemüsearten nach Feldabfuhr (LWK NIEDERSACHSEN 2013h; verändert nach FELLER et al. 2011).....	79
Tab. 16:	Düngeempfehlung gemäß N-Sollwertmethode für Spargel nach Feldabfuhr (LWK NIEDERSACHSEN 2012a; verändert nach FELLER & FINK 2007), für Erdbeeren und einige ausgewählte Obstkulturen (LWK NIEDER- SACHSEN 2007)	80
Tab. 17:	Freiwillige Vereinbarungen im Sonderkulturenanbau (gem. MU 2007a).....	82
Tab. 18:	Ackerbaufruchtfolge mit Futteranbau und Kartoffeln (Erträge: negative Vorzeichen = Abfuhr; positive Vorzeichen = Zufuhr bzw. Verbleib auf dem Feld), (IGLU).....	85
Tab. 19:	Fruchtfolge Ackerbaubetrieb ohne innerbetriebliche Verwertung (Erträge: negative Vorzeichen = Abfuhr; positive Vorzeichen = Zufuhr bzw. Verbleib auf dem Feld), (IGLU).....	85
Tab. 20:	Fruchtfolge viehhaltender Betrieb (Milchvieh) (Erträge: negative Vorzeichen = Abfuhr; positive Vorzeichen = Zufuhr bzw. Verbleib auf dem Feld), (IGLU).....	86
Tab. 21:	Nitrat im Sickerwasser bei unterschiedlicher Landnutzung (HEGE 2005)	87
Tab. 22:	Eintragungspfade und -ursachen von PSM in die Gewässer (verändert nach FISCHER 1996; FREDE & DABBERT 1999) ..	91
Tab. 23:	Einflussgrößen auf die Verlagerung von PSM im Untergrund (verändert nach HLFU 1999).....	91
Tab. 24:	Auswahl einiger Umweltauflagen von PSM zum Schutz des Grundwassers (NG) sowie zum Schutz von Wasserorganismen (NW) in gekürzter Form	92
Tab. 25:	Niedersächsische CC-Klassifizierung der Feldblöcke nach Erosionsgefährdung durch Wasser – Kriterien und Ergebnisse (nach Daten LBEG 2010).....	97
Tab. 26:	CC-Klassifizierung der Feldblöcke nach Erosionsgefährdung durch Wind (nach LBEG 2010).....	97

Tab. 27:	Winderosionsschutzwirkung verschiedener Kulturen (THIERMANN 2001, zitiert nach NLÖ 2003, ergänzt).....	99
Tab. 28:	Beispiel für die Ermittlung des Ausgleichsbetrags der Freiwilligen Vereinbarung „Stickstoffreduzierung in der Fruchtfolge“ (GERIES INGENIEURE GMBH 2011).	110
Tab. 29:	Übersicht ausgewählter Zwischenfrüchte.....	114
Tab. 30:	Übersicht ausgewählter Untersaatverfahren mit Weidelgras	117
Tab. 31:	Typische Eigenschaften von Bearbeitungssystemen (VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN 2010).....	122
Tab. 32:	Typische Wirkungen von Bearbeitungssystemen (VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN 2010).....	123
Tab. 33:	Reduzierte Bodenbearbeitung in einer Rapsfruchtfolge.....	124
Tab. 34:	Einfluss der Vorfrucht auf das Fusariumbefallsrisiko.....	126
Tab. 35:	N-Düngung, Ertrag, N-Saldo und Herbst-N _{min} -Werte von Silomais beim Einsatz von N-Stabilisatoren (Piadin®) im Vergleich zu einer konventionellen N-Düngung. (REIMER 2010).....	133
Tab. 36:	Einfluss einer reduzierten N-Düngung im Rahmen von Fruchtfolgevereinbarungen (FFV) auf die Höhe der N-Düngung, des N-Saldos, des Herbst N _{min} -Werts und der Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone in der Kooperation IG Weser in den Jahren 1990 bis 2008. (TAPPE 2009).....	135
Tab. 37:	Sperrzeiten für das Ausbringen von Gülle, Jauche, Silosickersäften, Gärresten, Geflügelkot (inkl. Hähnchenmist) und Kompost nach DüV, Niedersächsischem ML-Erlass und SchuVO. Angabe von Zeiten weniger guter N-Ausnutzung. (IGLU).....	139
Tab. 38:	Mittlere N-Ausnutzung in % des Gesamt-N-Gehalts von Rindergülle und Gärresten bei langjähriger Ausbringung auf demselben Schlag bei verlustarmer Ausbringung (unverzögliche Einarbeitung, bodennahe Ausbringung, der Jahreszeit entsprechend kühle, feuchte Witterung) (LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN 2012, verändert durch IGLU).....	143
Tab. 39:	NH ₃ -Minderungspotenziale (in %) von Exaktverteilern gegenüber Breitverteilung von Wirtschaftsdüngern ohne Einarbeitung auf Ackerflächen mit wachsendem Bestand und Grünland (Auszug aus FLESSA et al. 2012, IGLU)	146
Tab. 40:	Übersicht der wichtigsten beratungsbegleitenden Pflanzenuntersuchungen.....	150
Tab. 41:	Übersicht der wichtigsten beratungsbegleitenden Wirtschaftsdüngeruntersuchungen.....	151
Tab. 42:	Übersicht der wichtigsten beratungsbegleitenden Bodenuntersuchungen	151
Tab. 43:	Ursachen für die Verschlechterung von Grünlandnarben in Anlehnung an Ratgeber der LWK NRW (2011)	167
Tab. 44:	Risikoklassen erhöhter N-Freisetzung bei Grünlandumbruch auf Basis der gemessenen Kenngröße „N-Überhang in kg N/ha“ in 0-30 cm Bodentiefe und abgestufte Herleitung von Auflagen (SPRINGOB 2010).....	171
Tab. 45:	Auswahl geeigneter Mischungen Umnutzung von Acker in Grünland und Ackerfutterbau (LWK NIEDERSACHSEN 2014b & c, verändert).....	173
Tab. 46:	Einfluss des Anbaus von Winterbraugerste auf die Höhe N-Düngung und des N-Saldos im Vergleich zum Anbau von Stoppelweizen, Ergebnisse aus dem TGG Börßum der Salzgitter Flachstahl GmbH aus den Jahren 2003 bis 2011 (Geries Ingenieure GmbH).....	191
Tab. 47:	Bewertung der Wirkung von Grundwasserschutzmaßnahmen und der Fruchtfolge auf die Erfolgsindikatoren N-Saldo, Herbst-N _{min} -Wert und Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone (Sickerwasser) beim Anbau von Silomais (Geries Ingenieure GmbH)	192
Tab. 48:	Einfluss des Anbaus verschiedener Zwischenfrüchte (Zwfrucht) in Mais-Getreidefruchtfolgen auf die Höhe des N-Saldos, des Herbst-N _{min} -Werts und die Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone auf 15 Dauerbeobachtungsflächen in TGG der Kooperation Obere Leine für den Zeitraum 1999 bis 2011 (Geries Ingenieure GmbH).....	192
Tab. 49:	Bewertung der Wirkung von Grundwasserschutzmaßnahmen im Raps und in Rapsfruchtfolgen auf die Erfolgsindikatoren N-Saldo, Herbst-N _{min} -Wert und Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone (Geries Ingenieure GmbH).....	195
Tab. 50:	Einfluss praxisüblicher Bewirtschaftung (ohne Maßnahmen) und Bewirtschaftung im Rahmen von Fruchtfolgevereinbarungen auf die Höhe der N-Düngung, des N-Saldos, des Herbst N _{min} -Werts und der	

Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone in den TGG der IG Weser für den Zeitraum 2000 bis 2011 (Geries Ingenieure GmbH).....	196
Tab. 51: Optimierungsbereiche z. Umsetzung eines grundwasserschonenden Betriebs v. Biogasanlagen. (NLWKN 2010b, OOWV 2011).....	203
Tab. 52: Inhaltsstoffe von Gärresten aus niedersächsischen Pilotanlagen (NLWKN 2010b)	205
Tab. 53: Fruchtfolgebeispiele zur Reduktion von N-Austrägen im Energiepflanzenanbau (NLWKN 2010b). Sickerwasser(SW)-qualitäten berechnet für 384 l/m ² SW + Feinsand (Station Friesoythe).....	207
Tab. 54: Erfolgsparameter in Schutzkonzepten (Anzahl Nennungen als Erfolgsindikator in 53 Schutzkonzepten, NLWKN 2012a)	220
Tab. 55: Beispiel zum Verfahren der Ermittlung der N-Auswaschungsminderung und Kosten-Nutzen-Effizienz von Grundwasserschutzmaßnahmen (INGUS 2012b).....	221
Tab. 56: Zonenmodell mit Methoden zur Erfassung des Stoffzustands für den Grundwasserschutz	226
Tab. 57: Datengrundlage der Hoftor-Bruttobilanz.....	231
Tab. 58: Beispiel einer Auswertung der mittleren N-Salden aus Hoftorbilanzen, flächengewichtet aggregiert nach Betriebstypen für ein Kalenderjahr	232
Tab. 59: Datengrundlage der Bilanzglieder in der Feld-Stall-Bilanz (IGLU).....	235
Tab. 60: Mittlere Minderung des N-Überschusses von Schlagbilanzen durch Freiwillige Vereinbarungen (nach Expertenbefragung in OSTERBURG et al. 2007, zusammengefasst in NLWKN 2012a)	238
Tab. 61: Bestimmungsgrößen des Herbst- N _{min} -Werts (nach NLWKN 2012c)	239
Tab. 62: Eignung der Herbst-N _{min} -Methode zur Bewertung einzelner, schlagbezogener Grundwasserschutzmaßnahmen (NLWKN 2012d)	242
Tab. 63: Basismessprogramm f. Vorfeldmessstellen (MU 2012)	259
Tab. 64: Definitionen der Parameter zur Altersbestimmung des Grundwassers (UBA GmbH Wien 2009).....	264
Tab. 65: Methoden zur Datierung <50 Jahre u. Charakterisierung v. Infiltrationsbedingungen in Grundwässern (UBA GMBH WIEN 2009).....	265
Tab. 66: Gliederung und Inhalt eines Berichts	287
Tab. 67: Gegenüberstellung der Grundwasserschutzmaßnahmen zur Umsetzung des Kooperationsmodells Trinkwasserschutz und der EG-WRRL.	295
Tab. 68: Übersicht zu Datenherkünften und Indikatoren des Wirkungsmonitorings (DE – Dungeinheit; PH – Pflichtenheft; BDF – Bodendauerbeobachtungsflächen; GWM – Grundwassermessstelle; GWL – Grundwasserleiter; BGA – Biogasanlagen, SW-Sickerwasser; HTB-Hoftorbilanz)	296
Tab. 69: Bewertung von FV unter den Aspekten Klimaschutz und Luftreinhaltung	312
Tab. 70: Umweltbewertung der Freiwilligen Vereinbarungen aus Sicht des Bodenschutzes	318
Tab. 71: Auswirkungen von FV auf das Grundwasser	320
Tab. 72: Auswirkungen von FV auf Oberflächengewässer	321
Tab. 73: Gesamtbewertung der Auswirkung von FV auf Umweltschutzgüter	322

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Mitglieder einer Trinkwasserschutzkooperation und Beteiligte am Kooperationsmodell (NLWKN).....	23
Abb. 2:	Vorgehen bei der Wasserschutzzusatzberatung	25
Abb. 3:	Feldblöcke (schwarze Umrandung) mit Orthofoto	27
Abb. 4:	Ausschnitt einer Schlagnummernkarte (LWK NIEDERSACHSEN 2009a)	28
Abb. 5:	Ausschnitt einer Bodenformenkarte (BATHKE 2009)	28
Abb. 6:	Ausschnitt Einzelschlag-NAG-Karte (LWK NIEDERSACHSEN 2010c).....	29
Abb. 7:	Digital aufbereitete Informationen aus der Gebietserfassung, der Ist-Zustandsanalyse und der Erfolgskontrolle werden zu einer Prioritätenkarte verschnitten (IGLU 2001).....	35
Abb. 8:	Beispiel zur Festlegung der Beratungspriorität landwirtschaftlicher Betriebe in TGG (GERIES INGENIEURE GMBH 2009).....	36
Abb. 9:	Werkzeuge zur Steigerung der Düngeeffizienz und deren Einsatz im Jahresverlauf (ANTONY et al. 2013).....	41
Abb. 10:	Überproportionaler N-Düngeaufwand für die letzten 10 % Ertrag (hier Bsp. Trockenmasseertrag Silomais – Sandboden)	43
Abb. 11:	N-Auswaschung (gelbe Säulen) und daraus resultierende Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (orange Säulen) für Böden mit Ackerzahl unter 45 Bodenpunkte/ha (INGUS 2010, auf Basis von Daten von BAUMGÄRTEL et al. 2003)	44
Abb. 12:	Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf niedersächsischen Acker-Dauerbeobachtungsflächen (gemessen mit Saugsonden) bei steigender N-Düngezufuhr (SCHÄFER et al. 2012).....	44
Abb. 13:	Differenz zwischen gesamtbetrieblichem N-Düngebedarf gemäß „N-Dünge-Optimierer“ und tatsächlicher N-Düngung für 2011 (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)	46
Abb. 14:	Beispiel einer EDV gestützten, schlagbezogenen Düngeplanung mit Ackerschlagkartei (INGUS)	48
Abb. 15:	Festlegung und Beprobungsmuster von Repräsentativparzellen für die N _{min} -Beprobung von Einzelschlägen (NLWKN 2012d)	50
Abb. 16:	Bodenprobeentnahme (INGUS).....	50
Abb. 17:	Formular Düngebedarfsermittlung (N-Düngeempfehlung) für Einzelschläge (INGUS 2013b).....	51
Abb. 18:	Mittlere Frühjahrs-N _{min} -Werte, gruppiert nach Hauptfrüchten sowie Vor- und Zwischenfrüchten (INGUS 2013b, Jahresdaten 2012 aus einem ausgewählten WSG).....	52
Abb. 19:	Feldbegehung (INGUS).....	52
Abb. 20:	Vergleich der geplanten Düngung (gemäß N-Sollwert) mit der tatsächlichen Düngung (n=Anzahl Schläge) (INGUS 2013b, Daten aus einem WSG).....	53
Abb. 21:	Vegetationsbegleitende Düngeberatung zur Anpassung der Düngeplanung und Düngeempfehlung	53
Abb. 22:	Ablaufschema zur Anwendung der Spätfrühjahrs-N _{min} -Methode im Düngeesystem Mais (INGUS 2013a).....	56
Abb. 23:	Schema zur Erfassung der N-Mineralisation mittels Spätfrühjahrs-N _{min} (INGUS 2012b).....	56
Abb. 24:	Spätfrühjahrs-N _{min} -Werte 2011 (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG).....	57
Abb. 25:	Nitrachek-Gerät mit Teststreifen (INGUS).....	57
Abb. 26:	Optimalbereich der NO ₃ -Konzentration im Vegetationsverlauf für Winterweizen (verändert nach NITSCH 2011).....	58
Abb. 27:	N-Aufnahme (kg N/ha) zwischen August und Dezember von Winterraps und Wintergetreide (JACOBS 2012)	61
Abb. 28:	Degradation humusreicher Böden und Gefährdung für das Grundwasser	63
Abb. 29:	Ergebnisse Humusanalysen im WSG Fuhrberger Feld zwischen 2008 und 2012.....	64
Abb. 30:	Schema zur Vorgehensweise zur Optimierung des Nährstoffmanagements mit dem N-Dünge-Optimierer (LWK NIEDERSACHSEN 2013b).....	73
Abb. 31:	Berechnungsschema der gesamtbetrieblichen Nährstoffverwertung (LWK NIEDERSACHSEN 2013b)	74

Abb. 32: Einzelbetriebliche Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz (LWK NIEDERSACHSEN 2013b).....	76
Abb. 33: Einlegegurken in Folie gepflanzt mit Stroheinstreu zwischen den Reihen. (Klatka, LWK Niedersachsen).....	81
Abb. 34: Reihendüngung in Spargel, WSG Varel. (Schröder, LWK Niedersachsen).....	81
Abb. 35: Zwischenreihenbegrünung in Brombeeren im TGG Vechta-Langförden, April 2009. (Klatka, LWK Niedersachsen) 81	
Abb. 36: Zwischenfrucht Tagetes nach abgeschlossener Erdbeerernte 2011 TGG Vechta-Langförden. (Klatka, LWK Niedersachsen)	81
Abb. 37: Im Ökolandbau überwiegend niedrige Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (HEGE & OFFENBERGER 2006)	87
Abb. 38: Im Ökolandbau deutliche Senkung der Hoftorbilanzen (IGLU 2008)	87
Abb. 39: Änderung der Hoftorbilanzen eines Umstellungsbetriebs über vier Jahre (IGLU 2008)	88
Abb. 40: Beispiele für eine Optimierung der Bearbeitungszeitpunkte (IGLU).....	98
Abb. 41: Beispiel aus der Beratung: N _{min} -Verläufe nach der Ernte bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau (IGLU)	98
Abb. 42: Erosionsschäden reduzieren die Bodenfruchtbarkeit - Wassererosion (IGLU).....	99
Abb. 43: Erosionsschäden reduzieren die Bodenfruchtbarkeit – Winderosion (Thiermann).	100
Abb. 44: Kooperation im Wald (Zander, enercity).....	103
Abb. 45: Beispiel für eine Holzernte-Sammelmaßnahme (Naeder, GFP).....	103
Abb. 46: Untersuchungsbestand Fuhrberger Feld, Messtranssekt (Zander, enercity)	103
Abb. 47: Beratungsgespräche zu Freiwilligen Vereinbarungen vor Ort (INGUS)	106
Abb. 48: Demonstrationsversuch zum Nacherntemanagement nach Raps (Kopf, LWK Niedersachsen).....	107
Abb. 49: Fruchtartenspezifische Betrachtung der Relativerträge eines Langzeitversuchs im WSG Hameln-Süd (1990–2012) (nach GERIES INGENIEURE GMBH 2013a).	109
Abb. 50: Prinzip der Nitratauswaschung – Hohe Herbst-N _{min} -Werte ohne leistungsfähige Herbst-/Winter-Begrü- nung sind Hauptursache hoher Nitrat-Belastungen im Sicker-/Grundwasser unter Acker (INGUS).....	112
Abb. 51: Senf als Winterzwischenfrucht (INGUS)	113
Abb. 52: Feldgras als Winterzwischenfrucht (INGUS).....	113
Abb. 53: Reduzierung der Nitratauswaschung durch Winterzwischenfrüchte (IGLU)	114
Abb. 54: Starke Verringerung der N-Auswaschung durch Zwischenfrüchte (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)	115
Abb. 55: Herbst-N _{min} -Werte „mit“ und „ohne“ Zwischenfrüchte (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG).....	116
Abb. 56: Vergleich der Nitratkonzentration im einjährigen Sickerwasser „mit“ und „ohne“ Zwischenfrüchte (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG).....	116
Abb. 57: Praxisbeispiele für gelungene Untersaaten im Mais – oben: nach der Saat, unten: im Herbst (INGUS).....	117
Abb. 58: Beispiel einer durch Drillsaat gut gelungenen Untersaat im Mais (INGUS)	118
Abb. 59: Herbst-N _{min} -Werte „mit“ und „ohne“ Untersaaten (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)	118
Abb. 60: Starke Verringerung der N-Auswaschung durch Grünbrachen in hoch prioritären Teilgebieten eines TGG (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG).....	120
Abb. 61: Mehrjährige Brachebegrünung (INGUS).....	121
Abb. 62: Sehr geringe Herbst-N _{min} -Werte auf langjährigen Brachen (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG).....	121
Abb. 63: Sehr niedrige Nitratwerte im Sickerwasser (unter TrinkwV-Grenzwert 50 mg Nitrat/l) unter langjährigen Brachen (INGUS 2013b, Daten aus einem WSG)	122
Abb. 64: Direktsaat von Wintergetreide nach Zwischenfruchtanbau (Kurlemann, LWK Niedersachsen).....	124
Abb. 65: Mulchsaat mit Saatbettbereitung von Mais (Dijkstra, LWK Niedersachsen)	124

Abb. 66: Direktsaat von Winterroggen in die stehenden Maisstoppeln mit Direktsaatmaschine; TGG Haselünne-Stadtwald, Emsland (Kurlermann, LWK Niedersachsen)	127
Abb. 67: Direktsaat von Winterroggen mit universeller Sämaschine; TGG Geeste-Varloh, Emsland (Schrader, LWK Niedersachsen)	127
Abb. 68: Mittlere N_{\min} -Ergebnisse der Jahre 2007–2012 bei unterschiedlicher Bearbeitungsintensität (LWK NIEDERSACHSEN, 2012c)	128
Abb. 69: N-Flächenbilanzsaldo und Herbst- N_{\min} -Werte nach Winterraps. Ergebnisse des INTEX-Projektes der Universität Göttingen (verändert nach STEINMANN & GEROWITT 2000).	128
Abb. 70: Wirkung einer Bodenbearbeitung nach der Rapsernte (19 Flächen, oben) im Vergleich zur Bodenruhe bis zum Frühjahr (26 Flächen, unten) auf die Dynamik der N_{\min} -Vorräte im Boden. Ergebnisse von Versuchsfeldern der Bezirksstelle Northeim, Jahre 2008-2012. (LWK NIEDERSACHSEN 2013e). Die farbigen Linien zeigen die Einzelwerte von Demonstrationsversuchen, die schwarze fettgedruckte Linie und die Werte den Verlauf des Median- N_{\min} -Werts.	129
Abb. 71: Mittlere Herbst- N_{\min} -Werte nach Raps bei variiertem Nacherntemanagement: Bearbeitung jeweils praxisüblich nach der Rapsernte (<i>rot</i>), Bearbeitung ab 15.09. (<i>gelb</i>), Bodenruhe bis zum Frühjahr (<i>grün</i>), Jahre 2001–2006, Südniedersachsen, BST Northeim. (LWK NIEDERSACHSEN 2006)	131
Abb. 72: Ackerfläche mit Rapsstoppeln und aufgelaufenem Ausfallraps. (Bouws, LWK Niedersachsen).....	131
Abb. 73: N-Aufnahme eines Phacelia-Zwischenfruchtbestands und einhergehender N_{\min} -Gehalt von Ackerflächen mit Vorfrucht Raps, südniedersächsische Standorte Einbeck bzw. Northeim, 2008 (LWK NIEDERSACHSEN 2013e)..	131
Abb. 74: Nicht mehr zulässiger Prallteller (LWK Niedersachsen).....	142
Abb. 75: Kumulative Ammoniakverluste in Prozent ($NH_4-N + NH_3-N$) nach der Ausbringung von Rindergülle auf Ackerflächen mit Breitverteilung ohne Einarbeitung und Schleppschauch, nach KTBL (2000), (IGLU).....	143
Abb. 76: Bodennahe Gülleausbringung durch Schleppschauchverteiler (LWK Niedersachsen).....	144
Abb. 77: Exakte bodennahe Ausbringung durch Schleppschuhverteiler (LWK Niedersachsen)	144
Abb. 78: Exakte Bodeninjektion durch Scheibenschlitzgerät auf Grünland (LWK Niedersachsen).....	144
Abb. 79: Injektion und Einarbeitung in einem Arbeitsgang (LWK Niedersachsen)	145
Abb. 80: Gülle-Unterfußinjektor zur gezielten Gülleausbringung vor dem Maislegen (LWK Niedersachsen)	145
Abb. 81: Gewässerrandstreifen im TGG Tiefenbrunn der Kooperation Trinkwasserschutz Obere Leine (Geries Ingenieure GmbH).....	153
Abb. 82: Änderung der Nutzung landwirtschaftlich genutzter Flächen zwischen 2003 und 2010 im TGG Ettenbüttel zur Vermeidung unerwünschter PSMBP-Einträge in das Grundwasser (Geries Ingenieure GmbH).....	154
Abb. 83: Beispiel einer vierjährigen gewässerschonenden Fruchtfolge (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG).....	156
Abb. 84: Reduzierung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf Schlägen mit grundwasserschonenden Fruchtfolgen, Vergleich Maßnahmenbeginn 2008 zu Maßnahmenende 2012 (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG).....	157
Abb. 85: Perserklee-Grasbestand (IGLU).....	159
Abb. 86: Rotklee als Gemengepartner für den Zwischenfruchtanbau (IGLU)	159
Abb. 87: Roggen-Wicken-Gemenge (IGLU)	159
Abb. 88: Roggen-Erbesen-Gemenge, Bestände jeweils Ende Juni zur GPS-Ernte (IGLU)	160
Abb. 89: Weidenutzung (IGLU).....	162
Abb. 90: Grünland mit Mahdnutzung (IGLU)	163
Abb. 91: Extensiv Grünland (IGLU)	163
Abb. 92: Langjährige Nitratwerte in Drainageausflüssen unter Intensiv-Grünland und Extensiv-Grünland (Mittelwerte aus je 5 Werten über Winter), Kooperation Südharz. (IGLU).....	165
Abb. 93: Nitratwerte im Boden im November unter Weide-, Mähweide- und Mahdnutzung. Untersuchungen zwischen 1995 und 1999. Unterschiedliche Düngestufen. (IGLU).....	165

Abb. 94: Maschinenvorführung Technikeinsatz zur umbruchlosen Grünlanderneuerung im Rahmen einer Wasser- schutzveranstaltung (IGLU).....	166
Abb. 95: Entwicklung der Grundwasserqualität unter Grünland im Vergleich zu einem Grünlandumbruch mit Mais- nachnutzung in einem TGG (IGLU).....	168
Abb. 96: Grünlandumbruch eines Gley-Podsol-Bodens (INGUS)	169
Abb. 97: Feldgras (IGLU).....	172
Abb. 98: Verlauf der Nitrat-N-Konzentration im Bodenwasser unter einer ackerbaulich genutzten landwirtschaftli- chen Fläche mit zwischenzeitlicher Grünbrache (HÖPER & MEESENBURG 2012).....	174
Abb. 99: Langjährige Nitratwerte in Drainageabflüssen eines Ackerstandorts, der in extensive Feldgrasnutzung überführt wurde. Festgesteinsstandort eines TGG im Harzvorland (IGLU)	175
Abb. 100: In ca. 15 cm Tiefe abgelegtes UFD-Gülleband. (Harms, LWK Niedersachsen)	176
Abb. 101: Unterfußdüngung von Gülle und Maisaussaat in einem Arbeitsgang (Harms, LWK Niedersachsen).....	177
Abb. 102: Strip-Till-Verfahren zur Maisaussaat kombiniert mit Gülle-UFD (©Vogelsang GmbH, Essen/Oldbg.)	177
Abb. 103: Relative Trockenmasse-Erträge in % zur Variante „UFD min. – Gülle breit“ (LWK NIEDERSACHSEN 2011a).....	178
Abb. 104: N _{min} -Gehalte im Boden nach der Ernte von Silomais in Abhängigkeit von der Düngung, Versuchsstandort Wehnen (LWK NIEDERSACHSEN 2011a).....	178
Abb. 105: Vergleich der Standraumverhältnisse bei Maisengsaaten gegenüber herkömmlicher Drilltechnik. (Geries Ingenieure GmbH).....	179
Abb. 106: Schematische Darstellung der Lage des Düngerbands bei Unterfußdüngung im Mais bei Maisengsaaten und herkömmlicher Reihenweite. (Geries Ingenieure GmbH).....	180
Abb. 107: Beispiel N-Bilanzierung über Schlagbilanzen aus der Ackerschlagkartei (INGUS 2010).....	181
Abb. 108: Areale sich überlappender Arbeitsbreiten von Düngerstreuern und Pflanzenschutzspritzen im Bereich des Vorgewendes. (Geries Ingenieure GmbH)	183
Abb. 109: Ermittlung teilflächenspezifischer N-Salden auf der Grundlage einer sensorgestützten (teilflächenspe- zifischen) N-Düngung und einer automatischen (teilflächenspezifischen) Erfassung der Erntemengen (N-Abfuhr). (Geries Ingenieure GmbH)	184
Abb. 110: N-Sensor (Online-Verfahren) zur Realisierung einer teilflächenspezifischen N-Düngung. (Geries Ingeni- eure GmbH).....	185
Abb. 111: Steckholz-Anpflanzung (Weiden) nach wendender Bodenbearbeitung (IGLU)	187
Abb. 112: Steckholz-Anpflanzung (Weiden) nach Streifenbearbeitung (IGLU)	187
Abb. 113: KUP-Bestand mit Weiden (IGLU).....	187
Abb. 114: Häcksler mit Holzerntevorsatz.....	188
Abb. 115: Schema N-Dynamik unter KUP im Vergleich zu Ackernutzung mit Einjahrskulturen (von Buttlar, Daten BÖHM et al. 2011 verändert)	189
Abb. 116: Sickerwasseranfall unter Mais in einem niederschlagsreichen Jahr verglichen mit dem durchschnittlichen Sickerwasseranfall im langjährigen Mittel (DWD-Station Bremervörde, Berechnungen: (Geries Ingenieure GmbH).....	193
Abb. 117: Einfluss verschiedener Maßnahmen und Maßnahmenkombination auf die Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone beim Anbau von Silomais in Monokultur. Auswertung von 58 Tiefenprofilen aus den Landkreisen Stade, Cuxhaven und Rotenburg/Wümme aus den Jahren 1999 bis 2011 (Geries Ingenieure GmbH).....	193
Abb. 118: Schematische Darstellung des Verlaufs der N _{min} -Gehalte im Boden unter Raps von Juli (Aussaatjahr) bis Dezember (Erntejahr) bei unterschiedlichen Maßnahmen (Geries Ingenieure GmbH)	195
Abb. 119: Kartoffel-Unterfußdüngung 10 cm neben der Knolle im Damm (INGUS).....	197
Abb. 120: Roggen als winterharte Zwischenfrucht nach Kartoffeln (INGUS)	198
Abb. 121: Eisbergsalat vor (oben) und nach der Ernte mit hoher Masse an Ernterückständen (unten) (INGUS).....	199

Abb. 122: N-Dünge- und Anbau-Optimierung im zweijährigen Salat-Anbau (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG).....	200
Abb. 123: Einbindung etablierter wasserschonender Kulturen in die Fruchtfolge (IGLU)	204
Abb. 124: Potenziale durch Einbindung neuer Energiepflanzen erschließen (IGLU).....	204
Abb. 125: Trockenmasseerträge, Herbst-N _{min} und N-Flächenbilanzen als Mittelwerte der Jahre 2007–2009 am Standort „WSG Sandelermöns“, Landkreis Wittmund (IGLU, in NLWKN 2010b).	206
Abb. 126: Wegebaumaßnahme: Rückbau eines hangsenkrechten Rückewegs (oben: vorher – unten: nachher) (GFP)	211
Abb. 127: Waldbauliche Maßnahme: Durch Beseitigung von Buchennaturverjüngung freigestellte Roterlen (GFP).	211
Abb. 128: Mittelwerte für die Sickerwasserbildung unter Acker im Vergleich zu Kiefern- und Mischwald im Wasserschutzgebiet Fuhrberger Feld (STADTWERKE HANNOVER 1999, geändert IGLU).	214
Abb. 129: Nitratkonzentrationen unter Acker im Vergleich zu Wald (Mittelwerte), nach RINGE et al. (1999) (Wald) und IGLU (1999) (Acker).	214
Abb. 130: Umbau von Acker zu Wald im WSG Liethgrund (IGLU).	215
Abb. 131: Unterpflanzung mit Buchensetzlingen (oben), zweijähriger Buchenunterbau (unten) (IGLU).	216
Abb. 132: Zäunung einer neuangelegten Waldumbaufläche (IGLU).	217
Abb. 133: Tubex-Hülle (Beck und Böder, Paderborn).	217
Abb. 134: Fließrichtung des Wassers in der Wurzel-, Drän- und Grundwasserzone (GERIES INGENIEURE GMBH 2007)	219
Abb. 135: Auswirkungen der WZB auf die Bewirtschaftungspraxis (BATHKE 2010)	223
Abb. 136: Entwicklung des Deckungsgrads einer FV auf Zielflächen. Erreichte Fläche:1.154 ha, IST: 74 %, SOLL: 75 %. (GERIES INGENIEURE GMBH 2012).	224
Abb. 137: Schema der Hoftorbilanz (IGLU)	230
Abb. 138: Schema der Feld-Stall-Bilanz (IGLU)	234
Abb. 139: Schema der Nährstoffbilanzierung auf Schlagebene (IGLU)	236
Abb. 140: Standortkriterien für die Anwendbarkeit der Herbst-N _{min} -Methode (NLWKN 2012c)	239
Abb. 141: Repräsentativparzellen für die N _{min} -Beprobung (NLWKN 2012c)	240
Abb. 142: Bestimmung des optimalen Probenahmezeitraums für die Herbst-N _{min} -Beprobung (HILLEBRAND 2002)	240
Abb. 143: Göttinger Bohrstock (IGLU).....	241
Abb. 144: Pürckhauer-Bohrstock (IGLU).....	241
Abb. 145: Einbaumöglichkeiten von Saugkerzen (IGLU)	244
Abb. 146: Beispiel Saugkerzenuntersuchung auf einer Ackerfläche (NLWKN).....	245
Abb. 147: Schematische Skizze zum Aufbau eines Wannensysimeters auf einem flachgründigen Festgesteinsstandort (IGLU 2004)	246
Abb. 148: Bau eines Wannensysimeters (IGLU 2004)	246
Abb. 149: Beispiel einer Darstellung von Messwerten aus Wannensysimetern, Frachtenberechnung des Stickstoffs (IGLU 2004, verändert).	247
Abb. 150: Prinzipskizze zur Durchführung und Ergebnisauswertung von Tiefenprofilen	248
Abb. 151: Tiefenprofil mit Denitrifikation in der Sickerwasser-Dränzone im pyrrhaltigen, reduktiven Geschiebelehm	249
Abb. 152: Handbohrer für verschiedene Substrate	249
Abb. 153: Tiefenprofil aus dem Löss-Bergland mit geringen jährlichen Sickerwasser-Verlagerungsstrecken (IGLU)	250
Abb. 154: Erfolgskontrolle einer mehrjährigen Grundwasserschutzmaßnahme durch Kombination von jährlichen Tiefenprofilen und Herbst-N _{min} (IGLU).	251
Abb. 155: Nitratkonzentrations-Tiefenprofile von Niedermoorstandorten mit unterschiedlichem Erhaltungszustand (NLÖ 2001)	251
Abb. 156: Saugglanze (nicht maßstabsgerecht)	253

Abb. 157: Probenahme mit der Sauglanze (Prinzipiskizze)	254
Abb. 158: Beispiel für die Ermittlung der flächengewichteten NO_3 -Konzentration.....	254
Abb. 159: geeignete Messstellentypen für die Überwachung der WZB in TGG (DVWK 1997, verändert).....	256
Abb. 160: Messstellengruppe (NLWKN).....	257
Abb. 161: Prinzipiskizze B&K Hanse (www.ufz.de/export/data/1/19873_6_Buntin_BK_Hanse.pdf).....	258
Abb. 162: Beispiel Direct-Push-Gerät (http://baermannundpartner.jimdo.com/kurzbeschreibung)	258
Abb. 163: Schematische Darstellung der Lage der Messstellen zur Beobachtungsfläche mit den Messstellen P1 und P2 im Abstrom und P3 als Referenzmessstelle im Anstrom (IGLU).....	258
Abb. 164: Grundwasserbeprobung mit Unterwasserpumpe (NLWKN).....	259
Abb. 165: Ganglinie Nitratmittelwerte in flachen GWM der TGG Ostfrieslands (NLWKN).....	260
Abb. 166: Darstellung der mittleren jährlichen Nitratkonzentration des Grundwassers (IGLU)	260
Abb. 167: Darstellung der Häufigkeitsverteilung der nitratbelasteten GÜN-Messstellen (NLWKN, Stand 2013b)	261
Abb. 168: Flächenbezogene Nitratkonzentration an GWM im WSG Herrenteich (LÜBKE 2012)	261
Abb. 169: Isolinienplan der Sulfatkonzentration des Grundwassers unter Berücksichtigung der Grundwasserströmungsverhältnisse im WSG Eckerde (LÜBKE 2003).....	262
Abb. 170: Schematische Darstellung des Grundwasseranstroms einer Multilevel-Messstelle mit tiefenabgestuftem Nitratkonzentrationsprofil. Ein Nitratabbau durch Denitrifikation ist erkennbar.	263
Abb. 171: Zeitreihe der Tritiumkonzentration im Niederschlag der Station Salzuflen sowie das Grundwasseralter ausgewählter GWM im WSG Hameln-Süd (GERIES INGENIEURE GMBH 2005).....	266
Abb. 172: Rückwirkend kumulierte Verlagerungstiefen (Sickerwasserperiode 2003/04) bei unterschiedlichen Bodensubstraten in der Mittelterasse (MT) und Niederterasse (NT) im WSG Hameln-Süd (GERIES INGENIEURE GMBH 2005).	266
Abb. 173: Gleichenplan zur Nitratkonzentration u. Grundwasseralter im WSG Hameln-Süd (Ausschnitt) (GERIES INGENIEURE GMBH 2005).....	267
Abb. 174: Auswertung Multilevel-Messstelle, Beispiel WSG Fuhrberger Feld (NLWKN 2012b).....	273
Abb. 175: Abbau von Nitrat und reduzierten Verbindungen im Grundwasser durch Denitrifikation, Grafik nach Well, Uni Göttingen (GERIES INGENIEURE GMBH 2007b)	273
Abb. 176: Nitrateintragskonzentration (Summe aus Nitrat- und Excess- N_2 -Konzentration) untersuchter Messstellen im WSG Forst Esloh (NLWKN 2012b).....	274
Abb. 177: Anforderungen an Modellanwendungen	278
Abb. 178: Beispiel für die Entwicklung der flächengewichteten N-Zufuhr von hoch und mittel prioritären Betrieben (GERIES INGENIEURE GMBH 2013).....	280
Abb. 179: Beispiel für den N-Saldo von praxisüblich und mit Fruchtfolgevereinbarungen (FFV) bewirtschafteten Flächen (2008–2012) (GERIES INGENIEURE GMBH 2013).....	281
Abb. 180: Beispiel für die flächengewichtete Herbst- N_{min} -Auswertung (NLWKN 2012c)	281
Abb. 181: Beispiel für die Entwicklung der mittleren Nitratkonzentration in der Dränzone (GERIES INGENIEURE GMBH 2013)....	282
Abb. 182: Beispiel für die Entwicklung der Nitratkonzentration in GWM (GERIES INGENIEURE GMBH 2012a)	282
Abb. 183: Beispiel Nitratganglinie einer Rohwasserförderung (GERIES INGENIEURE GMBH 2012a)	283
Abb. 184: Beispiel Entwicklung des Flächenumfangs einer FV in einem TGG (GERIES INGENIEURE GMBH 2013)	283
Abb. 185: Aktuelle Termine für Berichts- und Nachweispflichten	284
Abb. 186: Zielerreichung gemäß EG-WRRL.....	289
Abb. 187: Belastete Grundwasserkörper und signifikant belastete Typflächen, Bewertung 2009.....	290
Abb. 188: Beratungsgebiete Maßnahmenkulisse Nitratreduktion nach EG-WRRL inklusive der Gebiete mit kombinierter Wasserschutzzusatzberatung.	292

Abb. 189: Logo des GrundWasserKreises „Aller links“	293
Abb. 190: Verfahrensablauf bei der Umsetzung ergänzender Maßnahmen.....	294
Abb. 191: N-Emission 2010 in Niedersachsen – Ergebnisse der Basisemissionserkundung (LBEG 2013).....	298
Abb. 192: Elemente zur Beurteilung des Zustands von Grundwasser und Oberflächengewässern nach EG-WRRL.	301
Abb. 193: Rolle der Nährstoffe bei der Bewertung von oberirdischen Gewässern nach EG-WRRL.....	301
Abb. 194: N-Einträge in oberirdische Gewässer aus diffusen und punktuellen Quellen (nach Thünen Institut & Forschungszentrum Jülich).....	302
Abb. 195: P-Einträge in oberirdische Gewässer aus diffusen und punktuellen Quellen (nach Thünen Institut & Forschungszentrum Jülich).....	302
Abb. 196: Schematische Darstellung der Erweiterung des Zonenmodells (NLWKN 2014a).....	304
Abb. 197: Gemeinsame Handlungsfelder im Bereich Wasserschutz – Naturschutz – Landwirtschaft.....	306

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Erklärung		
Abb.	Abbildung	DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
AbfKlärV	Klärschlammverordnung	Direkt-ZahlVer-pflV	Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung (Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand)
ACS	Alleycroppingsystem	DIWA	Digitales Informationssystem Wasser-schutz
AF	Anbaufläche	DüMV	Düngemittelverordnung
AK 5	Amtliche Karte 1:5.000	DüV	Düngeverordnung (Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen)
ANDI	Agrarförderung Niedersachsen Digital	DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasser-faches
Äq	Äquivalent	DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
ASK	Ackerschlagkartei	DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirt-schaft, Abwasser und Abfall e.V.
atro	Trockengewicht bei 0% Wassergehalt	e.V.	eingetragener Verein
AUM	Agrarumweltmaßnahmen	EDV	Elektronische Datenverarbeitung
BBod-SchG	Bundes-Bodenschutzgesetz, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten	EEG	Erneuerbare Energien-Gesetz
BDF	Bodendauerbeobachtungsflächen	EG	Europäische Gemeinschaft
BEE	Basisemissionserkundung	EG-WRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Rahmen der Wasserpolitik)
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung	ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
BfN	Bundesamt für Naturschutz	EPIC	Environment Policy Integrated Calculator
BGA	Biogasanlage	et al.	und andere (et alii)
BGBI	Bundesgesetzblatt	etc.	et cetera
BioAbfV	Bioabfallverordnung	EU	Europäische Union
BLMP	Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee	EU-VO	Europäische Verordnung
BMELF	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	FFV	Fruchtfolgevereinbarung
BMF	Bundesministerium für Finanzen	FFH-RL	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie
BMG	Bundesministerium für Gesundheit	FK 90	Feldkapazität bei 90 cm Bodentiefe
BMU	Bundesministerium für Umwelt	FM	Frischmasse
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung	FSB	Feld-Stall-Bilanz
BMW	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	FV	Freiwillige Vereinbarung
BNatschG	Bundesnaturschutz Gesetz (Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege)	GAK	Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz
BST	Betriebsstelle	GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der EU
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit	GBA	Gesellschaft für Bioanalytik
ca.	ungefähr	GEPI	Gewässerentwicklungsplan
CAL	Calcium-Ammonium-Lactat	GFN	Gesamtflächennachweis
CC	Cross Compliance	GfP	Gute fachliche Praxis
CCM	Corn-Cob-Mix	GFP	Gesellschaft für Forstplanung
CEN	Europäisches Komitee für Normung		
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt		
DENUZ	Modell zur Ermittlung der Denitrifikation im Boden und Grundwasser		

GIS	Geographisches Informationssystem	LUH	Leibniz-Universität Hannover
GL	Grünland	LWK	Landwirtschaftskammer
GLD	Gewässerkundlicher Landesdienst	max.	maximal
GPS	Ganzpflanzensilage	MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
GPS	Global-Position-System	ML	Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung
GOK	Geländeoberkante	MONERIS	Modelling Nutrient Emissions in River Systems
GROWA	Großflächiges Wasserhaushaltsmodell	MT	Mittelterrasse
GrwV	Grundwasserverordnung	MU	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
GÜN	Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen	MUNLV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
GV-(Klee)	Qualitätsstandard für Klee	MVZ	Mittlere Verweilzeit
GW	Grundwasser	NAG	Nitrataustragsgefährdung
GWH	Grundwasserstandshöhe	NAU	Niedersächsisches Agrarumweltprogramm
GWK	Grundwasserkörper	Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe
GWL	Grundwasserleiter	NB	Auflagen zum Schutz von Bienen
GWM	Grundwassermessstellen	Nds.	Niedersachsen
GWOF	Grundwasseroberfläche	NEC RL	Richtlinie zur Neufassung der Emissionsobergrenzen
H ₂ O	Arbeitsgemeinschaft zum ökologischen Landbau in Trinkwassergewinnungsgebieten	NG	Nachweisgrenze
Hrsg.	Herausgeber	NG	Auflagen zum Schutz des Grundwassers
HTB	Hoftorbilanz	NiB-AUM	Niedersächsische und Bremer Agrarumweltmaßnahmen
HTK	Hühnertrockenkot	NIBIS	Niedersächsischer Bildungsserver
i.d.R.	in der Regel	NLF	Niedersächsische Landesforsten
IGLU	Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt	NLGA	Niedersächsisches Landesgesundheitsamt
INGUS	Ingenieurdienst UmweltSteuerung	NLÖ	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
INTEX	Integrierte Anbausysteme und Extensivierung	NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem der Agrarförderung	NPK	Nitrat-Phosphat-Kaliumdünger
IPCC	International Panel of Climate Change	N-Red.	Stickstoffreduzierung
Kap.	Kapitel	nrM	nicht relevante Metabolite
Konz.	Konzentration	NRW	Nordrhein-Westfalen
KoopVo	niedersächsische Kooperationsverordnung	NT	Auflagen zum Schutz von Saumbiotopen und Nichtzielorganismen
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz	NT	Niederterrasse
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft	NW	Auflagen zum Schutz von Wasserorganismen
KUP	Kurzumtriebsplantage	NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser	OGewV	Oberflächengewässerverordnung
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie	OOWV	Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband
LF	Landwirtschaftliche Fläche	OW	Oberflächengewässer
LKS	Lieschkolbenschrot	PP	Prioritätenprogramm
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche	PSM	Pflanzenschutzmittel
LSKN	Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen		
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt		

PSMBP	Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte
QFN	Qualifizierter Flächennachweis
QN	Qualitätsnormen
RAKON	Rahmenkonzeption Monitoring
RdErl	Runderlass
RHmV	Rückstand Höchstmengen Verordnung
RL	Richtlinie
SchuVO	Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten
SFN	Spät-Frühjahrs N _{min}
SG	Sommergetreide
SLA	Servicezentrum Landentwicklung und Agrarförderung
SW	Sickerwasser
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
SWR	Sickerwasserrate
T1/2	Halbwertszeit in Jahren
Tab.	Tabelle
TGG	Trinkwassergewinnungsgebiet
TI	Thünen-Institut
TM	Trockenmasse
TP	Gesamtphosphor
TS	Trockensubstanz
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TVO	Trinkwasserverordnung
TWS	Trinkwasserschutz
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
UFD	Unterfußdüngung
UFOP	Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen
US	Untersaat
UV	ultraviolett
UWB	Untere Wasserbehörde
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
vgl.	vergleiche
WEG	Wasserentnahmegebühr
WEKU	Grundwassertransportmodell
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WiDü	Wirtschaftsdünger
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WSG	Wasserschutzgebiet
WSG-VO	Wasserschutzgebietsverordnung
WVU	Wasserversorgungsunternehmen
WZB	Wasserschutzzusatzberatung
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

ZA	Zahlungsansprüche
ZR	Zuckerrüben
ZF	Zwischenfrüchte

Chemische Abkürzungen

³ He	Helium-Isotop
³ H	Tritium
⁸⁵ Kr	Krypton-Isotop
AOX	adsorbierbare organische gebundene Halogene
CaO	Calciumoxid
Cd	Cadmium
CFCS	Chlorfluorkohlenstoff
C/N	Kohlenstoff / Stickstoff – Verhältnis
DOC	gelöster organisch gebundener Kohlenstoff
DTPA	Diethylentriaminpentaessigsäure
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
Fe ³⁺ , Fe ²⁺	Eisenionen dreiwertig, zweiwertig
H ₂ O	Wasser
HCO ₃	Hydrogencarbonat
K	Kalium
K ₂ O	Kaliumoxid
Mg	Magnesium
MgO	Magnesiumoxid
N	Stickstoff
N ₂	molekularer Stickstoff
N ₂ /Ar	Verhältnis molekularer Stickstoff/Argon
N ₂ O	Lachgas, Treibhausgas
N _{eff}	effektiver Stickstoffüberhang
NH ₃	Ammoniak
NH ₄	Ammonium
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
Ni	Nickel
N _{min}	mineralischer Stickstoff
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
N _{org}	organisch gebundener Stickstoff
Nt	Gesamtstickstoffgehalt
P	Phosphor
P ₂ O ₅	Phosphoroxid
S	Schwefel
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SO ₄	Schwefeloxid
T	Tritium
TN	Gesamtstickstoff
TP	Gesamtphosphor

Einheiten

°	Neigung
°C	Grad Celsius
%	Prozent
a	Jahr
cm	Zentimeter
DE	Dungeinheit
dt	Dezitonne
dt/ha	Dezitonne pro Hektar
GV	Großvieheinheiten
ha	Hektar
kt	Kilotonne
kW	Kilowatt
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
kg N/ha	Kilogramm Stickstoff pro Hektar
km/h	Kilometer pro Stunde
mg/l	Milligramm pro Liter
µg/l	Mikrogramm pro Liter
T1/2	Halbwertszeit in Jahren
t/ha/a	Tonne pro Hektar und Jahr
Vol.-%	Volumenprozent

Vorwort

Das Kooperationsmodell Trinkwasserschutz ist seit 1992 im Niedersächsischen Wassergesetz verankert. Aktuell arbeiten die Wasserwirtschaft und die Landwirtschaft in 373 Trinkwassergewinnungsgebieten gemeinsam an der Umsetzung von Maßnahmen zum Grundwasserschutz.

Die erste Auflage des „Anwenderhandbuchs für die Zusatzberatung Wasserschutz“ wurde 2001 veröffentlicht. Darin wurden fachliche Standards zu den Methoden der Wasserschutzzusatzberatung und zur Erfolgskontrolle gesetzt. Seitdem hat sich das Anwenderhandbuch vor allem zur Entwicklung von umfassenden Schutzkonzepten in den Trinkwassergewinnungsgebieten etabliert.

Die Neuauflage des Anwenderhandbuchs orientiert sich an der wachsenden Bedeutung des Gewässerschutzes unter den sich ändernden Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft. Die Methodenbeschreibung der Erstauflage wurde entsprechend dem aktuellen Erkenntnisstand praxisnah aktualisiert. Erstmals wurde auf das Berichts- und Dokumentationswesen als Grundlage für eine transparente und effiziente Konzeptgestaltung eingegangen.

Folgende Neuerungen sind besonders hervorzuheben:

Die Vorgehensweise im Gewässerschutz wird anhand von mehrjährigen Schutzkonzepten auf der Basis von Grundlagendaten und einer klaren Prioritätensetzung erläutert. Dabei werden die Instrumente der Düngeberatung als zentrales Element der Wasserschutzzusatzberatung ausführlich dargestellt.

Mit dem Ziel, langfristige grundwasserschonende Produktionssysteme zu etablieren, wird anhand von konkreten Anwendungsbeispielen die nachhaltige Wirkung von landwirtschaftlichen, erwerbsgärtnerischen sowie forstwirtschaftlichen Maßnahmen zur Verminderung von Nährstoffeinträgen exemplarisch dargestellt.

Weiterhin werden neue Erkenntnisse zur Erfolgskontrolle, die aus der Praxiserfahrung der Wasserschutzzusatzberatung und aus den Ergebnissen von Modell- und Pilotprojekten abgeleitet wurden, dargestellt. Denn insbesondere mit Blick auf die Qualitätssicherung der Ressource Trinkwasser hat die Erfolgskontrolle zur Überprüfung der Wirksamkeit und der Effizienz der Schutzkonzepte weiter an Bedeutung gewonnen.

Darüber hinaus werden die Konzepte zur Erreichung der Qualitätsziele gemäß der EG-Wasserrahmenrichtlinie erläutert, die seit 2010 auf der Basis der Erfahrungen mit dem kooperativen Trinkwasserschutz umgesetzt werden, da die Grundwasserkörper auf über 60% der Landesfläche Niedersachsens nicht in dem geforderten „guten chemischen Zustand“ sind.

Die Umsetzung der Wasserschutzzusatzberatung, die Flächenmaßnahmen und das Wirkungsmonitoring in der Zielkulisse zur Nitratreduktion sowie Maßnahmen zum Schutz der Oberflächengewässer werden ausführlich erläutert.

Bei der Gestaltung nachhaltiger Maßnahmenprogramme sind die Wechselwirkungen zwischen den Umweltmedien Wasser, Natur, Boden und Klima von entscheidender Bedeutung. Die Darstellung der Bewertung der Umweltleistungen verschiedener Flächenmaßnahmen rundet den Bereich der fachlichen Neuerungen ab.

Das vorliegende neue Anwenderhandbuch soll den Akteuren im Gewässerschutz wie gewohnt eine verlässliche Hilfestellung bei der Planung, Umsetzung und Überprüfung ihrer Konzepte bieten. Die vielfältigen Aktualisierungen und Ergänzungen sowie die noch stärkere fachübergreifende Ausrichtung bietet die Grundlage für eine weitere Effizienzverbesserung der Programme.

Mein besonderer Dank gilt allen Beteiligten, die an der Bearbeitung dieser Neuauflage des Anwenderhandbuchs mitgewirkt haben und denjenigen, die sich auch zukünftig der anspruchsvollen Aufgabe eines flächendeckenden Gewässerschutzes in Niedersachsen widmen.

Stephan-Robert Heinrich
Geschäftsbereichsleiter III – Gewässerbewirtschaftung,
Flussgebietsmanagement



Grund- und Trinkwasserschutz in Niedersachsen

Das Niedersächsische Kooperationsmodell

Auf Grundlage des bundesweit geltenden Wasserhaushaltsgesetzes und der Novellierung des Niedersächsischen Wassergesetzes (NWG) wurde 1992 mit der Einführung der Wasserentnahmegebühr (WEG) der Startschuss zum Niedersächsischen Kooperationsmodell Trinkwasserschutz zwischen der Land- und der Wasserwirtschaft gegeben (Nds. Landtag 1992). Die WEG wird seither vornehmlich zur vorbeugenden Minderung landwirtschaftlicher Stoffeinträge ins Grundwasser eingesetzt. Die Maßnahmenprogramme sollen vor allem die Nitratbelastung in den Förderbrunnen und Vorfeldmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) senken und eine gute Qualität des Trinkwassers sichern. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden die Wasserschutzzusatzberatung (WZB) etabliert und es werden Freiwillige Vereinbarungen auf den landwirtschaftlichen Flächen in den Trinkwassergewinnungsgebieten (TGG) umgesetzt. In den ersten Jahren des Niedersächsischen Kooperationsmodells wurden die grundlegenden Organisationsstrukturen aufgebaut und die fachlichen Konzepte für die Maßnahmenprogramme mit der Landwirtschaft entwickelt. Aufgrund der Initiative einzelner niedersächsischer Wasserversorgungsunternehmen wurden die ersten regionalen Trinkwasserschutzkooperationen bereits vor der offiziellen Einführung in 1992 gegründet. Diese waren Vorreiter für die derzeit landesweit 74 bestehenden Kooperationen.

Niedersachsen war eines der ersten Bundesländer, das die Wasserentnahmegebühr erhoben hat, um damit gezielt den Gewässerschutz zu finanzieren.

Die Verwendung der WEG ist gemäß § 28 Absatz 3 des NWG (Nds. Landtag 2010) geregelt. Folgende Instrumente des niedersächsischen Gewässerschutzes werden finanziert:

- die zusätzliche Beratung der land-, forstwirtschaftlichen oder erwerbsgärtnerischen Nutzer von Grundstücken einschließlich der damit im Zusammenhang stehenden Boden- und Gewässeruntersuchungen
- der Ausgleich von wirtschaftlichen Nachteilen, die aufgrund einer vertraglich vereinbarten, über die Gute fachliche Praxis hinausgehenden Einschränkung der land-, forstwirtschaftlichen oder erwerbsgärtnerischen Nutzung von Grundstücken entstehen (z. B. Freiwillige Vereinbarungen)
- die Erkundung und Bewertung von Grundwasserbelastungen
- die Erforschung einer besonders auf den Grundwasserschutz ausgerichteten Land- und Forstwirtschaft sowie eines entsprechend ausgerichteten Erwerbsgartenbaus in Wasserschutzgebieten anhand von Modell- und Pilotprojekten.

Meilensteine des Niedersächsischen Kooperationsmodells

Das Prioritätenprogramm Trinkwasserschutz des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz (MU 2007; s. Kap. 2.1.3) ist das entscheidende

Instrument für das landeseinheitlich nachvollziehbare Vorgehen zur Finanzierung von Grundwasserschutzmaßnahmen in den Trinkwasserschutzkooperationen.

Fachliche Standards und Methoden für die Zusatzberatung Wasserschutz wurden im Anwenderhandbuch (NLÖ 2001) veröffentlicht. Die nun vorgelegte Aktualisierung des Anwenderhandbuchs berücksichtigt die veränderten gesetzlichen Grundlagen und Rahmenbedingungen. Neue fachliche Erkenntnisse, Erfahrungen und weiterentwickelte Methoden werden beschrieben.

Zusätzlich tragen Modell- und Pilotprojekte zur Erforschung einer gewässerschonenden Landbewirtschaftung zum Erfolg des Niedersächsischen Kooperationsmodells bei.

Der erstmalig 1996 vom Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ) durchgeführte Grundwasser-Workshop bietet allen am vorsorgenden Gewässerschutz beteiligten Akteuren ein Forum zum fachlichen Austausch. Dieses Forum ist auch weiterhin eine zentrale Veranstaltung der niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung.

Übertragung der Erfahrungen auf die Zielkulisse gemäß EG-WRRL

Mit Blick auf die Anforderungen der Nitratrichtlinie wurde mit der Verabschiedung der Richtlinie 2000/60/EG (EG 2000) des Europäischen Parlaments und des Rats im Oktober 2000 ein Ordnungsrahmen für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik geschaffen.

Seit Inkrafttreten der EG-WRRL sind gemäß Artikel 9 alle Mitgliedsstaaten verpflichtet, ein integriertes Wasserbewirtschaftungsmanagement einzuführen. Bei vorliegenden Belastungen sind Bewirtschaftungskonzepte und Maßnahmenprogramme zu erstellen und umzusetzen, um langfristig die Gewässer in einem guten Zustand zu erhalten bzw. diesen wieder herzustellen. Für das Grundwasser steht der gute chemische Zustand im Vordergrund. Gemäß der aktuellen Bewertung sind ca. 60 % der Landesfläche Niedersachsens aufgrund diffuser Belastungen durch die Landwirtschaft (Hauptbelastungsfaktor Nitrat) in einem schlechten Zustand.

Mit Bezug auf die vorgenannten Anforderungen zur Erstellung von Maßnahmenprogrammen und die aktuelle Belastungssituation durch diffuse Stoffeinträge in das Grundwasser bieten die langjährigen Erfahrungen im kooperativen Trinkwasserschutz in Niedersachsen eine gute Grundlage bei der Maßnahmenplanung und -umsetzung in der Zielkulisse zur Nitratreduktion. Analog zum Vorgehen in den Trinkwassergewinnungsgebieten erfolgt im Rahmen der WZB nach entsprechender Gebietserfassung eine räumliche Prioritätensetzung. Die anschließenden

Maßnahmenauswahl und -umsetzung wird durch die WZB fachlich begleitet (s. Kap. 3.1). Zum Nachweis der Maßnahmenwirkung wird ein umfangreiches Wirkungsmonitoring durchgeführt (s. Kap. 3.2). Zum fachlichen Austausch vor Ort haben sich regionale Grundwasserkreise gebildet.

2

Umsetzung des Niedersächsischen Kooperationsmodells zum Trinkwasserschutz

Das vorrangige Ziel des Niedersächsischen Kooperationsmodells ist die nachhaltige Vermeidung und Reduzierung diffuser Stoffeinträge, vor allem von Nitrat, aber auch von Pflanzenschutzmittelrückständen in das Grundwasser (GW).

Die Trinkwasserschutzkooperationen setzen sich häufig aus mehreren TGG verschiedener Wasserversorgungsunternehmen (WVU) zusammen. Gemäß der niedersächsischen Kooperationsverordnung (KoopVO) (MU 2007c) sind die Kooperationen eigenverantwortliche Gremien der WVU und der Landbewirtschaftler, die auf freiwilliger Basis mit dem gemeinsamen Interesse am Trinkwasserschutz zusammenarbeiten. Bei Beschlüssen gemäß KoopVO verfügen sie jeweils über die gleiche Stimmenzahl. Die Geschäftsführung der jeweiligen Kooperation liegt bei den WVU. Für bestimmte Themen werden weitere Institutionen als Gäste hinzugezogen, die über kein Stimmrecht verfügen, z. B. die Untere Wasserbehörde (UWB), der Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), oder die Landwirtschaftskammer (LWK) (s. Abb. 1). Der mit der WZB beauftragte Beratungsträger ist das zentrale Bindeglied zwischen allen Akteuren der Trinkwasserschutzkooperation, die an der Verringerung der Belastungen des Grundwassers in den TGG zusammenarbeiten.

Die Beauftragung des Beraters für die Wasserschutz-zusatzberatung erfolgt entsprechend den Vorgaben des Vergaberechts durch das geschäftsführende WVU und den Beschluss der Kooperation. In Niedersachsen sind derzeit überwiegend landwirtschaftlich-wasserwirtschaftlich ausgerichtete Ingenieurbüros oder die LWK mit der WZB beauftragt.



Abb. 1: Mitglieder einer Trinkwasserschutzkooperation und Beteiligte am Kooperationsmodell (NLWKN)

Die Wasserschutz-zusatzberater erstellen ein fünfjähriges Schutzkonzept (s. Kap. 2.2). Dieses beschreibt die Ziele in dem/den TGG der Trinkwasserschutzkooperation. Es enthält neben den gebietlichen Grunddaten das an die Standortverhältnisse angepasste Beratungs-, Maßnahmen- und Erfolgskontrollkonzept. Es ist Voraussetzung für die Inanspruchnahme von Finanzmitteln für Grundwasserschutzmaßnahmen in TGG. Zur Umsetzung der im Schutzkonzept beschriebenen Leistungen wird ein Finanzhilfevertrag zwischen dem Land Niedersachsen und dem WVU abgeschlossen. Die WZB wird in Niedersachsen EU-kofinanziert, während die landwirtschaftli-

chen Flächenmaßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen, FV) derzeit ausschließlich landesseitig finanziert werden.

Das Niedersächsische Prioritätenprogramm Trinkwasserschutz (MU 2007a) gibt anhand nachvollziehbarer gebietspezifischer Kriterien einen fachlich abgestuften Handlungsrahmen für die Maßnahmen zum Grundwasserschutz vor (s. Tab. 1). Auf dieser Grundlage erfolgt eine transparente Zuteilung der Fördermittel für die ein-

zelnen TGG. Der Fördersatz der einzelnen Handlungsprioritäten bezieht sich auf den landwirtschaftlich genutzten Flächenanteil im TGG. Für die Prioritätensetzung werden in erster Linie die Nitratkonzentration des Sicker-, Grund- und Rohwassers zugrunde gelegt. Sulfatbelastungen oder Belastungen durch Pflanzenschutzmittelrückstände werden bei Erfordernis ebenfalls berücksichtigt. Die Handlungspriorität ist in vier Bereiche unterteilt (s. Tab. 2).

Tab. 1: Intensität der Beratung und Maßnahmen nach Handlungsbereichen (MU 2007a)

Handlungsbereich A	Handlungsbereiche B 1 und B 2	Handlungsbereich C
a) WZB (Basispräsenz)	a) WZB (Basispräsenz)	a) WZB (Basispräsenz)
b) Basismaßnahmen	b) Basismaßnahmen	b) Basismaßnahmen
	c) WZB (Intensivberatung)	c) WZB (Intensivberatung)
	d) Spezielle Maßnahmen	d) Spezielle Maßnahmen
		e) Spezielle Maßnahmen mit hohem Extensivierungsgrad

Tab. 2: Handlungsbereiche, Fördersätze und deren Qualitätsziele (MU 2007a)

Handlungsbereich	[€/ha LF]	Hauptkriterium der Einstufung	Qualitätsziel	
geringe Priorität	A	27,38	berechnete Nitratkonzentration im Sickerwasser < 25 mg/l	Sicherung der guten Grundwasserqualität
mittlere Priorität	B 1	51,52	Nitratkonzentration im Rohwasser, Nitratkonzentration im Grundwasser (ausgenommen Festgestein) weitere Belastungshinweise	Verminderung der bodennutzungsabhängigen Belastung (z. B. Nitratbelastung)
	B 2	64,26		
hohe Priorität	C	82,15	Fördermengengewichtete Nitratkonzentration im Rohwasser > 25 mg/l weitere Belastungshinweise	deutliche Verminderung der bodennutzungsabhängigen Belastung zur langfristigen Sicherung der Trinkwassergewinnung

Die WZB (s. Kap. 2.3) sowie landwirtschaftliche, erwerbsgärtnerische und forstwirtschaftliche Flächenmaßnahmen (FV) (s. Kap. 2.4 bis 2.6) sind die wichtigsten Instrumente für die Umsetzung von Trinkwasserschutzmaßnahmen. Mit einer an die Maßnahmenumsetzung angepassten begleitenden Erfolgskontrolle wird der Effekt der Maß-

nahmen überprüft (s. Kap. 2.7). So ist jederzeit eine Weiterentwicklung der Beratungs- und Flächenmaßnahmen möglich. Sämtliche durchgeführten Arbeiten werden in Berichten zusammengestellt, bewertet und für landesweite Auswertungen verwendet (s. Kap. 2.8). Der Ablauf der WZB ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abb. 2:
Vorgehen bei der Wasser-
schutzzusatzberatung

Ergänzend zu den Aktivitäten in den TGG werden Modell- und Pilotprojekte (MUP) durchgeführt, um gewässer-schonende Landbewirtschaftungssysteme und innovative Maßnahmen sowie Empfehlungen für eine systematische Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen zu etablieren und weiter zu entwickeln.

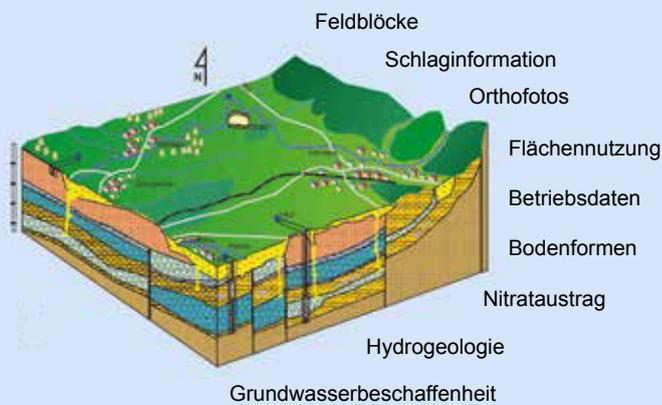
Weitere Maßnahmen zur Verringerung der Grundwasserbelastung stellen der gezielte Flächenerwerb sensibler Standorte zur Extensivierung landwirtschaftlicher Nutzflächen (extensives Grünland), zur Bewirtschaftung nach den Kriterien des ökologischen Landbaus oder zur Aufforstung dar. Aufgrund der Kosten und der Entwicklung auf dem Pachtpreismarkt für Ackerland wird der Flächenerwerb jedoch zurzeit nicht gefördert.

Fazit

Das Kooperationsmodell ist die Grundlage für einen gemeinsamen, zielorientierten Trinkwasserschutz vor Ort.

Das niedersächsische Prioritätenprogramm Trinkwasserschutz regelt anhand einheitlicher, fachlicher Kriterien die Fördermittelzuteilung für die Umsetzung der Grundwasserschutzmaßnahmen in den Trinkwasserschutzkooperationen entsprechend der gebiets-spezifischen Handlungspriorität. Die Erreichung der Ziele des Schutzkonzepts erfolgt anhand festgelegter Erfolgsparemeter im Rahmen des Ergebnisberichts der Wasserschutzzusatzberatung.

Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft sowie Erwerbsgartenbau arbeiten freiwillig und kooperativ bei der Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen auf der Basis gemeinsam abgestimmter und verbindlicher Schutzkonzepte zusammen.



2.1 Erhebung und Auswertung von Grundlagendaten

Vor Beginn der Arbeiten in einer Trinkwasserschutzkooperation ist es unabdingbar, die Ausgangslage genau zu erfassen und Planungsgrundlagen zu erstellen. Hierzu gehören eine Gebietserfassung, eine stoffliche Ist-Zustandsanalyse und die innergebietliche Prioritätensetzung. In den folgenden drei Kapiteln werden diese Punkte ausführlich erläutert. Nach Erarbeitung der Grundlagendaten bestehen die Voraussetzungen für die Erstellung eines gebietsspezifischen Schutzkonzepts (s. Kap. 2.2).

2.1.1 Gebietserfassung

Die Grundwasserschutzmaßnahmen werden in den TGG Niedersachsens zur Vermeidung bzw. Verringerung von stofflichen Belastungen des Grundwassers umgesetzt. Zur Bewertung der standörtlichen und landwirtschaftlichen Belastungsschwerpunkte sowie zur effizienten und zielorientierten Planung von Grundwasserschutzmaßnahmen werden Grundlagendaten zu den Gebietseigenschaften benötigt. Die Tätigkeit der WZB beginnt in der Regel mit der Ermittlung folgender Basisdaten:

- Kartografische Erfassung der Gebietskulisse
- Ermittlung der Flächennutzung
- Ermittlung der Daten zur Bodenkunde und Hydrogeologie
- Erfassung des stofflichen Zustands
- Erfassung der landwirtschaftlichen Betriebe.

Erfassung der Gebietskulisse

Die Abgrenzung der Gebietskulisse ist die Voraussetzung für den gezielten Einsatz der WZB und der Flächenmaßnahmen.

TGG werden unterschieden in festgesetzte WSG und Wassergewinnungsgebiete ohne Festsetzungsstatus. Die Abgrenzung eines TGG erfolgt auf der Grundlage eines hydrogeologischen Gutachtens zur Bemessung der Lage und Größe des Einzugsgebiets, das im Rahmen eines wasserrechtlichen Bewilligungs- oder Erlaubnisverfahrens oder eines Ausweisungsverfahrens für ein Wasserschutzgebiet (WSG) erstellt wurde. Bei einem festgesetzten WSG ist die Abgrenzung gemäß der WSG-Verordnung verbindlich. Eine Veränderung der Gebietskulisse aufgrund wasserrechtlicher Bedingungen (z. B. Änderungen bei der Trinkwasserförderung durch Wegfall oder Bau neuer Förderbrunnen) oder neuer hydrogeologischer Erkenntnisse wird bei der Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen berücksichtigt.

Ermittlung der Flächennutzung

Durch Verschneidung der Gebietskulisse mit weiteren Informationen kann die genaue Flächennutzung (z. B. landwirtschaftliche Nutzfläche (LN), Forstflächen, Siedlungsflächen) ermittelt werden. Hierbei werden Kartengrundlagen wie die amtliche Karte 1:5.000 (AK 5) verwendet. Die AK 5 stellt die Schnittstelle zwischen der automatisierten Liegenschaftskarte und den topografischen Landeskarten dar.

Seit dem Jahr 2005 wird zur Ermittlung der Flächengröße das im Rahmen des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems der Agrarförderung (InVeKoS) eingeführte Feldblock-System genutzt. Ein Feldblock ist eine zusammenhängende landwirtschaftlich nutzbare Fläche, die von erkennbaren Außengrenzen (z. B. Wald, Straßen, bebautes Gelände, Gewässer, Gräben) umgeben ist (Wikipedia 2013). Ein Feldblock kann mehrere landwirtschaftlich genutzte Schläge beinhalten, die von einem oder mehreren Landwirten bewirtschaftet werden können (s. Abb. 3).



Abb. 3: Feldblöcke (schwarze Umrandung) mit Orthofoto

Als Bezugsgröße für die Umsetzung von Flächenmaßnahmen ist die Ermittlung der Schlagdaten erforderlich. Seit 2011 werden Daten aus dem Sammelantrag für Agrarförderung und Agrarumweltmaßnahmen (Agrarförderung Niedersachsen Digital (ANDI)-Daten) auch für die

Datenverwaltung, Schlagerfassung und Flächennutzung verwendet (s. Tab. 3). Entscheidend ist, dass die Landwirte, die diesen Antrag ausfüllen müssen, der digitalen Datenweitergabe durch das Servicezentrum Landentwicklung Agrarförderung (SLA) zustimmen. Die ANDI-Daten (tabellarische Daten und Schlagskizzen) sind auch für den Doppelförderungsabgleich zwischen verschiedenen Agrarumweltprogrammen (z. B. MU-Maßnahmenkatalog Trinkwasserschutz, NiB-AUM-Programm – ML/MU 2014) maßgeblich. Die Anbaufruchtdaten liefern einen guten Überblick über die Situation der landwirtschaftlichen Flächennutzung. Diese Daten wurden früher, vor der zentralen Datenweitergabe durch den Wasserschutzzusatzberater, im Rahmen einer Befragung der Landwirte bzw. einer Flächenerfassung vor Ort ermittelt. Eine solche Befragung der Landwirte ist heute nur noch für einen kleinen Flächenanteil erforderlich. Die digitalen Daten werden vom SLA an den NLWKN übergeben und dann über das geschäftsführende WVU der WZB zur Bearbeitung der FV zur Verfügung gestellt. Die Informationen zum Bewirtschafter und zu den flächenbezogenen Daten (z. B. Schlaggröße, Bewirtschaf-

Tab. 3: Ausschnitt Antrag auf Agrarförderung (SLA 2014)

Niedersachsen
Bremen

Anlage 1a
zum Sammelantrag Agrarförderung und Agrarumweltmaßnahmen 2014

Gesamtflächen- und Nutzungsnachweis

Antragsteller / in	
Bundesland	Kennzahl für Bundesland

Nation	BL	LK	Gemeinde	Betrieb
2	7	6	0	3

Blattnr. 1

- ggf. von dem/der Antragsteller/in zu ergänzen -		- Nicht von dem/der Antragsteller/in auszufüllen -		- ggf. von dem/der Antragsteller/in zu ergänzen -		*2*3 Status Grünland 2013 fehlerhaft	- Von dem/der Antragsteller/in auszufüllen bzw. zu ergänzen -							*3 Agrarumweltmaßnahmen	*3 Landschaftselemente	Für diese Schläge werden keine ZA aktiviert*3	*4 Fläche mit ZA gepachtet von
Lfd. Nr.	FLIK	Kultur-Code aus 2013	Schlaggröße (ohne LE) aus 2013	Status Grünland 2013			Schlag-Nr.	Schlagbezeichnung	Kultur-Code	Kulturbezeichnung	Überrag		Schlaggröße (netto, ohne LE)				
				ha, ar	Art / Jahr*1						ha, ar	ha					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
											Zwischen- bzw. Endsumme						

*1 zu Spalte 5: DGL = Dauergrünland, pDGL = potentielles Dauergrünland mit Ansaatjahr, - = kein Grünlandstatus bekannt

*2 zu Spalte 7: ggf. Anlage 8 beifügen

*3 zu Spalten 7, 14 bis 16: Falls zutreffend, bitte ankreuzen; ggf. Kreuz entfernen

*4 zu Spalte 17: Falls zutreffend, laufende Nummer des Verpächters ergänzen (gem. Anlage 4).

tungsdaten) werden vom Wasserschutzzusatzberater über die Zuweisung einer individuellen Schlagnummer in einer Datenbank dokumentiert und als Schlagnummernkarte dargestellt. Die Schlagnummernkarte enthält die genauen Schlaggrenzen innerhalb der Gebietskulisse des TGG (s. Abb. 4). Eine kontinuierliche Aktualisierung ist erforderlich, da Änderungen durch Bewirtschafterwechsel oder Flächenänderungen (z. B. Zusammenlegung von Schlägen, Teilung von Schlägen) möglich sind. Die fortlaufende Datenpflege ist eine wichtige Grundlage für die Steuerung aller Wasserschutzaktivitäten.

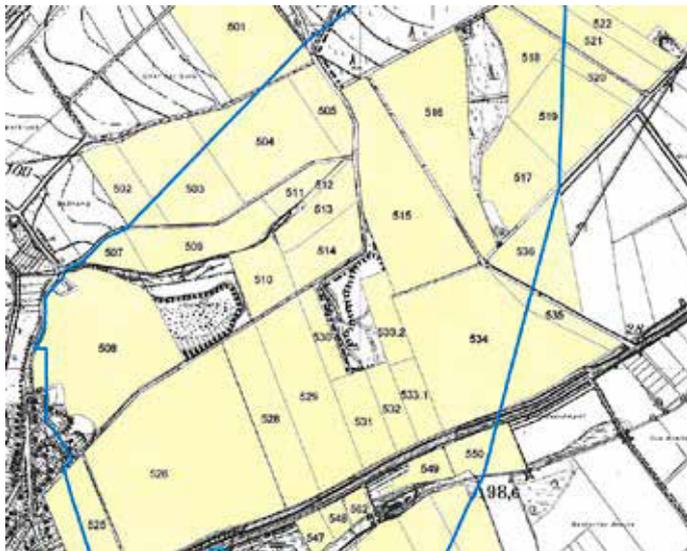


Abb. 4: Ausschnitt einer Schlagnummernkarte (LWK NIEDERSACHSEN 2009a)

Bodenkundliche Daten

Kenntnisse über die Beschaffenheit der Böden sind eine wichtige Grundlage zur Abschätzung von Stoffeinträgen in das Grundwasser. Grundsätzlich sollten vorhandene bodenkundliche Grundlagen (z. B. Gutachten, Daten der Bodenschätzung) genutzt und durch zusätzliche Kartierungen gegebenenfalls ergänzt werden. In Verbindung mit Informationen zur Geologie können über eine gezielte Kartierung Bodenformenkarten erstellt werden. In der Bodenformenkarte werden alle grundlegenden Daten (Bodentypen, Bodenarten, Humusgehalte, Daten zum Wasserhaushalt) dargestellt. Darauf aufbauend sind weitere standortdifferenzierte Auswertungen möglich. Die Bodenformenkarte (s. Abb. 5)

- ist Grundlage für die Erstellung einer Nitrataustragsgefährdungs(NAG)-Karte
- lässt Rückschlüsse auf das natürliche Ertragspotenzial der Standorte zu,

- ermöglicht die Festlegung von standörtlich repräsentativen Probenahmepunkten für die N_{min} -Beprobung oder das Versuchswesen und
- gibt Aufschluss über die Verbreitung von Böden mit natürlicherweise erhöhten N-Vorräten (Niedermoor- und Anmoorbereiche), die zu hohen Nitratreinträgen in das Grundwasser führen können.

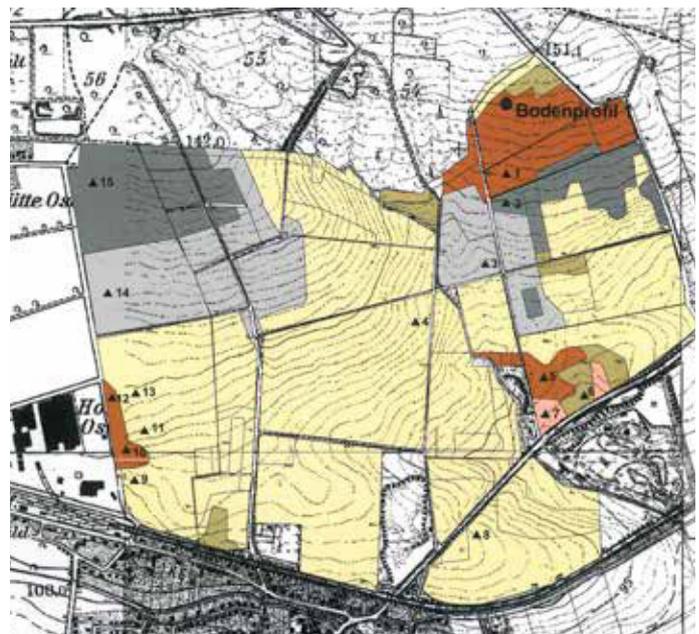


Abb. 5: Ausschnitt einer Bodenformenkarte (BATHKE 2009)

Auf dieser Grundlage ist die Erstellung weiterer Auswertungs- und Planungskarten für den Grundwasserschutz möglich. Aus den Bodendaten können in Verbindung mit Klimadaten Informationen zum Bodenwasserhaushalt (z. B. Feldkapazität, Sickerwasserrate, Austauschfähigkeit und NAG nach DIN (2011)) abgeleitet werden. Mithilfe eines geografischen Informationssystems (GIS) können die Flächenanteile der vorhandenen Bodenformen durch Verschneidung mit Schlagdaten errechnet werden. Diese gehen als Wichtungsfaktoren in die Berechnung der schlagbezogenen NAG ein. Es entsteht eine Einzelschlag-NAG-Karte, die eine wesentliche Grundlage für die innergebietliche Prioritätensetzung für die WZB darstellt (s. Abb. 6).

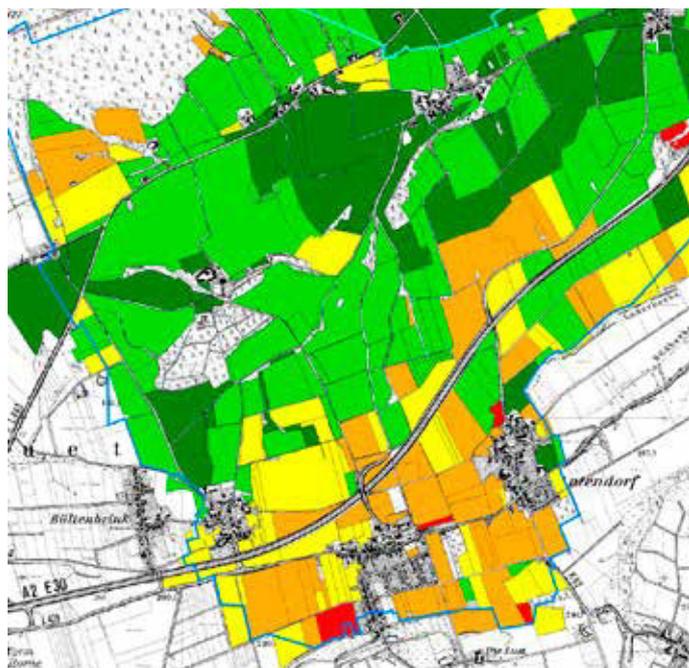


Abb. 6: Ausschnitt Einzelschlag-NAG-Karte (LWK NIEDERSACHSEN 2010c)

Anhand der Sickerwasserrate und der NAG-Daten werden standortabhängig die maximal tolerierbaren Herbst- N_{\min} -Werte und Bilanzsalden berechnet, die zur Erfolgsbewertung der Nitratkonzentration im Sickerwasser herangezogen werden können. Auf der Grundlage einer Klasseneinteilung können sie ebenfalls kartografisch dargestellt werden.

Hydrogeologische Daten

Hydrogeologische Daten liegen den WVU, den UWB und den Landesbehörden vor. Zur Einschätzung der hydrogeologischen Situation können Erkenntnisse aus hydrogeologischen Gutachten (z. B. zum Brunnen- und Grundwassermessstellenbau), Wasserrechtsgutachten sowie Gutachten zur WSG-Abgrenzung genutzt werden. Folgende Informationen sind für einen grundlegenden Überblick im TGG, die Festlegung innergebietlicher Prioritäten (s. Kap. 2.1.3) und die Eignungsbewertung von Grundwassermessstellen für die Erfolgskontrolle (s. Kap. 2.7) interessant:

- der geologische Aufbau (Lage und Tiefe der Deckschichten und des Grundwasserleiters)

- die hydrogeologische Situation (Grundwasserneubildung, Strömungsverhalten, Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit, Grundwasserstand)
- der Ausbau der Förderbrunnen und Grundwassermessstellen (Ausbaudurchmesser, Filterlage).

Erfassung des stofflichen Zustands

Daten zur Beschaffenheit des Trink-, Roh- und Grundwassers liegen bei den WVU, UWB und beim NLWKN vor. Gemäß dem Niedersächsischen Wassergesetz (NDS. LANDTAG 2010) sind die WVU verpflichtet, die Beschaffenheit des zur Trinkwasserversorgung gewonnenen Wassers (Rohwasser) untersuchen zu lassen. Zur frühzeitigen Erkennung nachteiliger Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit werden in Abstimmung mit den UWB Vorfeldmessstellen errichtet und untersucht. Der Untersuchungsumfang ist in Niedersachsen in besonderen Ausführungsbestimmungen geregelt und beinhaltet auch die hier relevanten Parameter wie Nitrat, Ammonium und Sulfat. Darüber hinaus sind Kenntnisse über das Vorkommen von Verkeimungen im Grundwasser hilfreich, wenn die stoffliche Belastungssituation erfasst wird.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse können Trendaussagen zur stofflichen Belastung für einzelne Parameter erfolgen. Optimal für eine weitere Beurteilung sind möglichst lange Zeitreihen für die wichtigsten Parameter.

Erfassung landwirtschaftlicher Betriebe

Mithilfe eines Erhebungsbogens (s. Tab. 4) zur Erfassung der landwirtschaftlichen Betriebe werden wichtige grundwasserschutzrelevante Parameter aufgenommen und für die weitere Planung und Prioritätensetzung von Wasserschutzmaßnahmen zugrunde gelegt. Erfasst werden z. B.

- der Betriebstyp gemäß den Vorgaben der EU-Mindestanforderungen an die Betriebssystematik (Ackerbau-, Gartenbau-, Dauerkultur-, Futterbau-, Veredelung-, Verbundbetriebe)
- die Flächennutzung nach Fruchtarten und Flächenanteil des Betriebs in der Gebietskulisse
- die Tierhaltung, Anfall an organischem Dünger im Betrieb (auch Gärreste)
- die Zufuhr und Abfuhr organischer Wirtschaftsdünger
- die Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger
- der Zukauf von Mineraldünger
- die maschinentechnische Ausstattung.

Tab. 4:
Beispiel Übersicht der erfassten Betriebsstrukturen und Nutzungsdaten eines TGG
(LWK NIEDERSACHSEN 2013d)

Landwirtschaft			
Flächennutzung: (*gemäß Prioritätenprogramm 2012)	Landw. gen. Fläche (LF*):	1542 ha (58 %)	
	Wald:	83 ha (3 %)	
	Sonstige:	1019 ha (39 %)	
	Gesamt:	2644 ha (100 %)	
Landwirtschaftlich genutzte Fläche [LF] Kulturarten (**Einteilung gem. hydrogeol. Gutachten; Lübke, 1985)	Schutzzone II**:	Acker: 0 ha Grünland: 90 ha Gesamt: 90 ha	
	Schutzzone III**:	Acker: 1201 ha Grünland: 230 ha Gesamt: 1431 ha	
	Bedeutende Fruchtarten (2013) [Relativer Anteil an der LF]	Winterweizen	37 %
		Wintergerste	1 %
		Roggen	1 %
		Typische Fruchtfolgen:	Sonst. Wintergetreide 2 %
Getreide-Zuckerrüben-Fruchtfolge		Sommergetreide 1 %	
z.T. Getreide-Winterraps-Fruchtfolge		Winterraps 10 %	
		Z-Rüben 14 %	
		Mais 4 %	
		Ackergras 2 %	
		Stilllegung 2 %	
		Grünland 20 %	
		Sonstiges 6 %	
Anzahl Schläge		406 Schläge	
Anzahl landwirtschaftliche Betriebe	64 Betriebe insgesamt davon 22 Betriebe mit Viehhaltung		
Erwerbstyp der Betriebe	37 Haupterwerb 27 Nebenerwerb		
Anzahl Bewirtschafter nach Betriebstypen (Schwerpunkte)	Veredelung	1	
	Futterbau	9	
	Marktfrucht	50	
	Gemischt	4	
Betriebsgrößenverteilung [Anzahl Betriebe in den Klassen]	< 25 ha	12	
	25-100 ha	29	
	100-200 ha	13	
	> 200 ha	10	
Einzelbetriebliche Flächenbetroffenheit durch das WGG [Anzahl Betriebe in den Klassen]	< 10 %	18	
	10-50 %	25	
	50-90 %	15	
	> 90 %:	6	
Stickstoff-Anfall aus Viehhaltung	10 kg N/ha LF (Mittel incl. Brache)		
Stickstoff-Anfall aus Wirtschaftsdüngerimport	15 kg N/ha LF (Mittel incl. Brache)		
Anzahl Biogasanlagen mit Gebietsbezug	keine (z.T. Vertragsanbau von Mais)		

Für die weitere Ist-Zustandsanalyse (s. Kap. 2.1.2) sollten auch Daten zur bisherigen Düngelplanung sowie bisherige Nährstoffbilanzergebnisse erfasst werden. Neben den fachlichen Daten werden verwaltungstechnische Daten (Postanschrift, EU-Registriernummer, Bankverbindungen) benötigt, die für die Vermittlung von wasserschutzorientierten Flächenmaßnahmen und die Versendung von Untersuchungsergebnissen verwendet werden.

In der Regel erfolgt mit der Aufnahme der betriebsbezogenen Daten der erste persönliche Kontakt zwischen der WZB und den Bewirtschaftern.

Zu Beginn der Beratung ist eine vollständige Gebiets- erfassung nicht immer möglich. Fehlende Informationen und Daten werden nachträglich aufgenommen. Die Verwaltung der Daten erfolgt digital in Datenbanken, die eine routinemäßige Aktualisierung, Ergänzung und Auswertung für verschiedene Fragestellungen ermöglichen.

Durch die Verknüpfung der Datenbanken mit geographischen Informationssystemen können Auswertungen kartografisch dargestellt werden und sind visualisierbar. Datenbankwendungen sind eine wichtige Grundlage für den gegenseitigen Datenaustausch aller Akteure im Grundwasserschutz. Sie dienen auch der Dokumentation und ermöglichen die Erfüllung von Berichtsvorgaben gegenüber Dritten (s. Kap. 2.8).

2.1.2 Ist-Zustandsanalyse

Für die Ist-Zustandsanalyse wird der stoffliche Zustand innerhalb einer festgelegten Gebietskulisse anhand bestimmter fachlicher Kriterien aus den Bereichen Landnutzung, Bodenkunde und Hydrogeologie erfasst. Sie baut auf der Gebietsdatenerfassung auf. Als Grundlage dient das Zonenmodell, das den Weg des Wassers vertikal von der Bodenoberfläche bis zum oberen Grundwasserleiter beschreibt (s. Kap. 2.7.2, Tab. 54).

Die Methoden und Bewertungskriterien, die für die Untersuchungen zum Ist-Zustand und für die Erfolgskontrolle von durchgeführten Grundwasserschutzmaßnahmen angewendet werden, sind detailliert im Kapitel 2.7 beschrieben.

Die Analyse und Bewertung der erfassten Daten dient folgenden Zwecken:

- als Grundlage für die Einstufung in eine Handlungspriorität (s. Kap. 2)
- zur innergebietlichen Prioritätensetzung (s. Kap. 2.1.3)
- als Vergleichsbasis für die Erfolgskontrolle der durchgeführten Grundwasserschutzmaßnahmen (s. Kap. 2.7).

Bei der Erfassung und Bewertung werden grundsätzlich stofflich-analytische von kalkulatorischen Daten unterschieden.

Fazit

Die Gebietserfassung ist die zentrale Grundlage für die Steuerung aller Wasserschutzaktivitäten. Sie umfasst die kartografische Darstellung des Trinkwassergewinnungsgebiets, die Ersterfassung der Flächennutzung, die Ermittlung und Auswertung bodenkundlicher, hydrogeologischer und hydrochemischer Daten sowie eine Ersterfassung der landwirtschaftlichen Betriebe.

Mit der umfassenden gebietsbezogenen Datenerfassung wird die Grundlage für eine erste Gefährdungsabschätzung geschaffen. Eine kontinuierliche Datenpflege, vor allem der landwirtschaftlichen Daten, ist erforderlich.

Stofflich-analytische Daten

Die Bewertung der erfassten hydrochemischen Daten erfolgt anhand der Richt- und Grenzwerte aus der Trinkwasserverordnung (TrinkwV - BMG 2013). Für die Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen sind die Ergebnisse der Roh- und Grundwasseruntersuchungen entscheidend. Die Ergebnisse der Trinkwasseruntersuchungen können nicht als Maßstab dienen, da z. B. bei Mischwässern mehrerer Brunnen oder durch Aufbereitung des Rohwassers zu Trinkwasser kein direkter Bezug zu den Grundwasserschutzmaßnahmen besteht.

In den letzten Jahren werden vermehrt Pflanzenschutzmittelwirkstoffe oder deren Abbauprodukte (Metabolite) im Roh- und Grundwasser gefunden. Für die Bewertung ist es sinnvoll, zusätzlich zu den Vorgaben der TrinkwV auch die Empfehlungen des Umweltbundesamtes zur trinkwasserhygienischen Bewertung (UBA 2008a) und die Informationen des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes (NLGA) heranzuziehen. Das UBA hat ergänzend zu den Vorgaben der TrinkwV für die so genannten nicht relevanten Metabolite (Abbauprodukt ohne biologische Wirkung, herbizide Wirkung unter 30 % im Vergleich zum Ausgangssubstrat, toxisch unbedenklich) Empfehlungen formuliert, z. B. für Abbauprodukte des Chloridazon:

- Gesundheitlicher Orientierungswert: 3 µg/l
- Vorsorgemaßnahmenwert: 10 µg/l.

Rohwasseruntersuchung

Die WVU sind nach den Vorgaben des MU verpflichtet, die Beschaffenheit des zur Trinkwasserversorgung gewonnenen Rohwassers und der Vorfeldmessstellen jährlich zu untersuchen. Die Nitratbelastung des Rohwassers ist hierbei das Hauptkriterium für die Einstufung eines TGG nach dem niedersächsischen Prioritätenprogramm (MU 2007a) (s. Kap. 2.1.3). Untersuchungen auf Pflanzenschutzmittelrückstände werden in der Regel alle drei Jahre durchgeführt. Die Liste der zu untersuchenden Wirkstoffe und Metabolite wird im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Soziales, Gesundheit und Gleichstellung (MS), des MU und des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML) in Abstimmung mit dem NLWKN und der LWK Niedersachsen erarbeitet.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse kann der Entwicklungstrend für einzelne stoffliche Parameter abgeleitet werden, wenn ausreichend lange Zeitreihen vorhanden sind. Zu berücksichtigen ist, dass sich positive Effekte der Grundwasserschutzmaßnahmen in der Regel erst mittel- bis langfristig im Rohwasser widerspiegeln. Durch eine Altersbestimmung mit Isotopenmethoden (s. Kap. 2.7.6.3) können gegebenenfalls genauere Erkenntnisse zu den Fließzeiten des Grundwassers gewonnen werden, sodass abgeschätzt werden kann, wann die Maßnahmenwirkung im Rohwasser eintritt. Auch Änderungen bei der Grundwasserförderung (z. B. Förderraten, angeschlossene Brunnen) können die Rohwasserqualität beeinflussen und sollten bei der Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Rohwasserqualität beachtet werden.

Grundwasseruntersuchung

Grundwassergüteanalysen von Vorfeldmessstellen sind eine wichtige Grundlage für die Bewertung der Belastungssituation, aber auch für die spätere Etablierung eines Untersuchungsprogramms zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen. Sie werden auch für die Ermittlung der Priorität eines TGG herangezogen.

Gebietsrepräsentative Messnetze, die der Untersuchung von stofflichen Belastungen dienen, sind in den TGG meist nicht vorhanden. Für eine räumlich differenzierte Ist-Zustandsanalyse sollten die Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen immer im Zusammenhang mit den hydrogeologischen Erkenntnissen bewertet werden. Von Bedeutung sind Informationen zu den Grundwasserströmungsverhältnissen, zur Filterlage der Grundwassermessstellen sowie zur bisherigen Untersuchungshäufigkeit. Messstellen mit geringen Filtertiefen

(< 5 m unter Grundwasseroberfläche) sind besonders geeignet für die Ist-Zustandsanalyse, da sie die engste räumliche und zeitliche Beziehung zwischen der Landnutzung und der Grundwasserqualität gewährleisten. Zur Bewertung sollten nur Grundwassermessstellen verwendet werden, die im obersten Grundwasserleiter bis maximal 20 m unter Gelände verfiltert sind. So lassen sich Stoffbelastungen im Zuflussbereich von Förderbrunnen frühzeitig erfassen.

Bei der analytischen Betrachtung von Nitrat muss der mögliche Nitratabbau im Untergrund berücksichtigt werden. Werden Grundwassermessstellen mit einer geringen Filterlage unter Gelände für die Bewertung herangezogen, ist meist noch kein Nitratabbau erfolgt und die gesamte zum Grundwasser ausgetragene Nitratkonzentration kann erfasst werden. Beim biochemischen Nitratabbau im Untergrund (Sulfidoxidation) entstehendes Sulfat steht nach Abzug der geogenen Hintergrundbelastung dem Nitrat im stöchiometrischen Verhältnis gleich (MU 2007a). Aufgrund der chemischen Zuordnung kann unter diesen Umständen Sulfat auch als Parameter zur Bewertung der stofflichen Belastung verwendet werden. Liegen Ergebnisse einer N_2/Ar -Untersuchung des Grundwassers (s. Kap. 2.7.9) vor, können diese Ergebnisse auch für eine Bewertung der Nitratbelastung im Grundwasser verwendet werden.

Sickerwassergüte-Untersuchung

Untersuchungen der Sickerwassergüte in der ungesättigten Zone sind vor Beginn der WZB meist nicht vorhanden. Aussagen zur Sickerwasserqualität können als „potenzielle“ Sickerwassergüte aus Bilanzsalden und der Sickerwasserrate abgeleitet werden. Diese Daten werden der kommunalen Agrarstatistik (LSKN 2013) entnommen, die alle drei bis vier Jahre aktualisiert wird (s. Kap. 2.7.5). Es ist zu empfehlen, Analysen der Sickerwassergüte zu Beginn der Beratung sowie in den Folgejahren wiederholt durchzuführen.

Saugkerzen und Lysimeter liefern Sickerwasserproben, deren Analyse Aufschluss über die Sickerwasserkonzentration zu einem bestimmten Zeitpunkt gibt. In der Praxis werden sie meist nur beim Versuchswesen oder bei flachgründigen Standorten genutzt, bei denen andere Methoden der Ist-Zustandserfassung nicht geeignet sind (s. Kap. 2.7.5.1).

Herbst- N_{min} -Untersuchungen ermöglichen die Bewertung der potenziellen N-einträge in das Grundwasser, die durch die landwirtschaftliche Flächennutzung eines Anbaujahrs verursacht werden. Aus dem Herbst- N_{min} -Wert kann anhand der Sickerwasserrate die potenzielle

Nitratbelastung des Sickerwassers errechnet werden (s. Kap. 2.7.4).

Die Ergebnisse von **bodenkundlichen Tiefenprofilen** stellen die Stoffkonzentration im Tiefenverlauf in der ungesättigten Zone dar. Mit dieser Methode kann die Nitratkonzentration im Sickerwasser ermittelt werden. Durch die tiefenabgestufte Untersuchung wird die Höhe der Sickerwasserbildung einschließlich der N-Mineralisationsvorgänge und des Nitratabbaus in der Wurzelzone über die gesamte Vegetationsperiode erfasst. Kann der Tiefenverlauf bis zur Grundwasseroberfläche untersucht werden, ist im Ergebnis die Ableitung der stofflichen Auswaschung aus einer mehrjährigen Flächenbewirtschaftung möglich (s. Kap. 2.7.5.2).

Kalkulatorische Daten

Flächennutzung nach Fruchtarten

Die landwirtschaftliche Nutzfläche wird differenziert in Grünland- und Ackernutzung. Die Ackernutzung wird nach Fruchtarten unterschieden. Die Erfassung dieser Daten erfolgt weitestgehend digital aus den Anträgen auf Agrarförderung (s. Kap. 2.1.1), in denen Angaben zur landwirtschaftlichen Flächennutzung eines Betriebs schlaggenau erfasst sind. Zusätzliche Informationen können durch ergänzende Betriebsbefragungen im Rahmen der WZB aus den Ergebnissen der Erhebungsbögen bzw. aus Ackerschlagkarteien entnommen werden. Je nach Verfügbarkeit sollten diese Daten rückwirkend mindestens für den Zeitraum einer Fruchtfolge ermittelt werden. Empfehlenswert ist aber die Betrachtung eines Zeitraums, der über eine Fruchtfolge hinausgeht. Eine rückwirkende Erfassung der Flächennutzung nach Fruchtarten kann zusätzlich einen Überblick zum Umfang von Nutzungsänderungen, wie dem Umbruch von langjährigen Grünland- oder Brachflächen, geben.

Nährstoffbilanzen

In einer **Schlagbilanz** werden die Nährstoffzufuhr und die Nährstoffabfuhr eines Bewirtschaftungsschlags saldiert (s. Kap. 2.7.3.3). Durch die Verrechnung der Salden mit der Sickerwasserrate kann die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser berechnet werden. Die Flächenanteile der jeweiligen Nutzungsform (Acker oder Grünland) gehen in die Berechnung teil- oder gesamtgebietlicher Mittelwerte ein.

Gemäß Düngeverordnung (BMELV 2009a) müssen landwirtschaftliche Betriebe mit einer landwirtschaftlichen Nutzfläche > 10 ha ihre Nährstoffvergleiche auf Basis von **Feld-Stall-Bilanzen** oder aggregierten Schlagbilanzen eine jährliche Flächenbilanz erstellen (s. Kap.

2.7.3.2). Für diese Bilanz werden neben belegbaren Ausgangsdaten (Mineraldünger, Marktprodukte) berechnete (symbiotische N-Düngung, Wirtschaftsdünger) und zum Teil geschätzte Daten (Futter- und Grünlanderträge) zugrunde gelegt. Aufgrund vieler Schätzdaten ist die Aussagekraft dieses Bilanzansatzes besonders in tierhaltenden Betrieben eingeschränkt.

Bei der **Hoftorbilanz** (HTB) werden die Nährstoffimporte und die Nährstoffexporte eines gesamten Betriebs gegenübergestellt (s. Kap. 2.7.3.1). Die nach der Düngeverordnung anrechenbaren gasförmigen N-Verluste bei der Tierhaltung werden gesondert ausgewiesen. Der N-Saldo der HTB kann ohne Abzug gasförmiger Verluste (Bruttobilanz) oder mit Abzug gasförmiger Verluste (Nettobilanz) angegeben werden. Die Erstellung dieser Bilanz ist somit objektiv und reproduzierbar. Sie ist buchmäßig belegbar und basiert deutlich weniger auf Schätzdaten (BAUMGÄRTEL et al. 2007); deshalb wird sie favorisiert. Der bei der HTB ermittelte N-Saldo wird als Erfolgsindikator für die Düngeberatung und als Indikator für die N-Belastung im TGG herangezogen, wenn mehr als 20 % der Fläche eines landwirtschaftlichen Betriebs im TGG liegen (NLWKN 2012a; (s. Kap. 2.7)).

Für die Bewertung des Ist-Zustands bzw. des Erfolgs der Grundwasserschutzmaßnahmen ist es vorteilhaft, Feld-Stall-Bilanzen bzw. HTB für zurückliegende Jahre zu berücksichtigen.

Durch Kombination der Ergebnisse der HTB und der Schlagbilanz können mögliche Nährstoffüberhänge identifiziert werden. Aufbauend auf diesen Ergebnissen kann der einzelbetriebliche Beratungsbedarf zur Düngung zielgerichtet optimiert werden.

Fazit

Entsprechend der Systematik des Zonenmodells kann durch die Bewertung der Daten der Gebietserfassung für ein Trinkwassergewinnungsgebiet von der Bodenoberfläche bis zur Grundwasseroberfläche eine erste Abschätzung der stofflichen Belastung des Grundwassers abgeleitet werden.

Die Ist-Zustandsanalyse ist die Grundlage für ein fachlich fundiertes und problemorientiertes Vorgehen bei der Planung und Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen. Sie dient gleichzeitig als Vergleichsbasis für die Erfolgskontrolle der Grundwasserschutzmaßnahmen.

2.1.3 Innergebietliche Prioritätensetzung

Für die TGG wird die gesamtgebietliche Handlungspriorität für Grundwasserschutzmaßnahmen nach dem niedersächsischen Prioritätenprogramm (PP) (MU 2007b) bestimmt. Zur Planung, Lenkung und Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen erfolgt eine weitergehende innergebietliche Differenzierung. Die Verschneidung der verschiedenen Informationen wird durch die Verwendung eines geografischen Informationssystems (GIS) und entsprechende Datenbanken erheblich vereinfacht. Diese Systematik ermöglicht einen Überblick über die verschiedenen Daten, die für das TGG in unterschiedlicher Datendichte und Qualität vorliegen. Durch die Erstellung von Auswertungskarten kann die innergebietliche Prioritätensetzung allen Beteiligten in der Trinkwasserschutzkooperation fachlich umfassend und transparent vorgestellt werden. Diese Vorgehensweise erleichtert auch die Entscheidung der Trinkwasserschutzkooperation über den Inhalt der Schutzkonzepte (s. Kap. 2.2) und die Festlegung von Zielgrößen für bestimmte Erfolgsparameter, die nach der Kooperationsverordnung (MU 2007d) gefordert sind.

Ausgehend von den aufbereiteten Informationen aus der Gebietserfassung (s. Kap. 2.1.1), der Ist-Zustandsanalyse (s. Kap. 2.1.2) und gegebenenfalls weiterer Daten aus der Erfolgskontrolle (s. Kap. 2.7) wird durch die Verschneidung der Informationen eine flächenhafte Differenzierung grundwasserschutzrelevanter Risikobereiche vorgenommen. Die innergebietliche Prioritätensetzung sollte im Zuge der Erfolgs- und Effizienzkontrolle immer wieder überprüft und bei Bedarf an veränderte Gebiets- und Nutzungsbedingungen angepasst werden. Es wird zwischen standort- und betriebsbezogenen Prioritäten unterschieden. Bei einer gesamtgebietlichen Bewertung sollte eine gemeinsame Betrachtung der standort- und betriebsbezogenen Priorität erfolgen.

Standortbezogene Prioritätensetzung

Folgende Informationen sind für die innergebietliche Prioritätensetzung bedeutsam (s. Abb. 7):

- Hydrogeologische Informationen (z. B. Grundwasserneubildung, Strömungsverhältnisse, Kenntnisse zum Fördermanagement der Brunnen, Schichtenaufbau aus Schichtenverzeichnissen der Brunnen und Grundwassermessstellen, Daten zur Grundwassergüte)
- Geologische Informationen (z. B. Schutzpotenzial der Deckschichten, Mächtigkeit der ungesättigten Zone)
- Informationen zum Schutzstatus des Wasserschutzgebiets (z. B. Lage und Auflagen in den Schutzzonen)
- Bodeninformationen (z. B. Nitrataustragsgefährdung, Erkenntnisse zu Nährstoffumsetzungs- oder -freisetzungspotenzialen (z. B. bei Auen- oder Niedermoorstandorten), Erosionsgefährdung)
- Flächennutzungsdaten (z. B. Acker, Grünland (Angaben zu Grünlandumbrüchen), Brache, ortsübliche Fruchtfolgen)
- Bewirtschaftungserkenntnisse (z. B. Düngung, N-Flächenbilanzen, Herbst-N_{min})
- Weitere Umweltinformationen (z. B. mit Bezug zur EG-WRRL, zum Naturschutz).

Ein vorgegebenes Verfahren zur Festlegung der innergebietlichen Prioritätensetzung gibt es nicht. Es ist aber sinnvoll, zunächst die flächenbezogenen Daten im GIS zusammenzuführen. Nach der Bewertung der Einzelparameter im Rahmen der Ist-Zustandsanalyse können diese zu einer morphologischen Prioritätenkarte verschnitten werden. Daraus werden anschließend die schlagbezogenen Prioritäten abgeleitet, die für die Beratungsarbeit benötigt werden. Im Ergebnis werden somit Flächen schlagspezifisch nach ihrer Bedeutung zur Umsetzung unterschiedlich spezifizierter Grundwasserschutzmaßnahmen, z. B. auf Basis eines Punktesystems, sortiert. Für die nicht prioritär eingestufteten Flächen des TGG wird im Sinne des flächendeckenden Grundwasserschutzes ein „Basisangebot“ für Beratung und Maßnahmen gemäß den Vorgaben im Prioritätenprogramm angeboten, während für höher prioritäre Flächen eine „Intensivberatung“ sowie weitergehende Flächenmaßnahmen zum Tragen kommen.

Für das weitere Vorgehen, z. B. die Festlegung von Zielflächen für standortspezifische Grundwasserschutzmaßnahmen oder die Entwicklung von Konzepten zur Erfolgskontrolle, werden weitere Daten der Gebietserfassung bzw. der Ist-Zustandsbewertung einbezogen. Gegebenenfalls muss geprüft werden, ob die vorliegenden Daten im Umfang, in ihrer Qualität und Häufigkeit für die weitere Prioritätensetzung genügen oder ob die Erhebung zusätzlicher Daten (z. B. durch den Bau neuer Grundwassermessstellen) erforderlich ist.

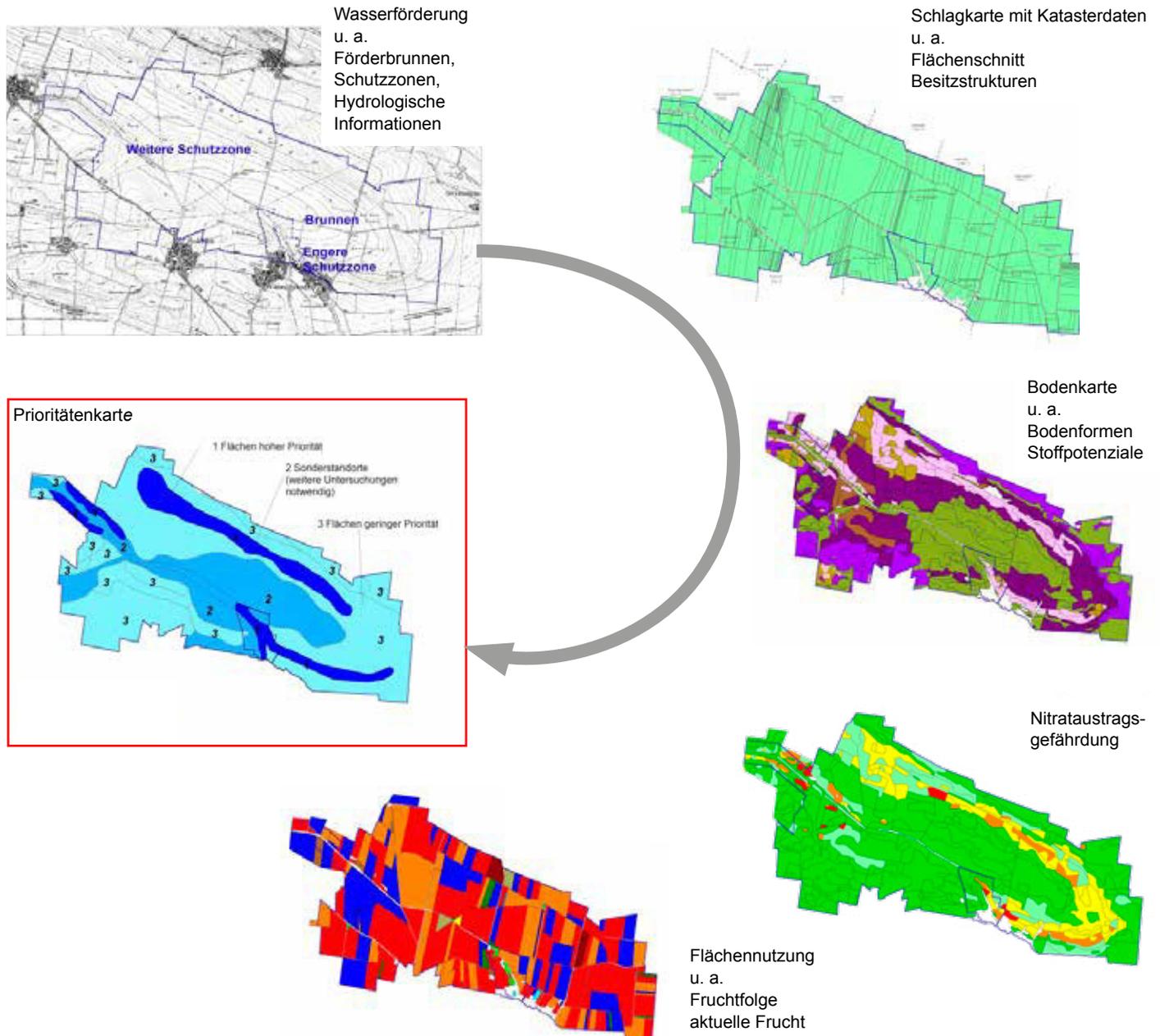


Abb. 7: Digital aufbereitete Informationen aus der Gebietserfassung, der Ist-Zustandsanalyse und der Erfolgskontrolle werden zu einer Prioritätenkarte verschnitten (IGLU 2001).

Betriebsbezogene Prioritätensetzung

Zur zielgerichteten Lenkung der Beratungsaktivitäten innerhalb eines TGG ist eine Prioritätensetzung für die Betriebe sinnvoll. Sie ermöglicht die Identifizierung von Kernbetrieben für die Beratung.

Wesentliche Kriterien für die betriebsbezogene Prioritätensetzung sind:

- die Größe des Betriebs und seiner landwirtschaftlichen Nutzfläche
- der Flächenanteil des Betriebs im TGG (z. B. Anteil prioritärer Flächen, Multiplikatorfunktion)
- Hoftorbilanz für Stickstoff
- der mittlere Viehbesatz
- der N-Anfall pro Hektar aus eigener Viehhaltung sowie importierten organischen Düngern (tierischer Wirtschaftsdünger und Gärreste) und/oder Sekundärrohstoffen.

Bewertungsgrößen:

- 1 Betriebsfläche in C-Gebiet (Bewertungsschlüssel 0,25)
- 2 Betriebsfläche im Gebiet (einfache Wichtung, Bewertungsschlüssel 1)
- 3 Betriebsfläche mit hoher Priorität (doppelte Wichtung, Bewertungsschlüssel 2)
- 4 Stickstoff aus organischen Düngern (gestaffelte Wichtung, Bewertungsschlüssel 1 bis 2,5)

Beratungsgebiet: IG Weser

Betrieb Code-Nr.	LF gesamt (ha)	1		2		3		Flächen- punkte	Flächenpunkte gesamt	Vieh- haltung kg N	Wi/Dü/ SeroDü/ Import kg N	4		Punkte- Summe des Betriebes	erreichter Flächenanteil im Gebiet (%)	
		Priorität Gebiet		Betriebsfläche im Gebiet		Betriebsfläche mit hoher Priorität (NAG 4-5)						Norg-Anfall				
		WSG	LF im Gebiet (ha)	Punkte	Betriebsfläche (ha)	Punkte	Summe Gesamt- betrieb kg N					mittlerer Norg- Anfall kg/ha	Bewertung Faktor			
1	330,0	HM	C	262,8	263	60	120	66	448	13.200	13.200	40	1,5	672	77	
2	361,3	HM	C	316,7	317	8	17	79	413	724	724	2	1	413	170	
3	330,0	EM	B	112,0	112	14	29	0	234	14.688	14.688	45	1,5	351	231	
4	142,0	HM	C	144,5	145	44	89	36	269	5.040	5.040	35	1,25	337	273	
5	365,5	EN	C	63,0	63	0	0	16	257	806	806	2	1	257	344	
6	130,0	GL	C	54,6	55	49	99	14	167	10.471	10.471	81	1,75	292	360	
7	308,0	AM	B	114,6	115	7	14	0	142	13.800	13.800	45	1,5	213	398	
8	48,7	GL	C	39,4	39	27	54	10	104	5.715	5.715	117	1,75	181	410	
9	68,8	GL	C	40,1	40	26	52	10	102	6.059	6.059	88	1,75	179	421	
10	99,0	GL	C	34,5	35	35	69	9	112	4.590	586	52	1,5	168	431	
11	145,3	HA	C	80,2	80	0	0	20	100	7.855	7.855	54	1,5	150	455	
12	124,0	EN	C	71,5	71	5	10	18	99	5.523	5.523	45	1,5	149	476	
13	180,0	AM	B	26,8	27	1	2	0	83	7.200	7.200	40	1,5	125	500	
14	65,4	GL	C	25,5	26	25	51	6	83	6.167	6.167	94	1,75	145	507	
15	130,0	HM	C	103,2	103	7	14	26	143	0	0	0	1	143	538	
		0,25		1,0		2,0		0,25								
												<	20	1		
												<	40	1,25		
												<	80	1,5		
												<	120	1,75		
												<	160	2		
												<	200	2,25		
												>=	200	2,5		

Abb. 8:
Beispiel zur Festlegung
der Beratungspriorität
landwirtschaftlicher
Betriebe in TGG
(GERIES INGENIEURE
GmbH 2009)

Zur Festlegung der Beratungspriorität landwirtschaftlicher Betriebe werden aufgrund der gebietsspezifischen Rahmenbedingungen betriebliche Prioritätenklassen gebildet. Durch eine entsprechende Gewichtung einzelner Kriterien (z. B. hoher Viehbesatz) ergibt sich für jeden Betrieb eine bestimmte Gesamtpunktzahl. Abbildung 8 zeigt ein Punkteschema (INGUS 2003), mit dem die Ergebnisse der flächenbezogenen Prioritätensetzung und der Anfall an organischem Stickstoff (N_{org}-Anfall) des Betriebs zur gesamtbetrieblichen Prioritätenbewertung zusammengeführt werden. Dabei werden Flächen mit hoher Priorität dreifach im Vergleich zu den übrigen Flächen des Betriebs bewertet. Der N_{org}-Anfall von 160 kg Stickstoff führt zu einer Verdopplung der Punktesumme. Entsprechend der Gesamtpunktzahl wird eine Prioritätenliste aller Betriebe in einem TGG, abgestuft in eine geringe, mittlere oder hohe einzelbetriebliche Beratungspriorität, erstellt. Eine kontinuierliche Überprüfung und Anpassung der Prioritätenliste ist sinnvoll.

Ziel der Einstufung ist die Erkennung des Handlungsbedarfs an speziellen gesamtbetrieblichen oder überbetrieblichen Maßnahmen in landwirtschaftlichen Betriebszweigen, Nutzungssystemen oder Betrieben und ihre Umsetzung im Rahmen der WZB.

Fazit

Die innergebieliche Prioritätensetzung stellt die Grundlage für eine effiziente Planung und Umsetzung von Maßnahmen in Trinkwassergewinnungsgebiet dar. Durch die Ermittlung von schlaggenauen prioritären Flächen und prioritären landwirtschaftlichen Betrieben können der Beratungsbedarf sowie gezielte Flächenmaßnahmen und die Maßnahmen zur Erfolgskontrolle fachlich begründet hergeleitet werden.

2.2 Schutzkonzepte

Das Schutzkonzept ist die Grundlage zur Planung und Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen in TGG. Die Vorlage eines Schutzkonzepts durch das geschäftsführende WVU einer Trinkwasserschutzkooperation ist in Niedersachsen Voraussetzung für die Inanspruchnahme von Finanzmitteln für Grundwasserschutzmaßnahmen in TGG (MU 2007d). Finanzmittel werden durch das Land Niedersachsen für Vorhaben zum Trinkwasserschutz gemäß Prioritätenprogramm (MU 2007b) bereitgestellt. Mit der Einstufung eines TGG in einen Handlungsbereich gibt das Prioritätenprogramm einen Rahmen vor, auf dessen Grundlage die Intensität der Beratung und Maßnahmenumsetzung in Abhängigkeit von der innergebietlichen flächen- oder betriebsspezifischen Grundwasserschutzpriorität festgelegt wird (s. Kap. 2.1.3).

Inhaltliche Struktur/Aufbau

Schutzkonzepte beschreiben als Planungs- und Umsetzungsgrundlage die Ziele in dem /den TGG der Trinkwasserschutzkooperation. Sie enthalten die gebietlichen Grunddaten und das an die Standortverhältnisse angepasste Umsetzungskonzept für die Beratung, Flächenmaßnahmen sowie die begleitende Erfolgskontrolle. Außerdem enthält das Schutzkonzept eine Kostenaufstellung der geplanten Einzelleistungen. Ein Schutzkonzept ist für einen Zeitraum von fünf Jahren angelegt. Anpassungen des Schutzkonzepts aufgrund von Veränderungen in den TGG sind innerhalb des Umsetzungszeitraumes möglich. Wird ein Schutzkonzept für mehrere TGG (i. d. R. für alle TGG einer Kooperation) erstellt, ist es sinnvoll, die Daten der einzelnen TGG in Steckbriefen übersichtlich zusammenzustellen.

Nachfolgend werden die Inhalte des Schutzkonzepts beschrieben:

1. Kurzbeschreibung der Ausgangssituation

Einleitend erfolgt die Beschreibung des Gebiets. Inhaltliche Aspekte sind im Wesentlichen:

- Gebietsdaten (Größe, Trinkwassergewinnung)
- Stofflich-analytische Parameter zur Sickerwasser-, Grund- und Rohwasserqualität
- Daten zum Naturraum, zur Flächennutzung und zur Bodenkunde
- Agrarstruktur und landwirtschaftliche Flächennutzung,



- und der Umsetzungsstand der Wasserschutzaktivitäten.

2. Beschreibung der Belastungsschwerpunkte

Die vorliegenden Kenntnisse zu standörtlichen und nutzungsbedingten (i. d. R. durch landwirtschaftliche Nutzung) Belastungsschwerpunkten werden beschrieben. Sie werden im Rahmen der Gebietserfassung ergänzt und in die Ist-Zustandsanalyse (s. Kap. 2.1) einbezogen.

3. Herleitung des Maßnahmenbedarfs

In diesem Abschnitt werden die Beratungsleistungen der WZB, die geplanten Flächenmaßnahmen auf der Grundlage der innergebietlichen Prioritätensetzung sowie das Monitoring für die gezielte Erfolgskontrolle der Maßnahmen beschrieben.

4. Nennung der Ziele

Die während der fünfjährigen Umsetzung des Schutzkonzepts angestrebten Ziele der Beratungs- und Maßnahmenumsetzung werden beschrieben.

5. Darstellung der zu erwartenden Ergebnisse

Ausgehend vom Ist-Zustand (s. Kap. 2.1.2) werden für die Ziele anhand geeigneter, Erfolgsindikatoren (s. Kap. 2.7 ff) konkrete Zielwerte festgelegt.

6. Kostenplan

Für den Umsetzungszeitraum eines Schutzkonzepts wird ein Kostenplan erstellt, der die zu erwartenden Kosten, differenziert in Beratungs- und Flächenmaßnahmen darstellt.

Fazit

Mit dem Schutzkonzept wird ein fünfjähriger fachlicher Rahmen für die Umsetzung von Trinkwasserschutzmaßnahmen festgelegt. Auf der Basis der gebietlichen Voraussetzungen werden die erforderlichen Arbeitsschritte und Maßnahmen im Schutzkonzept erläutert. Zur Erfolgsbewertung werden Ziele anhand von konkreten Zielgrößen definiert.



2.3 Beratung

Der zentrale Baustein für die Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen ist die grundwasserschutzorientierte landwirtschaftliche, erwerbsgärtnerische und forstwirtschaftliche Beratung. Die Beratung und Information der Kooperationspartner vor Ort, in erster Linie der Landwirte, aber auch der Forstwirte und der beteiligten WVU ist die Grundlage für eine nachhaltige Sicherung der Grundwasserqualität. Die WZB erarbeitet unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse (Boden, Klima, Fruchtfolge) gemeinsam mit den Betroffenen zielorientiert Lösungen, wie eine grundwasserschonende Bewirtschaftung umgesetzt werden kann. Ziel der WZB ist es auch, neue wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich Boden - Wasser sowie neue landwirtschaftliche Produktionsverfahren und -techniken, die dem Grundwasserschutz dienen, in die Beratung der Land- und Forstwirte einzu beziehen. Außerdem informiert die WZB über die aktuellen agrarpolitischen Rahmenbedingungen und geltende Rechtsvorschriften und deren praktische Umsetzung in den TGG.

Wesentliche Arbeitsschwerpunkte der WZB sind:

- die Erstellung, Moderation und Diskussion der Inhalte des Schutzkonzepts mit den Kooperationsbeteiligten,
- die Entwicklung von standort- und betriebsspezifischen Grundwasserschutzmaßnahmen zur Verminderung des flächenhaften Stoffaustrags,
- die Beratung der Land-, Forstwirte und Erwerbsgärtner und die Vermittlung von Grundwasserschutzmaßnahmen,
- die kontinuierliche Information zwischen den Kooperationsbeteiligten über laufende Grundwasserschutzmaßnahmen sowie die Umsetzung des Konzepts zur Erfolgskontrolle.

Leistungen der Beratung

Die Aufgaben der WZB lassen sich in vier Themenblöcke gliedern (Anlage 1, MU 2014):

1. die Erhebung, Aktualisierung und Auswertung von Grundlagendaten (s. Kap. 2.1)
2. die Einzelbetriebliche Beratung und Gruppenberatung (s. Kap. 2.3)
3. begleitende Untersuchungen und Versuche zu Beratungsinhalten (z. B. Düngeversuche) (s. Kap. 2.3.7) und zu den Flächenmaßnahmen (s. Kap. 2.4)
4. die Erfolgskontrolle der Wirkungseffekte der Beratungsleistungen und Flächenmaßnahmen (s. Kap. 2.7).

Die Inhalte, der Umfang und die Ziele der einzelnen Beratungsleistungen werden in dem für fünf Jahre geltenden Schutzkonzept detailliert beschrieben.

Instrumente zur Umsetzung der Beratung

Aufbauend auf den standörtlichen Rahmenbedingungen stehen je nach erforderlicher Beratungsintensität unterschiedliche Instrumente zur Verfügung:

Einzelbetriebliche Beratung

Die einzelbetriebliche Beratung ist die intensivste Form, da auf Betriebsebene grundwasserschutzrelevante Fragen direkt mit dem Landwirt thematisiert und abgestimmt werden. Dabei stehen pflanzenbauliche Fragen im Vordergrund, insbesondere die Beratung zur Düngung vor, zu Beginn und während der Vegetationsperiode bzw. bei schwierigen Standortverhältnissen (z. B. für Standorte mit erhöhter N-Nachlieferung). Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Beratung zum gesamt- und überbetrieblichen Nährstoffmanagement. Weitere relevante Beratungsthemen sind die Pflanzenschutzberatung, der ökologische Landbau und die Beratung zum Erwerbsgartenbau sowie zur Baumschulwirtschaft.

Vorrangig wird die einzelbetriebliche Beratung für Betriebe angeboten, die aufgrund der Prioritätensetzung im TGG einen hohen Beratungsbedarf zur Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen aufweisen. Zudem können auch Betriebe mit geringerer Priorität eine einzelbetriebliche Beratung erhalten, wenn z. B. der Abschluss von Grundwasserschutzmaßnahmen auf einzelnen prioritären Flächen im Vordergrund steht (s. Kap. 2.1.3).

Gruppenberatung / Feldbegehung

Neben der einzelbetrieblichen Beratung führt der Wasserschutzzusatzberater in der Vegetationsphase Feldbegehungen und Versuchsbesichtigungen mit den Landwirten in den TGG durch. Dabei werden aktuelle Fragen zum Entwicklungsstand der Pflanzen, zur Düngung sowie zum Pflanzenschutz mit den Landwirten direkt auf der Fläche diskutiert. Themenbezogen werden weitere Fachberater, z. B. Pflanzenschutzberater in die Feldbegehungen eingebunden. Es besteht die Möglichkeit, anhand gebietsspezifischer Frühjahrs-N_{min}-Ergebnisse und der Nitratecheck- oder N-Tester-Ergebnisse sofort Dünge- und Pflanzenschutzempfehlungen für eine optimale Pflanzenentwicklung zu geben.

Rundbriefe / Infoschreiben

Rundbriefe sind für die kontinuierliche und umfassende Information aller Kooperationsbeteiligten und weiterer Interessierter ein unverzichtbares Instrument. Zu folgenden Themen wird in den Rundbriefen informiert:

- aktuelle Fragen des gebietsspezifischen Pflanzenbaus, insbesondere der Düngung und des Pflanzenschutzes
- Ergebnisse der begleitenden Untersuchungen sowie Auswertungen der Erfolgskontrolle
- Informationen zum aktuellen MU-Maßnahmenkatalog der Freiwilligen Vereinbarungen
- Informationen zu Terminen und Fristen zur Einhaltung von Rechtsvorschriften sowie zu Aktivitäten der WZB, wie Gruppenberatungen, Feldrundfahrten und Informationsveranstaltungen.

Kooperationssitzungen, Arbeitskreise, Informationsveranstaltungen

In den Trinkwasserschutzkooperationen sind die für die TGG zuständigen WVU und die dort wirtschaftenden Landwirte organisiert. In gleichberechtigter Zusammenarbeit beschließen sie z. B. die Grundwasserschutzmaßnahmen in den TGG. Dazu werden seitens der Landwirte Vertreter gewählt, die die Belange der Bewirtschafter

der TGG in der Kooperation vertreten und mit dem geschäftsführenden WVU gemeinsam in Stimmgleichheit entscheiden. Im Rahmen von Arbeitskreisen werden regionale Grundwasserschutzmaßnahmen und Konzepte gemeinsam mit dem Wasserschutzzusatzberater erarbeitet, die dann in einer Kooperationssitzung diskutiert und beschlossen werden.

Informationsveranstaltungen finden meist einmal jährlich statt. Dort werden den Kooperationsbeteiligten und Gästen (z. B. NLWKN, UWB, LWK) die jährlichen Ergebnisse der WZB vorgestellt, und es wird die weitere Vorgehensweise auf der Grundlage des Schutzkonzepts diskutiert. Zu speziellen Fachthemen (z. B. GPS-Einsatz Precision Farming, elektronische Ackerschlagkarteien) können Gastreferenten eingeladen werden.

Die Landwirte, die als Vertreter der in den TGG wirtschaftenden Betriebe an den Arbeitskreisen teilnehmen und als Kooperationslandwirte gewählt wurden, treten gleichzeitig als Multiplikatoren auf, wenn es darum geht, wichtige Informationen und Neuerungen an die Landwirte weiterzugeben.

Feldrundfahrten

Bei Feldrundfahrten werden allen Kooperationsmitgliedern sowie der interessierten Öffentlichkeit die regionalen Grundwasserschutzaspekte und die umgesetzten Trinkwasserschutzmaßnahmen vorgestellt. Anhand von Demonstrationsversuchen, Bodenprofilen sowie Geräte- und Anwendungsvorführungen werden praxisnah wasserwirtschaftliche und landwirtschaftliche Ergebnisse präsentiert und diskutiert. Auch externe Fachreferenten können zur Informationsvermittlung neuer Erkenntnisse zu den Feldrundfahrten eingeladen werden. Die WZB erstellt zur Veranschaulichung Poster und Informationsunterlagen.

Weitere Instrumente der Beratung zur Präsentation und Vermittlung der Grundwasserschutzarbeit in der Trinkwasserschutzkooperation sind:

- Internetinformationen über die Homepages der kooperationsbeteiligten WVU bzw. Beratungsträger. Auf diesen Plattformen können Rundbriefe, Presseartikel und Berichte der Öffentlichkeit präsentiert werden. Damit ist für alle Interessierten ein Überblick über die zurückliegenden und aktuellen Grundwasserschutzaktivitäten möglich.
- Informationstransfer zu aktuellen Themen über lokale und überregionale (Fach)medien.
- Öffentlichkeitsarbeit durch Präsenz bei Wassertagen, Feldtagen und Vorträgen auf Fachveranstaltungen.

2.3.1 Beratung zur Düngung

Kurzcharakteristik

Je besser die Düngung an die Standortbedingungen, die realistische Ertragsleistung und den unmittelbaren pflanzlichen Nährstoffbedarf der Ackerkulturen bzw. Grünlandnutzungen angepasst ist, umso geringer sind die Risiken für die Gewässer. Insofern definiert die Düngeverordnung (DüV, BMELV 2007) in § 2 den „Düngebedarf“ im Sinne des Gewässerschutzes sehr eindeutig, als die „Nährstoffmenge, die den Nährstoffbedarf einer Kultur nach Abzug sonstiger verfügbarer Nährstoffmengen und unter Berücksichtigung der Nährstoffversorgung des Bodens abdeckt“.

Ausgehend hiervon sind die Überdüngung landwirtschaftlicher Flächen (z. B. durch Sicherheitszuschläge oder durch zu geringe Anrechnung des Stickstoffs aus organischen Nährstoffträgern) und Düngegaben zur falschen Zeit (z. B. Gülleausbringung im Herbst) die Hauptgründe für hohe Nährstoffbelastungen von Gewässern, insbesondere des Grundwassers. Im Fokus stehen Stickstoff (N)- und Phosphor (P)-belastungen, letztere insbesondere in Oberflächengewässern. Neben der Nährstoffbilanzierung (s. Kap. 2.7.3) und den Flächenmaßnahmen (s. Kap. 2.4) ist daher die Beratung zur Düngung die zentrale Aufgabe in der WZB, die in den TGG und in der EG-WRRL Maßnahmenkulisse Nitratreduktion angeboten wird.

Eine gewässerschutzorientierte Düngeberatung ist auf eine optimale Ertragsbildung ausgerichtet. Sie legt einen hohen Wert auf eine jahres- und schlagbezogene Feinsteuerung der mengenmäßigen Düngung, der Terminierung und Verteilung und setzt hierfür verschiedene Instrumente ein. Damit lassen sich deutliche Düngeeinsparungen und eine verbesserte Effizienz gegenüber der noch erfahrungsgemäß weit verbreiteten Grobabschätzung des Düngebedarfs erzielen. Als weiterer Effekt kommt die Minimierung von Düngerabschwemmungen in Fließ- und Stillgewässer hinzu.

Begriffsbestimmungen, Bausteine und Ablauf

Der Dachbegriff „Düngeberatung“ umfasst eine Vielzahl einzelner Beraterkenntnisse und -aufgaben folgender Bereiche:

- Grundlagen und Verpflichtungen des Düngerechts (Düngegesetz (BMELV 2009a), Düngemittelverordnung (DüMV, BMELV 2012b) und Düngeverordnung (BMELV 2007)

- Düngebedarfsermittlung“ als zentraler Teil der DüV, ergänzt um weitergehende Konkretisierungen und Modifizierungen für den Gewässerschutz

- Beratung zu Düngeverfahren und Düngetechniken.

Die folgenden Kapitel 2.3.1.1 bis 2.3.1.8 befassen sich mit den Möglichkeiten der nutzungs- und standortspezifischen Ermittlung des Düngebedarfs sowie der Feinsteuerung der Düngung für den Betrachtungszeitraum eines ganzen Düngejahrs, definiert ab der Ernte der Vorfrucht bis zu Ernte der Hauptfrucht.

Die Ansätze zur Ermittlung des Düngebedarfs sowie dafür geeignete Planungs- und Empfehlungshilfen werden im Idealfall in einer bestimmten zeitlichen Aufeinanderfolge angewendet. Der Düngebedarf wird im Ackerbau standort- und fruchtartspezifisch bzw. bei Grünland für unterschiedliche Standorte, Nutzungsarten und -intensitäten differenziert ermittelt. Wesentliche Bausteine und der Ablauf einer gewässerschutzorientierten Düngeberatung werden in Abbildung 9 dargestellt und nachfolgend beschrieben. Die Umsetzungsintensität kann dabei in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen (z. B. Handlungspriorität) variieren.

1. Vorabmaßnahmen zur Ermittlung des Handlungsbedarfs für eine gesamtbetriebliche, schlagbezogene Düngeplanung:
 - a) Die jahresechte (Ernteperiode) Hoftorbilanzierung für Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) mit Schwachstellenanalyse zur Ermittlung der Ursachen erhöhter Nährstoffüberschüsse erfolgt mindestens für drei zurückliegende Erntejahre (z. B. Bilanzjahre 2009 bis 2011 für die Düngeplanung 2013).
 - b) Die vereinfachte, jahresechte Herleitung des gesamtbetrieblichen Düngebedarfs (für N, P und K) und Gegenüberstellung zur tatsächlich durchgeführten Düngung erfolgt anhand der Aufzeichnungen zum Nährstoffvergleich § 5 DüV. Die ermittelte Differenz zwischen Düngebedarf und tatsächlicher Düngung gibt erste Hinweise zur Größenordnung möglicher Düngeeinsparpotenziale für N, P und K. Die Methode ist in einigen Bundesländern bereits Bestandteil von EDV-Programmen zum Nährstoffvergleich (s. LWK Niedersachsen: WEB-Module-Düngung, Teilmodul „N-Düngeoptimierer“ (LWK NIEDERSACHSEN 2013k) bzw. LWK Nordrhein-Westfalen: Nährstoffvergleich, Teilmodul „N-Düngeüberhang-Bewertung“ (LWK NORDRHEIN-WESTFALEN 2013c)).

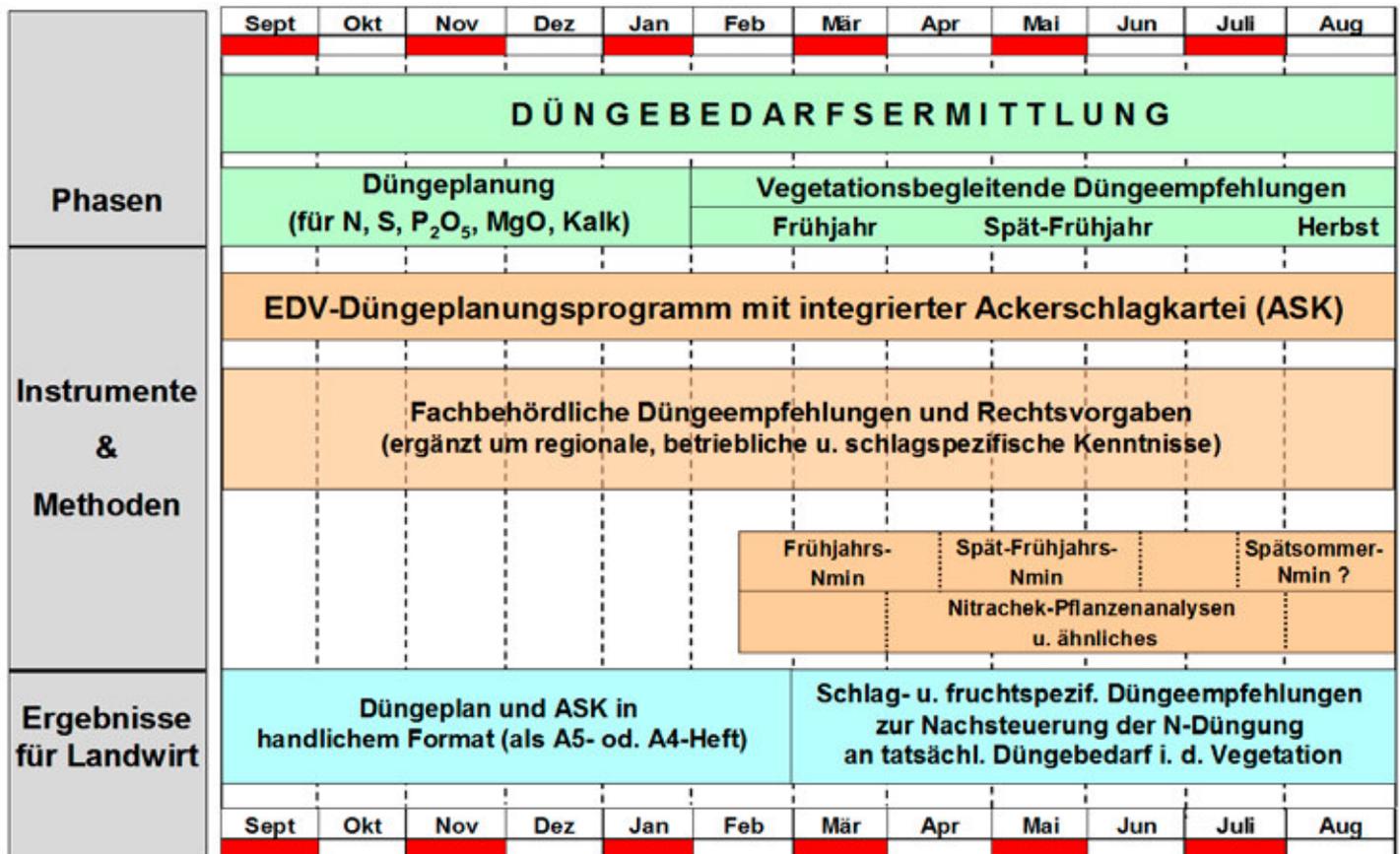


Abb. 9: Werkzeuge zur Steigerung der Düngeneffizienz und deren Einsatz im Jahresverlauf (ANTONY et al. 2013)

Sofern die Schwachstellenanalyse der Hoftorbilanzen Dünger bedingt überhöhte Nährstoffüberschüsse ergibt, besteht Handlungsbedarf zur Verbesserung der einzelbetrieblichen Düngeneffizienz. Hierfür haben sich die nachfolgenden Beratungsansätze bewährt.

- Die jährliche gesamtbetriebliche, schlagbezogene Düngeplanung im Sommer/ Herbst (rechtzeitig vor Beginn der Herbst- und Frühjahrsdüngung des folgenden Erntejahrs) ist für alle Nährstoffe (auch Grundnährstoffe und Kalk) und für jeden Einzelschlag eines Betriebs aufzustellen (s. Kap. 2.3.1.1). Hierzu werden „geeignete“ EDV-Programme möglichst mit integrierter Ackerschlagkartei zur Dokumentation der tatsächlichen Düngung eingesetzt. Die Programme sollten bestehende fachbehördliche Konkretisierungen zur DüV (z. B. Empfehlungen zur Begrenzung der Herbstdüngung), gebiets- und schlagspezifische Zu- und Abschläge (z. B. Vorfrucht- und Zwischenfruchteffekte, N-Nachlieferung des Bodens) sowie vorhandene Düngeauflagen in WSG enthalten und automatisiert berücksichtigen. Eine wesentliche Aufgabe ist zudem die optimale (bedarfsrechte) Verteilung organischer Dünger möglichst unter Berücksichtigung analysierter

Nährstoffgehalte und die Bepflanzung der Grundnährstoffdüngung gemäß vorhandener Bodenanalysen. So eingesetzt, ist dieses Instrument deutlich mehr als nur eine Düngereinkaufsplanung.

- Die Düngeempfehlungen zu Vegetationsbeginn im Frühjahr (s. Kap. 2.3.1.2) ermöglichen die erste frucht- und schlagspezifische Anpassung der zuvor durchgeführten Düngeplanung an den aktuellen Kulturzustand nach Ablauf des zurückliegenden Winters. Die Empfehlungen erfolgen schwerpunktmäßig für Stickstoff anhand von Frühjahrs-N_{min}-Werten, in begrenztem Umfang auch für Schwefel auf Basis von Frühjahrs-S_{min}-Werten. Die jährlichen Untersuchungsumfänge (Anzahl beprobter Schläge insgesamt, beprobte Schläge pro Frucht und Bodenform) in TGG oder Beratungsgebieten der EG-WRRRL liegen deutlich über den Umfängen fachbehördlicher Programme zur Ermittlung von N_{min}-Richtwerten und sind stärker regionalisiert. Die Ergebnisse werden für detaillierte Düngeempfehlungen für die beprobten Schläge herangezogen sowie in zusammengefassten Ergebnissen und Düngeempfehlungen für jede Hauptkultur über Rundschreiben verbreitet.

4. Die anschließende vegetationsbegleitende Düngeberatung im Frühjahr und Sommer ist ein weiterer Baustein zur Vermeidung unnötiger Düngergaben bzw. zur optimalen zeitlichen Platzierung und Mengenbemessung von Düngergaben (gezielte Nachdüngung) (s. Kap. 2.3.1.3). Insbesondere für Stickstoff stehen spezifische Methoden zur Verfügung (z. B. Spätfrühjahrs- N_{\min} (SFN), Nitrachek-Pflanzensaftanalysen, Chlorophyllmessung mit dem Hydro-N-Tester). Die vegetationsbegleitende Düngeberatung dient der witterungs- und standortbedingten Anpassung (Feinststeuerung) der vorausgegangenen gesamtbetrieblichen Düngeplanung und N_{\min} -basierten Düngeempfehlungen zu Vegetationsbeginn. So können pauschale Annahmen in der Düngeplanung, z. B. Düngeabschläge für Vor- und Zwischenfruchteffekte sowie die N-Nachlieferung humusreicher Böden während der Vegetation jahresspezifisch berücksichtigt werden (s. Kap. 2.3.1.5).
 5. Häufig wird die Notwendigkeit einer eigenständigen Düngeberatung im Herbst (s. Kap. 2.3.1.5) unterschätzt. Gerade hier kann jede nicht bedarfsgerechte Düngung nach Ernte der Hauptfrucht wegen der Düngeterminierung vor Beginn der winterlichen Sickerwasserspende zu einer unmittelbaren Grundwasserbelastung bzw. bei Abschwemmung auch zu einem Eintrag in Oberflächengewässer führen. Die Düngung im Herbst hat in den letzten Jahren wegen des starken Verbringungsdrucks organischer Dünger (insbesondere Gülle und Gärreste) und der generellen Intensitätssteigerung im Ackerbau (z. B. Herbstdüngung zu Winterraps, verstärkt auch zu Getreide) deutlich zugenommen. Während innerhalb WSG hierzu oft Begrenzungen bestehen, ist die Herbstdüngung außerhalb der Schutzgebiete häufig eine Hauptursache für Nährstoffeinträge vor allem in das Grundwasser und bedarf geeigneter gesetzlicher und beratungsseitiger Minderungsstrategien.
 6. Bei den Düngemitteln sind organische Dünger wegen ihrer N-wirkung von besonderer Bedeutung. Wesentlich für eine grundwasserschonende Anwendung von Wirtschaftsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft (Gärreste) und sonstiger organischer Dünger sind ausreichende Lagerkapazitäten sowie bodenschonende und emissionsarme Ausbringetechniken mit guter Verteilgenauigkeit sowie eine an den Standort, die Bewirtschaftung und den Düngebedarf der Pflanzen angepasste Ausbringungsmenge (s. Kap. 2.3.1.6). Die rechtlichen Vorgaben zu Art, Menge, Mindestanrechenbarkeiten und zu den Ausbringungszeiten organischer Dünger durch die DüMV, die DüV, die Verordnung über Schutzbestimmungen in WSG (SchuVO) einschließlich fachbehördlicher Umsetzungsempfehlungen sind zu beachten, ebenso Auflagen der örtlichen WSG-Verordnungen und gegebenenfalls weiterer Auflagen zum Zwecke anderer Schutzziele (z. B. Naturschutz). Hinzu kommen Regelungen in weiterführenden Nutzungsvereinbarungen wie FV in den Kooperationen und Agrarumweltprogramme. Alle vorgenannten Bausteine sind Teil eines Nährstoffmanagements auf Betriebsebene, das die weitgehende Sicherstellung eines an den tatsächlichen Düngebedarf der Betriebsflächen angepassten Düngemittleinsatzes gewährleistet. Sie werden ergänzt durch gesamtbetriebliche Berechnungsverfahren, wie z. B. den „Qualifizierten Flächennachweis für organische Dünger (QFN)“ zur Sicherstellung eines pflanzenbedarfsgerechten und ordnungsgemäßen Einsatzes organischer Nährstoffträger und dem sogenannten „N-Dünge-Optimierer“, der einen Abgleich der tatsächlichen Düngung gegenüber dem Düngebedarf nach der N-Sollwert-Methode vornimmt. Damit wird eine auf den Betrieb bezogene Überdüngung vermieden bzw. werden Überschussmengen organischer Dünger erfasst, die dann überbetrieblich verwertet werden müssen (s. Kap. 2.3.1.7).
 7. Die abschließende Erfolgskontrolle der Düngeberatung (z. B. für Stickstoff) beinhaltet:
 - a) den Vergleich der Düngeempfehlung (gemäß schlagbezogener Düngeplanung und vegetationsbegleitender Düngeberatung) mit der tatsächlichen Düngung (z. B. gemäß Nährstoffvergleich oder Ackerschlagkartei). Die Differenz zeigt, wie gut die Beratungsempfehlungen umgesetzt und welche weiteren Düngereinsparpotenziale bestehen.
 - b) die Ermittlung der erreichten N-Düngeeffizienz (Verhältnis N-Abfuhr zu N-Düngezufuhr (netto, anrechenbar)) auf Basis von Flächenbilanzen (Schlagbilanzen, kumulierte Schlagbilanzen oder Feld-Stall-Bilanz).
- Generell ist bei der Bewertung von berechneten „Nährstoffeffizienzen“ zu beachten, dass wesentliche Einflussfaktoren wie die Witterung (Niederschläge, Luft- und Bodentemperaturen) nicht beeinflussbar sind. Selbst bei optimaler Planung und Durchführung von Düngungsmaßnahmen können im Einzeljahr ungünstige Witterungsverhältnisse geringe N-Ausnutzungsgrade bedingen. Eine mehrjährige Betrachtungsweise ist deshalb unabdingbar.

Für eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung ist es wichtig, dass geplante Düngungsmaßnahmen an die tatsächliche Bestandsentwicklung im Vegetationsverlauf und gegebenenfalls eintretende Sonderereignisse angepasst werden.

Zudem hängt die N-Wirkung organischer Dünger wesentlich von den Nährstoffgehalten sowie deren Bindungsformen ab, die stark variieren können. Eine Aussage speziell zu N-Anrechenbarkeiten sowie erreichbaren „N-Effizienzen“ wird umso ungenauer, je mehr verschiedene organische Dünger im Betrieb eingesetzt werden (s. Kap. 2.3.1.6).

Grundanforderungen

Folgende rechtliche und fachbehördliche Vorgaben bzw. Empfehlungen bilden die Basis der angewandten Beratungsansätze, Methoden und Instrumente (insbesondere EDV-Programme):

1. Vorgaben des landwirtschaftlichen Fachrechts (insbesondere die DüV) und erweiterte Konkretisierungen (Vorgaben und Empfehlungen) der LWK Niedersachsen als zuständige Düngebehörde (z. B. LWK NIEDERSACHSEN 2013c):
 - die N-Sollwert-Methode auf Basis von N_{\min}
 - N-Mindestanrechenbarkeiten f. organische Dünger
 - Düngeempfehlungen zur Höhe von Grundnährstoffgaben (Phosphor, Kalium, Schwefel, Magnesium) und Kalkgaben in Abhängigkeit von Bodengehaltsanalysen (Gehaltsklassen A bis E).
2. Weitergehende, die Düngung betreffende Regelungen in Verordnungen über Schutzbestimmungen in WSG hierzu gehören:
 - die niedersächsische Landesverordnung über Schutzbestimmungen in WSG (MU 2009)
 - örtliche WSG-Verordnungen.

Die rechtlichen Vorgaben und die Empfehlungen der Düngebehörde bilden die Eckpfeiler für eine ordnungsgemäße Düngung. In deren Mittelpunkt steht die Erzielung betriebswirtschaftlicher Optimalerträge (sogenanntes ökonomisches Optimum), wonach die Ertragszuwächse (s. Abb. 10) im oberen, meist flachen Teil der Ertragskurve nur durch überproportional hohe Düngergaben vor allem bei Stickstoff erzielt werden können. Dies führt zu erhöhten ökologischen Risiken für die Gewässer, die mit abnehmender Standortgüte und Ertragserwartung nochmals zunehmen.

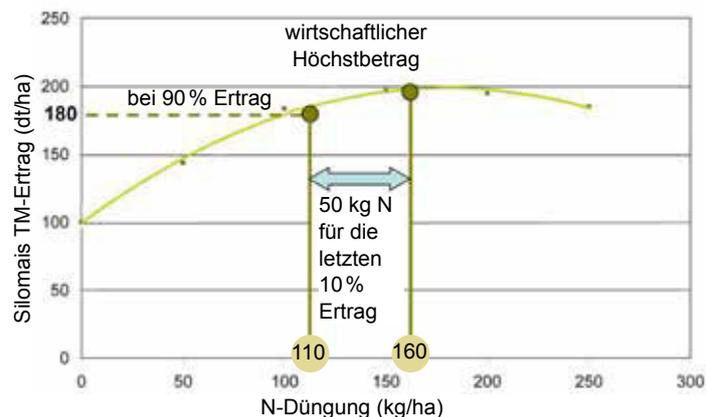
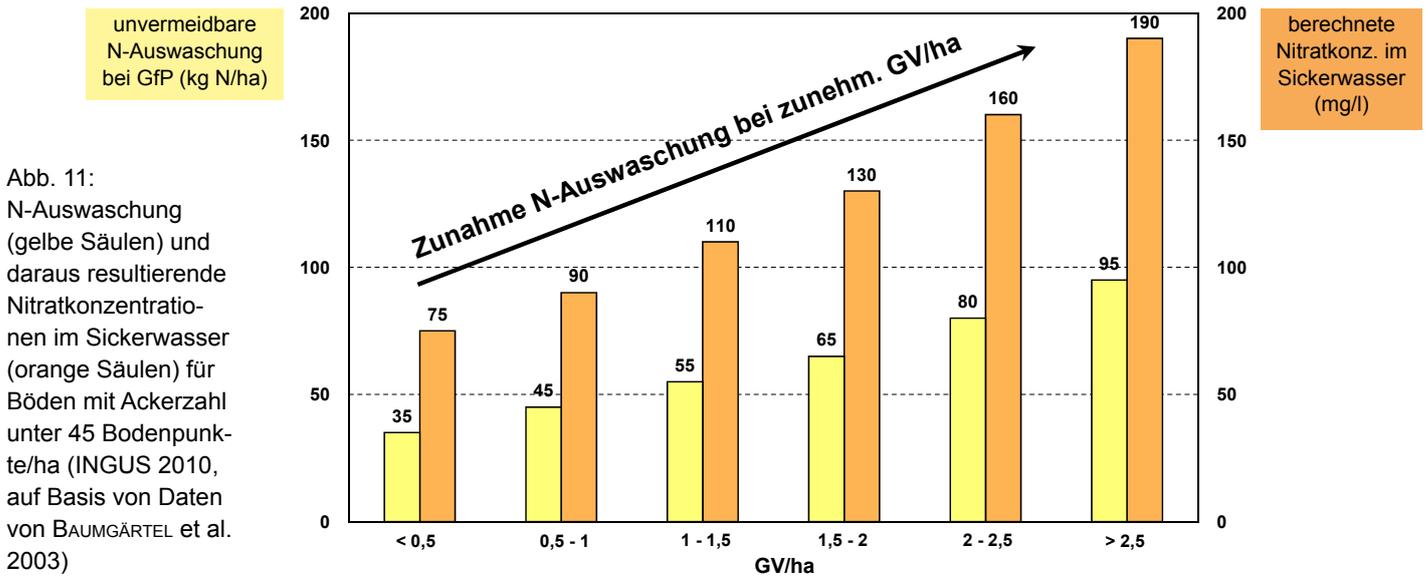


Abb. 10: Überproportionaler N-Düngeaufwand für die letzten 10% Ertrag (hier Bsp. Trockenmasseertrag Silomais – Sandboden)

Die Risiken für Gewässer, insbesondere des Grundwassers steigen, wenn statt der gut steuerbaren Mineraldünger organische Nährstoffträger mit ihrem weniger gut steuerbaren N-Anteils eingesetzt werden. Bei der Düngung mit organischen Nährstoffträgern werden oft die Gesamt-N-Gehalte über die Mindestanrechenbarkeit nur anteilig gewertet, sodass die nicht angerechneten Anteile die Ökosysteme erheblich belasten können. Die bisher für die langjährige organische Düngung eingeführten, vergleichsweise geringen N-Düngeabschläge reichen als Kompensation zur Verringerung des Düngeaufwands kaum aus. Hinzu kommen mögliche Fehler bei der Probenentnahme für Wirtschaftsdüngeranalysen. Bei nicht ausreichender Durchmischung organischer Flüssigdünger kommt es oftmals zu einer Unterschätzung der Nährstoffgehalte.

Eine wesentliche Aufgabe der WZB ist es daher, die fachbehördlich empfohlenen Mindestanrechenbarkeiten, die in Niedersachsen in WSG „vorgeschrieben“ sind, zu erreichen bzw. zu übertreffen, um hohe Ausnutzungsgrade organischer Dünger sicherzustellen (Stichworte: Lagerraumausstattung, Wirtschaftsdüngeranalysen, maximale Bemessung in der Düngeplanung sowie Abschläge für langjährige organische Düngung, verlustarme Ausbringungsverfahren etc.) (s. Kap. 2.3.1.6 und 2.3.1.7).

Wie hoch selbst bei der Einhaltung der Guten fachlichen Praxis (GfP) auf durchlässigen Böden (hier Sandböden unter 45 Bodenpunkte) die Nitratriskiken für das Grundwasser mit zunehmendem Einsatz organischer Dünger steigen, zeigt eine Auswertung von Ergebnissen des Bundesarbeitskreises Düngung (BAUMGÄRTEL et al. 2003) in Abbildung 11. Demnach liegt die Nitratauswaschung bei der Einhaltung der GfP (aktueller Stand DüV, BMELV 2007) bereits bei einem Viehbesatz von 0,5 bis



1 GV/ha bei ca. 80 mg Nitrat/l Sickerwasser und steigt mit jeder weiteren 0,5 GV/ha um ca. 20 mg Nitrat/l an.

Auch die Ergebnisse von Langzeitversuchen auf niedersächsischen Bodendauerbeobachtungsflächen belegen für Sandböden, dass bereits unter Einhaltung der N-Sollwerte die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser nach Winterroggen und Wintergerste zwischen 70 und 80 mg/l liegen, nach Mais sogar bei ca. 150 mg/l (SCHÄFER et al. 2012). Darüber hinaus nimmt die Sickerwasserbelastung mit jeder Düngung oberhalb der N-Sollwerte zu, ganz besonders deutlich bei Mais. Hier wird nahezu jedes überdüngte kg N/ha zu 100 % mit dem Sickerwasser ausgewaschen, so dass bereits bei einer N-Düngung von 200 kg N/ha (40 kg über der N-Sollwert-Düngung) eine Nitratkonzentration im Sickerwasser von über 250 mg/l entstanden ist (s. Abb. 12).

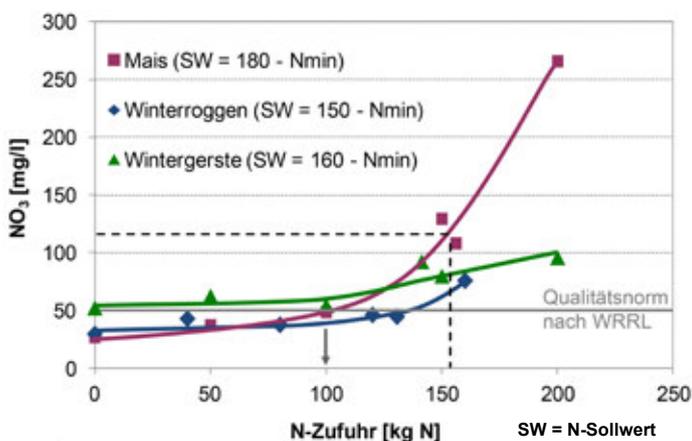


Abb. 12: Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf niedersächsischen Acker-Dauerbeobachtungsflächen (gemessen mit Saugsonden) bei steigender N-Düngezufuhr (SCHÄFER et al. 2012)

Trotz der bereits genannten Risiken, liegt gerade bei Stickstoff die tatsächliche Düngepraxis häufig oberhalb der empfohlenen N-Sollwerte und die N-Gehalte organischer Nährstoffträger werden nur unzureichend angerechnet. Zudem tragen die landesweit standardisierten Empfehlungen den regionalen Besonderheiten (Standortgüte, Klimaraum etc.) und den betrieblichen Besonderheiten nur begrenzt Rechnung. Die zentrale Stellschraube einer auf den Gewässerschutz ausgerichteten Düngeberatung ist die genaue schlagbezogene Düngebedarfsermittlung einschließlich der Optimierung des Einsatzes organischer Dünger.

Niedersachsen hat unterstützend mit der Novelle der für alle festgesetzten WSG geltenden „Verordnung über Schutzbestimmungen in WSG“ (MU 2009) festgelegt, dass die Düngeempfehlungen der LWK Niedersachsen, N-Mindestanrechenbarkeiten für organische Nährstoffträger und maximal zulässige Abzüge für N-Ausbringungsverluste bei der Bemessung des Düngebedarfs „verbindlich“ zu beachten sind. Dies bedeutet, dass als maximale, schlagbezogene Düngeobergrenze zusätzlich zur fruchtspezifisch empfohlenen Düngehöhe nach der N-Sollwert-Methode zulässige Toleranzbereiche für einen zusätzlichen Düngebedarf (je nach Kultur maximal 20 bis 40 kg N/ha) zu berücksichtigen sind.

Alle vorgenannten Aspekte muss die Düngeberatung in der WZB als Rahmenbedingungen berücksichtigen. Hinzu kommen Regelungen zur Düngung, die z. B. im Rahmen düngespezifischer Freiwilliger Vereinbarungen im Kooperationsmodell getroffen werden. Hierzu gehören beispielsweise die Begrenzung der N-Düngung zu Hauptfrüchten und Zwischenfrüchten.

2.3.1.1 Düngeplanung

Kurzcharakteristik

Der Begriff Düngeplanung umfasst die mengenmäßige Vorausbemessung des standort- und fruchtspezifischen Düngebedarfs der Acker- und Grünlandschläge eines landwirtschaftlichen Betriebs einschließlich der Gabenaufteilung für die jeweils folgende Anbauperiode. Der Düngebedarf ergibt sich aus dem Nährstoffbedarf zur Erzielung eines bestimmten Ertrags bzw. einer bestimmten Qualität abzüglich des Nährstoffangebots aus dem Bodenvorrat und aus anderen Nährstoffquellen (z. B. Vorfruchteffekte, Leguminosen gebundener Luftstickstoff). Er ist so zu bemessen, dass die Düngung vom Pflanzenbestand weitgehend ausgenutzt und eine Umwelt belastende Überdüngung vermieden wird.

Die Düngeplanung ist der Startpunkt eines Düngejahrs, das nach der Ernte der Vorfrucht beginnt und spätestens im kommenden Jahr mit Ernte der Hauptfrucht endet. Diese Definition wird gewählt, da die Düngergaben im Sommer und Herbst (z. B. Grundnährstoffe oder Stickstoff (N) zu Zwischenfrüchten und Winterraps) bereits der Ertragserzielungsabsicht des Folgejahrs zuzurechnen sind.

Für den Gewässerschutz werden die größten Düngeersparungen erreicht, wenn die Düngeplanung für jeden Einzelschlag eines Betriebs nach betriebs- und schlagspezifischen Informationen (realistische Ertragserwartung, Vorfrucht, Zwischenfrucht, Bodenuntersuchungen, Bodenart, exakte Mengenangaben und Analysen organischer Dünger, Humusgehalt etc.) jährlich wiederkehrend durchgeführt und im Vegetationsverlauf bei Bedarf angepasst wird. Ungenauer sind dagegen vereinfachte Planungsansätze, die den Düngebedarf z. B. im Mittel pro Anbaufrucht und ohne ausreichende Standort- und Ertragsberücksichtigung herleiten.

Geplant werden die Düngung der Anbaufrüchte (Zwischen- und Hauptfrüchte) sowie des Grünlands für die Hauptnährstoffe (N, S, P_2O_5 , K_2O , MgO) unter Berücksichtigung der Ernterückstände und anderer Nährstoffquellen sowie Kalkungsmaßnahmen. Ein besonderes Merkmal der Düngeplanung im Gewässerschutz ist die zentrale Stellung des Stickstoffs bzw. bei angestrebter Minderung der Eutrophierung von Oberflächengewässern, auch des Phosphors. Dagegen beschränkt sich die Definition der Düngeplanung in der Officialberatung (Beratung landwirtschaftlicher Unternehmen im öffentlichen Interesse) häufig auf die Beratung zu Grundnährstoffen, zum Kalkbedarf. Die N-Düngung wird erst ab Vegetationsbeginn im Frühjahr über die N-Sollwert-Methode (LWK NIEDERSACHSEN 2010a, LWK NORDRHEIN-WESTFALEN

2013b) geplant, sodass Vorfruchteffekte oft unberücksichtigt bleiben.

Die Durchführung der Düngeplanung erfolgt in den TGG und in den Beratungsgebieten der Maßnahmenkulisse Nitratreduktion der EG-WRRL in der Regel durch die Wasserschutzzusatzberater, die wegen der hohen Komplexität hierfür geeignete EDV-Programme einsetzen. Diese sollten alle rechtlichen und fachlichen Spezifikationen für den Gewässerschutz, insbesondere den Grundwasserschutz, beinhalten. Hohe Akzeptanz bei den Landwirten haben Programme, bei denen der Düngeplan in handlicher Form ausgedruckt werden kann und die gleichzeitig eine ergänzende, analoge Ackerschlagkarteiführung und abschließende Nährstoffschlagbilanzierung zulassen. Die Erfolge für den Gewässerschutz verbessern sich, je mehr die tatsächliche Düngung an den mit der Düngeplanung ermittelten Düngebedarf herangeführt werden kann. Erfahrungsgemäß können bei Betrieben mit anfänglich erhöhten N-Düngeüberhängen durch eine wiederkehrende Düngeplanung und eine optimale Umsetzung durch den Landwirt Düngeersparungen von 20 bis 60 kg N/ha und Jahr erreicht werden.

Anwendungsbereich und Anforderungen

Die schlagbezogene Düngeplanung in der Wasserschutzzusatzberatung (WZB) ist seit vielen Jahren etabliert. Sie wird vorrangig für prioritäre Betriebe (Auswahlverfahren s. Kap. 2.1.3) angeboten und ist meist Teil eines jährlich wiederkehrenden, betrieblichen Beratungspakets zur N-Überschuss-Minderung, das weitere Leistungen z. B. zur Frühjahrs- und vegetationsbegleitenden Düngeberatung, zur Vermittlung und Betreuung flächenbezogener Maßnahmen und zur Nährstoffbilanzierung enthält. Bei knapper Finanzausstattung kann die Düngeplanung auf ausgewählte Flächen z. B. eines Betriebs, auf Teilgebiete eines TGG, engere WSG-Zonen oder humusreiche Böden begrenzt werden.

Besonderer Tipp

Bei Erstberatungen kann der einzelbetrieblichen, schlagbezogenen Düngeplanung eine vereinfachte Abschätzung eventueller gesamtbetrieblicher N-Düngeüberhänge vorgeschaltet werden. Hierzu wird der aus der gesamtbetrieblichen Nährstoffbilanzierung (Hoftorbilanz und/oder Nährstoffvergleich gemäß DüV (BMELV 2007)) bekannte Düngeinsatz dem fruchtspezifischen Düngebedarf laut fachbehördlicher Düngeempfehlungen gegenübergestellt. Die LWK Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen bieten

hierzu entsprechende Auswertungsmodule in ihren EDV-Programmen zum Nährstoffvergleich an.

Bereits anhand dieser Instrumente ergeben sich häufig erhebliche Düngeeinsparpotenziale, erfahrungsgemäß z. B. für Stickstoff je nach Betriebstyp zwischen 20 und 60 kg N/ha (im Einzelfall auch mehr). Dies zeigt beispielhaft Abbildung 13. Sie stellt die N-Düngeüberhänge dar, die in einem WSG für 46 Betriebe im Jahr 2011 mit dem Ansatz des Teilmoduls „N-Dünge-Optimierer“ der WEB-Module-Düngung der LWK Niedersachsen ermittelt wurden (LWK NIEDERSACHSEN 2013k).

Fachbehördliche Düngevorgaben und -empfehlungen sind in Deutschland länderspezifisch festgelegt (unterschiedliche N-Sollwerte, unterschiedliche Grundnährstoffanalysemethoden und -gehaltsklassen, mit und ohne Ertragsabhängigkeit etc.). Bundesweit einsetzbare Düngeplanungsprogramme bieten daher zunächst die Wahl des jeweiligen Bundeslands als Auswahlfeld an. Sofern die Düngefachbehörden der Länder Programme anbieten, sind diese von vornherein länderspezifisch. Die genannten Programme erfüllen in der Regel die Richtlinien der Officialberatung, sind aber wegen ihres großräumigen Charakters und des Einsatzes überregionaler Faustzahlen für einzelne landwirtschaftliche Betriebe vergleichsweise ungenau.

Demgegenüber werden in Niedersachsen für den Gewässerschutz Düngeplanungsprogramme eingesetzt, die von den Beratungsträgern inhaltlich und programmiertechnisch den spezifischen Anforderungen angepasst und fortlaufend aktualisiert werden können. Diese Programmlösungen enthalten z. B.:

1. alle düngerelevanten rechtlichen Vorgaben (z. B. DüV, weitergehende Konkretisierungen der DüV, Regelungen zur Düngung in landesweiten und örtlichen WSG-Verordnungen) sowie ergänzende fachbehördliche Vorgaben und Empfehlungen (z. B. Sollwerte, Mindestanrechenbarkeiten organischer Dünger, weitere Wertekataloge)
2. als besonderes Merkmal zusätzliche Anpassungsmöglichkeiten anhand gebiets-, betriebs- und schlagspezifischer Kenntnisse (z. B. realistische Ertragserwartung, Vorfrucht, Zwischenfrucht, Bodenuntersuchungen, Bodenart, exakte Mengenangaben und Analysen organischer Dünger, Humusgehalt), die in der WZB meist umfassend vorliegen, bis hin zu automatisierten Warnmeldungen bei Überschreitung von Düngeobergrenzen bzw. nicht zulässigen organischen Düngern (z. B. Klärschlamm)
3. eine integrierte Ackerschlagkartei zur Eintragung aller der Düngeplanung folgenden tatsächlichen Düngergaben und Düngetermine, am Besten mit Eignung für

N-Düngeüberhang 2011 (kg N/ha)

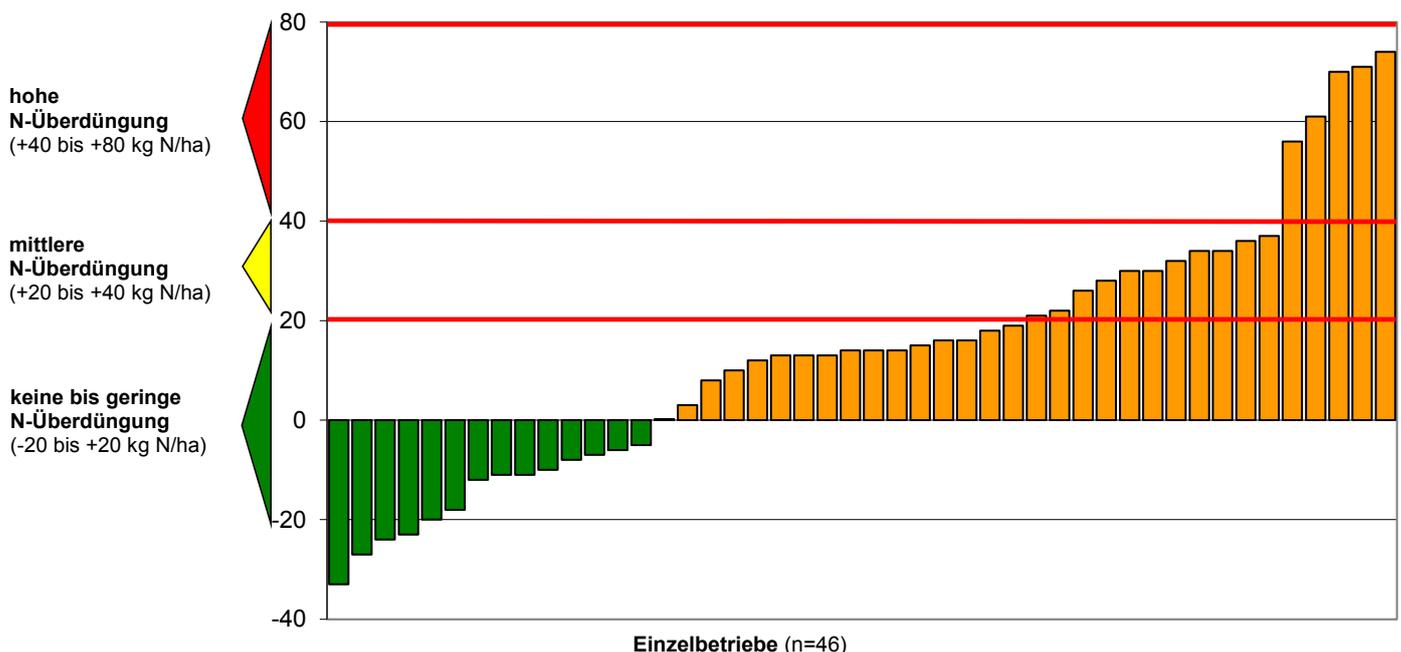


Abb. 13: Differenz zwischen gesamtbetrieblichem N-Düngebedarf gemäß „N-Dünge-Optimierer“ und tatsächlicher N-Düngung für 2011 (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)

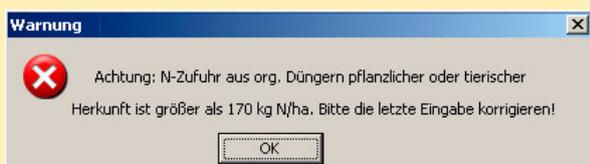
alle weiteren Aufzeichnungen zum Pflanzenschutz, zur Bodenbearbeitung, zur Beregnung etc.

- die Möglichkeit zur Erstellung von Einzelschlagbilanzen bzw. der aggregierten Flächenbilanz gemäß DüV auf Grundlage der in der Ackerschlagkartei erfassten tatsächlichen N- und P-Düngergaben (BMELV 2007).

Zusatzinformation

In Düngeplanungsprogrammen sollten alle rechtlichen und fachbehördlichen Vorgaben zu Düngebegrenzungen, Mindestanrechenbarkeiten organischer Dünger, zulässige Düngerarten etc. automatisch berücksichtigt werden (z. B. über Warnmeldungen). Damit ist eine rechtskonforme Erstellung der Düngeplanung sichergestellt.

Bsp. Warnung 170 kg N/ha-Grenze für organische Dünger gemäß SchuVO (MU 2009)



Bsp. Warnung bei Klärschlamm, der gemäß SchuVO nicht eingesetzt werden darf (MU 2009).



Durchführung

Die Düngeplanung erfolgt im Rahmen eines Betriebsbesuchs des Wasserschutzzusatzberaters gemeinsam mit dem Betriebsleiter. Vorab können einige Daten bereits im Büro eingegeben werden, sofern diese vorher bereitgestellt wurden (z. B. Schlagdaten in Form der GFN-Daten des Agrarantrags, Bodenuntersuchungsergebnisse und Wirtschaftsdüngeranalysen). Die Durchführung ist im ersten Jahr aufwändiger, da ein Betrieb im Düngeplanungsprogramm zunächst „angelegt“, das heißt alle Grunddaten erfasst werden müssen, während in den Folgejahren in der Regel nur noch Aktualisierungen erforderlich sind. Hierzu gehören:

- Schlagname und -größe
- Lage im TGG oder außerhalb; gegebenenfalls Lage in weiteren Schutzgebieten mit Düngeauflagen (z. B. Naturschutz)

- Bodenart, Bodenpunkte und Humusgehalt
- Grundnährstoffanalysen
- Art und geplante Einsatzmenge organischer Dünger sowie Nährstoffgehalte gemäß Analysen
- Vorgekaufte Mineraldünger und Lagerbestände
- Anbauplanung (Vorfrucht, Zwischenfrucht, Hauptfrucht)
- Ertragserwartung, bei Grünland zusätzlich Nutzungsintensität,
- Grundnährstoffsalden des Vorjahrs
- Vorläufige Planwerte für Frühjahrs-N_{min}-Werte, die später durch eigene Analysen bzw. gebietsspezifische Werte spezifiziert werden können.

Zunächst wird in enger Abstimmung mit dem Landwirt der Düngebedarf (N, S, P₂O₅, K₂O, MgO) und der Kalkdüngbedarf (CaO) gemäß Ziel-pH-Wert für alle Einzelschläge unter Berücksichtigung der eingegebenen schlagspezifischen Daten (z. B. Ertragserwartung, Bodenanalysen, Humusgehalt, Vorfruchteffekte und Erntereste) und daraus resultierender Zu- und Abschläge ermittelt.

Bei der Ermittlung des N-Bedarfs arbeitet die WZB bei einer bilanzorientierten Ansatz Regel stärker mit Abschlägen als es z. B. die N-Sollwert-Methode vorsieht, sofern regionale Erfahrungswerte sowie betriebs- und schlagspezifische Daten dies zulassen. Abschläge sind möglich:

- für Vorfrucht- und Zwischenfruchteffekte (z. B. 20 kg N/ha nach Raps und Zuckerrüben bzw. bis zu 40 kg N/ha nach Zwischenfrüchten)
- für eine geringere Ertragserwartung (z. B. Abschlag von 1,8 kg N/ha je dt Ertragsdifferenz bei Winterweizen gegenüber einem angenommenen Basisertrag)
- für erhöhte N-Nachlieferung humusreicher Standorte (s. Kap. 2.3.1.5).

Nach erfolgter Düngebedarfsermittlung werden im ersten Schritt alle vorgesehenen organischen Dünger maximal düngewirksam auf die Schläge und Anbaufrüchte (inklusive Grünland) verteilt. Dabei werden mindestens die Nährstoffanrechenbarkeiten laut Fachbehörde, in Absprache mit dem Betriebsleiter, auch höhere Anrechenbarkeiten, berücksichtigt. So vorgegangen, liefert die Düngeplanung automatisch auch einen Wirtschaftsdüngerverteilplan.

Danach wird der noch verbleibende Düngebedarf über die Auswahl geeigneter Mineraldünger schlagspezifisch ergänzt und in Gaben aufgeteilt. Der ermittelte Düngebe-

darf und die geplante Düngung werden für jeden Schlag separat auf einem Blatt detailliert dargestellt, das idealerweise auch eine erweiterte Ackerschlagkarteiführung zulässt. Zusätzlich wird der Düngebedarf zur schnellen Übersicht nochmals in einer Schlagliste getrennt für die einzelnen Schläge aufgeführt (s. Abb. 14).

Anschließend wird der gesamtbetriebliche Mineraldüngerbedarf ermittelt, auf dessen Basis der Landwirt unter Berücksichtigung bereits gekaufter Mengen und Lagerbestände seine weitere Düngeeinkaufsplanung vornehmen kann.

Erfolgsbewertung

Erfahrungsgemäß kann die WZB mit ihrer Düngeplanung Flächendeckungsgrade zwischen 30 und 70 % der LF erreichen. Hauptziel der beschriebenen Düngeplanung ist die Vermeidung unnötiger (nicht ertragswirksamer) N-Überschüsse. Um den einzelbetrieblichen Beratungserfolg z. B. für Stickstoff zu überprüfen, wird die geplante N-Düngung mit der tatsächlichen N-Düngung verglichen. Dies kann auf Betriebs- oder Schlagebene erfolgen. Dies setzt die Erfassung der tatsächlichen Düngung über den

Nährstoffvergleich bzw. eine Hoftorbilanzierung mit ergänzender Ermittlung des organischen N-Anfalls voraus. Letzteres erfordert eine vollständige Ackerschlagkarteiführung.

Tabelle 5 zeigt beispielhaft für drei Jahre den Vergleich der tatsächlichen N-Düngung eines Betriebs gemäß N-Zufuhr aus dem Nährstoffvergleich mit dem mittleren N-Düngebedarf, der über eine schlagbezogene Düngeplanung ermittelt wurde. Im vorliegenden Fall gibt es in jedem Jahr und im Mittel der drei Jahre nur einen geringen N-Düngeüberhang, so dass der gewünschte Beratungserfolg eingetreten ist.

Wie Abbildung 13 (oben) zeigt, gibt es bei einer größeren Anzahl von Betrieben erfahrungsgemäß auch immer Betriebe, bei denen der N-Düngeüberhang nur langsam zurückgeht bzw. Betriebe, die trotz jährlicher Düngeplanung durch die WZB wiederkehrend hohe Düngeüberhänge erzeugen. Der gewünschte Beratungserfolg tritt somit auch nach Jahren nicht ein. Das in der Abbildung 13 dargestellte Beispiel zeigt, dass etwa für zwei Drittel (n=30) der prioritären Betriebe eines ausgewählten WSG der Beratungserfolg „keine bis geringe Überdün-

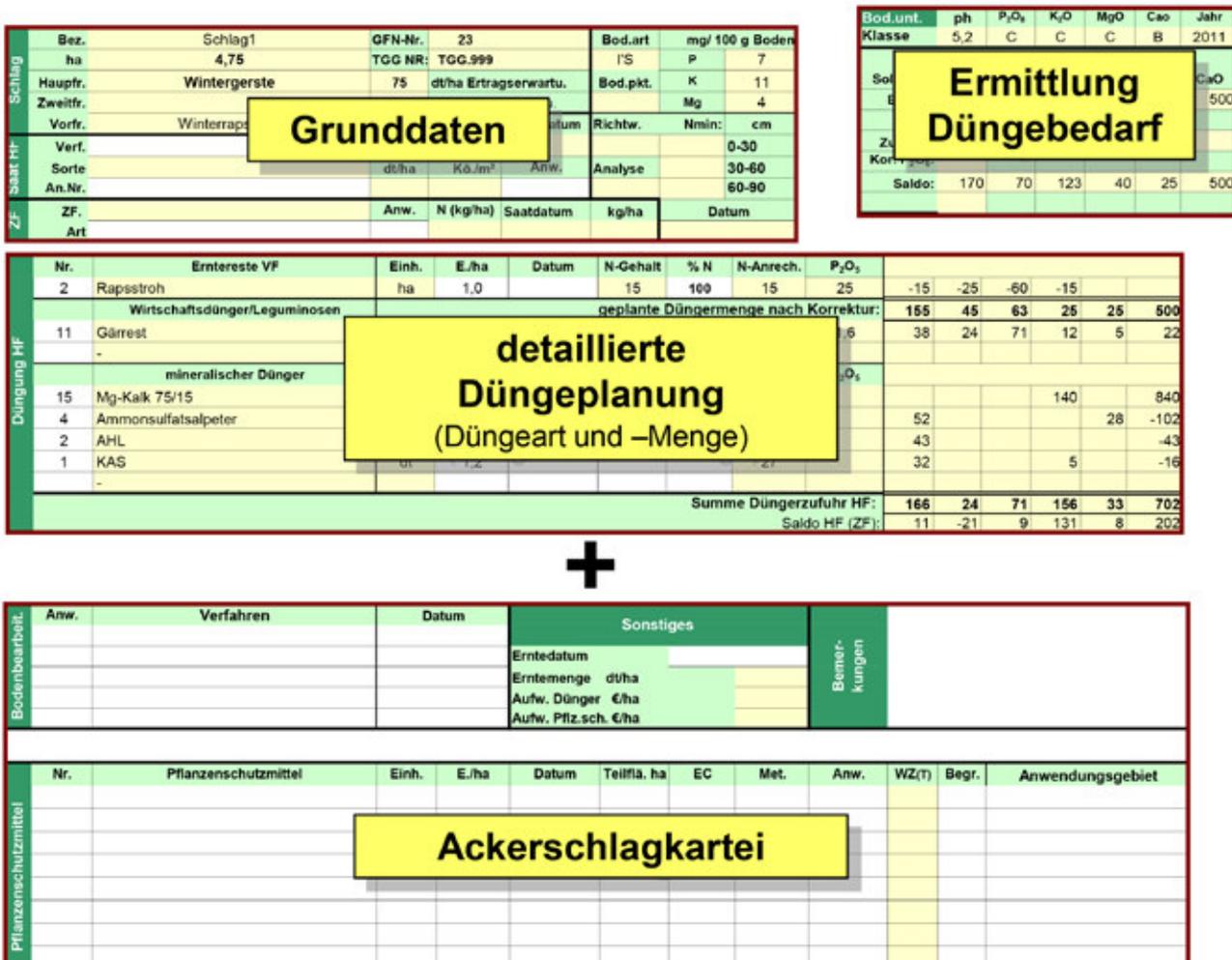


Abb. 14: Beispiel einer EDV gestützten, schlagbezogenen Düngeplanung mit Ackerschlagkartei (INGUS)

gung (-20 bis +20 kg N/ha)“ erreicht wurde, weitere zehn Betriebe weisen eine „mittlere N-Überdüngung“ (+20 bis +40 kg N/ha)“ und fünf Betriebe eine nach wie vor „hohe N-Überdüngung“ (+40 bis +80 kg N/ha)“ auf.

Für die Landwirte bietet die Düngeplanung, neben der Optimierung der Düngung, die Sicherheit, die Anforderungen der DüV sowie die Auflagen zur Düngung in den WSG einzuhalten. Über die WZB werden auch die Landwirte in den noch nicht mit einer Verordnung festgesetzten TGG und Beratungsgebieten der EG-WRRL erreicht, um mit einer standortangepassten und nutzungsangepassten Düngeplanung vor allem grundwasserschutzorientiert zu wirtschaften.

Tab. 5: Ermittlung des einzelbetrieblichen N-Düngeüberhangs (INGUS)

Bilanzjahr	tatsächl. Düngung (kg N/ha) nach Nährstoffvergleich			Düngebedarf nach Düngeplanung (kg N/ha)	Düngeüberhang (kg N/ha)
	mineralisch	organisch	gesamt		
2008	100	86	186	183	3
2009	80	120	200	180	20
2010	80	122	202	193	9
Mittel	87	109	196	185	11

Erfolgsparameter	
Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	Ja, je nach Betriebstyp und bisherigem Düngeverhalten um 20 bis 60 kg N/ha, bei sehr hohem Anteil an organischen Düngern auch darüber
Saldominderung	Ja, in der Höhe der erreichten N-Düngeeinsparung
Herbst-N _{min} -Minderung	Ja, insbesondere nach Mais, aber auch nach Getreide und Raps
Sickerwasserentlastung	Ja, zwischen 30 und 60 mg Nitrat/l
Weitere Effekte	Minderung der Phosphor-Eintragsgefahr in Oberflächengewässer durch Verringerung der Phosphor-Überschüsse und gegebenenfalls überhöhter P-Gehalte im Boden insbesondere durch zeitliche Optimierung der Ausbringung

2.3.1.2 Düngeberatung zu Vegetationsbeginn

Kurzcharakteristik

Ein zentrales Element der Düngeberatung im Grundwasserschutz ist die frucht- und schlagspezifische Ermittlung des Düngebedarfs (Gesamthöhe und Gabenaufteilung) anhand tatsächlich gemessener Frühjahrs-N_{min}-Werte zu Vegetationsbeginn. Hierzu sollten möglichst umfassende, regionale, standortdifferenzierte und betriebsspezifische Frühjahrs-N_{min}-Programme durchgeführt werden, die über die fachbehördlichen N_{min}-Richtwertprogramme hinausgehen (s. unten stehende Anforderungen an die Planung repräsentativer Frühjahrs-N_{min}-Programme).

Die Methode ist in TGG mit langjähriger WZB sehr gut etabliert. Der hier vorgestellte Einsatz von frucht- und schlagspezifischen Empfehlungsblättern, in denen eine konkrete Herleitung des N-Düngebedarfs unter erweiterter Berücksichtigung aller Zu- und Abschläge und der einzelbetrieblich gemessenen Frühjahrs-N_{min}-Werte erfolgt, hat eine hohe Akzeptanz bei den Landwirten. Darüber hinaus geben die N_{min}-Untersuchungsprogramme in TGG auch für die nicht beprobten Schläge Hinweise

zur jährlichen Größenordnung frucht-, gebiets- und standortspezifischer Frühjahrs-N_{min}-Werte, die im Rahmen von Düngeempfehlungen in Rundschreiben verbreitet werden. Eine Abstimmung mit den Bewirtschaftern zur Auswahl der Beprobungsschläge, z. B. im Rahmen der schlagspezifischen Düngeplanung, ist sinnvoll.

Demgegenüber zeigen die Erfahrungen außerhalb der TGG eine eher unbefriedigende Umsetzung. Nur selten veranlassen dort landwirtschaftliche Betriebe die Untersuchung eigener Frühjahrs-N_{min}-Werte und vielfach werden auch die fachbehördlichen N_{min}-Richtwerte nicht in voller Höhe in Abzug gebracht. Stattdessen wird häufig mindestens in Höhe des N-Sollwerts gedüngt, also der N_{min}-Wert nicht in Abzug gebracht, sondern als erforderlicher Sicherheitszuschlag gesehen.

Nur teilweise oder gar nicht in Abzug gebrachte Frühjahrs-N_{min}-Werte, die Nichtberücksichtigung der Abschläge bei langjähriger organischer Düngung und eine zu geringe Anrechnung organischer Dünger sind die Hauptursachen von N-Düngeüberschüssen sowie daraus resultierenden erhöhten Nitratbelastungen in Gewässern.

Anwendungsbereich und Anforderungen

Jährliche Planung von Frühjahrs- N_{\min} -Programmen

Der gezielte Einsatz der Frühjahrs- N_{\min} -Methode auf der Ebene einzelner TGG oder Beratungsgebiete zur Umsetzung der EG-WRRL, erfordert eine systematische Vorplanung mit nachfolgend aufgeführten Bestandteilen.

Festlegung der Untersuchungsumfänge und erforderliche Planungsgrundlagen

Zunächst ist je nach Größe der Zielkulisse abzuschätzen, welcher Stichprobenumfang jährlich gewählt werden muss, um für alle wesentlichen Standorte (Böden) und Anbaufrüchte repräsentative Frühjahrs- N_{\min} -Werte zur Düngebedarfsermittlung zu erfassen. Wesentliche Planungsgrundlagen hierfür sind:

- eine gebietspezifische Bodenkarte zur Abgrenzung wesentlicher Standorttypen
- die geplanten Anbaufrüchte und deren Flächenanteile für das jeweilige Jahr sowie Berücksichtigung der Vor- und Zwischenfrüchte (Anbaudaten des Vorjahrs)
- eine darauf aufbauend erstellte N_{\min} -Parzellenkarte. Für jeden Schlag wird eine sogenannte Repräsentativparzelle (Größe ca. 40 bis 60 m x 80 bis 100 m) festgelegt, die den Schlag dominanten, möglichst homogenen Bodentyp abbildet (s. Abb. 15). Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass sie den Vergleich von Frühjahrs- N_{\min} -Werten gleicher Standorttypen zwischen den Jahren genauso wie den Vergleich zwischen den Standorttypen erleichtert.

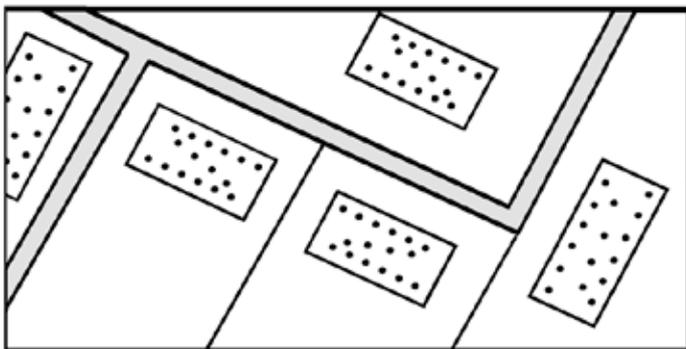


Abb. 15: Festlegung und Beprobungsmuster von Repräsentativparzellen für die N_{\min} -Beprobung von Einzelschlägen (NL-WKN 2012d)

Repräsentative Untersuchungsprogramme sollten die typischen Anbausituationen (Anbaufrüchte, Fruchtfolgepaare/Vorfruchteffekte, mit und ohne vorherigen Zwischenfruchtanbau) und die typischen Anbau-Standort-

Kombinationen entsprechend der gebietlichen Bodenkarte (z. B. Mais auf Sandböden im Humusgleichgewicht gegenüber Mais auf humusreichen N-Quellenstandorten) berücksichtigen. Die genannten Planungsdaten sollten schlagspezifisch in der Beratungsdatenbank vorliegen und die Planung durch gezielte Datenbankabfragen und deren Überführung in GIS-Karten vorgenommen werden.

Festlegung der optimalen Probenahmezeiträume (nach Witterung und Anbaufrucht)

- Aufgeteilt in Phasen (ab Mitte Februar erste Phase für Wintergetreide und Raps; ab Anfang/Mitte März zweite Phase für Hackfrüchte und Sommergetreide).
- Die Probenahme sollte jeweils möglichst zeitnah vor der ersten Düngung erfolgen. Folgende Probleme und Erschwernisse können erfahrungsgemäß eintreten: kurze Zeitkorridore, Ungeduld der Landwirte, frühe Güllegaben wegen mangelndem Lagerraum.

Anforderungen an die Probennahme und Laboranalyse (s. Abb. 16)

- Geeignete Bohrtechniken, unbedingt schichtbezogene Probenahme etc.
- Art der Probenahme (Einstiche, Beprobungsmuster, Tiefe etc.)
- Beprobungsprotokoll und Transport
- Ergebnisbereitstellung durch das Labor und Plausibilitätsprüfung (z. B. Angaben zum Wassergehalt)



Abb. 16: Bodenprobeentnahme (INGUS)

Durchführung und Ergebnisverbreitung Schlag- und fruchtspezifische N-Düngebedarfsermittlung auf Basis von N_{min}-Messungen

Zur verbesserten Akzeptanz und aus Servicegründen sollten Frühjahrs-N_{min}-Ergebnisse an Landwirte nicht kommentarlos weitergeleitet werden, sondern als konkrete, schlagbezogene Düngebedarfsermittlung. Hierzu empfehlen sich geeignete Formulare auf Basis der N_{min}-Sollwert-Methode, die zusätzliche Anpassungen an den Grundwasserschutz, z. B. Vorfruchtwirkung berücksichtigen. Nachfolgend wird ein solches Formblatt beschrieben (s. Abb. 17). Es besteht aus:

- einer schnellen Übersicht (oberer Kasten), mit dem Frühjahrs-N_{min}-Ergebnis (Einzelschichten und Gesamtwert) und der fruchtspezifischen N-Düngeempfehlung sowie
- einer vom N-Sollwert ausgehenden Berechnung der frucht- und standortspezifischen Düngeempfehlung unter Berücksichtigung aller Ab- und Zuschläge (unterer Kasten) durch den Berater, die der Landwirt in einer zusätzlichen Spalte bei Bedarf nochmals anpassen kann.

Fax:

Stickstoff-Düngeempfehlung - Winterroggen


Landwirt: _____ Schlagnummer: _____ Schlagname: _____

Vorfrucht (2013): **Wintergerste** Anbaufrucht 2014: **Winterroggen**

Zwischenfrucht (13/14): _____

Probenahme am: **19.02.2014**

	Tiefe			Gesamt bis 60 cm Tiefe	Gesamt bis 90 cm
	0-30	30-60	60-90		
I. N_{min}-Ergebnisse [kg N/ha]	2	1	12	3	15
davon Ammonium (NH ₄)	0	0	0	0	0

II. Stickstoff-Düngeempfehlung [kg N/ha]	1. Gabe	2. Gabe	3. Gabe	N-Düngung gesamt
	70	60	—	135

III. Einzelschlagbezogene Düngeplanung unter Berücksichtigung aller Korrekturfaktoren

Berücksichtigung folgender Faktoren	Berechnung N-Düngungshöhe gesamt [kg N/ha]			
	Zu-/Abschläge	INGUS	Fachbehörde LWK	eigene Berechnung
N_{min}-Sollwert		150	150	
N_{min}-Gehalt bis Tiefe 90 cm	-	15	-	15
A: Anpassung an den Standort				
auf Marschböden + 20 bis + 40	-	0	-	0
bei langjähriger organischer Düngung i.d.R. P-Gehalte in der Krume >13 mg P-CAL/100g Boden - 20	-	0	-	0
B: weitere Anpassung an Standort, Bewirtschaftung und Witterung				
schlechte Bestandesentwickl. Frühjahr bzw. standortbedingt schlechte N-Nachlieferung + 20 bis + 40	+	0	+	0
schlechte Bestandesentwicklung im Herbst + 20 bis + 30	+	0	+	0
Abschlussdüngung niedrige Ertragserwartung - 20 bis - 40	-	0	-	0
gute Bestandesentwicklung bzw. standortbedingt gute N-Nachlieferung - 20	-	0	-	0
Die Summe der Zu- und Abschläge unter B sollte 40 kg N/ha nicht überschreiten!				
C: ergänzende Empfehlung Wasserschutz (INGUS)				
N-Nachlieferung bei stark humosen Böden	-		—	-
N-Nachlieferung bei besonderen Vorfrüchten (laut DVO) Rübem/Rap - 20 Leguminosen - 30 mehrjähr. Brache - 40	-	0	—	-
berechneter Düngebedarf kg N/ha	=	135	=	135

Anmerkung:

Abb. 17: Formular Düngebedarfsermittlung (N-Düngeempfehlung) für Einzelschläge (INGUS 2013b)

Gesamtgebietliche N-Düngeempfehlungen über Rundschreiben und Feldbegehung

Aus Kostengründen kann nicht jeder Einzelschlag in einer Zielkulisse über öffentliche Förderprogramme eine Frühjahrs-N_{min}-Beprobung erhalten. In der Regel ergeben

sich bei einer guten Planung aber jährlich gebietstypische Richtwerte, die auf nicht beprobte Schläge übertragbar sind. Die Akzeptanz dieser gebietsbezogenen, sehr regionalen mittleren Frühjahrs-N_{min}-Werte ist bei den Bewirtschaftern sehr hoch (s. Abb. 18).

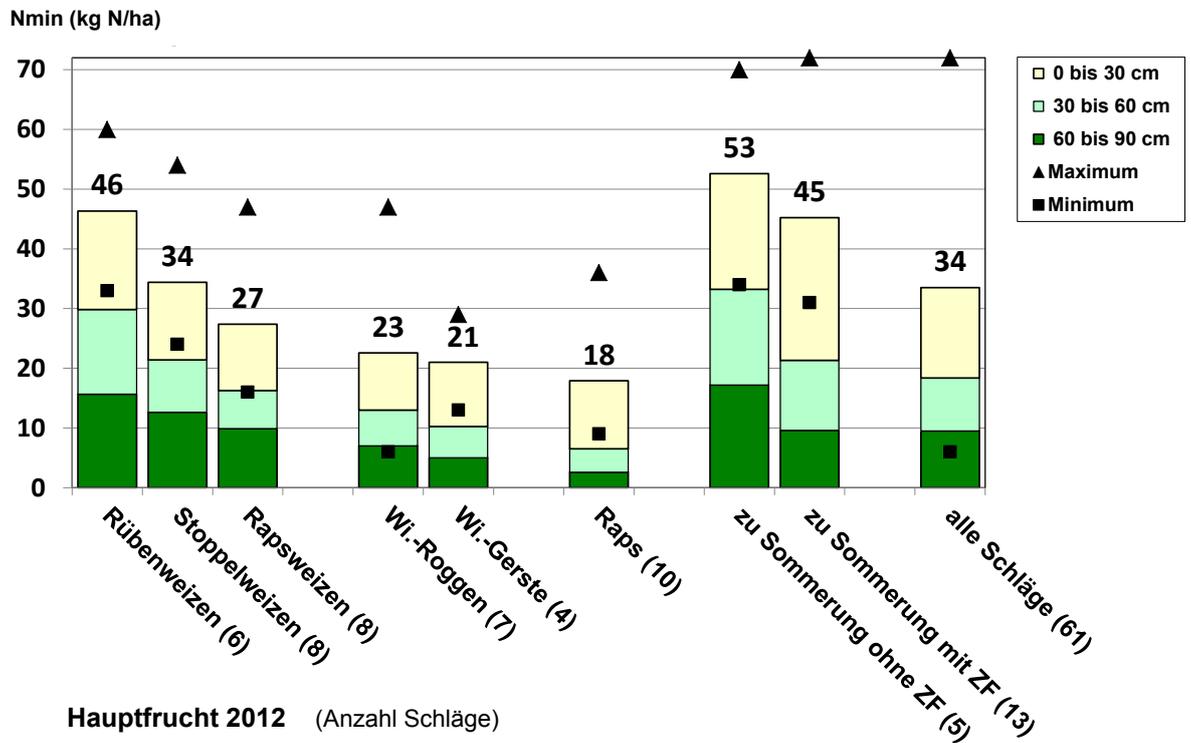


Abb. 18: Mittlere Frühjahrs-N_{min}-Werte, gruppiert nach Hauptfrüchten sowie Vor- und Zwischenfrüchten (INGUS 2013b, Jahresdaten 2012 aus einem ausgewählten WSG)

Frühjahrs-N_{min}-Ergebnisse werden zusätzlich auf Feldbegehungen zu Vegetationsbeginn vorgestellt (s. Abb. 19). Die entsprechenden Düngeempfehlungen werden vor dem Hintergrund der aktuellen Bestandsentwicklung besprochen. Darüber hinaus wird auf die Möglichkeiten einer im Anschluss folgenden, vegetationsbegleitenden Düngeberatung (s. Kap. 2.3.1.3) hingewiesen.

Erfolgsbewertung

Hauptziel der Düngeberatung zu Vegetationsbeginn ist die weitgehende Anpassung der N-Düngung an den tatsächlichen N-Bedarf unter Berücksichtigung der leichtverfügbaren Boden-N-Vorräte. Die unter Zugrundelegung der N-Sollwert-Methode realisierbaren Düngereinsparungen sind oft hoch. Sie ergeben sich unmittelbar aus der Höhe der gemessenen N_{min}-Werte, die je nach Hauptfrucht, Vorfrucht und winterlichem Witterungsverlauf für Humusgleichgewichtsstandorte zwischen 20 und 80 kg N/ha liegen können, für humusreiche Standorte auch darüber (s. Kap. 2.3.1.5).



Abb. 19: Feldbegehung (INGUS)

Die Erfolge können durch die Auswertung gut geführter und auf Plausibilität geprüfter Ackerschlagkarteien nachgewiesen werden. So zeigt Abbildung 20, dass die tatsächliche N-Düngung bei mit der N_{min}-Methode betreuten Betrieben sehr nahe am N-Sollwert liegt.

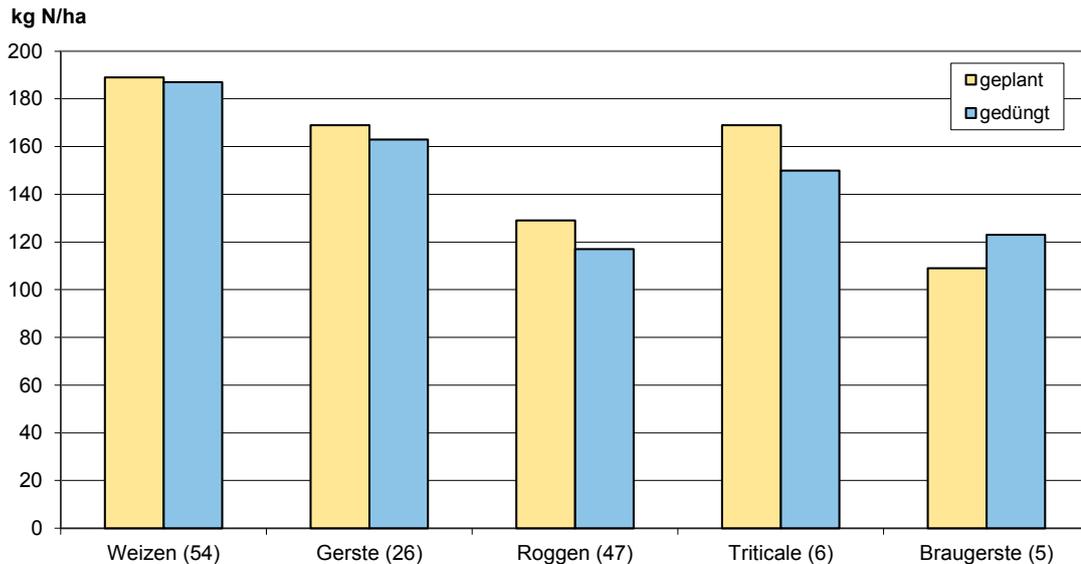


Abb. 20: Vergleich der geplanten Düngung (gemäß N-Sollwert) mit der tatsächlichen Düngung (n=Anzahl Schläge) (INGUS 2013b, Daten aus einem WSG)

2.3.1.3 Vegetationsbegleitende Düngeberatung

Kurzcharakteristik

Die vegetationsbegleitende Düngeberatung im Frühjahr und Sommer umfasst im Wesentlichen den verstärkten Einsatz direkter bzw. indirekter Boden- und Pflanzenanalysen im Laufe der Bestandsentwicklung einzelner Kulturen (s. Abb. 21). Sie dient der fortlaufenden Nachsteuerung der durchgeführten Düngplanung (s. Kap. 2.3.1.1) und Düngeberatung zu Vegetationsbeginn (s. Kap. 2.3.1.2) an den tatsächlichen Düngebedarf in einem Anbaujahr.

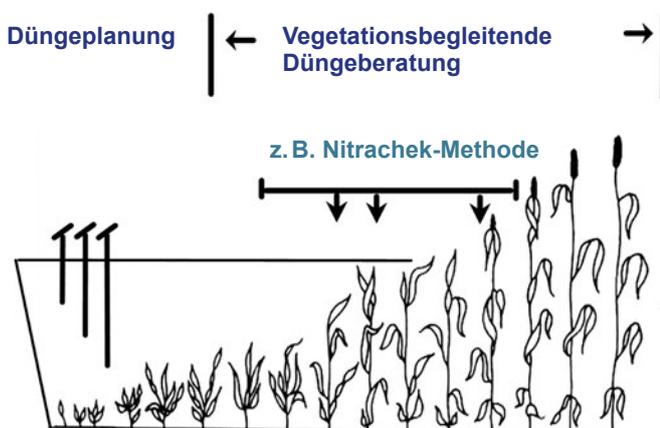


Abb. 21: Vegetationsbegleitende Düngeberatung zur Anpassung der Düngplanung und Düngeempfehlung

Insbesondere für Stickstoff stehen mehrere spezifische Methoden zur Verfügung. In der WZB sind die Spätfrühjahrs- N_{\min} -Methode, Nitrachek-Pflanzensaftanalysen, Chlorophyllmessungen mit dem Hydro-N-Tester am

stärksten verbreitet. Weiter kommen die Bestimmung der N-Aufnahme zu Raps im Herbst sowie Pflanzenanalysen im Labor zum Einsatz. Nach der Maisernte kann die Bestimmung des kritischen Rohproteingehalts durchgeführt werden.

Die Methoden erlauben die schlaggenaue Erfassung der N-Versorgung bzw. des Düngebedarfs einzelner Anbaufrüchte zu einem bestimmten Zeitpunkt, bei wiederholter Durchführung sogar über einen längeren Zeitraum (z. B. Nitrachek und Hydro-N-Tester). Sie ermöglichen damit eine genauere Berücksichtigung der Nährstoffversorgung des Bodens und sonstiger verfügbarer N-Mengen gemäß den Anforderungen der Düngeverordnung bei der Definition des Begriffs Düngebedarf. Im Folgenden werden die Methoden und ihre Einsatzbereiche kurz vorgestellt und die am häufigsten in der WZB angewandten Methoden Nitrachek, Hydro-N-Tester und Spätfrühjahrs- N_{\min} detailliert erläutert.

Methoden und Anwendungsbereiche

Spätfrühjahrs- N_{\min} -Methode

Methode: Die Methode wurde in den 90er Jahren in Nordrhein-Westfalen entwickelt und ist ein bewährtes „Standardinstrument zur umwelt- und bestandsgerechten Düngplanung“ (LUFA NRW 2013). Sie wird überwiegend zu Hackfrüchten (Mais, Zuckerrüben, begrenzt zu Kartoffeln) zum Zeitpunkt Ende Mai / Anfang Juni eingesetzt, spielt aber auch im Gemüseanbau eine zunehmende Rolle. Der späte Beprobungstermin erfasst den pflanzenverfügbaren N_{\min} -Status der genannten Kulturen unmittelbar zu Vegetationsbeginn. Dieser N_{\min} -Wert beschreibt die Summe der bis zu diesem Termin durch die N-

Mineralisation des Bodens und der Vor- bzw. Zwischenfrüchte leicht pflanzenverfügbar vorliegende N-Menge einschließlich der bereits durchgeführten Düngungsmaßnahmen.

Zur Bewertung des N-Versorgungszustands und einer daraus abgeleiteten N-Düngeempfehlung wird der Messwert einem jeweils fruchtspezifischen „N-Optimalbereich“ gegenübergestellt. Liegt der Messwert darüber, ist keine Folgedüngung erforderlich. Liegt der Messwert darunter, ist eine Nachdüngung durch den Berater abzuwägen. In den Fällen, wo der Messwert eines Schlags jährlich wiederkehrend deutlich über dem Optimalbereich liegt, besteht auf der jeweiligen Fläche für die Zukunft ein erhebliches Düngeersparpotenzial.

Wichtig: Bei Kulturen mit Unterfußdüngung wie z. B. Mais, darf die N_{\min} -Probenahme nur zwischen den Reihen mit ausreichendem Abstand zu den Düngebändern erfolgen. Zur Ermittlung des Düngebedarfs wird dann zunächst die Unterfußdüngung vom N-Optimalwert abgezogen.

Anwendungsbereich: Spätfrühjahrs- N_{\min} -Untersuchungen werden Ende Mai/Anfang Juni zu Kulturen wie Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln durchgeführt, die maßgeblich von der N-Mineralisation profitieren können (Zusammentreffen hoher Bodentemperaturen bei ausreichender Bodenfeuchte). Das Ergebnis erfasst die mineralische N-Versorgung im Boden zu diesem Zeitpunkt und ermöglicht Rückschlüsse zur weiteren Düngestrategie. Eine schichtweise Beprobung in 30 cm-Schritten ist unbedingt erforderlich (z. B. mit dem „Göttinger Bohrstock“). Methodische Einschränkungen ergeben sich bei:

- extremer, lang anhaltender Trockenheit zwischen der Andüngung (z. B. im April) und dem Beprobungstermin der Spätfrühjahrs- N_{\min} -Messung (Anfang Juni), da die Mineralisationsprozesse im Boden erheblich eingeschränkt sind
- starker Austrocknung der oberen 5 bis 10 cm und der Gefahr des Hereinfallens von trockenem Oberboden in das Bohrloch, was zur Verfälschung des Ergebnisses führt.

Nitrachek-Methode

Methode: Die Bestimmung der Nitratkonzentration im Pflanzenpresssaft an der Halm- bzw. Stängelbasis erfolgt mit Hilfe eines Indikatorstreifens und einem Reflektometer-Messgerät durch den Berater oder den Landwirt. Der Schnelltest erlaubt die unmittelbare Bestimmung des N-Versorgungszustands eines Pflanzenbestands anhand des Nitratgehalts im Pflanzensaft (NITSCH 2011).

Eine Düngeempfehlung wird erst ausgesprochen, wenn der Versorgungszustand einen „Optimalbereich“ unterschreitet. Mit der Methode können die witterungsbedingten Jahreseffekte der N-Nachlieferung des Bodens, der Vor- bzw. Zwischenfrüchte und auch die N-Nachlieferung humusreicher Böden unmittelbar in die Düngeempfehlung einfließen. Dadurch lassen sich vielfach deutliche Düngeersparungen erzielen, ohne das Ertrags- und Qualitätsziele der Anbaufrüchte leiden. Die Methode setzt eine ausreichende Bodenfeuchte voraus. Sie ist unter diesen Bedingungen aber sehr exakt.

Anwendungsbereich: Mit der Methode können erhebliche Düngeersparungen erzielt werden. Bei ausreichendem N-Versorgungszustand der Pflanzen, z. B. infolge einer guten Nachlieferung aus dem Boden oder aus organischen Düngern kann eine Folgedüngung verringert werden oder sogar unterbleiben. Hauptvorteil ist die pflanzenbaulich optimale Terminierung der einzelnen N-Düngegaben, aber auch die bedarfsnahe Bemessung der Düngungshöhe. Dies führt zu einer besseren Ertragsabsicherung des Düngeniveaus. Es handelt sich um eine Feldmethode, die prinzipiell für alle gängigen Kulturarten geeignet ist. Konkrete Anwendungsempfehlungen liegen für Getreide, Mais, Kartoffeln, Zuckerrübe, Gräser und Kopfkohl (NITSCH 2011) vor. Für jede Fruchtart existieren spezifische Richtwerte (in ppm im Pflanzensaft), die eine Optimalversorgung kennzeichnen. Methodische Einschränkungen ergeben sich bei:

- Blattdüngung vor der Probenahme, da diese durch die Nitrachek-Messungen nicht vollständig erfasst wird,
- Trockenheit vor der Probenahme, da die N-Aufnahme der Pflanzen durch Wassermangel stark eingeschränkt wird, so dass geringe Nitratkonzentrationen

Hintergrund

Bei ausreichender Bodenfeuchte wird Stickstoff vorwiegend als Nitrat von der Wurzel in den Spross transportiert. In den grünen Pflanzenteilen erfolgt dann der Einbau in pflanzeneigene Stoffe. Die Messung des N-Versorgungszustands erfolgt daher an der Sprossbasis, also dem direkten Übertrittspunkt zwischen Wurzel und Spross. Die Gegenüberstellung der Messwerte zu den in Exaktversuchen für eine optimale Ertragsbildung ermittelten Nitratkonzentrationen, liefert eine gute Datenbasis zur Bewertung des Nährstoffversorgungszustands und zur Ableitung eines gegebenenfalls bestehenden N-Düngebedarfs.

im Pflanzensaft nicht auf den tatsächlichen Düngebedarf schließen lassen,

- Verwendung von Nitrifikationshemmstoffen (z. B. DIDIN oder Piadin), da hier die N-Aufnahme und der Transport in der Pflanze zu einem größeren Anteil in Form von NH_4 erfolgt, das durch die Nitratek-Methode nicht erfasst wird.

Hydro-N-Tester-(Chlorophyll)-Methode

Methode: Bei diesem optischen Verfahren wird der Chlorophyll-Gehalt im Blatt, der in direktem Zusammenhang mit dem N-Versorgungszustand des Bestands steht, mit einem optischen Verfahren mit einem speziell von der Firma Yara entwickelten Gerät, dem Hydro-N-Tester, gemessen. Die Methode kann schnell und unkompliziert durchgeführt werden. Nach 30 Einzelmessungen wird automatisch der Mittelwert ausgegeben. Unter Verwendung von sortenspezifischen Korrekturwerten (aufgrund von Farbunterschieden des Blatts) wird vor Ort die N-Düngeempfehlung ermittelt. Diese Empfehlung wird auf Basis von Produkt- und Düngemittelpreisen des Vorjahrs errechnet. Somit handelt es sich um eine unternehmerische Bewertung, nicht um eine pflanzenbauliche Empfehlung.

Anwendungsbereich: Praxiserfahrungen mit der Chlorophyll-Methode liegen bisher nur aus dem Bereich des düngeintensiven Wintergetreideanbaus vor. Auch bei dieser Methode sollte der Bestand bei ausreichend feuchten Bodenbedingungen getestet werden. Die Aussagekraft der Methode ist unter Beratern umstritten: Methodenvergleiche in der WZB für gleiche Bestände zeigen, dass die Düngeempfehlungen des N-Testers im Mittel häufig höher liegen, als die nach der Nitratek-Methode.

Kritischer Rohproteingehalt

Mit dieser Methode kann im Frischmais oder in der Maissilage durch die Bestimmung des Rohproteingehalts nachvollzogen werden, ob der Mais optimal mit Stickstoff ernährt wurde (HERRMANN & TAUBE 2005). Der Optimalwert liegt bei maximal sieben Prozent Rohprotein in der Trockenmasse. Höhere Rohproteingehalte deuten auf einen N-Luxuskonsum hin, der nicht in Ertrag umgesetzt werden kann. Die Auswertung umfangreicher Datenbestände aus der WZB zeigt bisher keine eindeutige Beziehung zwischen der Höhe der N-Düngung und dem Rohproteingehalt auf Praxisschlägen. Versuche der LWK Niedersachsen zeigen, dass der Rohproteingehalt mit steigender N-Düngung zwar ansteigt, der jeweilige Standort (Bodengüte) und die Bewirtschaftungsvorgeschichte jedoch ebenso einen Einfluss auf die Rohprote-

ingehalte von Mais haben, wie das durch die Maissortwahl bedingte unterschiedliche N-Aneignungsvermögen (LWK NIEDERSACHSEN 2013j). Die Methode ist daher noch nicht praxisreif.

N-Aufnahme von Raps im Herbst

Raps kann im Herbst des Aussaatjahrs große N-Mengen (oberirdisch 60 bis 80 kg N/ha, zum Teil bis > 100 kg N/ha) aufnehmen. Die Methode dient der jährlichen Erfassung der N-Aufnahme von Raps vor dem Winter durch die Wiegung der Blattmasse (nach UFOP-Methode). Über ein einfaches Umrechnungsverfahren können daraus Zu- bzw. Abschläge für die N-Düngung im darauffolgenden Frühjahr errechnet werden. Besonders die N-Düngung zu Raps kann mit dieser Methode ohne Ertragsverluste angepasst werden. Seit 2012 gibt es von der Firma Yara eine Smartphone-App zur Ermittlung der N-Aufnahme. Erste Vergleichsergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit der Blattmasse-Wiegung (INGUS 2013a).

Pflanzenanalyse

Hier erfolgt eine genaue Bestimmung aller Pflanzennährstoffe im Labor. Wegen des hohen Zeit- und Kostenaufwands und der längeren Rücklaufzeit bis zum Erhalt der Ergebnisse wird die Methode meist nur für pflanzenbauliche Sonderfragen (z. B. Verdacht auf Spurenelementmangel) eingesetzt.

Durchführung

Spätfrühjahrs- N_{\min} -Methode

Mit der Spätfrühjahrs- N_{\min} -Methode wird der aktuelle Gehalt an mineralischem Stickstoff im Boden ermittelt. Dadurch kann die bis zur Probenahme erfolgte N-Mineralisation erfasst und die noch anstehende N-Düngung angepasst werden. Insbesondere bei humosen Standorten können hohe N-Mineralisationsraten festgestellt werden. Erhebliche N-Düngereinsparungen und N-Bilanzverbesserungen sind dadurch möglich. Bei Mais erfolgt die N-Düngung nach erfolgter Unterfußdüngung meist nur in einer Anschlussgabe. Hier kann die Spätfrühjahrs- N_{\min} -Methode aber zur Sensibilisierung der Bewirtschafter dienen, die geplante N-Düngermenge zu überdenken und bei nachweislich sehr hohen Spätfrühjahrs- N_{\min} -Gehalten die N-Düngung zukünftig zu reduzieren (s. Abb. 22).

Die Methode hat sich in Zuckerrüben bewährt und wird nun auch im Mais häufiger für eine geteilte N-Düngestrategie eingesetzt. Hier erfolgt im ersten Schritt eine zurückhaltende Andüngung und danach die Messung des Spätfrühjahrs- N_{\min} -Werts. Eine Nachdüngung erfolgt nur, wenn der N-Optimalbereich unterschritten ist (s. Abb. 22).

Dünge-Splitting in Mais nach Spätfrühjahrs-N_{min} (SFN) 2010

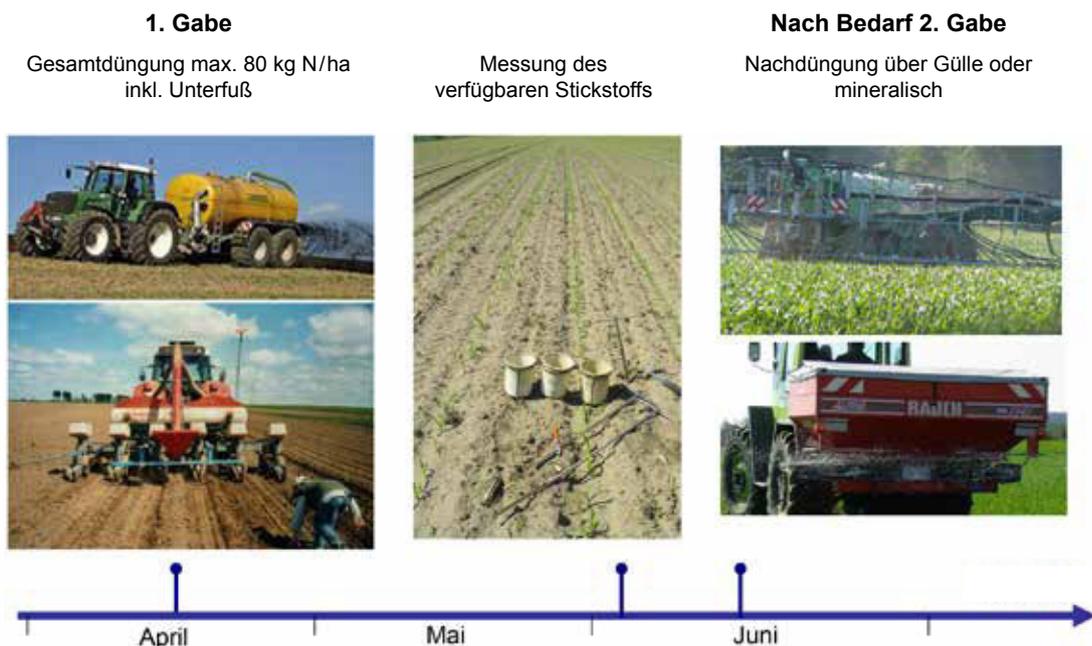


Abb. 22: Ablaufschema zur Anwendung der Spätfrühjahrs-N_{min}-Methode im Düngesystem Mais (INGUS 2013a)

Probenahme und Messung

Die Probenahme sollte möglichst vor dem letztmöglichen Düngezeitpunkt erfolgen. Bei den Zuckerrüben ist dies kurz vor Reihenschluss, bei Mais im Acht-Blatt-Stadium (s. Abb. 23). Der Zeitpunkt der Probenahme ist allerdings auch mit den Landwirten abzusprechen, da z. B. in Zuckerrüben häufig die zweite N-Gabe bereits deutlich vor Reihenschluss erfolgt.

Auswertung und Beratungsempfehlung

Zur Bewertung von Spätfrühjahrs-N_{min}-Werten ist die Kenntnis der bis zur Beprobung erfolgten N-Düngung (Art, Menge, Zeitpunkt) und des N-Mineralisationspotenzials des Bodens dringend erforderlich. Für die Einzelfrüchte sind folgende Optimalbereiche anzustreben, die sich an die N-Sollwerte der LWK Niedersachsen (LWK NIEDERSACHSEN 2010a) anlehnen und ertragsunabhängig sind:

- Zuckerrüben: 150 bis 160 kg N/ha
- Mais: 140 bis 160 kg N/ha

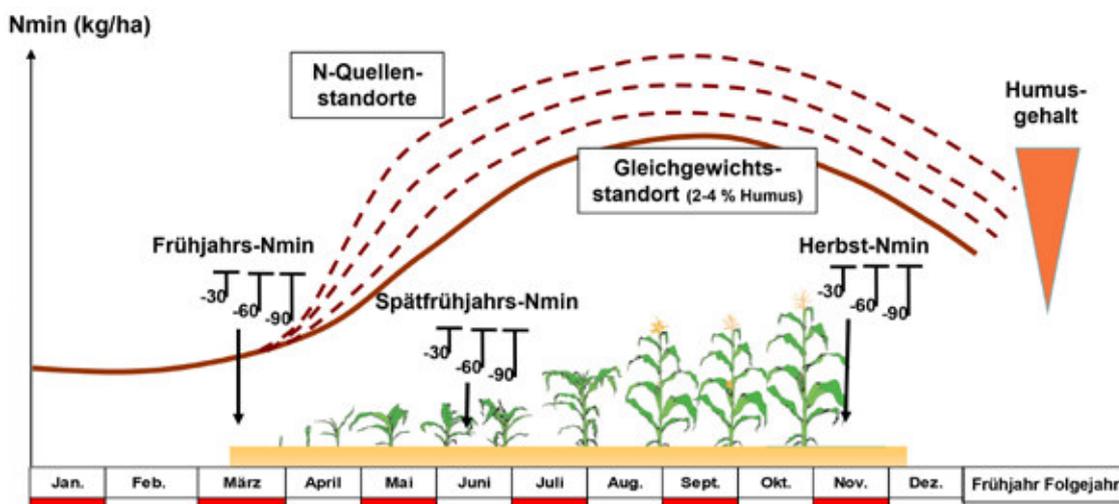


Abb. 23: Schema zur Erfassung der N-Mineralisation mittels Spätfrühjahrs-N_{min} (INGUS 2012b)

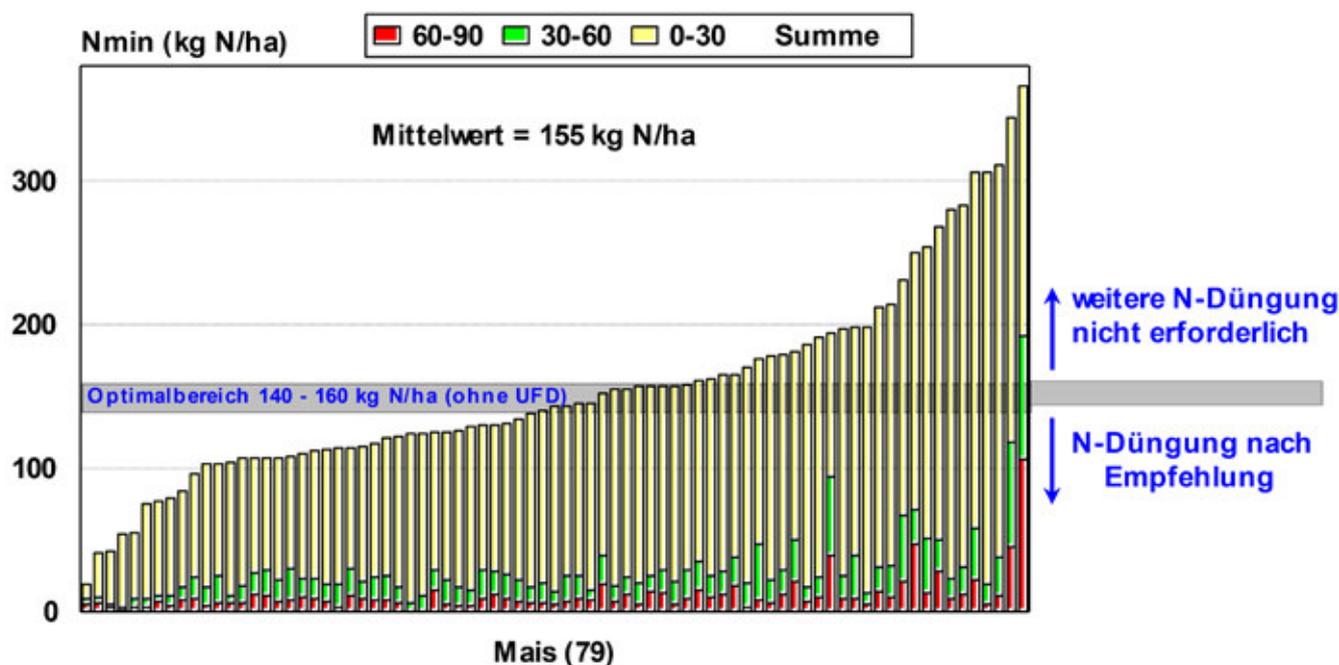


Abb. 24: Spätfrühjahrs-N_{min}-Werte 2011 (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)

- Kartoffeln: 120 bis 160 kg N/ha je nach Produktionsrichtung

Spätfrühjahrs-N_{min}-Werte oberhalb dieser Optimalbereiche weisen auf eine hohe N-Versorgung hin. Damit kann eine weitere N-Düngung unterlassen und zukünftig die erste N-Gabe geringer bemessen werden. N_{min}-Werte unterhalb dieser Optimalwerte zeigen einen Düngebedarf (s. Abb. 24), die Höhe erfolgt in Absprache mit den Bewirtschaftern. Da die Unterfußdüngung bei der Beprobung nicht erfasst wird, ist diese N-Menge noch zum aktuellen N-Versorgungszustand hinzu zu rechnen.

Durchführung der Nitrachek-Methode

Probenahme und Messung: An 30 repräsentativen Pflanzen wird die Halm- bzw. Sprossbasis freigelegt und ein 1 cm langes Stück herausgeschnitten. Wichtig: Oberhalb der Halm- oder Sprossbasis entnommene Proben ergeben falsche Ergebnisse zum Versorgungszustand, da die Nitratkonzentration im Pflanzensaft nach oben hin deutlich abnimmt. Aus den Halm-/Sprosstücken wird mittels einer Presse (Schraubstock) der Pflanzensaft gewonnen. Mit Hilfe eines Teststäbchens und eines Messgeräts wird die aktuelle Nitratkonzentration im Pflanzensaft gemessen (s. Abb. 25). Anhand empirisch ermittelter Optimalbereiche gibt die gemessene Konzentration Aufschluss über den Versorgungszustand des Bestands. Ist der Optimalbereich unterschritten, muss nach Rücksprache mit dem Landwirt und unter Berücksichtigung der bereits erfolgten N-Düngung sowie des Witterungsverlaufs entschieden werden, ob und in welcher Höhe eine

weitere Düngung notwendig ist. Die Nitrachek-Methode gibt somit Hinweise über den Zeitpunkt einer Düngungsmaßnahme. Die Höhe der anstehenden Düngergabe ist von der Beratung in Abhängigkeit von der Nitratkonzent-



Abb. 25: Nitrachek-Gerät mit Teststreifen (INGUS)

ration, der bisherigen Düngung und dem gesamten Düngeneiveau in Absprache mit dem Landwirt zu bemessen. Für einwandfreie Messergebnisse und die sachgerechte Auswertung sind folgende Punkte zu beachten:

- Beprobung erfolgt unmittelbar vor der geplanten Düngungsmaßnahme - bei Trockenheit muss der Untersuchungstermin hinausgezögert werden, bis der Bodenwassergehalt für die Pflanzenversorgung ausreicht. Wenn der Nitratgehalt im Pflanzensaft noch im Optimalbereich liegt, wird die N-Düngung verschoben und je nach Witterung und Entwicklungszustand des Bestands nach z. B. sechs Tagen eine erneute Untersuchung durchgeführt.

- Probenahme vormittags, bei bedecktem Himmel auch ganztags möglich
- Auswahl eines repräsentativen Teilstücks (z. B. die N_{\min} -Beprobungsparzelle) – diagonal in den Schlag hineingehen und durchschnittliche Einzelpflanzen aussuchen, bei jedem erneuten Beprobungstermin den gleichen Bereich beproben;
- Probenmaterial: jeweils 30 Pflanzen
- Getreide: unteres 1-cm-Teilstück des Haupt-Halms
- Kartoffel: weißes 1-cm-Teilstück des zuvor freigelegten Hauptstängels
- Mais: unteres 1-cm-Teilstück des Stängels
- Das Probenmaterial muss trocken und sauber sein.
- Presssaftgewinnung (Pflanzenteile in eine Plastiktüte geben und im Schraubstock auspressen) und Messung erfolgt unmittelbar nach der Probenahme, sonst ist das Probenmaterial bis zur Messung zu kühlen.
- Eichung des Messgerätes mit Eichlösung für jede neue Packung Messstreifen
- Verdünnen des Presssafts, so dass der Messbereich von 500 ppm nicht überschritten wird (nach orientierender Messung gegebenenfalls erneut verdünnen und messen).
- Erforderliche Zusatzinformationen: Bodenzustand (Feuchte), Entwicklungsstadium des Pflanzenbestands und bisherige Düngergaben (Ausbringungsweise, Düngerform, Düngungshöhe, Termine)

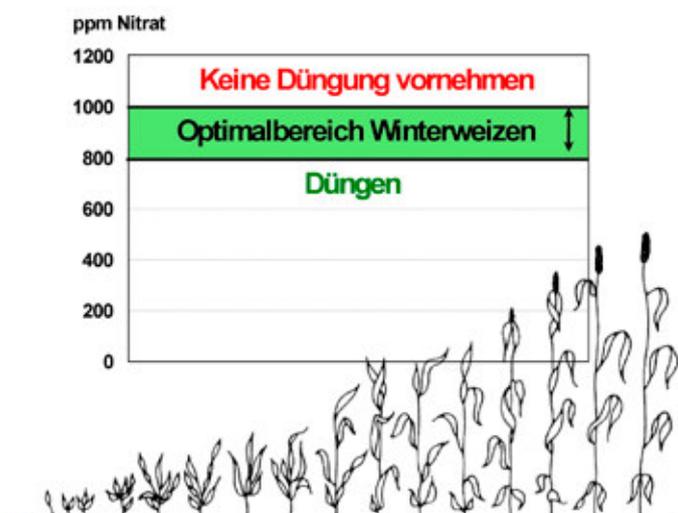


Abb. 26: Optimalbereich der NO_3 -Konzentration im Vegetationsverlauf für Winterweizen (verändert nach NITSCH 2011)

Auswertung und Beratungsempfehlung:

Getreide: Der Optimalbereich der N-Versorgung liegt in der ganzen Vegetationsperiode bei 800 bis 1.000 ppm (s. Abb. 26). Die Düngungen zum Schossen und die N-Spätgabe werden jedoch jeweils bis zur Unterschreitung eines Grenzwerts von etwa 600 ppm hinausgezögert. Bei anhaltend hoher N-Versorgung kann eine N-Düngergabe eingespart werden.

Mais: In der Hauptwachstumsphase liegt der Optimalbereich bei 3.000 bis 5.000 ppm. Bei optimaler N-Düngung fällt die Konzentration in den letzten Wochen vor der Ernte auf 1.000 bis 2.000 ppm ab.

Kartoffeln: Die Untergrenze des Optimalbereichs nimmt von 6.500 ppm im Austrieb bis auf etwa 3.500 ppm im Entwicklungsstadium 60 ab.

Erfolgsbewertung

Mit den beschriebenen vegetationsbegleitenden Methoden ist es möglich, in der Praxis übliche Risikozuschläge bei der N-Düngung zu kappen und die N-Nachlieferung des Bodens zu berücksichtigen. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung der N-Düngung bei gleichzeitig hohen Erträgen und Qualitäten und damit zu einer Verringerung des N-Bilanzsaldos. Besonders hohe Einspareffekte sind auf Standorten mit bodenbedingt hoher N-Nachlieferung (z. B. Niedermoore, Anmoore, Auftragsböden) und bei langjähriger Wirtschaftsdüngeranwendung zu erzielen. Ferner kann während des Vegetationsverlaufs die geplante Düngemenge und -verteilung hinterfragt und an witterungsbedingte und standortbedingte Veränderungen der Ertragserwartung zeitnah angepasst werden.

Erfolgsbeispiel Spätfrühjahrs- N_{\min} -Methode

Tabelle 6 belegt beispielhaft für das Jahr 2010 und acht Pilotflächen in Schleswig-Holstein, dass mit dem Einsatz der Spätfrühjahrs-Methode gemäß der in Abbildung 2 beschriebenen Vorgehensweise einer „Stickstoff-2 Gaben-Strategie“ zu Mais (zunächst verhaltene erste N-Gabe von im Mittel 81 kg N/ha und Überprüfung des weiteren N-Düngebedarfs mittels einer Spätfrühjahrs- N_{\min} -Probe für sechs Flächen keine und nur für zwei Flächen eine geringe Nachdüngung (20 bis 30 kg N/ha) erforderlich gewesen ist, um das N-Angebotsoptimum von 160 bis 180 kg N/ha Anfang Juni zu erreichen (INGUS 2011). Damit wurde gegenüber der vergleichbaren Standarddüngung von ca. 130 kg N/ha (auf Sandböden der mittleren Geest in Schleswig-Holstein) eine N-Düngereinsparung von mindestens 50 kg/ha erreicht.

Eine umfangreiche Wiederholung auf 21 Maisschlägen in den Jahren 2011 und 2012 zeigte für 85 % der Flächen ebenfalls keinen Nachdüngbedarf. Zur Erfolgs-

Düngung kg N / ha			Optimalwert: 160 bis 180 kg N/ha		
Schlag	Summe	Anteil UFD*	SFN-Wert (9.6.2010)	N-Angebot Anf. Juni (SFN-Wert + UFD)	Empfehlung
1	87	47	103	150	20 kg N/ha nachdüngen
2	63	24	173	197	keine Nachdüngung
3	87	47	143	190	keine Nachdüngung
4	87	47	95	142	30 kg N/ha nachdüngen
5	80	40	171	211	keine Nachdüngung
6	82	32	125	157	keine Nachdüngung
7	80	40	165	205	keine Nachdüngung
8	82	32	165	197	keine Nachdüngung
Ø	81	38,5	142,5	181,1	

Tab. 6:
N-Düngereinsparungen pro Jahr gemäß eines Spätfrühjahrs-N_{min}-(SFN)Programms in einem WRRL-Beratungsgebiet in Schleswig-Holstein; UFD* = Unterfußdüngung (INGUS 2011).

kontrolle wurden alle 21 Schläge in beiden Jahren mit einer Herbst-N_{min}-Beprobung begleitet. 2011 ergab sich ein mittlerer Herbst-N_{min}-Wert von 36 kg N/ha und 2012 von 58 kg N/ha. Durch die Vermeidung einer N-Überdüngung wurde im Mittel der beiden Jahre ein mit 47 kg N/ha besonders grundwasserschonendes Herbst-N_{min}-Niveau erreicht. Dies entspricht bei Umrechnung auf 280 mm Sickerwasserneubildung einem Nitratwert im Sickerwasser (nach Mais) von ca. 75 mg/l. Gleichzeitig wurden in beiden Jahren für diese Standorte typische Frischmasse-Erträge (2011: 410 dt FM/ha und 2012: 461 dt FM/ha) erreicht. Diese Ergebnisse belegen, dass sich Maisanbau und gute Sickerwasserqualität verbinden lassen.

Erfolgsbeispiel Nitratek-Methode

Mit der Nitratek-Methode wird zwar auch eine Aussage über die Höhe einer zu empfehlenden Düngemaßnahme getroffen, im Vordergrund stehen aber Einsparpotenziale aus unterlassenen Düngegaben, wenn die Bestände ohne zusätzliche N-Düngung ausreichend versorgt

sind. Versuche der LWK Niedersachsen in Winterweizen zeigen Einsparpotenziale gegenüber der herkömmlichen N-Düngung von bis zu 30 kg N/ha (LEHRKE 1999). Es wurde auch beobachtet, dass mit gleichem Düngungs-niveau höhere Erträge erzielt wurden und somit geringere Bilanzüberschüsse realisierbar sind. Die Methode ist im Vergleich zum Hydro-N-Tester zeitaufwendiger, zeigt nach langjährigen Praxiserfahrungen aber genauere Ergebnisse.

Tabelle 7 belegt beispielhaft für das Jahr 2012, dass mit dem Einsatz der Nitratek-Methode für die Mehrheit der Schläge eines 569 ha umfassenden Untersuchungsprogramms eine Abschlussdüngung und damit in der Summe 12.750 kg N-Dünger eingespart werden konnten. Zusammenfassend lassen sich beide Methoden als bestandsnahe pflanzenbauliche Beratungswerkzeuge mit hoher Erfolgserwartung charakterisieren. Auch durch den zunehmenden Einsatz organischer Dünger bei reinen Marktfruchtbetrieben sind die Spätfrühjahrs-N_{min}-Methode und die Nitratek-Methode ein schnelles und wirksames

Kultur	Anzahl Flächen	Größe in ha	Düngung	geplante Düngung in kg N/ha	eingesparte N-Menge in kg
Mais	33	127,0	Abschlussdüngung eingespart	36	4.572
Mais	3	31,7	Nachdüngung erforderlich	36	
S-Getr.	1	3,1	Abschlussdüngung eingespart	30	93
W-Gerste	12	66,5	Abschlussdüngung eingespart	30	1.995
W-Gerste	3	20,3	Nachdüngung erforderlich	30	
Triticale	12	57,5	Abschlussdüngung eingespart	30	1.716
Triticale	5	20,0	Nachdüngung erforderlich	30	
Roggen	17	78,8	Abschlussdüngung eingespart	25	1.970
Roggen	4	83,8	Nachdüngung erforderlich	25	
Weizen	14	68,7	Abschlussdüngung eingespart	35	2.404
Weizen	3	11,8	Nachdüngung erforderlich	35	
gesamt	117	569,4	insgesamt eingesparte Stickstoffmenge		12.750

Tab. 7:
N-Düngereinsparungen pro Jahr gemäß eines Nitratek-Programms im TGG Ristedt der Harzwasserwerke GmbH mit mittlerem Einsatz an organischen Nährstoffträgern (INGUS 2012a)

Beratungsinstrument. Für viele Landwirte stellt ansonsten die Bemessung der N-Nachlieferung eine unkalkulierbare Größe dar.

2.3.1.4 Stickstoffdüngemberatung im Herbst

Kurzcharakteristik

Jeder Düngefehler im Herbst wirkt sich besonders negativ auf die Gewässergüte aus. Deshalb muss zukünftig bei der Düngemberatung allgemein, aber besonders bei der WZB diesem Thema mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Während in festgesetzten WSG die organische Herbstdüngung oft geregelt ist, hat sich das Problem in den nicht festgesetzten TGG und außerhalb der WSG in den letzten Jahren deutlich verschärft. Bezugnehmend auf die Erfahrungen im Rahmen der WZB in den TGG sowie in der WRRL-Beratungskulisse Nitratreduktion sind die Hauptgründe hierfür:

- der steigende Verbringungsdruck organischer Dünger, wobei deren zunehmende Ausbringung im Herbst auf fehlende Lagerraumkapazitäten insbesondere für Gülle und Gärreste zurückzuführen ist
- die generelle Intensitätssteigerung im Ackerbau, die zu einer wachsenden Stickstoff (N)-Herbstdüngung zu Raps und Wintergetreide geführt hat
- immer engere Fruchtfolgen und Bewirtschaftungsfehler (z. B. Bodenschadverdichtungen, späte und ungünstige Saattermine/-bedingungen), deren Nachteile durch eine „N-Reparatordüngung“ behoben werden sollen.

Eine N-Herbstdüngung in der „ausklingenden“ Vegetationsphase widerspricht vielfach dem Grundsatz der Düngeverordnung. Der Geltungsbereich der DüV bezieht sich nicht nur auf die optimale Nährstoffversorgung für ein ökonomisches Ertragsoptimum, sondern auch auf die „Verminderung von stofflichen Risiken“ durch die Düngung (BMELV 2007). In Niedersachsen stehen aus der WZB langjährige Messergebnisse zum Stand des sommerlichen Boden-N_{min}-Vorrats nach Getreide und Raps zur Verfügung. Sogenannte „Ernte-N_{min}-Untersuchungen werden direkt nach der Ernte Anfang August sowie im Herbst (sogenannte „Herbst-N_{min}“) Mitte Oktober bis Mitte November von 0 bis 90 cm Tiefe gemacht. Im Mittel der Jahre liegt der Ernte-N_{min}-Wert in einem Korridor zwischen 30 und 50 kg N/ha und der Herbst-N_{min}-Wert (ohne nachfolgende Grundwasserschutzmaßnahmen)

zwischen 60 und 100 kg N/ha. Diese Mengen reichen in der Regel aus, den Nährstoffbedarf nahezu aller Anbaukulturen im Herbst abzudecken, so dass im Umkehrschluss im Herbst meist kein N-Düngebedarf besteht. Gemäß DüV genügt der leicht verfügbare Boden-N-Vorrat zur Abdeckung des Nährstoffbedarfs.

Generell besteht ein hoher Bedarf für wirksame gesetzliche und beratungsseitige Minderungsstrategien zu N-Düngung im Herbst. Rechtlich betrifft dies vor allem weitergehende Konkretisierungen der DüV, wie sie z. B. in Nordrhein-Westfalen (MUNLV NORDRHEIN-WESTFALEN 2012) und Niedersachsen (ML 2013) zumindest für N-haltige organische Flüssigdünger eingeführt wurden.

Darüber hinaus gibt es im Rahmen der fachbehördlichen Düngeempfehlungen bisher keine etablierten Methoden zur Bestimmung des N-Düngebedarfs im Herbst, so dass entsprechende Beratungsansätze noch zu entwickeln sind. Einige Bundesländer haben bereits erste Systeme für ein jährliches N_{min}-Richtwertmonitoring für die Monate August bis Oktober aufgebaut, die eine Beurteilung des N-Düngebedarfs zulassen (JACOBS 2012). Hier kommt man zu dem gleichen Ergebnis wie in der WZB in Niedersachsen. Demnach besteht in den meisten Jahren im Herbst zu Winterungen kein N-Düngebedarf, da der gemessene, leicht verfügbare Boden-N-Vorrat zur Deckung des vorwinterlichen Nährstoffbedarfs ausreicht. Dies gilt nach Raps, Mais, Kartoffeln, Körnerleguminosen, Gemüse und Zuckerrüben, vielfach auch nach Getreide.

Anwendungsbereich und Durchführung

In Abbildung 27 ist der mittlere N-Bedarf zwischen August und Dezember für Wintererbsen (< 80 kg N/ha), zwischen September/Oktober und Dezember für Winterweizen (< 20 kg N/ha) sowie für Wintergerste und Winterroggen (< 50 kg N/ha) abgebildet (JACOBS 2012).

Im Optimalfall ist, wie in Kapitel 2.3.1.1 dargestellt, die im Herbst stattfindende Düngeplanung der Startpunkt eines Düngejahrs, das nach der Ernte der Vorfrucht beginnt und spätestens im kommenden Jahr mit Ernte der Hauptfrucht endet. Diese Definition wird gewählt, da die Düngergaben im Sommer und Herbst (z. B. Grundnährstoffe oder Stickstoff zu Zwischenfrüchten und Wintererbsen) bereits der Ertragserzielungsabsicht des Folgejahrs zuzurechnen sind. Zu berücksichtigen sind dabei folgende Aspekte:

- Die Unterlassung der N-Düngung im Herbst trägt maßgeblich zum Erfolg des Grundwasserschutzes bei, hohe N-Gaben im Herbst führen dagegen meist auch zu hohen Nitratausträgen.

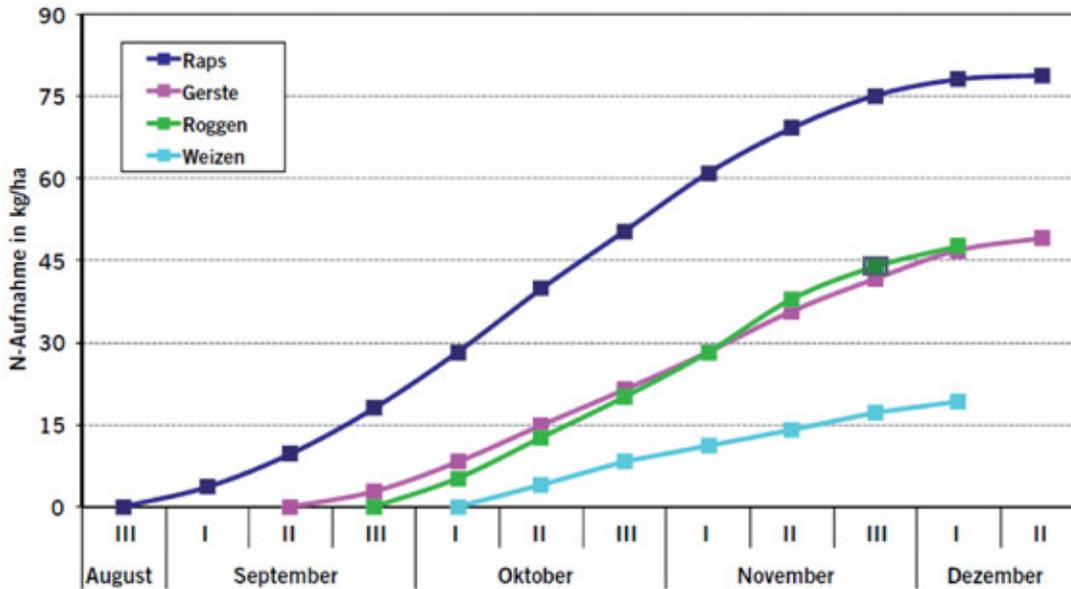


Abb. 27:
N-Aufnahme (kg N/ha)
zwischen August und
Dezember von Winter-
raps und Wintergetreide
(JACOBS 2012)

- Der Einsatz organischer N-Dünger erfolgt häufig im Herbst, obwohl der Düngebedarf der Früchte gering ist (fehlende Lagerkapazitäten).
- In vielen WSG in Niedersachsen gibt es bereits gebietsspezifische Regelungen zur Vermeidung der N-Herbstdüngung (örtliche WSG-VO) bzw. es gilt über die landesweite Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten (MU 2009) ein weitgehendes Aufbringungsverbot für organische Wirtschaftsdünger im Herbst. Darüber hinaus gelten seit jüngster Zeit erweiterte Verwaltungsvorschriften (Erlasse), die eine weitgehende Einschränkung der N-Herbstdüngung vorschreiben (z. B. MUNLV NORDRHEIN-WESTFALEN 2012, ML 2013).
- In der WZB wird insbesondere nach Getreide bzw. nach anderen früh räumenden Früchten, wie Frühkartoffeln, Gemüse der sogenannte Ernte- N_{\min} -Wert (Beprobung wenige Tage nach der Ernte) seit vielen Jahren als ein Ausgangsparameter für die Bemessung der Nährstoffversorgung und die Abschätzung eines gegebenenfalls bestehenden Düngebedarfs im Herbst herangezogen. Ernte- N_{\min} -Werte liegen nach Getreide im Mittel der Jahre bei 30 bis 50 kg N/ha nach Frühkartoffeln und Gemüse deutlich darüber. Im Regelfall erhöht sich der Ernte- N_{\min} -Ausgangswert über den Spätsommer nochmals um mehrere 10 kg N/ha. Damit kann der N-Bedarf der Folgefrüchte, auch fast immer zur Strohrotte ausreichend abgedeckt werden. Beispiel: Nach Getreide liegen die Herbst- N_{\min} -Werte meist zwischen 60 und 80 kg N/ha, der N-Bedarf des nachfolgenden Wintergetreides liegt aber mit max. 30 bis 45 kg N/ha immer darunter.
- Für die Beratung zur Herbstdüngung besitzt die WZB langjährige Erfahrungen
 - in der Beurteilung der Ernte- N_{\min} -Werte (erhöhtes Niveau, Ursachen etc.)
 - in der Entwicklung der N_{\min} -Werte zwischen Ernte und Herbst (in Abhängigkeit der Witterung, bei langjähriger organischer Düngung etc.)
- Der Schwerpunkt der WZB zur N-Düngung im Herbst liegt in der Information der Landwirte zu den rechtlichen Vorgaben sowie zur Wirkung einer N-Düngung im Herbst. Danach wird ein N-Düngebedarf nur selten festgestellt.
- Die gesetzlichen Vorgaben (DüV, Vollzugshinweise zur DüV, Landes-SchuVO, WSG-VO, Naturschutzgesetz etc.) und Empfehlungen der Fachbehörden sind mindestens einzuhalten.
- Die Erfahrungen aus der Ernte- N_{\min} -Beprobung und der N_{\min} -Nachernte-Entwicklung bis zum Herbst zeigen, dass für den Anbau von Wintergetreide nur in Einzelfällen ein Düngebedarf besteht und meist auch kein Düngebedarf zur Strohrotte. Die Ergebnisse des jährlichen N_{\min} -Richtwertmonitorings für August bis Oktober aus Nordrhein-Westfalen bestätigen dies (JACOBS 2012).
- Zahlreiche Herbst- N_{\min} -Auswertungen der letzten Jahre zeigen allein für die Ackerkrume bis 30 cm Tiefe N_{\min} -Gehalte, die den gesamten N-Bedarf des Wintergetreides vor Winter übersteigen. Auch vorübergehende Mangelerscheinungen können sich im Laufe der Wachstumsphase wieder verwachsen. Die Kosten für

den Düngereinsatz und vielmehr noch der Schaden für das Grundwasser sind dagegen wesentlich höher einzuschätzen.

- Nach derzeitigem Stand besteht z. B. in Niedersachsen (ML 2013) nach der Ernte der letzten Hauptfrucht bis zum Winter kein N-Düngebedarf:
 - nach Mais, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben, Feldgemüse und Leguminosen,
 - zur Förderung der Strohrotte.
- In allen anderen Fällen, z. B. zu Wintergetreide und Raps, kann im Zweifelsfall der Düngebedarf für den Landwirt über eine N_{\min} -Bodenanalyse (oder über den N-Schnelltest) ermittelt werden. Wird bereits in der Ackerkrume ein N_{\min} -Gehalt über 30 kg N/ha festgestellt, besteht für das stehende Wintergetreide meist kein Düngebedarf.

Erfolgsbewertung und Ausblick

Hauptziel der N-Düngeberatung im Herbst ist die Vermeidung erhöhter Herbst- N_{\min} -Werte. Der Nachweis erfolgt über jahres-, gebiets- und fruchtspezifische Herbst- N_{\min} -Untersuchungsprogramme und deren Auswertung. Darüber hinaus ist folgendes zu empfehlen:

- Die Anlage von Düngefenstern (als Null-Parzelle) auf mit Stickstoff gedüngten Herbstsaaten ist anzustreben, insbesondere für Getreide und Winterraps. Außerdem sollte eine Prüfung des erreichbaren Erfolgs auf Demonstrationsflächen durch Vergleichsvarianten „mit“ und „ohne“ Herbstdüngung, ergänzt um N_{\min} -Zeitreihen vom Herbst bis ins Frühjahr (z. B. in zwei bis drei Wochen-Abständen und die pflanzenbauliche Beurteilung der Bestände im Herbst und nachfolgenden Frühjahr) erfolgen (s. Kap. 2.3.7).
- Vergleich der Düngeempfehlungen und der tatsächlich durchgeführten Düngung über Ackerschlagkarteiauswertung, bei größerer gesamtbetrieblicher Bedeutung auch über Hoftorbilanz-Auswertung (gegebenenfalls Einsparung an Mineraldünger im nachfolgenden Frühjahr)
- Durchführung von Nitrat-Tiefenprofilen zur Beobachtung der N-Dynamik, wenn die Bewirtschaftung von Einzelschlägen umgestellt und aufgrund der Beratungsempfehlungen auf eine Herbstdüngung verzichtet oder deutlich reduziert wurde.

2.3.1.5 Düngeberatung für Standorte mit erhöhter Stickstoffnachlieferung

Kurzcharakteristik

Im eiszeitlich geprägten norddeutschen Tiefland sind bei geringen Grundwasserflurabständen humusreiche Böden weit verbreitet. Dies gilt auch für große Teile Nordwestniedersachsens sowie die in die grundwasserfernen Landschaften Mittel- und Ostniedersachsens eingebetteten Geestniederungen und Flussauen. Viele dieser Böden wurden nach dem Zweiten Weltkrieg durch umfangreiche Entwässerung und Melioration in agrarische Nutzung überführt. Seit einigen Jahren werden die oft als Grünland genutzten Flächen zunehmend als Acker genutzt. Der durch die beschriebenen Maßnahmen ausgelöste Humusabbau hat bereits in der Vergangenheit zu hohen N-Einträgen in die Gewässer (Grundwasser und Oberflächengewässer) geführt.

Durch die veränderten Nutzungsverhältnisse werden diese Standorte meist für Jahrzehnte zu starken „N-Quellenstandorten“. Um eine Minderung zukünftiger N-Belastungen in den Gewässern zu erreichen, ist eine spezialisierte Düngeberatung erforderlich, die die bodenbedingt erhöhten N-Freisetzungen vor allem bei ackerbaulicher Nutzung berücksichtigt.

Diese Problematik kann sich in TGG verstärken, in denen Entnahmebrunnen in Landschaftsbereichen mit geringen Grundwasserflurabständen gebaut wurden und ein enger hydraulischer Kontakt zwischen Grundwasserentnahme und oberflächennahem Grundwasser besteht. Durch die entnahmebedingte Grundwasserabsenkung kann es zu einer zusätzlichen Belüftung humusreicher Böden kommen, die teilweise überhaupt erst eine Umnutzung von Grünland zu Acker ermöglicht.

Grünlandumbrüche sowie der Auftrag von Bodenmaterial mit hoher N-Freisetzung (z. B. Rüben-Anhangerde) auf humusreichen Böden erfordern ebenfalls eine Spezial-Düngeberatung.

Bei humusreichen Böden führt die Düngeplanung nach der N_{\min} -Sollwert-Methode zu überhöhten N-Gaben, da Düngeabschläge für die N-Mineralisation des Bodens fehlen. Gemäß Düngeverordnung gilt, dass der Nährstoffvorrat des Bodens bei der frucht- und schlagspezifischen Bemessung des Düngebedarfs berücksichtigt werden muss. Das kann die klassische Frühjahrs- N_{\min} -Methode wegen des frühen Beprobungstermins für humusreiche Böden nicht leisten. Deshalb sind zusätzliche Hilfsmittel erforderlich, mit denen der „düngewirksame“ Anteil der N-Mineralisation humusreicher Böden abschätzbar ist.

Nachfolgend wird beschrieben, wie humusreiche Böden systematisch erfasst und deren N-Nachlieferung in die einzelnen Stufen der Düngeberatung (Düngeplanung, Düngeempfehlung im Frühjahr, vegetationsbegleitende Düngeberatung und Düngung im Herbst) integriert werden kann. Dies hat neben der Minderung von Umweltbelastungen auch den Vorteil geringerer Düngerkosten

Zusatzinformation

Die erhöhte N-Nachlieferung aus langjähriger organischer Düngung zählt per Definition nicht zum „Standortfaktor Humus“, sondern ist ein Bewirtschaftungsfaktor, da organische Dünger wie Grünschnitt, Biokompost, Stroh, Mist als Nährhumus einzustufen sind. Grund: Die organische Düngung unterliegt in der Regel keiner Humifizierung und führt daher nicht zu einem messbaren Anstieg des Humusgehalts eines Bodens. Düngeabschläge bei langjährig organischer Düngung werden in Kapitel 2.3.1.6 behandelt.

wasserfernen Ackerböden je nach Humusgehalt und -mächtigkeit zweifach (Gleyböden) bis mehr als 20-fach (z. B. Niedermoorboden) höhere Gesamt-N-Mengen enthalten. Humusreiche Böden sind im ursprünglichen, wassergesättigten Zustand nahezu vollständig konserviert und besitzen wegen ihrer vollständigen Denitrifikationsleistung eine hohe Schutzfunktion gegenüber erhöhten Stoffeinträgen in Gewässer. Abbildung 28 zeigt, wie aus solchen Standorten durch Grundwasserabsenkung (entwässerungs- und/oder entnahmebedingt) starke „N-Quellenstandorte“ mit hoher Nitratfreisetzung werden können.

Die meisten humusreichen Böden in Niedersachsen werden wegen der starken Flächennachfrage heute zunehmend ackerbaulich genutzt (Stichwort Energie-maisanbau). Sie sind stark degradiert (s. Abb. 28, mittleres und rechtes Bild) und setzen Jahrzehnte lang große N-Mengen frei, bis ein neuer N-Gleichgewichtszustand erreicht ist. Entwässerte, humusreiche Böden in Acker-nutzung sind daher neben dem Einsatz mineralischer und organischer Dünger heute eine der größten Belastungs-ursachen für diffuse Stoffeinträge in Gewässer. Zu den besonders humosen N-Quellenstandorten gehören stark humose Gleye, Anmoore und Niedermoore.

In der innergebietlichen Prioritätensetzung eines TGG (s. Kap. 2.1.3) sind entsprechende Flächen meistens mit einem sehr hohen Grundwasserschutzbedarf belegt.

Anwendungsbereich und Durchführung

Relevanz humusreicher Böden

Die Verbreitungsgebiete humusreicher Böden in Nie-dersachsen sind grundwassernahe Landschaften sowie die Nahbereiche von Oberflächengewässern. Es sind ursprünglich natürliche N-Senken, die gegenüber grund-

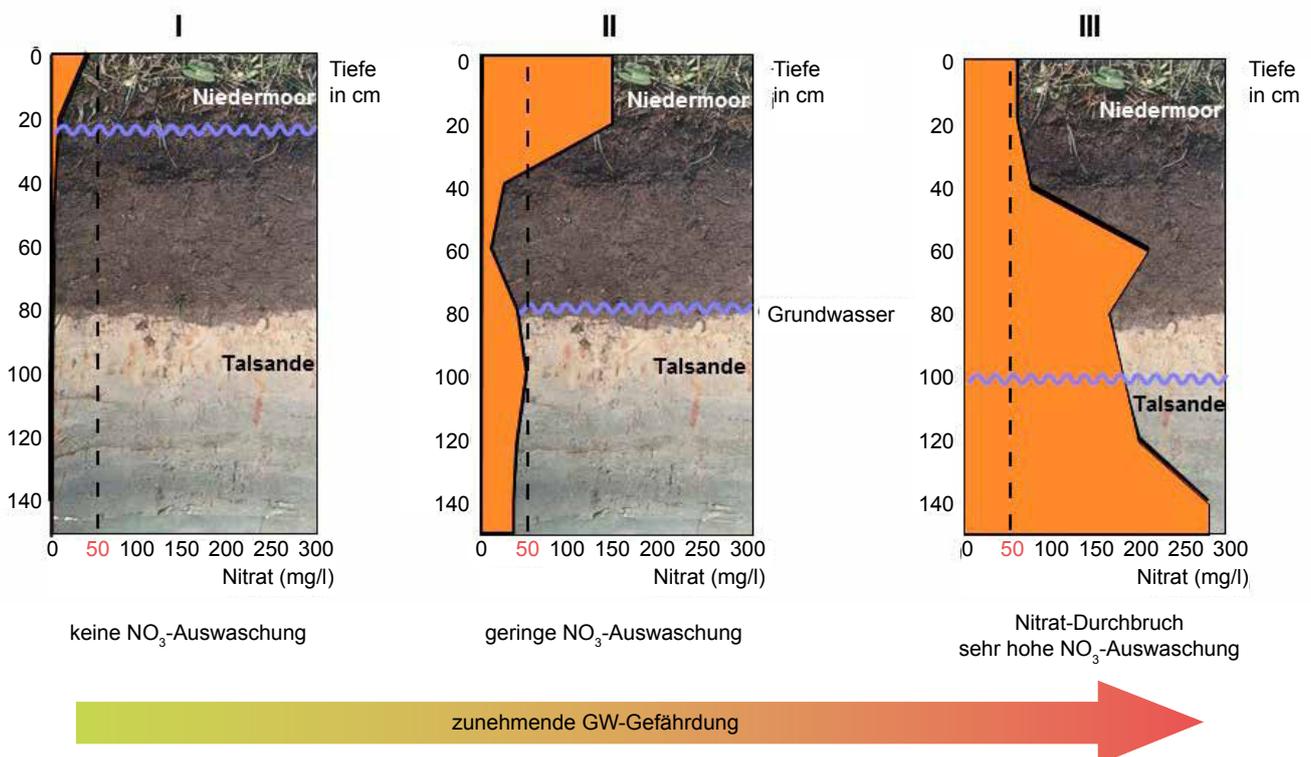


Abb. 28: Degradation humusreicher Böden und Gefährdung für das Grundwasser

Beispiel zur Berücksichtigung humusreicher Böden in der Düngeberatung

Wie bedeutend das Problem ist, und wie es durch eine gezielte Berücksichtigung bei der Düngebedarfsermittlung abgemildert werden kann, wird am Beispiel des WSG Fuhrberger Feld gezeigt. Es ist eines der größten zusammenhängenden WSG in Deutschland und aufgrund seiner überwiegenden Lage in einer grundwasser-nahen Geest-Niederung durch einen sehr hohen Anteil humusreicher Böden geprägt.

Im WSG Fuhrberger Feld (Gesamtgröße 30.000 ha, davon heute 14.000 ha landwirtschaftlich genutzt) sind zwischen 1950 und 2010 insgesamt ca. 8.000 ha Feuchtgrünland in Ackerland umgebrochen worden. Die WZB führt dort seit einigen Jahren eine Spezial-Düngeberatung für humusreiche Böden durch. Die praktische Vorgehensweise ist nachfolgend dargestellt. Sie ist auf ähnliche Gebietskulissen mit einem hohen Anteil humusreicher Böden (z. B. in WSG, in TGG, in der WRRL-Maßnahmenkulisse Nitratreduktion) übertragbar.

1. Schritt: Humusreiche Böden als Sonderflächen abgrenzen und Humusgehalte erfassen

Idealerweise erfolgt die Erfassung humusreicher Böden zu Beratungsbeginn mit der Gebietserfassung (s. Kap. 2.1.1). Sie kann aber auch später nachgeholt werden. Teilschritte sind:

- die GIS-technische Erfassung der morphologischen Verbreitung humusreicher Böden (Gleye, Auenböden, Anmoore, Moore, künstliche Auftragsböden etc.) über vorhandene bzw. neu erstellte Bodenkarten
- die Verschneidung mit den digital vorliegenden Schlaggeometrien
- die Kennzeichnung dieser Schläge in der Datenbank der Beratung (Stichwort Schlagverwaltung), um Son-

derprogramme zu Humusuntersuchungen und Auswertungen durchführen zu können

- die bodenkundlich versierte Probenahme der humosen Schichten, Laboranalyse des Gesamtstickstoffs und der Parameter Humusgehalt, C/N-Verhältnis sowie Berechnung der N-Menge im Bodenvorrat bis 30 cm Tiefe bzw. bis zur Untergrenze der humosen Schichten.

Exkurs: Anforderungen an die bodenkundliche Humusermittlung

1. Schläge mit homogenen Bodenverhältnissen:
 - 35–40 Einstiche (Tipp: z. B. mit Göttinger Bohrstock, um geringe Bodenmenge einzuhalten)
 - schichtweise beproben (z. B. erste Probe bis Unterkante Ap-Horizont, zweite Probe bis Unterkante des nächst folgenden humosen Horizonts)
 - möglichst in nicht zu feuchtem Zustand beproben und gut mischen
2. Schläge mit mehreren humosen Bodeneinheiten:
 - Kartierung und Abgrenzung der Bodeneinheiten
 - getrennte Probenahme für jede Bodeneinheit gemäß vorheriger Vorgehensweise

Im WSG Fuhrberger Feld wurde zwischen 2008 und 2012 für ca. 500 Schläge eine qualifizierte Probenahme zur Humusanalyse durchgeführt. Die ermittelten Humusgehalte sind in Abbildung 29 dargestellt. Nahezu alle Schläge zeigen einen Humusgehalt oberhalb vergleichbarer grundwasserferner N-Gleichgewichtsstandorte. Davon fallen 56 % in die relativ niedrige Humusklasse 2-4 %

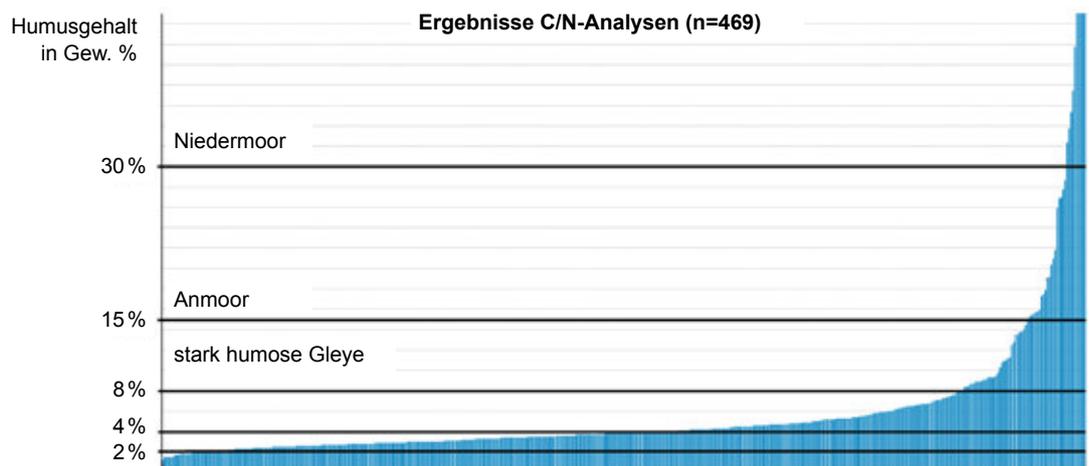


Abb. 29: Ergebnisse Humusanalysen im WSG Fuhrberger Feld zwischen 2008 und 2012

(mittel humos), 30 % in die Klasse 4-8 % „stark humos“ und die restlichen 20 % in die Klasse 8 bis > 30 %.

Demnach sind 44 % bzw. 205 Schläge durch einen so hohen Humusgehalt gekennzeichnet, dass gemäß nachfolgendem Ansatz Düngeabschläge vorgenommen werden können.

2. Schritt: Einbindung in die Düngeberatung

Einteilung der humosen Schläge nach steigendem Humus- bzw. N-Gehalt in Humusklassen und Zuweisung entsprechender, Humus bedingter N-Düngeabschläge in der Düngeplanung (s. Kap. 2.3.1.1), bei der Frühjahrs-N_{min}-basierten Düngeempfehlung (s. Kap. 2.3.1.2) und im weiteren Verlauf bei der vegetationsbegleitenden Düngeberatung (s. Kap. 2.3.1.3).

Da es in Deutschland bisher kaum Aussagen zu möglichen Düngeabschlägen bei Humus bedingt erhöhter N-Nachlieferung gibt, sollte man sich zunächst über „vorsichtige“ Düngeabschläge in der Beratung herantasten, wie die in Tabelle 8 am Beispiel für Mais dargestellt ist.

Tab. 8: Beispielhafte Herleitung von N-Düngeabschlägen für humusreiche Böden zu Mais (INGUS 2012b)

Humusgehalt in %	N-Abschlag vom N _{min} -Sollwert (kg N/ha)
4 bis 8 (stark humos)	20
8 bis 15 (sehr stark humos)	40
15 bis 30 (extrem humos)	60
> 30 (organisch)	80

3. Schritt: Überprüfung der Humus-Düngewirkung durch vegetationsbegleitende Untersuchungen

In der Beratungspraxis gibt es eine Reihe von Methoden, mit denen die in der Düngeplanung (s. Kap. 2.3.1.1) und/

oder zu Vegetationsbeginn (s. Kap. 2.3.1.2) angenommene, erhöhte N-Düngewirkung mineralisationsstarker Böden überprüft werden kann. Hierzu gehören insbesondere die in Kap. 2.3.1.3 aufgeführte sogenannten Spätfrühjahrs-N_{min}-Methode und Pflanzenanalysen (z. B. Nitrachek).

Erfolgsbewertung

Durch die Spezial-Düngeberatung lassen sich auf Standorten mit erhöhter N-Nachlieferung erhebliche Düngereinsparungen erzielen (50 bis 100 kg N/ha und mehr), ohne dass es zu einer Ertragsminderung kommt. Entsprechend vermindert sich auch der N-Saldo. Über die Auswertung der Ackerschlagkarteien lässt sich dies belegen. Diese Einsparung rechtfertigt den insgesamt deutlich erhöhten Beratungsaufwand für mineralisationsstarke Standorte.

Bei sehr stark humosen Böden (ab > 8 % Humusgehalt) kann die N-Aufnahme von Ackerbau-Pflanzenbeständen selbst bei vollständiger N-Abfuhr (z. B. Mais) nicht die gesamte bodenbedingte N-Freisetzung eines Jahres aufnehmen. Durch die Empfehlungen der Spezial-Düngeberatung kann dem erhöhten Nitratreintrag weiter gegengesteuert werden. Die Restrisiken können insbesondere in Kombination mit folgenden Maßnahmen über Herbst und Winter weiter reduziert werden:

- frühe, intensive Begrünung u./o. absolute Bodenruhe
- falls möglich, winterlicher Grundwassereinstau in die Humusdecke zur Förderung der Denitrifikation im Wurzelraum

Auf besonders Nitrat freisetzenden Standorten sind darüber hinaus Maßnahmen mit Dauerbegrünung und absoluter Bodenruhe erforderlich, z. B. mehrjähriger Feldgrasanbau bis hin zur Rückführung entsprechender Standorte in Dauergrünland.

Erfolgsbewertung	
Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	Ja, mindestens in Höhe des N-Düngeabschlags (-20 bis -80 kg N/ha) bzw. auf extrem humosen Anmoorböden und organischen Böden auch darüber.
Saldominderung	Ja, in der Höhe der erreichten N-Düngeeinsparung.
Herbst-N _{min} -Minderung	Ja, trotzdem verbleibt in der Regel ein hoher Herbst-N _{min} -Wert, da durch die Düngereinsparung nur ein Teil der N-Freisetzung abgepuffert wird. Ohne Düngereinsparung wären die Herbst-N _{min} -Werte allerdings noch höher.
Sickerwasserentlastung	Ja, trotzdem verbleiben in der Regel standortbedingt noch deutlich erhöhte Sickerwasserbelastungen, die durch Förderung des Grundwassereinstaus in die Humusdecke zur Stärkung der Denitrifikation führen.
Weitere Effekte	Insbesondere in Kombination mit weiteren Schutzmaßnahmen Reduzierung der Nitratreinträge in Oberflächengewässer.

2.3.1.6 Umgang mit organischen Nährstoffträgern

Kurzcharakteristik

Unter den Düngemitteln haben die organischen Dünger vor allem wegen ihrer Stickstoff (N)- und Phosphor (P)-Wirkung eine besondere Bedeutung. Hierzu gehören tierische Wirtschaftsdünger (Wirtschaftsdünger im Sinne der Düngeverordnung (DüV) (BMELV 2007)), Gärreste (pflanzliche Wirtschaftsdünger, oft in Mischungen mit tierischen Wirtschaftsdüngern) und weitere organische Düngemittel, wie beispielsweise Klärschlamm, Komposte und Hornspäne. Wesentlich für eine grundwasserschonende Anwendung organischer Düngemittel sind ausreichende Kenntnisse über deren Nährstoffgehalte und Anrechenbarkeit, ausreichende betriebliche Lagerkapazitäten und möglichst präzise, emissionsarme Ausbringtonen. Organische Dünger sind aufgrund ihrer Zusammensetzung (variierender Anteil organisch gebundenen Stickstoffs) hinsichtlich ihrer Düngewirkung und des Mineralisationsverlaufs im Boden schwieriger zu kalkulieren als Mineraldünger.

Bei der organischen Düngung sind grundsätzlich die rechtlichen Vorgaben hinsichtlich Art (Düngegesetz (BMELV 2009a), Düngemittel-Verordnung (BMELV 2012b), Bioabfall-Verordnung (BMU 2013)), Ausbringungsmenge und Ausbringzeitpunkt (BMELV 2007) zu beachten. Außerdem ist die niedersächsische Verordnung über Meldepflichten in Bezug auf Wirtschaftsdünger (Nds. LANDESREGIERUNG 2012) zu beachten. Auf ihrer Grundlage werden die Nährstoffströme in Niedersachsen ausgewertet. Weitergehende Einschränkungen ergeben sich in WSG durch die Vorgaben der landesweiten Verordnung über Schutzbestimmungen (SchuVO, MU 2009) und Regelungen in den örtlichen Wasserschutzgebietsverordnungen, aber auch durch den Abschluss weiterführender Nutzungsvereinbarungen (z. B. FV in den Kooperationen Trinkwasserschutz, Niedersächsische und Bremer Agrarumweltmaßnahmen (NiB-AUM)).

Der Landwirt ist verpflichtet, alle erforderlichen Maßnahmen zur ordnungsgemäßen Wirtschaftsdüngerlagerung, -mengenbemessung und -ausbringung umzusetzen. Zur Umsetzung eines vorbeugenden Trinkwasserschutzes erhält er die Unterstützung durch die WZB bei der Identifizierung und Umsetzung von Optimierungsansätzen bei der Düngeplanung sowie der Modernisierung in verlustarme Ausbringtonen und des Gülleverteils (s. Kap. 2.3.1.7). Es muss das Ziel sein, eine bessere Ausnutzung der in den organischen Nährstoffträgern enthaltenen Nährstoffe und eine Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes zu erreichen.

Anwendungsbereich und Durchführung

Es gibt mehrere Möglichkeiten, bei denen der Landwirt in Zusammenarbeit mit der WZB ansetzen kann, um die organische Düngung auf Betriebs- als auch Schlagebene zu verbessern und zu optimieren.

Nährstoffgehalte der organischen Dünger

Ein bedarfsgerechter Einsatz organischer Düngemittel ist nur möglich, wenn die Nährstoffgehalte bekannt sind. Grundsätzlich ist eine Orientierung anhand mittlerer Durchschnittswerte (Deklaration, Faustzahlen, Richtwerte) möglich. Empfehlenswert ist aber eine zeitnahe Laboranalyse der betrieblich anfallenden organischen Düngemittel, da die tatsächlichen Nährstoffgehalte erheblich von den Richtwerten abweichen können. Je nach Fütterungssystem (Viehhaltung) sowie Substrat und Anlage (Biogas) können die Nährstoffgehalte deutlich schwanken (s. Tab. 9). Bei Biogasgärresten liegt der Großteil der Nährstoffe infolge des Vergärungsprozesses in pflanzenverfügbarer Form vor. Aufgrund des relativ hohen Gehalts an stabiler organischer Substanz wird ihnen eine gewisse humusreproduzierende Wirkung nachgesagt (GUTSER & EBERTSEDER 2006, SENSEL et al. 2009).

Um zuverlässige Analysewerte zu erhalten, ist eine repräsentative Probenahme bei flüssigen Düngern nach ausreichender Homogenisierung unerlässlich, da Schwimm- bzw. Sinkschichten unterschiedliche Nähr-

Tab. 9: Nährstoffspannen und Mittelwerte (kg/t Frischmasse) aus mehrjährigen Gärrestanalysen (www.lwk-niedersachsen.de, Webcode: 01019712)

Substrat	TS (% FM)	pH	N ges*	NH ₄ -N*	P ₂ O ₅ *	K ₂ O*	MgO*	CaO*	S*
Gülle (Min-Max) (Mittel)	5,1-10,2 7,8	7,4	3,2-7,9 4,8	1,4-4,6 2,2	1,2-3,7 1,9	2,0-7,1 4,8	0,5-1,3 0,8	1,2-3,5 2,0	0,3-0,6 0,4
NaWaRo (Min-Max) (Mittel)	5,3-5,9 5,5	8,3	2,4-7,5 4,4	1,5-3,5 2,0	0,8-3,4 1,7	3,4-6,6 4,8	0,2-1,1 0,6	1,3-1,8 1,6	0,2-0,4 0,3
Bio-Abfall (Mittel)	6,3	8,2	4,5	2,7	1,8	4,2	0,6	2,0	0,3
Kofermentation (Mittel)	4,6	k. A.	3,8	2,9	1,3	1,8	0,2	5,8	0,3

stoffkonzentrationen aufweisen. Für eine gezielte Düngeplanung zum Einsatz organischer Dünger sollten jeweils vor den verschiedenen Düngeterminen betriebseigene Analysen durchgeführt und die ermittelten Nährstoffgehalte genutzt und maximal angerechnet werden.

Mengen, Anrechenbarkeiten

Organische Dünger sind wie mineralische Mehrnährstoffdünger einzusetzen, das heißt, der Nährstoff, dessen Düngebedarf zuerst abgedeckt ist, begrenzt die Aufwandmenge. Über die gesamte Fruchtfolge gesehen sollten nicht mehr Nährstoffe ausgebracht werden, als nach dem Düngebedarf der Rotation erforderlich. Die Nährstoffe Phosphat, Kali und Magnesium sind mittelfristig voll pflanzenverfügbar und werden deshalb in der Düngeplanung zu 100 % angerechnet.

Ziel der WZB ist die vollständige Anrechnung des Stickstoffs und somit eine optimierte N-Effizienz der eingesetzten organischen Dünger bei den beratenen Betrieben, die zu einer Reduzierung des Zukaufs von Mineraldüngern führen soll.

Die Pflanzenverfügbarkeit des Stickstoffs in organischen Düngern ist schwerer zu kalkulieren als bei Mineraldüngern. Stickstoff liegt in organischen Düngern in unterschiedlicher Bindungsform vor. Die Anteile an organisch gebundenem und mineralischem Stickstoff variieren bei den Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft in Abhängigkeit von Tier- und Wirtschaftsdüngerart. In flüssigen Wirtschaftsdüngern (z. B. Gülle, Gärreste, Jauche) liegt Stickstoff überwiegend als Ammonium-N ($\text{NH}_4\text{-N}$) und in festen Wirtschaftsdüngern (z. B. Rindermist) hauptsächlich organisch gebunden (N_{org}) vor. Ammonium wird mikrobiell zu Nitrat umgebaut und ist damit schnell pflanzenverfügbar. Es wirkt unter günstigen Bedingungen (Minimierung der gasförmigen Verluste) wie Ammonium-N aus Mineraldüngern. Der organisch gebundene Stickstoff muss zunächst mikrobiell mineralisiert werden und ist in Abhängigkeit von der Witterung, vom Standort und der Bewirtschaftung langsamer verfügbar. Bei Hähnchenmist oder Hühnertrockenkot (HTK) ist zu berücksichtigen, dass diese zu einem hohen Anteil leicht verfügbare,

Tab. 10: Mindestanrechenbarkeit von Stickstoff (% vom Gesamt-N) in organischen Nährstoffträgern unter optimalen Bedingungen gem. Empfehlungen der LWK Niedersachsen (www.lwk-niedersachsen.de, Webcode: 01016600)

Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft bzw. org. Düngemittel		N-Anrechenbarkeiten gem. Empfehlungen LWK Niedersachsen [%] ¹⁾		
		Mindestwerte für SchuVO, Düngeplanung und Lagerraumberechnung (schlagbezogen)		Mindestwerte für QFN und N-Dünge-Optimierer (gesamtbetrieblich)
		Getreide, Raps, Grünland ²⁾ , Zwischenfrüchte	Hackfrüchte, Mais	alle Kulturen
Gärrückstände	flüssig < 15% TS	60 ³⁾	70	60
	fest > 15% TS	30	50	40
Klärschlamm	flüssig < 15% TS	30	30	30
	>15% TS, >10% $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil	25	25	25
	>15% TS, ≤ 10% $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil	20	20	20
Kompost		10	10	10
Gülle	Rind	60	70	60
	Schwein, Geflügel	70	80	70
Jauche		90	90	90
Mist	Schwein	30	50	40
	Rind, Pferd, Schaf, Ziege, Ente, Gänse	20	40	30
	Pute	25	50	40
	Hähnchen	30	60	50
HTK		60	80	70
Weidehaltung		25	25	25

1) abgeleitet aus langjährigen Versuchen auf verschiedenen Standorten in Niedersachsen

2) auf Grünland und bei Ackergras können für die Ausbringung ab Juli die Anrechenbarkeiten um 10 % reduziert werden

3) auf Standorten ohne langjährige organische Düngung gilt: 50 %.

organische N-Verbindungen beinhalten, die bei der N-Anrechnung zu berücksichtigen sind (s. Tab. 10).

Stickstoff, der nicht im Anwendungsjahr verfügbar wird, geht je nach Standortverhältnissen in den leicht mineralisierbaren Nährhumusvorrat des Bodens über oder wird zum Grundwasser hin ausgewaschen. Eine über Jahre wiederholte, regelmäßige organische Düngung führt in der Regel zu einer Erhöhung des N-Mineralisationspotenzials des Standorts. Bei einer Düngplanung müssen dann entsprechende Düngeabschläge (kulturspezifisch -20 bzw. -40 kg N/ha) vom N-Sollwert berücksichtigt werden (LWK NIEDERSACHSEN 2012b; LWK NORDRHEIN-WESTFALEN 2012). Auf Ackerstandorten mit höherem Humusgehalt (ehemalige Dauergrünlandstandorte, anmoorige Flächen oder Moorflächen, insbesondere mit Niedermooranteilen) ist die hohe N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat bei der Düngplanung zu berücksichtigen (s. Kap. 2.3.1.5), z. B. sind auf diesen Standorten bei der Düngung von Mais Abzüge vom Sollwert vorzunehmen.

Zur Herleitung der Höhe möglicher N-Düngeabschläge wurden in den letzten Jahren Versuche auf Praxisflächen durchgeführt. Außerdem wurde die N-Wirkung organischer Dünger zur besseren Berücksichtigung der komplexen N-Umsetzungsprozesse in Feldversuchen der LWK Niedersachsen untersucht. Über einen vergleichenden Einsatz von organischen Düngern und Handelsdüngerstickstoff wurden N-Mineraldüngeräquivalente (N-Anrechenbarkeit) ermittelt. Diese geben an, zu welchem Anteil die Nährstoffe in organischen Düngern im Vergleich zu Mineraldüngern anzurechnen sind. Die N-Anrechenbarkeiten variieren in Abhängigkeit vom organischen Nährstoffträger, der Dauer/ Langjährigkeit der organischen Düngung auf derselben Fläche, den Standort- und Ausbringungsbedingungen sowie der Fruchtart.

Die in Tabelle 10 angegebenen Werte wurden anhand von Feldversuchen auf Standorten mit langjähriger Anwendung von organischen Düngern ermittelt. Dazu wurden die Nährstoffträger im Frühjahr entsprechend den Empfehlungen der LWK Niedersachsen mit praxisüblicher, verlustarmer Technik ausgebracht. Abweichungen und weitergehende Differenzierungen gegenüber den Mindestwerten gemäß DüV wurden auf der Grundlage von Feldversuchen abgeleitet und sind auf Standort- und Bewirtschaftungseinflüsse zurückzuführen.

Die entsprechenden Mindestanrechenbarkeiten sind anzuwenden bei der Berechnung auf Einzelschlagenebene, wie z. B. der Düngplanung im Geltungsbereich der SchuVO, der Lagerramberechnung sowie für eine gesamtbetriebliche Berechnung, wie dem Qualifizierten Flächennachweis (QFN) (s. Kap. 2.3.1.7) oder den N-Dünge-Optimierer (s. Tab. 10).

Lagerkapazitäten

Gemäß EU-Nitraträchtlinie (EG 1991) und der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (MU 1997) gilt für das Fassungsvermögen der Behälter zur Lagerung von Gülle und Jauche seit dem 01.01.2009 eine Mindestlagerkapazität von sechs Monaten. Der erforderliche Lagerraum ergibt sich durch den Gülle- bzw. Jaucheanfall aus der betrieblichen Tierhaltung (Anzahl aufgestallte und produzierte Tiere) und der im Betrieb anfallenden Nährstoffmengen sowie dem Umfang und der Art der angebauten Kulturen. Zudem hängt die notwendige Mindestlagerdauer von der mengenmäßigen und zeitlichen Bemessung (Sperrfristen) der Gülle- bzw. Jauchegaben ab. Der gesetzlich geforderte Mindestlagerraum von sechs Monaten ist nicht immer ausreichend. Insbesondere nach der Erntesaison im Herbst besteht auf einzelnen Betrieben mit zu knapper Lagerkapazität ein größerer Verbringungsdruck, um mit der Lagerkapazität sicher bis ins Frühjahr zu kommen. Dies kann zur Folge haben, dass Kulturen oder Flächen über den Düngebedarf hinaus begüllt werden. Unter Grundwasserschutzaspekten sollte ein Betrieb eine Lagerkapazität von acht bis zehn Monaten aufweisen (s. Tab. 11). Nur so wird sichergestellt, dass ein auf den Düngebedarf der Pflanzen ausgerichteter mengenmäßiger und zeitgerechter Wirtschaftsdüngeinsatz erfolgen kann, wie er durch die DüV vorgegeben wird. In diesem Zusammenhang sind folgende Vorgaben der DüV zu beachten:

- Verpflichtung zur Ermittlung des Düngebedarfs vor der Ausbringung
- Ausbringverbot auf überschwemmte, wassergesättigte, durchgängig gefrorene und über Tag nicht auftauende sowie höher als fünf Zentimeter mit Schnee bedeckte Böden
- Ausbringung im Herbst nur zu im gleichen Jahr angebauten Folgekulturen einschließlich Zwischenfrüchten, aber nicht nach Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Raps, Feldgemüse und Körnerleguminosen oder zur Förderung der Strohrotte
- Begrenzung im Herbst auf max. 80 kg N_{ges}/ha oder 40 kg NH₄-N/ha unter Berücksichtigung des N-Düngebedarfs
- Ausbringverbot auf Ackerland v. 01.11.–30.01./Grünland v. 15.11.–30.01., empfohlene Ausbringzeiten (s. Tab. 12).

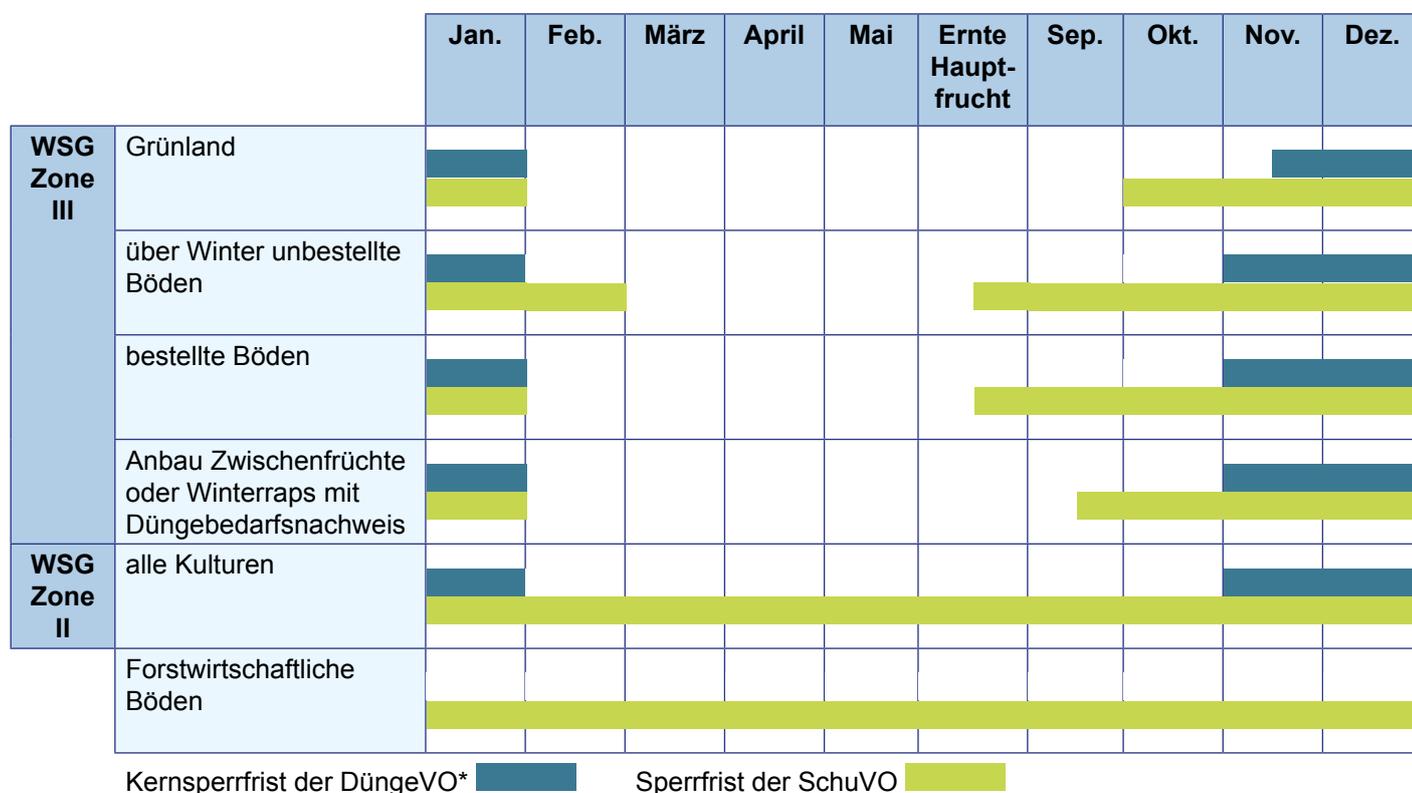
Im Rahmen der SchuVO ergeben sich in den WSG weitergehende Ausbringungsverbote und -beschränkungen

Tab. 11: Empfehlungen für grundwasserschonende Lagerkapazitäten flüssiger Wirtschaftsdünger

Betriebstyp	Flächennutzung	Lagerkapazität
Futterbaubetrieb	reine Grünlandnutzung bzw. hoher Grünlandanteil	5 – 6 Monate
Futterbau/Veredlungsbetrieb	überwiegend Ackernutzung: Gülleausbringung im Herbst zu Zwischenfrüchten und Winterraps möglich	6 – 8 Monate
Betriebe mit erhöhtem Silomaisanteil / Biogasanlage	kein Grünland und keine Möglichkeit zur pflanzenbedarfsgerechten Gülledüngung im Herbst	8 – 10 Monate

Tab. 12: Zeitschema für Aufbringungsverbote und -beschränkungen für Gülle, Jauche, Silosickersaft, Gärreste und Geflügelkot (inklusive Hähnchenmist) gemäß SchuVO (hellgrün) bzw. DüV (türkis) (LWK NIEDERSACHSEN 2013a).

Die nach Landesrecht zuständige Stelle kann nur noch andere Zeiten für die zeitliche Begrenzung genehmigen, wenn die Dauer des Zeitraums ohne Unterbrechung bei Ackerland zwölf Wochen und bei Grünland zehn Wochen nicht unterschreitet. Festmist ist weiterhin ganzjährig ausbringbar.



gen. In Tabelle 11 sind diese den Kernsperrfristen gemäß DüV gegenübergestellt. Bei einem hohen Flächenanteil in WSG können die notwendigen Lagerraumkapazitäten deshalb auch höher sein. Die Untere Wasserbehörde (nach Landesrecht zuständige Stelle) kann in WSG unter Berücksichtigung der regionaltypischen Gegebenheiten sowie der Ziele des Boden- und Gewässerschutzes andere Ausbringungszeiten genehmigen (sogenannte Ausnahmegenehmigung zur Sperrfrist).

Unter Berücksichtigung des oben genannten Düngebedarfsgrundsatzes ist zu beachten, dass sowohl die bedarfsgerechten N-Mengen als auch die zeitlichen Spannen der N-Düngung oftmals in einem wesentlich engeren

Rahmen liegen, als die ordnungsrechtlichen Grenzen der DüV dieses zulassen.

Wie Tabelle 12 aufzeigt, ergeben sich unter Berücksichtigung der DüV in Abhängigkeit von den jeweiligen Bewirtschaftungs- und Anbauverhältnissen eines Betriebs erforderliche Güllelagerkapazitäten zwischen fünf und zehn Monaten. Nur bei Grünlandbetrieben kann die erforderliche Lagerkapazität unter sechs Monaten liegen, bei sehr hohem Maisanteil auch über zehn Monate. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass auch die Lagerkapazität für Festmist so bemessen sein sollte, dass dieser zu einem pflanzenbaulich geeigneten Zeitpunkt bedarfsgerecht ausgebracht werden kann.

Ausbringungsmengen und -zeiträume

Die im Rahmen der ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung maximal auszubringenden Mengen an organischen Düngemitteln können mit Hilfe der gesamtbetrieblichen Nährstoffverwertbarkeit über den sogenannten QFN berechnet werden. Grundsätzlich ist die Düngung auf ein Gleichgewicht zwischen voraussichtlichem Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung auszurichten. Im Geltungsbereich der SchuVO in Niedersachsen ist die Überschreitung der bedarfsgerechten Düngung gemäß Vorgaben der LWK Niedersachsen (Düngefachbehörde) bußgeldbewehrt (s. Tab. 13).

Zusätzlich zur notwendigen Düngbedarfsermittlung für die Einzelfläche ist es beim Einsatz organischer Dünger sinnvoll, einen Düngerverteilungsplan für den gesamten Betrieb zu erstellen (s. Kap. 2.3.1.1). Idealziel ist die jährliche bedarfsgerechte, das heißt standort- und pflanzenbedarfsgerechte Ausbringung des Wirtschaftsdüngers auf allen dafür nutzbaren Flächen des Betriebs, statt zu hoher Wirtschaftsdüngergaben vorrangig auf den hofnahen Flächen oder zu Hackfrüchten.

Die bedarfsgerechte Ausbringungsmenge zu allen auf dem Betrieb angebauten Kulturen ermöglicht eine gezieltere Bestandsführung, die gegebenenfalls um Mineraldüngergaben ergänzt werden kann. Als Orientierungswert für die Kalkulation der zu düngenden N-Mengen gilt für viehstarke Betriebe: Orientierung am P-Bedarf der Pflanzen bzw. maximal zwei Drittel aus organischen Düngern, der Rest aus Mineraldüngern. Betriebe mit geringerem Wirtschaftsdüngeranfall düngen weniger organisch. Bei jährlich wiederholter, gleichmäßiger organischer Düngung kann die N-Nachlieferung aus Wirtschaftsdüngern mittelfristig besser bei den einzelnen Düngergaben kalkuliert werden.

Gemäß DüV sind im Betriebsdurchschnitt auf landwirtschaftlich oder erwerbsgärtnerisch genutzten Flächen nicht mehr als 170 kg N/ha und Jahr an organischem Wirtschaftsdünger erlaubt. Eine gesamtbetriebliche Düngplanung (organische Wirtschaftsdünger + mineralische Ergänzungsdüngung) sollte deshalb beispielsweise mit Hilfe eines Güllekalenders bzw. Gülleverteilsplans erfolgen. Bei der Planung können sämtliche betrieblich anfallenden Wirtschaftsdünger auf alle angebauten Kulturen pflanzenbedarfsgerecht über den Vegetationsverlauf und mit Schwerpunktausbringung im Frühjahr (s. Kap. 2.3.1.7) kalkuliert werden.

Ausbringungstechnik

Bei der Ausbringung organischer Dünger geht Stickstoff hauptsächlich als Ammoniak (NH₃) gasförmig verloren. Einfluss auf diese Emissionen haben Witterung, Bodenbedeckung, Bodenart und -zustand sowie die Konsistenz des Wirtschaftsdüngers. Hohe Temperaturen, geringe Luftfeuchtigkeit und hohe Windgeschwindigkeiten fördern Ammoniakverluste. Nach Vorgaben der DüV sind flüssige, organische und organisch-mineralische Düngemittel und Geflügelkot auf Ackerland deshalb unverzüglich einzuarbeiten. Bei unmittelbarer Einarbeitung etwa innerhalb einer Stunde nach der Ausbringung sind Emissionsminderungen von bis zu 90 % möglich. Die zu erwartenden Ammoniakverluste sind umso höher, je dickflüssiger die auszubringenden organischen Dünger sind. Rindergülle weist aufgrund hoher Trockenmasse- und Schleimstoffanteile eine geringere Fließfähigkeit auf, die zu verzögertem Einsickern und damit zu höheren gasförmigen N-Verlusten im Vergleich zu Schweinegülle und Jauche führt. Eine mangelnde Homogenisierung verschlechtert die Fließfähigkeit und somit die Infiltration in den Boden

Tab. 13: Zeitrahmen für die pflanzenbedarfsgerechte Ausbringung von Gülle, Jauche, Geflügelkot (inkl. Hähnchenmist) und Gärresten mit besonderer Beachtung des vorbeugenden Trinkwasserschutzes (LWK NIEDERSACHSEN 2013a)

Kultur	N-Düngebedarf im Herbst [kg N/ha]	spätester Düngetermin im Herbst	frühester Düngetermin im Frühjahr
Grünland, Ackergras (bei Nutzung im Herbst)	40	30.09.	01.02.
Winterraps	0-40	15.09.	01.02.
Wintergetreide	-	-	01.03.
Zwischenfrüchte zur Futternutzung Gründüngung ohne nachfolgende Herbstsaat	40-60	31.08.	-
Gründüngung mit nachfolgender Herbstsaat	20-40	31.08.	-
	0	-	-
Sommergetreide	-	-	01.03.
Kartoffeln, Zuckerrüben	-	-	01.03.
Leguminosen	-	-	01.03.
Mais	-	-	01.04.

und führt zu höheren Gasverlusten. Jede Art von Bodenbedeckung/Pflanzenbewuchs verhindert eine schnelle Infiltration in den Boden und führt zu vermehrten gasförmigen Verlusten.

Die Voraussetzung für eine möglichst effiziente und grundwasserschonende Wirtschaftsdüngerausbringung auf den landwirtschaftlichen Betrieben ist eine emissionsvermindernde Ausbringungstechnik vor allem für flüssige organische Dünger. Dazu gehören Schleppschlauch- bzw. Schleppschuhverfahren und die verschiedenen Möglichkeiten der Schlitz- und Injektionstechnik. Diese modernen Verfahren ermöglichen eine genaue Dosierung und die gleichmäßige bis exakte Verteilung im Bestand. Für die Festmistausbringung bieten ergänzend Exaktstreuer eine sehr gute und feinere Querverteilung als die älteren Miststreuer.

Es gibt weitere Innovationen. Gülle kann auch als Unterfußdüngung insbesondere zu Mais direkt in den Boden injiziert und somit verlustarm appliziert werden (s. Kap. 2.4.10). Diese Technik ist auch mit bodenschonender Bearbeitung wie dem sogenannten Strip-Till-Verfahren kombinierbar.

Eine weitere Möglichkeit die Wirtschaftsdüngerausbringung und -ausnutzung insbesondere bei Gülle, aber auch bei Gärresten zu optimieren, bieten Güllezusätze. Bei Zusatz von Nitrifikationshemmstoffen wie Piadin wird der Stickstoff langsamer in Nitrat (NO_3^-) umgewandelt und liegt länger als Ammonium (NH_4^+) vor. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist dies positiv, da Ammonium langsamer von der Pflanze aufgenommen wird und mit geringerem Energieverbrauch als Nitrat in die Zellsubstanz ein- bzw. umgebaut wird. Durch die leichte Ansäuerung des Bodens bei der Aufnahme des Ammoniuns ergibt sich ein weiterer positiver Effekt: andere Nährstoffe z. B. Phosphor werden besser verfügbar. Da Ammonium kaum auswaschungsgefährdet ist, wird die Gefahr von Austrägen ins Grundwasser verringert.

Erfolgsbewertung

Organische Wirtschaftsdünger können prinzipiell positiv für die Bodengüte und Pflanzenentwicklung angesehen werden, vorausgesetzt, sie werden ordnungsgemäß und nach guter fachlicher Praxis gesamtbetrieblich auf den Flächen eingesetzt. Sie sind wertvolle Mehrnährstoffdünger. Werden sie optimal eingesetzt und ausgebracht, können sie dazu beitragen, mineralische Ergänzungsdüngemittel und Kosten einzusparen. Überhöhte Ausbringungsmengen oder -fehler bei organischen Wirtschaftsdüngern können andererseits zur Umweltbelastung der Oberflächengewässer und des Grundwassers führen (Aid INFODIENST 2005).

Ergebnisbewertung

Folgende Punkte sind entscheidend:

- Betriebliche Wirtschaftsdüngeruntersuchungen: mehrmals pro Jahr vor der Düngung Probe ziehen, ausreichend homogenisieren, repräsentative Probenahme, kühl lagern/transportieren bis zum Labor. Alternativ: Schnelltestverfahren (Quantofix) direkt auf dem Betrieb möglich.
- Ausreichende betriebsindividuelle Lagerkapazität (nicht nur sechs, besser acht bis zehn Monate) vorhalten
- Ausbringungsmengen an Standort und Pflanzenbedarf anpassen: Mindestanrechenbarkeit des jeweiligen Wirtschaftsdüngers berücksichtigen, Höchstmenge für organische Dünger 170 kg N/ha und Jahr, reelle Düngeplanung auf Betriebs- und Schlagebene, Abzüge (mindestens -20/-40 kg N/ha) gemäß N-Sollwertmethode bei langjährig organischer Düngung der Fläche, Beachtung der N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat, vor allem bei der Maisdüngung.
- Aufbringungszeiten: Sperrfristen beachten, ideale Ausbringung zu Vegetationsbeginn, das heißt zeitnah zum fruchtspezifischem Wachstumsbeginn (früh im Getreide, zu Mais/Zuckerrüben später) (SchuVO beachten).
- Aufbringung: möglichst auf bewachsenem Ackerland/Grünland, ideal bei feuchtkühler Witterung oder in den Abendstunden.
- Aufbringung auf unbewachsenem Ackerland: unverzügliche Einarbeitung möglichst innerhalb einer Stunde (gemäß DüV spätestens vier Stunden nach Beginn der Aufbringung), bei Festmist Einarbeitung möglichst am selben Tag.
- Emissionsarme Ausbringungstechnik: Schleppschlauch/-schuhtechnik, über Schlitztechnik direkte Injektion in den Boden und damit dicht an die Pflanzenwurzel, möglichst exakte Dosierung und (Quer)Verteilung, bei Festmist durch Exaktstreuer.
- Nach Möglichkeit Zusätze wie Didin, Piadin (Nitrifikationshemmer) verwenden oder Depot-Verfahren (z. B. Cultan) anwenden um mögliche Emissionen zu verringern.

2.3.1.7 Gesamt- und überbetriebliches Nährstoffmanagement

Kurzcharakteristik

Beim Management auf Gesamtbetriebsebene soll der Betriebsleiter, begleitet von der gezielten WZB, Potenziale zur ökologischen Optimierung durch Steuerung und Reduzierung von Betriebsmitteln im gesamtbetrieblichen Kontext analysieren und umsetzen. Die Optimierungsgrößen sind:

- der Düngemiteleinsatz (auf Grundlage des Bedarfsansatzes N-Sollwert-Methode, absolute N-Düngemenge, N-Effizienz),
- die Bewertung der Wirksamkeit der eingesetzten organischen Wirtschaftsdünger (Mindestanrechenbarkeit, N-Mineraldüngeräquivalente (MDÄ)),
- die Verringerung von Nährstoffüberschüssen (N-Flächenbilanz, Herbst-N_{min}-Werte, Hoftorbilanz, Einsparung von Düngerkauf).

Gesamtbetriebliche Lösungen sind sinnvoll, weil eine Verbesserung und Optimierung des Betriebskonzepts bis hin zur ökonomischen Betrachtung und gleichzeitig eine positive Umweltwirkung erreicht werden kann.

Durch einzelflächenbezogene Maßnahmen erhält der Bewirtschafter einen einfachen Zugang zur grundwasserschutzorientierten Bewirtschaftung. Herausgelöst aus der Produktionssteuerung des Gesamtbetriebs haben sie aber nur einen begrenzten Effekt für den Grundwasserschutz. Ziel der Beratung ist deshalb eine schrittweise räumliche und zeitliche Integration von der Schlag- zur Fruchtfolgeebene bis hin zum grundwasserschutzorientierten Management des gesamten Betriebs.

Anwendungsbereich

Die Möglichkeit eines grundwasserschutzorientierten Betriebsmanagements bietet sich vor allem für Betriebe mit eigener Tierhaltung und/oder der Aufnahme organischer Nährstoffträger an, deren Flächen ganz oder zu einem großen Teil in einem TGG liegen. Wichtig ist die Bereitschaft des Landwirts zur intensiven Zusammenarbeit mit dem Wasserschutzzusatzberater und zur Datenbereitstellung (z. B. Ackerschlagkartei, Buchführungsdaten) an die Beratung, damit gemeinsam Optimierungsmöglichkeiten sondiert werden können.

Durchführung

Seit 2012 besteht in Niedersachsen die Verpflichtung, die überbetriebliche Wirtschaftsdüngerabgabe von jährlich mehr als 200 t an die LWK Niedersachsen zu melden

(LWK NIEDERSACHSEN 2013f). Auf dieser Grundlage erhält man einen ersten Überblick über die Nährstoffströme in Niedersachsen.

Qualifizierter Flächennachweis (QFN):

Einen möglichen Einstieg in das gesamtbetriebliche Nährstoffmanagement bietet der Qualifizierte Flächennachweis. Der QFN wurde zur Überprüfung der Anforderungen des § 41 niedersächsische Bauordnung (Nds. MINISTERPRÄSIDENT 2012) von der LWK Niedersachsen als zuständige Fachbehörde entwickelt. Er ist ein Vergleich zwischen zukünftig anfallenden Nährstoffmengen aus einer Tierhaltungs- oder Biogasanlage und dem prognostizierten Nährstoffbedarf der verfügbaren landwirtschaftlich genutzten Flächen. Er orientiert sich an der pflanzenbedarfsgerechten Nährstoffmenge. Im QFN erfolgt eine Betrachtung aller Anlagen und aller bewirtschafteten Flächen des Gesamtunternehmens. Der QFN basiert auf den Vorgaben § 3 (4) der Düngeverordnung (DüV) sowie fachlichen Vorgaben der Fachbehörde Düngung. Die Begrenzung der Düngung durch die DüV (z. B. § 4 (3) 170 kg N/ha Grenze, § 4 (6) Herbstgrenzen, § 6 (2) Bewertung des Nährstoffvergleichs) wird bei der Berechnung des QFN berücksichtigt (BMELV 2007).

Auf der Grundlage des vom QFN-Antragsteller bei der LWK Niedersachsen vorgelegten und plausibilisierten Erhebungsbogens wird der Nährstoffanfall durch wirtschaftseigene und -fremde organische Nährstoffträger sowie der Nährstoffbedarf der im landwirtschaftlichen Betrieb angebauten Kulturen ermittelt. Durch eine Gegenüberstellung der beiden Größen wird eine Bilanzierung vorgenommen. Damit wird für den landwirtschaftlichen Betrieb überprüft, ob die anfallenden Wirtschaftsdünger sowie aufgenommene organische Nährstoffträger im Rahmen einer Düngung nach guter fachlicher Praxis verwertet wurden. Ein ordnungsgemäßer Einsatz ist gewährleistet, wenn bei dem Berechnungsverfahren die zulässigen Nährstoffüberschüsse in Anlehnung an DüV § 6 (2) (BMELV 2007) eingehalten werden.

Für die Berechnung der verwertbaren Nährstoffmenge werden nur die landwirtschaftlichen Nutzflächen herangezogen, die im Betrieb für die Aufbringung von Wirtschaftsdüngern zur Verfügung stehen. Generelle Düngungsverbote auf Einzelflächen sind zu berücksichtigen. Flächen mit Bewirtschaftungsauflagen (z. B. Naturschutz, WSG-Zone II) können für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern nicht berücksichtigt werden.

Bei Phosphat und Kali berechnet sich die verwertbare Nährstoffmenge aus dem Entzug der angebauten Kulturen basierend auf den Prinzipien einer Erhaltungsdüngung.

Der N-Düngebedarf berechnet sich aus dem pflanzenspezifischen N-Sollwert unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Frühjahrs-N_{min}-Gehalts im Boden. Weitere kulturspezifische Abschläge vom N-Sollwert ergeben sich bei langjähriger organischer Düngung des Standorts (in der Regel bei Gehalten > 13 mg P/100 g Boden gem. Bodenanalyse nach CAL-Methode (Calcium-Ammonium-Lactat-Methode) (VDLUFA 1997). Außerdem wird bei der Berechnung des N-Düngebedarfs der aus verbleibenden Ernterückständen bzw. Zwischenfrüchten anrechenbare Stickstoff, je nach Art des Ernterückstands, berücksichtigt.

Im Gegensatz zum Nährstoffvergleich gemäß § 5 der DüV (BMELV 2007) wird beim QFN der Einsatz von Mineraldünger (außer Unterfußdüngung zu Mais) nicht berücksichtigt, da er ergänzend zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern bei der Düngung eingesetzt wird.

N-Dünge-Optimierer: Insbesondere in der WZB wird der sogenannte N-Dünge-Optimierer (LWK NIEDERSACHSEN 2013b) als Instrument zur Optimierung des Nährstoffmanagements und der Effizienz der N-Düngung eingesetzt. Als Grundlage der gesamtbetrieblichen Berechnung dient gemäß DüV die Flächenbilanz. Im Rahmen der WZB wird als optimale Arbeitsgrundlage die Hoftorbilanzierung verwendet, weil sie auf der Grundlage belastbarer Daten für den landwirtschaftlichen Betrieb erstellt wird. Nachfolgend wird die Vorgehensweise auf der Grundlage

des N-Dünge-Optimierers beschrieben: Die Berechnung erfolgt in mehreren Berechnungsschritten rückwirkend für ein vorausgegangenes Düngejahr (s. Abb. 30).

Mit Hilfe der Daten des Nährstoffvergleichs wird die betriebsindividuell verwertbare Nährstoffmenge im Durchschnitt der Betriebsflächen (Zusammenfassung der Schläge zu Bewirtschaftungseinheiten in Abhängigkeit von Standortfaktoren und angebaute Kultur) mit der tatsächlich applizierten Düngung (Nährstoffzufuhr) verglichen (s. Abb. 31).

Die betriebsindividuell verwertbare Nährstoffmenge ergibt sich aus den angebauten Kulturen (Anbauverhältnis) und deren Ertragsniveau unter Berücksichtigung

- des auf den Flächen verbleibenden Nebenernteguts,
- des Haupt- und Nebenerntegutverhältnisses,
- bei Phosphor und Kalium (K) der jeweiligen Gehalte im Haupt- und Nebenerntegut (zur Berechnung der P₂O₅- und K₂O-Entzüge),
- beim Stickstoff des überschlägigen N-Düngebedarfs der einzelnen Kulturen.

Hinsichtlich des Ertragsniveaus werden die aktuell erwirtschafteten Erträge des Bezugsjahrs zugrunde gelegt. Zur Berechnung des überschlägigen N-Düngebedarfs werden folgende Parameter berücksichtigt:

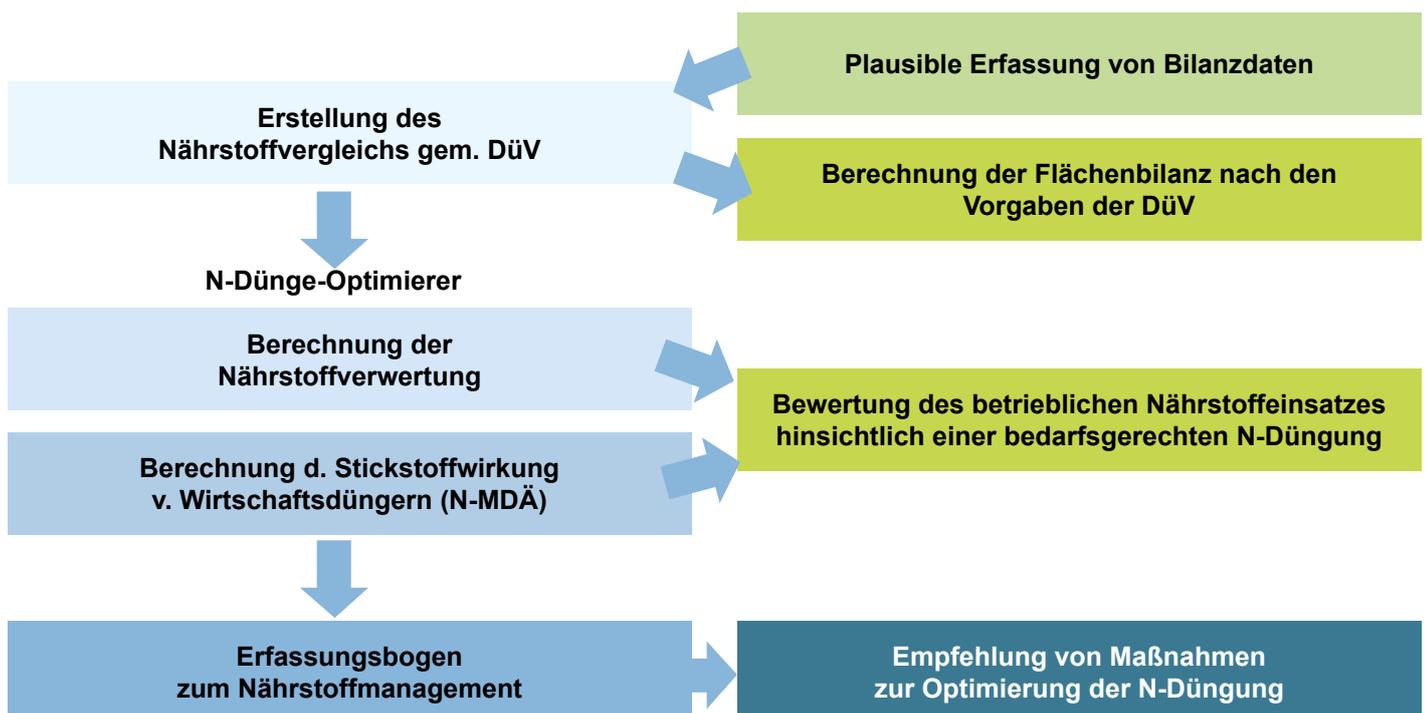


Abb. 30: Schema zur Vorgehensweise zur Optimierung des Nährstoffmanagements mit dem N-Dünge-Optimierer (LWK NIEDERSACHSEN 2013b)

Nährstoffbedarf überschlägiger N-Düngebedarf (nach N-Sollwertschema); P- und K-Entzug - anrechenbare Nährstoffe aus verbleibenden Ernterückständen/Zwischenfrüchten
= betriebsindividuelle verwertbare Nährstoffmenge
+ Nährstoffzufuhr Nährstoffanfall aus der Tierhaltung nach Abzug der Stall-, Lagerverluste, Berücksichtigung der Anrechenbarkeit organischer Nährstoffträger - Abgabe von Wirtschaftsdüngern Berücksichtigung der Anrechenbarkeit organischen Nährstoffträger + Aufnahme von Wirtschaftsdüngern Berücksichtigung der Anrechenbarkeit organischer Nährstoffträger + Aufnahme von sonstigen organischen Nährstoffträgern Berücksichtigung der Anrechenbarkeit organischer Nährstoffträger + eingesetzte Mineraldünger
= Summe Zufuhr
- Nährstoffbedarf + Summe Nährstoffzufuhr = Restdüngbedarf (-) bzw. Nährstoffüberschuss (+)

Abb. 31: Berechnungsschema der gesamtbetrieblichen Nährstoffverwertung (LWK NIEDERSACHSEN 2013b)

- N-Sollwert der angebauten Kultur (ertragsunabhängig)
- Sollwertkorrekturen:
 - für die N-Nachlieferung der Standorte bei langjähriger organischer Düngung
 - für den Frühjahrs-N_{min}-Wert der Standorte
 - bei N-Zufuhr über Leguminosen (N-Fixierung)
 - bei N-Rücklieferung aus Ernterückständen und Zwischenfrüchten

Da der N-Düngebedarf standörtlichen und jahresbedingten Schwankungen unterliegt, sind diese über die entsprechenden Toleranzen bei der Berechnung des Restdüngbedarfes bzw. des Nährstoffüberschusses zu berücksichtigen. Die tolerablen Schwankungsbreiten werden auf der Grundlage von LWK-Feldversuchen abgeleitet.

Je nach Nährstoffversorgung der Böden und den Nährstoffgehalten der Wirtschaftsdünger ist insbesondere bei den Flächen mit langjährig wiederholter organischer Düngung davon auszugehen, dass bei einem pflanzenbedarfsgerechten Einsatz von wirtschaftseigenen Düngstoffen nicht Stickstoff, sondern Phosphat oder Kalium zum begrenzenden Faktor werden kann. Besteht ein Restdüngbedarf, sollte er mineralisch abgedeckt werden. Die Verteilung des Mineraldüngers erfolgt gemäß Düngeplanung einzelschlagbezogen (s. Kap. 2.3.1.2).

Zur Berechnung der Nährstoffzufuhr werden folgende Parameter berücksichtigt:

- Haltungsform und Fütterung (Produktivität z. B. Ferkel/Sau, Rationsgestaltung, Futtersystem) und damit Berechnung der Nährstoffausscheidungen
- N-Verfügbarkeit (Mindestanrechenbarkeit) aus organischen Düngern im Anwendungsjahr, unter Vorgabe der bestmöglichen Ausbringtechnik zum optimalen Düngungstermin
- die Mittel-/langfristige N-Nachlieferung aus organischen Düngern fließt über die Sollwertkorrekturen in die Düngebedarfsermittlung ein.

Wirtschaftsdüngerverteilung im Betrieb:

Organische Dünger müssen mit dem Ziel der höchsten N-Ausnutzung eingesetzt werden. Im Kapitel 2.3.1.6 wird der ordnungsgemäße und fachlich versierte Umgang mit organischen Nährstoffträgern dargestellt. Prinzipiell ist eine Frühjahrsausbringung zu bevorzugen, die Herbstausbringung sollte vermieden werden. Organische Wirtschaftsdünger werden am besten von Mais ausgenutzt, da dieser über eine ca. sechs Monate lange Vegetationsperiode wächst und die organischen Nährstoffträger besser auszunutzen vermag, als dies z. B. beim Getreide der Fall ist, das im Frühjahr nur noch drei bis vier Monate davon profitieren kann. Mehrere Studien

ergaben, dass beispielsweise Gärreste im Mais ein MDÄ von bis zu 75% erreichen können, Getreide erzielt nur 40 bis 60% (PETERS & GURGEL 2009; SENSEL et al., 2009). Da Mais auch den Stickstoff aus der Humusmineralisation des Bodens gut ausnutzen kann, ist bei der N-Düngung zum Mais die N-Nachlieferung des Standorts besonders zu beachten. Je nach Standort und Vorfrucht ist eine N-Düngung von 120 bis 140 kg N/ha in der Regel ausreichend. Im Wintergetreide kann eine Andüngung mit ca. 60 kg N/ha mit Gülle erfolgen, wie z. B. bei Gerste, Getreide-GPS oder Weizen. Die letzten beiden können ebenso zum Ende des Schossens mit Gülle gedüngt werden.

Wenn der „Status Quo“ der betrieblich anfallenden Mengen berechnet ist, kann eine pflanzenbedarfsgerechte Verteilung auf der Grundlage eines Verteilplanes für organische Dünger auf die angebauten Kulturen erfolgen (s. Tab. 14).

Mit einer sogenannten Verteilungsplanung (Tierbestand, monatlich/ kontinuierlich hinzukommende Gülemengen, Lagerkapazität) kann im Frühjahr die erste Gülle-, Sekundärrohstoffdüngung geplant und die weitere Verteilung auf die angebauten Früchte anvisiert werden.

Die N-Effizienz (Verhältnis von N-Abfuhr zu N-Zufuhr im Bilanzierungszeitraum) dient als ein Indikator zur Bewertung der Umweltverträglichkeit. Als ein Kennwert für die pflanzenbauliche N-Wirksamkeit wurden die sogenannten MDÄ ausgewählt, um auch für Wirtschaftsdünger auf Betriebsebene eine N-Düngewirkung zu kalkulieren. Die N-MDÄ beschreiben die Ertragswirkung der Nährstoffe in organischen Düngern im Vergleich zu Mineraldüngern. Sie werden aus langjährigen Versuchsergebnissen der LWK Niedersachsen abgeleitet. Kultur-,

standort- und witterungsbedingte Schwankungen werden berücksichtigt. Mit folgender Formel kann das N-MDÄ berechnet werden:

$$N\text{-MDÄ} (\%) = \frac{N\text{-Düngebedarf} - \text{Mineraldünger-N} - \text{Sekundärrohstoffdünger}^{1)}}{\text{Nährstoffanfall der Idw. Nutztiere}^{2)} - \text{WD-Abgabe} + \text{WD-Aufnahme}^{3)}}$$

- 1) unter Berücksichtigung der Anrechenbarkeit (z. B. 60%) der organischen Nährstoffträger
- 2) nach Abzug der Stall- und Lagerungsverluste
- 3) gem. Analyse/Richtwerten ohne Abzug von Ausbringungsverlusten; (WD = Wirtschaftsdünger)

Gesamtbetriebliche Optimierungsansätze

Eine Erfassung und Bewertung weiterer Daten zum aktuellen Nährstoffmanagement des landwirtschaftlichen Betriebs gibt weitere Hinweise auf Optimierungsmöglichkeiten. Die Empfehlung geeigneter Maßnahmen dazu erfolgt im Rahmen der Beratung. In Abbildung 32 werden schematisch Bereiche dargestellt, bei denen der Landwirt durch seine Produktionsweise die gesamtbetriebliche N-Effizienz verbessern kann.

Besteht ein Überschuss an organischem Dünger ist eine überbetriebliche Verwertung, also eine Abgabe an Betriebe mit nachgewiesenem Nährstoffbedarf erforderlich. Diese Verbringung muss gemäß Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger (BMELV 2010c) dokumentiert werden. Seit dem 01.07.2012 müssen Wirtschaftsdünger sowie Stoffe, die Wirtschaftsdünger enthalten in der von der LWK Niedersachsen bereitgestellten Datenbank gemeldet werden (LWK NIEDERSACHSEN 2013f).

Tab. 14: Beispiel für die Gülleverteilung auf einem Betrieb mit Milchvieh und Biogasanlage

Beispielbetrieb: 130 ha LF*, 90 Milchkühe, Biogasanlage 180 KW*, Zukauf von 20 ha Silomais Substratanfall 5.500 m ³ , Lagerraum 3.000 m ³											
Angebaute Kulturart	ha Fläche	Summe m ³	ausgebrachte Mengen (m ³ /ha)								
			Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt
Silomais	50	1500			30						
Wintergerste	10	150	15								
Winterweizen	15	375	10		15						
Getreide-GPS / Grünroggen	15	450	15		15						
Grünland - 4 Schnitte	40	2800	20			20		15		15	
Summe	130	5275 **									

* LF = Landwirtschaftlich genutzte Fläche; KW = Kilowattleistung

** nach der Ernte (auf Teilflächen) Zwischenfruchtanbau – freie Gärrestmengen vorhanden

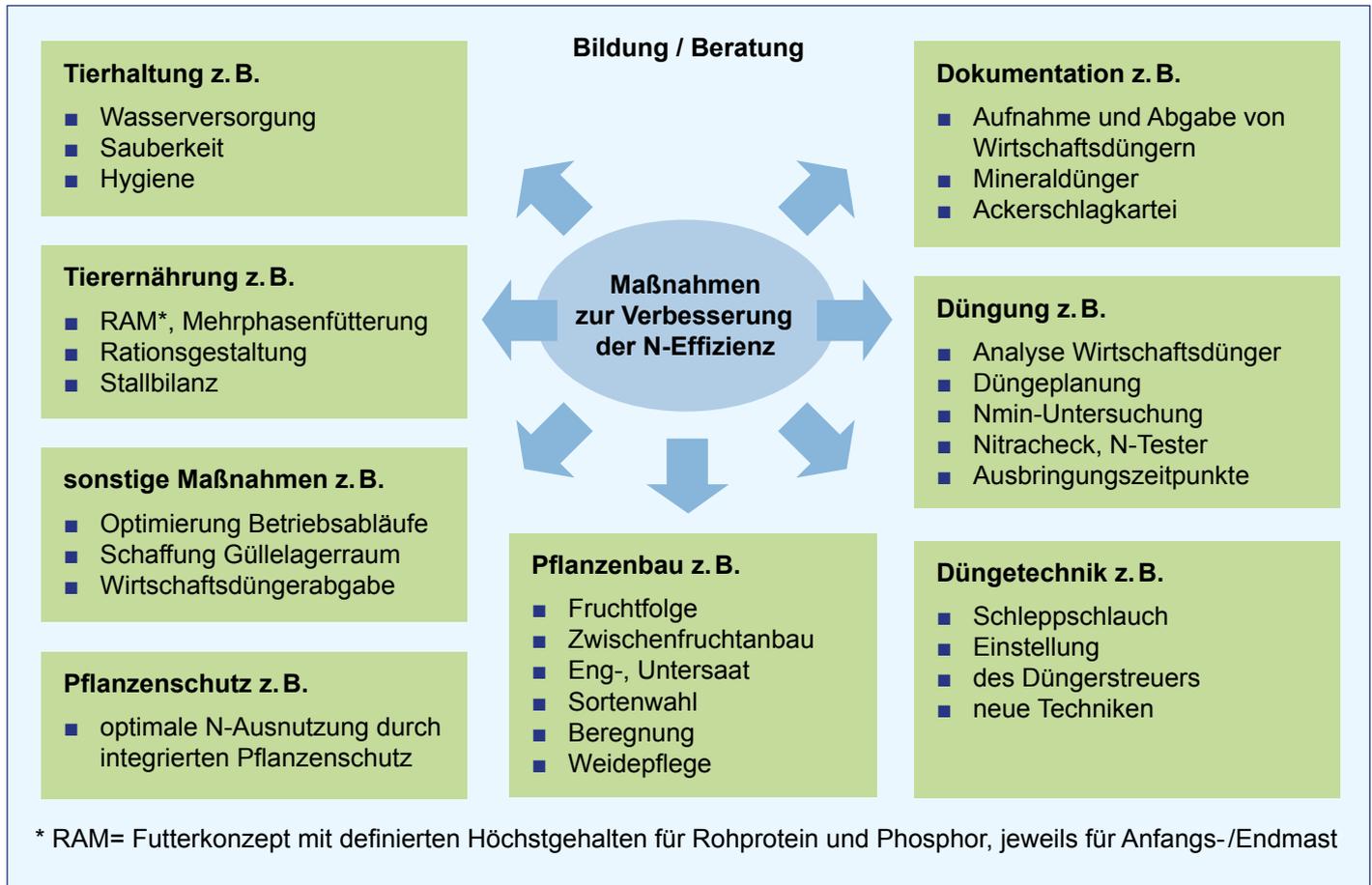


Abb. 32: Einzelbetriebliche Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz (LWK NIEDERSACHSEN 2013b).

Erfolgsbewertung

Ausgangspunkt der betrieblichen Optimierung ist die Erhebung der gesamtbetrieblichen Nährstoffverwertung, des betriebsindividuellen N-Einsparpotenzials sowie der Bewertung der N-Wirkung der eingesetzten organischen Dünger durch den N-Dünge-Optimierer. Es wird festgestellt, ob die Düngung gemäß Ordnungsrecht bzw. gemäß der Guten fachlichen Praxis (GfP) erfolgte. Dabei werden auch alle relevanten Parameter zu Produktionsmitteln, Flächen- und Stoffinventar erfasst. Im ersten Optimierungsjahr dient die Erhebung der Ist-Zustandsanalyse. In den Folgejahren steht die Effizienzkontrolle im Vordergrund. Nach der Bestimmung des Ist-Zustands bzw. des Erfolgs des vergangenen Anbaujahrs, wird das betriebsindividuelle N-Einsparpotenzial errechnet. Über die aktuell berechneten Betriebsergebnisse und die Interpretation der betriebsindividuellen Toleranzbereiche wird das mögliche N-Einsparpotenzial sowie die langjährige Entwicklungsmöglichkeit über Zeitreihen dargestellt. Die Umsetzung des Einsparpotenzials sollte durch eine intensive Beratung unter Berücksichtigung der Wasser-schutzaspekte erfolgen.

Ist-Zustandsanalyse und fortlaufende Effizienzkontrolle

Am Anfang steht der Nährstoffvergleich: Die Erfassung sämtlichen Nährstoffanfalls im Betrieb und die bestmögliche Verteilung / Verwertbarkeit der Nährstoffmengen auf den vorhandenen Betriebsflächen und angebauten Kulturen.

Errechnet sich ein Nährstoffüberschuss muss konsequent Wirtschaftsdünger aus dem Betrieb exportiert werden.

Bei der folgenden einzelschlagbezogenen Düngeplanung gemäß Sollwert-Methode müssen bei langjährig organisch gedüngten Flächen konsequent (höhere) Abschläge vorgenommen werden. Mittels eines Wirtschaftsdünger-Verteilungsplans sollten die Dungstoffe unter dem Fokus des Pflanzenbedarfs (vorrangig Frühjahr) eingeplant werden.

Die N-Anrechenbarkeit der organischen Dungstoffe sollte reell bewertet werden.

Als Erfolgsindikatoren eines optimalen Nährstoffmanagements sind eine gesteigerte N-Effizienz im Gesamtbetrieb, ein verringerter Mineraldüngereinkauf und verringerte Hof-forbilanzen anzusehen.

2.3.1.8 Düngeberatung zu Erwerbsgartenbau und Baumschulwirtschaft

Kurzcharakteristik

In Niedersachsen beträgt die Gemüseanbaufläche ca. 21.000 ha. Auf weiteren etwa 5.200 ha wird Baumschulwirtschaft betrieben und auf ca. 9.250 ha Baumobst (zu 88 % Äpfel) angebaut. Der Großteil des Sonderkulturanbaus entfällt in Niedersachsen auf Erdbeeren (ca. 4.900 ha) und Spargel (ca. 4.100 ha), gefolgt von Eissalat (ca. 3.000 ha), Möhren und Zwiebeln mit je ca. 1.800 ha (DESTATIS 2013). Entsprechend sind auch in den TGG Niedersachsens die Sonderkulturen Spargel und Erdbeeren flächenmäßig am meisten vertreten.

Es gibt unterschiedliche regionale Schwerpunkte im Anbau: Feldgemüse besonders in der Region Vechta-Langförden und im Großraum Hannover, Eissalat in der Region südlich von Hamburg, Baumschulwirtschaft im Landkreis Ammerland.

Die WZB für Erwerbsgartenbau und Baumschulwirtschaft unterscheidet sich von der übrigen WZB in wesentlichen Rahmenbedingungen:

1. Im Erwerbsgartenbau gibt es eine Vielfalt von Kulturen und Anbausystemen, auf die von der WZB unterschiedlich eingegangen werden muss.
2. Die Bewirtschaftungsintensität ist oft höher als in der übrigen Landwirtschaft. Dies gilt auch für grundwasserschutzrelevante Themen wie Düngung, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung. In manchen Betrieben spielt z. B. die Mehrfachnutzung einer Fläche innerhalb einer Saison (dreimal Spinat) oder die Zweitkultur (Anbau von Grünkohl nach frühem Getreide) eine Rolle.
3. Die Düngung ist am Ertrag, vorrangig aber an der Erzielung vermarktungsfähiger, guter Produktqualitäten ausgerichtet. Der Anteil der Düngung an den Produktionskosten ist aber geringer als bei anderen landwirtschaftlichen Ackerkulturen. Für Saat- oder Pflanzgut, Pflegemaßnahmen und die Beerntung fallen dagegen deutlich höhere Produktionskosten an.
4. Das Ernteprodukt Gemüse wird häufig nicht zum Abschluss der Vegetationsphase einer Kultur, sondern während der Vegetation geerntet. Dies führt bei vielen Kulturen (z. B. Eissalat) zu vergleichsweise hohen

Rest- N_{\min} -Werten. Je nach Kultur und Erntetermin wird danach eventuell eine Folgefrucht angebaut.

5. Die Bewirtschaftungseinheiten sind bei vielen Betrieben kleiner parzelliert und die verschiedenen Kulturverfahren (frühe Aussaat/Pflanzung, späterer Erntetermin, Zweitnutzung) erschweren dem Landwirt den Abschluss einer FV. Die darin vorgegebenen Zeiträume und Termine sind je nach äußeren Einflussfaktoren (z. B. Witterung und Vegetation) oft nicht flexibel genug und schränken den Landwirt in seinen betrieblichen Produktionsabläufen ein. Außerdem ist das gezahlte Entgelt für FV verglichen mit dem Ausfallrisiko im Feldgemüsebau gering.

Die meisten Obst- und Gemüsebauern haben Abnahmeverträge mit dem Handel und der Industrie, die konkrete Vorgaben z. B. für Rückstandsmengen von Schadstoffen wie Pflanzenschutzmitteln (PSM) oder Nitrat machen. Nicht selten werden dem Landwirt Auflagen innerhalb des Produktionsprozesses wie Sortenwahl, Düngermenge oder Erntetermin, letzterer nach zwischenzeitlicher Beprobung seitens des Abnehmers, vorgeschrieben. Vor bzw. während der Ernte erfolgt oftmals eine weitere Probenahme. Aufgrund der Abnehmervorgaben und der geforderten Bewirtschaftungsflexibilität und hoher Produktionskosten ist für den Anbauer ein angepasstes Nährstoffmanagement von großer Bedeutung.

Der Fokus der WZB im Obst- und Gemüsebau liegt derzeit auf der Vermeidung von Nitratbelastungen des Grundwassers. Zunehmend wird aber auch eine Beratung im Hinblick auf PSM-Rückstände integriert. Von den gartenbaulichen Kulturen geht ein unterschiedlich hohes Nitratbelastungsrisiko aus:

- a) Risiko gering: z. B. Hochbaumschulen, Kernobst, Reihenkulturen mit Reihen- oder Einzelpflanzendüngung oder Wasserrückführung, Containerkulturen mit Tropfbewässerung
- b) Risiko mittel: z. B. Baumschulkulturen, Erdbeeren, Spargel, sowie früh geerntete Salate
- c) Risiko hoch: spät geerntete Kulturen, z. B. Kohlarten, späte Salate, Porree, Möhren; Leguminosen (z. B. Bohnen, Erbsen)

Spät zu erntende Kulturen wie Kohlarten und später Salat stellen ein besonderes Risiko dar. Sie werden bei ungünstiger Witterung oder schlechten Vermarktungsbedingungen nicht geerntet. Dadurch verbleiben große Mengen an leicht mineralisierbaren pflanzlichem Aufwuchs auf den Flächen ohne dass noch eine Zwischenfrucht

angebaut werden kann. Insbesondere in TGG, die durch kurze Grundwasserfließzeiten zu den Brunnen, eine hohe Nitratstragsgefährdung und/oder fehlende Nitratabbaukapazitäten im Grundwasserleiter gekennzeichnet sind, kann ein Anbau dieser Kulturen mit einem sehr hohen Grundwasserbelastungsrisiko verbunden sein. Je nach Kultur- und Anbauverfahren gibt es verschiedene Anbau- und Düngestrategien und Erntezeitpunkte, die sich positiv (s. Kap. 2.5.5), aber auch negativ auf die Grundwasserbelastung auswirken.

Anwendungsbereich und Durchführung

Die Ansatzpunkte für die WZB liegen vorrangig in einer auf die Sonderkulturen angepassten Düngeberatung und in der Entwicklung spezifischer Maßnahmen zur Fruchtfolgegestaltung (z. B. Begrünung, Zwischenfruchtanbau, Untersaaten) sowie dem Management von Tauschflächen.

Die optimierte N-Düngung spielt eine wichtige Rolle im Sonderkulturanbau. Werden vorgegebene Qualitätsstandards nicht erreicht, bedeutet das oftmals, dass die Ware nicht mehr vermarktungsfähig ist. Bei bestimmten Kulturverfahren kann das den Anbauer zu „Sicherheitszuschlägen“ in der Düngung bewegen, wenn es die Qualität der Kultur nicht beeinträchtigt. Zum Beispiel kann bei Erdbeeren eine zusätzliche Düngung von 20 bis 40 kg N über dem N-Sollwert zur Stroheinstreuung eine mögliche N-Fixierung im Stroh abfangen.

Generell ist die Düngeberatung im Feldgemüsebau von großer Bedeutung. Anders als im Ackerbau spielt neben dem N_{\min} -Wert auch die N-Mineralisation aus der organischen Bodensubstanz eine wesentliche Rolle. In den zurückliegenden Jahren sind viele Düngungssteigerungsversuche mit verschiedenen Gemüsearten durchgeführt worden, um die N-Aufnahme im Aufwuchs zu ermitteln, die Netto-N-Mineralisation abzuschätzen und hieraus N-Sollwerte für die Beratung und die Praktiker abzuleiten.

Die Herleitung des N-Sollwerts einer Kultur ist im Folgenden kurz skizziert:

$$\begin{aligned} & \text{N im Aufwuchs (kg N/ha)} \\ & + N_{\min}\text{-Mindestvorrat im Boden (kg N/ha)} \\ & - \text{Netto-N-Mineralisation (kg N/ha)} \\ \hline & = \text{N-Sollwert (kg N/ha)} \end{aligned}$$

Der N_{\min} -Mindestvorrat im durchwurzelten Boden ist der Vorrat, der bis zum Erntedatum die N-Versorgung der jeweiligen Kultur sicherstellt. Kulturen wie Stangensellerie oder Bundzwiebeln, die auf N-Mangel hinsichtlich Ertrag

und Qualität negativ reagieren, benötigen einen N-Vorrat von bis zu 50 kg N/ha. Im Gegensatz dazu reagieren Kulturen wie Möhren oder die Standfeste von Rosenkohl auf ein zu hohes N-Angebot negativ bezüglich Ertrag oder Qualität.

Die Netto-N-Mineralisation errechnet sich aus der N-Bilanz. Die N-Bilanz ist die Differenz aus dem N-Gehalt am Kulturende (N_{\min} im Boden + N im Aufwuchs) und dem N-Angebot zu Kulturbeginn (N_{\min} im Boden + N-Dünger).

Die Berechnung erfolgt mit Computer gestützten Düngeberatungsprogrammen wie „N-Expert“ (FINK & SCHARPF 1993) oder „KNS“ (Kulturbegleitendes-N-Sollwert-System nach LORENZ et al. 1989; HORTIPENDIUM 2013). Die N-Sollwerte im Feldgemüsebau werden für einen Aufwuchs bzw. Ertrag im oberen Drittel kalkuliert. Zusätzliche Faktoren wie Witterung, Niederschlagsmenge werden berücksichtigt. Betriebsindividuell kann das Zielprodukt (z. B. Erntegewicht je Kopf Eisbergsalat) variieren, deshalb werden auch Erfahrungswerte des Betriebsleiters sowie organische Düngergaben oder Ernterückstände berücksichtigt. In der nachfolgenden Tabelle 15 sind auszugsweise die N-Sollwerte für einige Kulturarten dargestellt.

Zur Kalkulation der zu düngenden N-Menge wird vom N-Sollwert der jeweiligen Gemüsekultur der N_{\min} -Vorrat im Boden (Richtwert oder N_{\min} -Bodenprobe vor Inkulturnahme) abgezogen und Ernterückstände aus Vorkulturen (Tabellenwerte) oder Zwischenfrüchten sowie eine langjährige organische Düngung in Abzug gebracht. Zu bzw. Abschläge werden in Abhängigkeit vom avisierten Ertragspotenzial und den jeweiligen Mineralisationsbedingungen des Standorts betriebsindividuell vorgenommen. Werden diese Vorgaben berücksichtigt, kann das Risiko zu hoher Herbst- N_{\min} -Werte und der damit einhergehenden N-Auswaschung reduziert werden. Bei mehrjährigen Sonderkulturen wird die N-Düngung nach dem Jahr der Anpflanzung, der Pflanzenzahl je Hektar sowie der Nutzungsdauer differenziert kalkuliert (s. Tab. 16).

Für Baumschulkulturen stehen bisher keine eindeutigen Nährstoffentzugswerte zur Verfügung. Hier wird der Düngebedarf in Anlehnung an die Düngeverordnung (DüV) festgelegt. Bei Gehaltsklasse C sollten 30 bis 50 kg/ha Phosphor (P_2O_5) bzw. 80 bis 100 kg Kalium (K_2O) gedüngt werden. Für Stickstoff (N) sind die Richtwerte zum N-Bedarf der Baumschulkultur nach deren Wüchsigkeit, das heißt nach einem bestimmten Zuwachs bzw. bezüglich einer definierten Stammstärke eingeordnet (LWK WESER-EMS 1998):

Tab. 15: N-Sollwerte für Feldgemüsearten nach Feldabfuhr (LWK NIEDERSACHSEN 2013h; verändert nach FELLER et al. 2011)

Kulturname	Kulturdauer (Tage)	Probenahmetiefe (cm)	N im Aufwuchs (kg N/ha)	Mindestvorrat zur Ernte (kg N/ha)	Sollwert mit Mineralisation (kg N/ha gerundet)
Blumenkohl	63	60	251	40	300
Blumenkohl, früh	70	60	251	40	310
Blumenkohl, starker Aufwuchs	63	60	292	40	350
Brokkoli	64	60	260	40	310
Brokkoli, früh	88	30	260	40	310
Brokkoli, starker Aufwuchs	64	60	300	40	360
Chinakohl gepflanzt	56	60	195	40	210
Chinakohl gepflanzt, früh	63	60	195	20	250
Chinakohl gepflanzt, Herbst	77	60	195	20	190
Chinakohl, gesät	70	60	195	20	200
Chinakohl, gesät Herbst	91	60	195	20	180
Grünkohl, Handernte Blatt	134	60	208	20	160
Grünkohl, maschinelle Ernte	120	60	231	20	200
Gurke Einleger, gesät	127	30	205	40	190
Gurke Einleger, gepflanzt	119	30	205	40	190
Möhren, Bund	85	60	119	20	90
Möhren, Bund, früh	90	60	102	20	90
Möhren, Bund, Herbst	90	60	119	20	90
Möhren, Industrie	198	60	207	0	80
Porree gepflanzt, Herbst u. Winter	110	60	225	40	240
Porree, gesät, Sommer	170	60	200	40	190
Rosenkohl, kurze Entwicklungszeit	195	90	423	0	310
Rosenkohl, lange Entwicklungszeit	140	90	423	0	260
Rotkohl, mittelschnellwachsend	100	60	230	20	220
Rotkohl, schnellwachsend	75	60	193	40	220
Rotkohl, langsamwachsend	125	90	282	20	260
Salate, Eissalat, früh	60	30	78	40	110
Salate, Eissalat, Herbst	55	30	104	40	130
Spinat, Frischmarkt, früh	70	30	126	40	140
Spinat, Frischmarkt, Herbst	55	30	126	40	150
Spinat, Industrie, Herbst	62	30	144	40	170
Weißkohl, Frischmarkt, mittelschnell	90	60	270	20	270
Weißkohl, Industrie, schnellwachsend	105	90	310	20	310
Zwiebeln, Bund	75	30	160	50	190
Zwiebeln, trocken, langsamwachsend	150	60	168	30	100

- a) Bedarf niedrig (60 kg N/ha): schwach wachsende Laub- und Nadelgehölze, z. B. Scheinhasel (*Corylopsis pauciflora*) und Bergkiefer (*Pinus mugo* „Mop“)
- b) Bedarf mittel (90 kg N/ha): mittelstark wachsende Laubgehölze, z. B. die Thunberg-Berberitze (*Berberis thunbergii* „Atropurpurea“) sowie stark wachsende Nadelgehölze, z. B. Thuja-Arten oder Lawsons Scheinzypresse (*Chamaecyparis lawsoniana* „Columnaris“)
- c) Bedarf hoch (120 kg N/ha und mehr): stark wachsende Laubgehölze, z. B. Forsythien (*Forsythia intermedia*), Linden (*Tilia*-Arten) bzw. besonders bedürftige Kulturen, z. B. Rhododendren

Tab. 16: Düngeempfehlung gemäß N-Sollwertmethode für Spargel nach Feldabfuhr (LWK NIEDERSACHSEN 2012a; verändert nach FELLER & FINK 2007), für Erdbeeren und einige ausgewählte Obstkulturen (LWK NIEDERSACHSEN 2007).

Kulturname	Probenahmetiefe (cm)	N-Sollwert (kg N/ha)
Spargel, 15.000 Pflanzen/ha , 1. Standjahr	60	110
Spargel, “ 2. Standjahr	90	130
Spargel, “ 3. Standjahr	90	140
Spargel, “ 4. Standjahr	90	80
Spargel, 20.000 Pflanzen/ha 1. Standjahr	60	140
Spargel, “ 2. Standjahr	90	140
Spargel, “ 3. Standjahr	90	160
Spargel, “ 4. Standjahr	90	80
Erdbeeren	30	60
Brombeeren	30	60–70
Heidelbeeren, Himbeeren, Johannesbeeren, Stachelbeeren	30	80
Äpfel und Birnen	30	40–50
Sauer- und Süßkirschen	30	80
Pflaumen und Zwetschgen	30	60–70

Der N-Bedarf von tiefer wurzelnden Dauerkulturen ist geringer als bei Kulturen im Acker- und Gemüsebau. Aufgrund des im Frühjahr nur langsam ansteigenden N-Bedarfs der Kulturen und des insgesamt niedrigen N-Entzugs können vorhandene N-Überschüsse im Boden zu erhöhten Herbst-N_{min}-Werten führen. Durch eine gezielte Düngeberatung der Betriebe kann die WZB zur Reduzierung potentieller Nährstoffausträge beitragen. Im Pflanzjahr und bei einer bedarfsgerechten Düngung ist eine deutliche Reduzierung der Nährstoffgaben möglich.

In vielen der genannten Kulturen (einige Feldgemüsearten, Spargel, Obst, Baumschulkulturen) wird die Düngung als Reihendüngung durchgeführt. Der Nährstoff wird sehr genau und möglichst dicht an die Pflanzen heran appliziert, um so die Ausnutzungsraten zu maximieren (s. Abb. 33 und Abb. 34).

Häufig werden auch langsam wirkende Depotdünger (N-stabilisierte Mineraldünger) eingesetzt. So kann die N-Dynamik der Feldgemüse- und Baumschulkulturen verbessert und die Auswaschungsgefährdung verringert werden. Die stabilisierten Dünger enthalten neben Stickstoff (N) oftmals auch Phosphor (P₂O₅) und Kalium (K₂O) und eventuell weitere Nährstoffe.

Bei der Vorbereitung der Fläche für mehrjährige Kulturen spielt die Grunddüngung eine wichtige Rolle. Vor der Neuansaat ist es praxisüblich, größere Mengen organischer Düngemittel wie Torf, Pferdemist, Champignonkompost z. B. bei Spargel (ca. acht bis zehn Jahre Kulturdauer) auf die gesamte Fläche zu streuen. Bei Baumschulen oder mehrere Jahrzehnte wachsenden

Heidelbeeren wird der Dünger in die Pflanzreihen oder darunter auf den Boden gestreut. So werden dem Acker Nährstoffe, aber auch wertvoller Humus und Strukturmaterial zugeführt. Besonders wichtig ist die Beachtung der Nährstoffhöchstmenge von zurzeit 170 kg N-Grenze für tierische Wirtschaftsdünger. Die WZB sollte den Anbauer darauf hinweisen, dass eine Analyse des organischen Düngers sinnvoll ist, damit er optimal eingesetzt werden kann.

Weitere Optimierungsansätze im Sonderkulturenanbau

In Dauerkulturen wie Baumschulquartieren, Kern- oder Beerenobst haben sich Begrünungen bewährt. Die Betriebe in den TGG können FV abschließen.

Die FV „Mehrjährige Grasuntermast“ wird z. B. mit der Auflage angeboten, beim Anbau von winterhartem Gras mehrfach jährlich zu mulchen. Ein Umbruch darf erst im Frühjahr nach dem 01.03. erfolgen. Im Ansaatjahr werden zusätzlich die anfallenden Kosten für Saatgut und die Einsaat entgolten. Weitere positive Effekte der Maßnahme sind eine gute Befahrbarkeit, saubere Beerntung, Bodenschutz gegen Verdunstung sowie gegen Unkräuter (s. Abb. 35).

Im Spargelanbau ist nach abgeschlossener Ernte die „Zwischenreihenbegrünung“ möglich. Ideal ist die Begrünung mit dem tiefwurzelnden, abfrierenden Örettich. Die Aussaat erfolgt meist ohne größere Bodenbearbeitung im Streuverfahren. Gemäß den Auflagen der FV darf z. B. ab 15.12. geschlegelt, ab 01.02. das Material eingearbeitet werden. Je nach Aussaattermin können die wirtschaftli-



Abb. 33: Einlegegurken in Folie gepflanzt mit Stroheinstreu zwischen den Reihen. (Klatka, LWK Niedersachsen)



Abb. 35: Zwischenreihenbegrünung in Brombeeren im TGG Vechta-Langförden, April 2009. (Klatka, LWK Niedersachsen)



Abb. 34: Reihendüngung in Spargel, WSG Varel. (Schröder, LWK Niedersachsen)



Abb. 36: Zwischenfrucht Tagetes nach abgeschlossener Erdbeerernte 2011 TGG Vechta-Langförden. (Klatka, LWK Niedersachsen)

chen Nachteile unterschiedlich und die Ausgleichszahlungen dementsprechend gestaffelt sein.

Eine weitere FV der aktiven Begrünung ist der „Zwischenfruchtanbau“. Nach der Quartieräumung einer Baumschule bzw. nach der Erdbeer- oder Gemüseernte sind angebaute Zwischenfrüchte (s. Abb. 36) besonders effektiv, wenn die Kultur oder das Feldgemüse zum Zeitpunkt vollen Wachstums und Stoffwechsels geerntet wird. Die nährstoffreichen Erntereste können im nachfolgenden Zwischenfruchtaufwuchs konserviert werden. Der Zwischenfruchtanbau wird nur dann von den Anbauern abgeschlossen, wenn es die betriebsüblichen Arbeitsabläufe (Erntedatum, Fruchtfolgeplanung, Aussaat bzw. Pflanzung im Folgefrühjahr etc.) ermöglichen.

Im Erdbeeranbau bietet sich der Zwischenfruchtanbau mit „Tagetes“ an, um zusätzlich phytosanitäre Proble-

me abzumildern. Nach Abschluss der Ernte werden die Erdbeerpflanzen untergefräst, großflächig wird Tagetes angesät (s. Abb. 36). Um die Nematodengefahr effektiv zu reduzieren, muss die Tagetes etwa zweieinhalb bis drei Monate auf der Fläche wachsen und zur vollen Blüte kommen. Weil Frost die Tagetespflanzen absterben lässt, ist der Anbauer bestrebt, möglichst früh auszusäen, was auch dem Grundwasserschutz dient. Seit einigen Jahren wird in Niedersachsen und Schleswig-Holstein versuchsweise beim Anbau von Erdbeeren bzw. von Rosengewächsen (Rosaceen) die Getreideart „Sandhafer“ als Zwischenfrucht verwendet.

In Tabelle 17 sind Beispiele für FV und deren Umsetzung im Sonderkulturenanbau aufgelistet.

Tab. 17: Freiwillige Vereinbarungen im Sonderkulturenanbau (gem. MU 2007a)

Freiwillige Vereinbarung	Code	Baum- schule	Strauch- obst	Erd- beeren	Spargel	Feld- gemüse
Zwischenfrucht nach der Quartieräumung	Aktive Begrünung (I.E)	x	x			
Zwischenfruchtbau nach der Ernte	I.E			x		x
Zwischenreihenbegrünung	I.E				x	
Mehnjährige Grasuntersaat	Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung (I.F)	x	x			

Beim Flächentausch mit nachfolgendem Anbau landwirtschaftlicher Kulturen ist der Berater gefordert, die Bewirtschafteter „abgehender“, oft stark nachmineralisierender Tauschflächen gezielt zur Düngung, Fruchtfolge- und Anbauplanung (vegetationsbegleitende Düngeberatung mit N_{\min} -Untersuchungen, zur Bodenbearbeitung, Kulturwahl, zum Zwischenfruchtanbau etc.) zu beraten.

Fruchtfolgemaßnahmen mit dem Ziel, risikoreiche Kulturen aus Sicht des Grundwasserschutzes zu verdrängen, spielen bisher kaum eine Rolle. Solche Strategien können kostenintensiv sein und sind nur in TGG umsetzbar, in denen der Gemüse- und Sonderkulturenanbau einen geringen Flächenanteil umfasst.

Erfolgsbewertung

Im Sonderkulturenanbau weichen die Rahmenbedingungen in vielen Punkten vom herkömmlichen landwirtschaftlichen Ackerbau ab. Im Vordergrund steht das große Interesse des Anbauers, die vorgegebenen Qualitätsanforderungen an die angebauten Produkte zu erreichen. Vor diesem Hintergrund werden die Dünge- und Pflan-

zenschutzmittel zielführend eingesetzt. Die Beratungsspielräume der WZB im Rahmen der Dünge- und Anbauplanung sind wegen der vom Abnehmer weitgehend festgelegten Produktionsabläufe vergleichsweise gering.

Bei der Erfolgskontrolle müssen die Faktoren und Ursachen, die die Herbst- N_{\min} -Werte im Sonderkulturenanbau beeinflussen können (z. B. Mehrfachnutzung, Erntetermin, Bewirtschaftungsintensität), umfassend berücksichtigt und interpretiert werden. Da die Produktionsverfahren einiger Kulturen für den Wasserschutz hoch risikoreich sind, ist die Anbau- und Düngeberatung im Sonderkulturenanbau besonders gefordert.

Die FV „Aktive Begrünung“ sowie „Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung“ werden von den Anbauern vorrangig genutzt.

Sofern keine Vereinbarkeit der Produktionsverfahren mit dem Wasserschutz möglich ist, sollte zumindest auf hoch sensiblen, prioritären Flächen im TGG der Anbau solcher Kulturen durch Flächentausch eingeschränkt werden.

2.3.2 Beratung im ökologischen Landbau

Kurzcharakteristik

Die Bundesrepublik Deutschland fördert im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie die Umstellung von Betrieben auf den ökologischen Landbau, unter anderem durch Maßnahmen im Rahmen von Agrar- und Umweltprogrammen auf Ebene der Bundesländer. In Niedersachsen ist ein stetiger Anstieg der ökologisch wirtschaftenden Betriebe zu verzeichnen. Im Vergleich zum konventionellen Anbau kommt dem ökologischen Anbau mit 3% der Betriebe bzw. 3% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (76.000 ha) im Jahr 2010 aber derzeit eine untergeordnete Bedeutung zu (LWK NIEDERSACHSEN 2011b).

Durch eine Flächenbewirtschaftung nach den Regeln des ökologischen Anbaus können Stoffausträge in das Grundwasser verringert und damit positive Effekte für den Grundwasserschutz erzielt werden (SCHMIDT et al. 2009).

Grundsätzlich korrespondieren die betriebswirtschaftlich bedingten Notwendigkeiten im Ökolandbau hinsichtlich des Nährstoffmanagements eng mit den Anforderungen des Grundwasserschutzes. So bedingen geringere Stoffumsätze in der Regel auch ein quantitativ geringeres Austragspotenzial. Im Ökolandbau ist mit folgenden Vorteilen für den Grundwasserschutz zu rechnen:

- weitgehend geschlossener Nährstoffkreislauf
- Beschränkung des Düngerzukaufs pro Hektar
- Vermeidung von Nährstoffverlusten als zentrales Ziel der Bewirtschaftung
- Anbau typischerweise in weiten Fruchtfolgen
- Verbot einer flächenunabhängigen Tierhaltung (Koppelung der Tierzahlen an die Fläche)
- Verbot synthetischer Pflanzenschutzmittel.

Aber auch bei der ökologischen Bewirtschaftung ist eine gezielte Wasserschutzberatung vorzusehen, da auch hier Auswaschungsrisiken vorhanden sind. Risiken bestehen besonders durch den Wirtschaftsdüngereinsatz, den Leguminosenanbau sowie bei Bewirtschaftungsfehlern bezüglich des Nacherntemanagements und des Leguminosenanbaus. Geeignete Förder- und Maßnahmenprogramme sind in Kapitel 2.4.7 beschrieben.

Anwendungsbereich und Durchführung

Rechtliche Grundlagen

Grundsätzlich können in allen Betrieben ökologische Bewirtschaftungsmaßnahmen durchgeführt werden. Sollen die Produkte auch als Ökoprodukte anerkannt, vermarktet oder gefördert werden, ist es notwendig, sich einer Kontrollstelle anzuschließen und sich zertifizieren zu lassen.

Der ökologische Landbau in Deutschland wurde seit 1992 durch die Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 geregelt. Diese wurde zum 1. Januar 2009 aufgehoben. Seitdem gilt die Verordnung (EG) Nr. 834/2007 über die ökologische/biologische Produktion und Kennzeichnung von ökologischen/ biologischen Erzeugnissen sowie verschiedene Durchführungsverordnungen (u. a. EG Nr. 889/2008). Die Bestimmungen der einzelnen nationalen Anbauverbände (z. B. Bioland e.V., Demeter, Naturland) gehen zum Teil noch deutlich über die Verordnung (EG) Nr. 834/2007 hinaus.

Grundsätze des ökologischen Landbaus

Düngung

Der ökologische Landbau stellt die Nährstoffversorgung der Pflanzen weitestgehend über den natürlichen Nährstoffkreislauf im Boden sicher. So basieren die Nährstoffversorgung und Bodenfruchtbarkeit in erster Linie auf einer mehrjährigen Fruchtfolge mit gezieltem Anbau von Zwischenfrüchten, Gründüngungspflanzen mit Leguminosen, Untersaaten sowie Wirtschaftsdüngern und Komposten ökologischer Herkunft. Synthetische Düngemittel sind verboten. Organische Düngemittel dürfen nur zugekauft werden, wenn der Nährstoffbedarf durch die oben genannten Maßnahmen nicht gedeckt werden kann. Die Art der Düngemittel ist auf die Positivliste im Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 beschränkt. Dazu gehören Mist, Haarmehlpellets und bei den weniger strengen EU-Bioverbänden auch Gülle. Der Bedarf weiterer Düngemittel sollte anhand von Bodenuntersuchungen (P und K) bzw. Pflanzenanalysen (Spurenelemente) ermittelt werden.

Begrenzung tierisch-organischer Dünger

Nach deutschen Verbandsrichtlinien dürfen im Ökologischen Landbau sowohl auf Acker als auch auf Grünland maximal 1,4 Düngeeinheiten (~2 GV entspricht 112 kg N/ha Stickstoff tierischer Herkunft) ausgebracht werden (EG 2008, Artikel 15, 16 und Anhang IV). Um die Belastung von Boden, Grund- und Oberflächenwasser zu vermeiden, ist über die Anforderungen der DüV hinaus eine flächenunabhängige Tierhaltung verboten. Überbetriebliche Vereinbarungen zur Einhaltung der Düngeober-

grenzen sind jedoch möglich. Der organische N-Zukauf pro Hektar ist bei den deutschen Anbauverbänden mit maximal 40 kg N/ha stark reglementiert.

Wird nach den EU-Bio-Richtlinien produziert, werden 170 kg N/ha aus organischem Dünger auf Grünland und Acker zugelassen, wobei auch ein 100% iger Zukauf aus konventionellen Quellen und der Einsatz von Gülle zulässig sind.

Zusätzlich einschränkend auf den Zukauf von externen N-Düngemitteln wirkt sich der ca. vierfach höhere Preis für im Ökolandbau zugelassene organische N-Dünger aus.

Pflanzenschutz

Ziel des ökologischen Landbaus ist es, Pflanzen so anzubauen, dass ein Befall durch Schädlinge und Krankheiten keine oder nur geringe wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Im Regelfall sollen die pflanzeigenen Abwehrkräfte und das Bodenleben durch Anbautechniken, die Sortenwahl und eine ausgewogene Fruchtfolge so weit gestärkt werden, dass es nicht zu krankheitsbedingten Ertragseinbußen kommt.

Als Maßnahmen sind die Wahl widerstandsfähiger Sorten, mechanische Bekämpfungsmethoden wie Striegeln und Hacken, Nützlingsschutz sowie thermische Maßnahmen, z. B. Abflammen, zu empfehlen.

Synthetische PSM sind verboten, so dass deren Eintrag in Grund- und Oberflächengewässer auszuschließen ist. Der Einsatz von zugelassenen PSM wird in einer Positivliste geregelt und ist stark reguliert (EU-VO Ökologischer Landbau 2011).

Im Getreideanbau werden in der Regel keine PSM eingesetzt. Bei Kartoffeln ist dagegen der Einsatz von Kupferpräparaten zur Bekämpfung der Krautfäule verbreitet. Dieser darf nur nach vorheriger Genehmigung und nach speziellen Vorschriften erfolgen (wie im Obst- und Weinbau).

Beratung zur Umstellung auf Ökolandbau

Die Umstellung auf Ökolandbau erfolgt bei Acker über einen Zeitraum von zwei bis drei Jahren und bei Grünland über einen Zeitraum von zwei Jahren. Hilfreich und empfehlenswert ist hierbei die Begleitung durch eine Umstellungsberatung. Während dieser Zeit gilt der Betrieb als Umstellungsbetrieb, der seine Produkte nur als Umstellungsware (U-Ware) verkaufen darf. Weitergehende Informationen enthält die Broschüre „EU-Verordnung Ökologischer Landbau (2011)“.

Der Ablauf der Umstellung ist nachfolgend skizziert:

- Abschluss eines Kontrollvertrages mit einer Kontrollstelle
- Einhalten der Vorgaben und Umstellungszeiten
- Aushändigung eines Bio-Zertifikats
- Lieferung von Ökoprodukten (A-Ware) möglich.

Da der ökologische Landbau prinzipiell mit den Anforderungen an ein grundwasserschonendes Wirtschaften konform ist, darf eine Umstellungsberatung auch im Rahmen der WZB erfolgen, setzt allerdings spezielle Fachkenntnisse des Beraters voraus.

Die Einhaltung der Umstellungsvorgaben umfasst fast alle Bereiche des Betriebs:

- Saat- und Pflanzgut
- Dünger und Bodenhilfsstoffe/Kalk
- Pflanzenschutzmaßnahmen
- Fruchtfolgen
- Futter (Grund- und Zukauffuttermittel)
- Tierhaltung (Zukauf, Platzangebot, Licht, Auslauf)
- Tiergesundheit (z. B. Behandlungsprotokolle, Bestandslisten)
- Wareneingangsprotokolle
- Belege, Warenstromkontrolle
- Auslobung/Vermarktung

Beratung zur Fruchtfolgegestaltung im Ökolandbau

Die Vermarktung von Umstellungs- und später auch ökologisch produzierter Ware erfordert in der Regel einen höheren Aufwand als im konventionellen Anbau, da der klassische Weg über den Landhandel entfällt und höhere Preise generiert werden müssen. Nicht selten stehen Selbstvermarktungskonzepte im Vordergrund. So sind auch die Hauptkulturen vorrangig an den Vermarktungszielen auszurichten. Weiterhin sollten die Standortvoraussetzungen Berücksichtigung bei der Gestaltung der Fruchtfolgeplanung finden. Da die Möglichkeiten einer externen N-Zufuhr beschränkt sind und auch dem stabilen Humusgleichgewicht große Bedeutung bei der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zukommt, nimmt der Anbau von Zwischenfrüchten, Untersaaten und Leguminosen bei der Fruchtfolgegestaltung eine zentrale Rolle ein.

Die folgenden drei Beispiele zeigen typische Bio-Fruchtfolgen sowie deren N- und Humussalden.

Die Fruchtfolge in Tabelle 18 wird von der Kartoffel als vermarktungsstarker Kultur dominiert. Ergänzende Verkaufsfrüchte sind Weizen und Dinkel. Zum Erhalt der Humusbilanz wird zwei Jahre lang Klee gras angebaut. Weiterhin verbleibt das Stroh auf der Fläche, und es wird eine Zwischenfrucht angebaut. Die Fruchtfolge ist hinsichtlich der Humusbilanz und des N-Flächenbilanzsaldos ausgeglichen. Aus Sicht des Gewässerschutzes können erhöhte Herbst N_{\min} -Werte nach Kartoffeln problematisch werden, was ein Nacherntemanagement erforderlich macht.

Die Fruchtfolge in Tabelle 19 wird vom Getreideanbau (Weizen und Dinkel) dominiert. Da keine innerbetriebliche Verwertung erfolgt, verbleibt das Stroh auf der Fläche. Zusätzlich wird einjährig Klee gras angebaut. Die Fruchtfolge ist durch die ausgeglichene N-Bilanz wasserschonend ausgelegt und zeigt eine gute Humusversorgung.

Um die N-Versorgung zu verbessern (z. B. um höhere Rohproteingehalte zu erreichen), könnte der Betrieb eine Verwertungs kooperation (Futter gegen Mist) eingehen und z. B. Mist zu Dinkel düngen (ca. 20 t Mist/ha entsprechen 100 kg N/ha, bei 5 kg N/t FM Rind).

Im viehhaltenden Betrieb in Tabelle 20 steht der Futterbau im Vordergrund. Ergänzend zum zweijährigen Klee gras wird Getreide als Marktfrucht angebaut. Humus und Stickstoff werden zusätzlich durch Mistzufuhr ins System gebracht. Der zweijährige Klee grasanbau wirkt unterdrückend auf Wurzelunkräuter wie Disteln und Ampfer und zeichnet sich durch einen günstigen Vorfruchteffekt aus. Die Humusreproduktion ist durch den Mist abgesichert. Hinsichtlich der N-Bilanz muss auf einen maßvollen Umgang mit dem Mist geachtet werden. Hier können bei N-Überhängen überbetriebliche Lösungen sinnvoll sein.

Tab. 18: Ackerbaufruchtfolge mit Futteranbau und Kartoffeln (Erträge: negative Vorzeichen = Abfuhr; positive Vorzeichen = Zufuhr bzw. Verbleib auf dem Feld), (IGLU)

	Guter Standort	Ertrag/Menge	N-Zu/Abfuhr	C-Zu/Abfuhr
Jahr	Kultur	(dt/ha)	(kg/ha)	(kg C/ha)
1	Klee gras (Frühjahrsansaat)	150	78	600
2	Klee gras	200	104	600
3	Winterweizen-Korn	-45	-81	-280
	Stroh verbleibt auf dem Feld	36	18	360
4	Dinkel-Korn	-40	-72	-280
	Stroh verbleibt auf dem Feld	32	16	320
	Zwischenfrucht: Ackerbohne + Erbsen + Roggen	15	53	120
5	Kartoffel	-200	-70	-760
	Saldo		9	136

Tab. 19: Fruchtfolge Ackerbaubetrieb ohne innerbetriebliche Verwertung (Erträge: negative Vorzeichen = Abfuhr; positive Vorzeichen = Zufuhr bzw. Verbleib auf dem Feld), (IGLU)

	Guter Standort	Ertrag / Menge	N-Zu/Abfuhr	C-Zu/Abfuhr
Jahr	Kultur	(dt/ha)	(kg/ha)	(kg C/ha)
1	Klee gras	200	104	600
2	Winterweizen	-40	-72	-280
	Stroh verbleibt auf dem Feld	32	16	320
	Zwischenfrucht: Ackerbohnen + Erbsen + Roggen	15	53	120
3	Dinkel	-40	-72	-280
	Stroh verbleibt auf dem Feld	32	16	320
4	Ackerbohnen	-30	-123	160
	symbiotische N-Fixierung		162	
5	Winterweizen	-35	-63	-260
	Stroh verbleibt auf dem Feld	28	14	280
	Saldo		7	196

Tab. 20: Fruchtfolge viehhaltender Betrieb (Milchvieh) (Erträge: negative Vorzeichen = Abfuhr; positive Vorzeichen = Zufuhr bzw. Verbleib auf dem Feld), (IGLU)

	Mittlerer Standort	Ertrag/Menge	N-Zu/Abfuhr	C-Zu/Abfuhr
Jahr	Kultur	(dt/ha)	(kg/ha)	(kg C/ha)
1	Kleegras 50 / 50	-150	-78	600
	symbiotische N-Fixierung		41	
2	Kleegras 50 / 50	-200	-104	600
	symbiotische N-Fixierung		54	
3	Winterweizen	-45	-81	-260
4	Triticale	-45	-74	-260
	Mist zu Triticale (30% TS)	200	600	800
	Saldo		71	370

Empfehlungen zur grundwasserschonenden Anbauoptimierung

Wird im TGG Ökolandbau betrieben, stellen der Leguminosen- und Hackfruchtanbau sowie das Wirtschaftsdüngermanagement potenzielle Risikobereiche und somit Schwerpunktthemen für die WZB dar. Durch die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen kann der Stickstoff im System gehalten und so das stoffliche Verlagerungsrisiko reduziert werden.

Leguminosen

- Nacherntemanagement Kleegras und Körnerleguminosen
 - Umbruch ins Frühjahr verlegen und
 - als „heilen“ Umbruch durchführen (nur wenig mulchen, kein Grubbern, direkt unterpflügen)
- Einbringung von Unter- und Stoppelsaaten in Leguminosen
- Anbau von Leguminosen und Nicht-Leguminosen im Gemenge
- bei Kleegras mindestens eine Nutzung als Schnittnutzung.

Wirtschaftsdünger

Bedarfsorientiertes Wirtschaftsdüngermanagement, bei dem alle im konventionellen Anbau eingesetzten Techniken genutzt werden können (z. B. Düngeplanung, Kenntnis der Inhaltsstoffe, Zeitpunkt und Einsatz von Exaktsstreuer, Anrechnung).

Fruchtfolge/Zwischenfrüchte

- Einbau von intensiven Kulturen wie Hackfrüchten in eine weite Fruchtfolge mit ansonsten geringen N-Austrägen, z. B. durch Ansaat einer Grünroggenzwischenfrucht nach Kartoffeln
- Vor Sommerungen immer Zwischenfruchtanbau
- Nach Raps und Körnerleguminosen auf schwachen Böden immer Zwischenfruchtanbau

Bodenbearbeitung

- Genaue Planung der Bodenbearbeitungszeitpunkte zur Vermeidung der herbstlichen Mineralisation und wenn möglich Verschiebung ins Frühjahr
- Keine intensive Wurzelunkrautbekämpfung nach Raps und Körnerleguminosen, stattdessen reduzierte, hinausgezögerte Bodenbearbeitung

Beratungsprogramme

- Beratung zum Abschluss geeigneter Freiwilliger Vereinbarungen für den Ökolandbau
- Beratung zur Umstellungsförderung

Erfolgsbewertung

Grundwasserschutzeffekt des ökologischen Landbaus

Der ökologische Landbau weist eine Reihe positiver Grundwasserschutzeffekte auf:

- Die beim Ökolandbau hinsichtlich der Landbewirtschaftung und des Tierbestandes bestehenden Auflagen führen im Allgemeinen zu deutlich geringeren Emissionen gegenüber dem konventionellen Landbau (BERG et al. 1999, HEGE et al. 2006, SCHMIDT & OSTERBURG 2009, HAAS 2010).

- Im ökologischen Landbau werden niedrigere N-Überschüsse bzw. Nitratgehalte im Sickerwasser nachgewiesen. Diese Effekte sind in der Regel schon ab dem ersten Umstellungsjahr nachzuweisen und pendeln sich nach drei bis vier Jahren auf einem stabilen Niveau ein (IGLU 2008).
- Sickerwasserwerte werden gegenüber dem konventionellen Anbau ungefähr halbiert und der Nitratgrenzwert wird in der Regel deutlich unterschritten (s. Abb. 37).
- Die Hoftorbilanzen können um ca. 50–70% reduziert werden (s. Abb. 38) (z. B. HEGE et al. 2006 u. 2005, WAGRICo 2006, HAAS 2010).
- Extreme Nitratspitzen werden gekappt.
- Keine PSM-Einträge in Grund- und Oberflächenwasser durch das Verbot des Einsatzes synthetischer PSM.

Dennoch zeigt die Streuung der Nitratausträge zwischen den Betrieben, dass auch bei ökologischer Bewirtschaftung zum Teil Optimierungspotenziale und Beratungsbedarf bestehen (s. Tab. 21). Um den Grundwasserschutz im ökologischen Landbau zu sichern, müssen in TGG zusätzliche Maßnahmen zur Konservierung der N-Mengen im Boden und zur Minderung der N-Verlagerung ergriffen werden. Entscheidend sind:

- Maßnahmen zur Reduzierung der N-Austräge beim Leguminosenanbau durch angepasste Terminwahl, Untersaaten, Gemengeanbau und reduzierte Bodenbearbeitung,
- maßvoller Umgang mit Wirtschaftsdüngern,
- Zwischenfrüchte nach Kulturen mit hoher N-Dynamik wie Kartoffeln sowie
- ausgeglichene N- und Humusbilanzen der Fruchtfolgen.

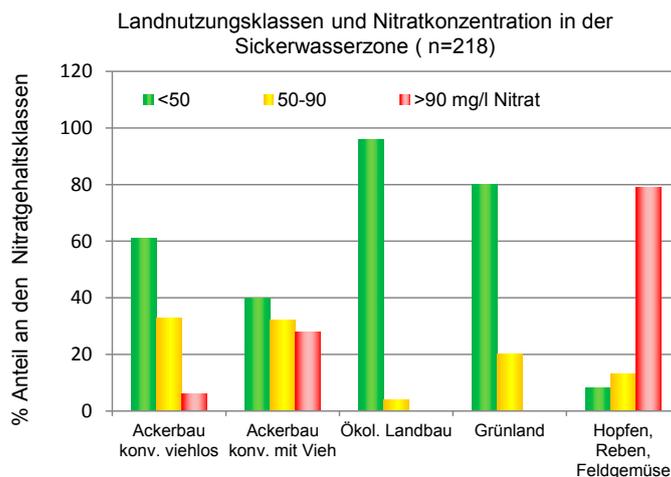


Abb. 37: Im Ökolandbau überwiegend niedrige Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (HEGE & OFFENBERGER 2006)

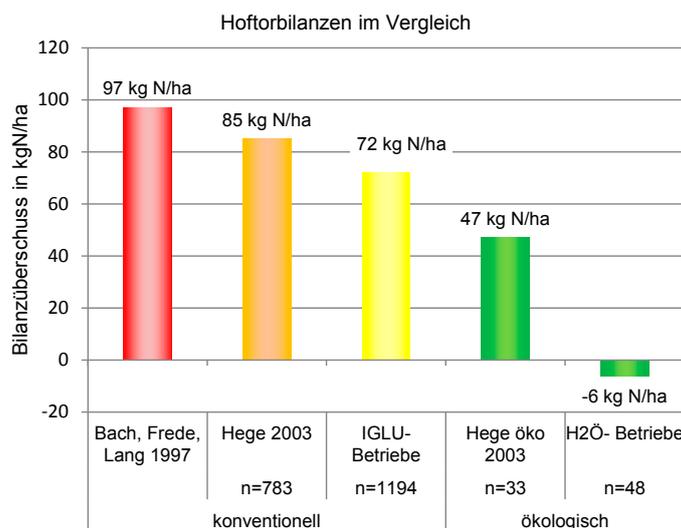


Abb. 38: Im Ökolandbau deutliche Senkung der Hoftorbilanzen (IGLU 2008)

Tab. 21: Nitrat im Sickerwasser bei unterschiedlicher Landnutzung (HEGE 2005)

Betriebsform	Mittelwert	Spannweite	(n)
Acker	NO ₃ (mg/l)		
Konventionell			
kaum Vieh (< 0,2 GV/ha)	48	5-132	56
mit Vieh (1,7 GV/ha)	75	8-376	103
Ökologisch (0,8 GV/ha)			
Alt-Umstellung (> 6 a)	29	8-46	16
Neu-Umstellung (< 6 a)	34	16-50	9
Grünland	25	2-65	10

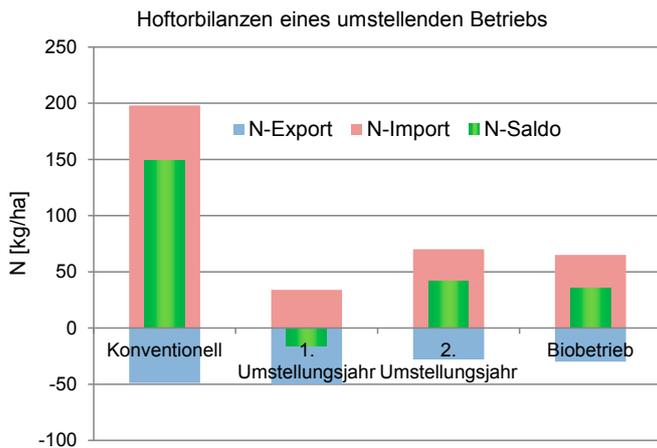


Abb. 39: Änderung der Hoftorbalancen eines Umstellungsbaus über vier Jahre (IGLU 2008)

Ergebnis/Zusammenfassung

Ökolandbau besitzt eine hohe Zielkonformität mit dem Wasserschutz und leistet in der Regel einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen und Stoffemissionen in die Umwelt.

Die Grundwasserschutzeffekte sind in erster Linie:

- Verminderung des Stoff-Inputs → geringere Emissionen
- Verminderter Düngemiteleinsatz → Hohe N-Effizienz
- Strikte Koppelung der Viehzahlen an die Fläche → Vermeidung von Wirtschaftsdüngerüberschüssen
- Weite Fruchtfolgen, Untersaat- und Zwischenfruchtanbau, höherer Beikrautbesatz → N- Bindung über Winter, Verminderung von Bodenabtrag, Humusmehrung
- Kein Einsatz synthetischer PSM

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, Verzicht auf Mineraldünger, Flächenbindung bei Wirtschaftsdünger
Saldominderung	- Ja, Flächensalden überschreiten < 50 kg N/ha in der Regel nicht - Ja, Hoftorsalden zeigen Minderungspotenzial von 50 bis 70 %
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, Senkung auf das Niveau von 10–30 kg N/ha möglich (WAGRICo2 2011)
Sickerwasserentlastung	- Ja, Vermeidung von PSM-Austrägen - Ja, Verminderung von P-Austrägen - Ja, Verminderung von N-Austrägen um rund 55 %; in der Regel sichere Grenzwertunterschreitung (HEGE et al. 2006)
Weitere Effekte	- Low-Input-System, geringe spezifische Wasserschutzkosten - Positive Auswirkung auf Artenvielfalt, Humushaushalt und Erosionsschutz - Bessere CO ₂ -Bilanz durch den Anbau von Leguminosen (Einsparung von 1 kg Erdöl/kg N)

2.3.3 Beratung zum Pflanzenschutz

Kurzcharakteristik

Neben N-Einträgen gefährden Wirkstoffe von PSM die Qualität des GW. PSM-Wirkstoffe oder deren Abbauprodukte, relevante und nicht relevante Metabolite), werden im oberflächennahen GW, im Rohwasser der Förderbrunnen oder sogar im Trinkwasser nachgewiesen.

Definition und Einordnung:

Die Differenzierung ob ein Metabolit relevant oder nicht relevant ist, wird nach den Kriterien der biologischen, pestiziden Aktivität im Vergleich zur „Muttersubstanz“, der Gentoxizität und dem toxischen Potenzial bemessen.

Relevante Metabolite verfügen über vergleichbare Eigenschaften wie der Wirkstoff selbst und/oder besitzen durch ihre toxischen oder ökotoxischen Eigenschaften ein Gefährdungspotenzial. Für PSM-Wirkstoffe und deren relevante Metabolite gelten nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV, BMG 2013) für das Trinkwasser und als Zielwert der EG-Wasserrahmenrichtlinie für das GW folgende Grenzwerte: 0,1 µg/l (0,0001 mg/l) für den Einzelstoff und 0,5 µg/l (0,0005 mg/l) für mehrere Stoffe zusammen.

Nicht relevante Metabolite (nrM) haben die biologische Wirkung der Muttersubstanz (z. B. die herbizide Wirkung) verloren und sind toxikologisch unbedenklich. Sie werden derzeit nur unzureichend im Pflanzenschutz-, Wasser- und Trinkwasserrecht berücksichtigt. Im Rahmen der PSM-Zulassung gilt derzeit für nrM ein Grenzwert im Trinkwasser von 10 µg/l, während den WVU vom Umweltbundesamt (UBA) ein gesundheitlicher Orientierungswert von 1,0 bzw. 3,0 µg/l (je nach Untersuchungserkenntnissen zur Toxikologie des Stoffs) für das Trinkwasser als „Vorsorgewert“ vorgegeben wird (UBA & BFR 2012).

Bei der Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten wird bezüglich der Anwendung von PSM in Niedersachsen für Wirkstoffe und Metabolite ein Verbot bei einer nachweislichen Konzentration von mehr als 0,1 µg/l je Einzelsubstanz im Rohwasser einer Wassergewinnungsanlage empfohlen (NLWKN 2013d).

Abbau von PSM:

Der Abbau von PSM findet auf chemischem (Photolyse/Hydrolyse), photochemischem (Licht) und insbesondere biologischem Weg statt. Vorrangig erfolgt der Abbau in der obersten, belebten Bodenschicht durch Mikroorganismen in Abhängigkeit vom Bodenwasserhaushalt. Der mikrobielle Abbau im GW-Leiter ist nur noch minimal. Die

Konzentration kann sich unter diesen Bedingungen nur noch durch Verdünnung verringern. Ein weiteres Kriterium ist die GW-Überdeckung.

Werden GW-Belastungen durch PSM festgestellt, bleiben sie meist über längere Zeiträume bestehen. Oft werden Wirkstoffe oder Metabolite infolge ihrer Persistenz und durch eine verbesserte und gezieltere Analytik erst nach Jahren im GW erfasst.

PSM-Monitoring in Niedersachsen:

Seit dem 01.10.1989 wird das Trinkwasser auf Pflanzenschutzmittel untersucht. Aktuell werden noch immer Wirkstoffe nachgewiesen, deren Anwendung bereits seit Jahren verboten ist (z. B. Atrazin, Simazin, Hexazinon, Bromacil) (LAWA 2008). Es werden aber auch Wirkstoffe und/ oder ihre Metabolite im Grundwasser nachgewiesen, die aktuell zugelassen sind, z. B. Bentazon, Metazachlor und Metolachlor. Das Niedersächsische Landesgesundheitsamt (NLGA 2012) hat in Zusammenarbeit mit dem NLWKN und der LWK in einer aktuell gehaltenen niedersächsischen Landesliste die am häufigsten gefundenen Stoffe als Arbeitshilfe für die Trinkwasserüberwachung der niedersächsischen WVU zusammengefasst. In der aktuellen NLGA-Liste aus 2012 sind 33 Wirkstoffe aufgeführt, bei denen Befunde im Trinkwasser aufgetreten sind.

Zusatzinformation: PSM-Monitoring im NLWKN

Der NLWKN führt seit 1993 PSM-Untersuchungen durch, seit 1998 an 106 PSM-Messstellen. Ein umfangreiches Monitoring wurde 2008/2009 an 1051 Grundwassermessstellen (GWM) (den Überblicksmessstellen zur Umsetzung der EG-WRRl) für 104 Parameter durchgeführt. In 2010/2011 wurden die GWM mit Qualitätsnormüberschreitung erneut für 129 Parameter untersucht. Seit 2011 werden zusätzlich 19 nrM berücksichtigt. Regelmäßige PSM-Untersuchungen sollen zukünftig weitergeführt werden (derzeit 108 Wirkstoffe und 21 nrM).

Die WVU sind nach den Vorgaben des Nds. MU gehalten mindestens alle 3 Jahre das Rohwasser und die Vorfeldmessstellen auf PSM-Belastungen zu untersuchen. In vielen TGG führen die WVU zusätzlich ein PSM-Monitoring durch, um gegebenenfalls im Rahmen der WZB gemeinsam mit den Landwirten erforderliche Maßnahmen umzusetzen.

Bei PSM-Funden im Trinkwasser schreibt die TrinkwV ein bestimmtes Ablaufschema zur Ursachenerforschung

(Grenzwert, Gesundheitsgefahr, Maßnahmen zur Eliminierung, Prüfungsvorgang, Verursacher etc.) vor. Dieses wird im Abschnitt „Vorgehensweise bei Funden von PSM-Wirkstoffen oder deren Metaboliten im Grund- und Trinkwasser“ erläutert.

Anwendung von PSM in der Praxis

Mindeststandards für einen umweltgerechten PSM-Einsatz werden im Pflanzenschutzgesetz und der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung vorgegeben. Ihre Umsetzung ist als Gute fachliche Praxis (GfP) im Pflanzenschutz festgeschrieben (BMELV 2010b). Die Erfüllung dieser Umweltstandards ist für die Landwirte verpflichtend um Ausgleichs- bzw. Prämienzahlungen der EU zu erhalten. Im Rahmen von Betriebs- und Cross-Compliance-Kontrollen der LWK wird dies geprüft. Grundsätzlich müssen die allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes eingehalten werden, wie sie in der Richtlinie der EG (2009/128) über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Nutzung von Pestiziden vorgegeben sind. Hierzu zählen die Einbeziehung vorbeugender Maßnahmen z. B. Anbausystem, Fruchtfolge, standortgerechte Bodenbearbeitung, Wahl gesunder Sorten, angepasste Saat- und Pflanztermine, bedarfsgerechte Nährstoffversorgung, Förderung natürlicher Regelmechanismen (Nützlinge). Auch der Einsatz von nichtchemischen Abwehr- und Bekämpfungsverfahren (z. B. Unkrautbekämpfung mit Hacke oder Striegel, s. Kap. 2.4.5) sollte in Erwägung gezogen werden.

Zusatzinformation: Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel schützen Pflanzen oder Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen oder Krankheiten. Sie können auch eingesetzt werden, um das Pflanzenwachstum zu regulieren. Pflanzenschutzmittel werden je nach Wirkung in verschiedene Gruppen eingeteilt:

- Herbizide gegen Unkräuter
- Insektizide gegen Schadinsekten
- Fungizide gegen pilzliche Krankheitserreger
- Nematizide gegen Nematoden (Fadenwürmer)

Die LWK Niedersachsen hat eine Checkliste für den ordnungsgemäßen Pflanzenschutz nach guter fachlicher Praxis erstellt (LWK NIEDERSACHSEN 2013c):

- Sachkundiger Umgang mit PSM
 - Sachkunde, Beratung und Fortbildung des Anwenders (Nachweise)
 - Einkauf, Lagerung, Transport und Entsorgung von PSM
- Geprüftes Pflanzenschutzgerät
 - Kontrolle (Spritzen-TÜV), Abdrift-reduzierende Technik
 - Vorgaben zu max. 5 m/s Wind sowie nicht über 8 km/h Fahrtempo
- Ordnungsgemäßer Einsatz von PSM
 - Indikationszulassung, Aufwandmenge, Termin, Wartezeit, Rückstand-Höchstmengenverordnung (RHmV, BMG 1999)
 - Anwendungsbestimmungen und Auflagen zum Umweltschutz
 - zu Gewässern
 - zu Saumbiotopen
 - zu sensiblen Bereichen
 - Bienenschutzverordnung (BMELF 1992a) beachten
 - kein Einsatz von PSM auf Nicht-Kulturflächen/ Nicht-Zielflächen
- Einsatz von PSM auf das notwendige Maß begrenzen - integrierter Pflanzenschutz
- Dokumentation der PSM-Anwendung (Schlagkartei)

Eintragungspfade und -ursachen von PSM in die Gewässer

PSM werden größtenteils im Ackerbau verwendet, aber auch auf Verkehrs-, Siedlungs- und Freizeitflächen sowie in Kleingärten. Der Eintrag erfolgt über Punktquellen oder diffus über die folgenden Haupteintragungspfade:

- Abdrift
- Abschwemmung
- Versickerung
- Ablauf in die Kanalisation
- Verdunstung

In Tabelle 22 sind die Eintragspfade in die Gewässer und ihre Ursachen dargestellt.

Die Auflistung zeigt, dass es über die gesamte PSM-Anwenderlogistik vom Einkauf eines PSM, über die gezielte Anwendung bis hin zur Entsorgung der Restbehälter und zur Dokumentationspflicht einen Beratungsbedarf zum Umgang mit PSM gibt. Für bestimmte PSM-Wirkstoffe werden weitergehende Regelungen getroffen. So gilt z. B. ein Anwendungsverbot der Herbizide Bentazon und Chloridazon auf Böden der Bodenarten Sand, schwach schluffiger Sand und schwach toniger Sand (NG 407).

Die betroffenen Flächen in Niedersachsen können auf dem Kartenserver des LBEG (NIBIS 2013) eingesehen werden. Weitergehende Regelungen können in TGG in Abhängigkeit von den bodenkundlichen Standortverhältnissen und der GW-Situation festgelegt werden. Neben Parametern des Wasserhaushalts wie Feldkapazität und GW-Flurabstand, die auch einen wesentlichen Einfluss auf das nährstoffbezogene Verlagerungspotenzial haben, stehen bei einer PSM-Tiefenverlagerung Parameter des Abbau- und Sorptionsmilieus des Bodens im Vordergrund (s. Tab. 23).

Tab. 22: Eintragspfade und -ursachen von PSM in die Gewässer (verändert nach FISCHER 1996; FREDE & DABBERT 1999).

Verunreinigung aus Punktquellen	Eintragspfad bzw. -ursache
Transport, Lagerung, Befüllen der PSM-Spritze	Leckagen, Ablauf in Kanalisation
Spritzen und Reinigen	Unsachgemäße Befüllung / Reinigung der PSM-Spritze auf dem Hof sowie
Einträge von Hofflächen	Anwendung von Totalherbiziden auf befestigten Hofflächen, Ablauf direkt in Wasserläufe und in die Kanalisation
Reste und Abfall	Unsachgemäße Entsorgung von Resten in die Kanalisation
Verunreinigung aus diffusen Quellen	
Abtritt beim Spritzen	des Sprühnebels durch Wind und /oder danach vom Boden, von Blattoberfläche
Bodenerosion und Oberflächenabfluss, Uferfiltration	tendenziell häufigere Funde im Frühjahr und Herbst (Vorsaat-, Vorauf-, früher Nachauf-, Herbizide) Eintrag von belastetem Fluss-, Bachwasser ins Grundwasser
Dränagen	Dränwasserabfluss
Versickerung	in leichten Böden, Böden mit hohem Grobporenanteil
Kommunale Einträge	durch (grundsätzlich verbotene) Anwendung von Totalherbiziden auf Nichtkulturflächen wie Sportplätzen, Wegen, Friedhof, Gleisanlagen etc., Ablauf in die Kanalisation
Industrielle Einträge	infolge Abwassereinleitung, Unfall etc.

Tab. 23: Einflussgrößen auf die Verlagerung von PSM im Untergrund (verändert nach HLFU 1999)

Faktoren, die eine PSM-Verlagerung im Boden verstärken:	
Klima	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Niederschläge - geringe Verdunstung - hohe Grundwasserneubildungsrate
Boden	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Wasserspeicherfähigkeit - geringe Mächtigkeit von Deckschichten oberhalb des Grundwasserstandes - Vorbelastung des Bodens durch PSM - geringe mikrobielle Aktivität im Boden und der Sickerwasser-Dränzone
Pflanzenbestand	<ul style="list-style-type: none"> - spät schließende Pflanzendecke (PSM- Vorauf-, Vorsaat-Anwendung) - längere Zeit Brachliegen von Ackerflächen
Bewirtschaftungsintensität	<ul style="list-style-type: none"> - nicht standortangepasste Beregnung auf leichten Böden - langjährige Anwendung eines Mittels (Monokultur, überhöhte Dosierung) - häufigeres und/oder tiefes Pflügen
stoffliche Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Persistenz eines PSM und seiner Metabolite, chemische/ physikalische Eigenschaften, Sorptionsvermögen (Humus-, Tonpartikel) - Wasserlöslichkeit, Dampfdruck (Tendenz zur Verflüchtigung)

Da zusätzlich auch stoffspezifische Parameter zu berücksichtigen sind, ist die Abschätzung der Verlagerungsgefahr sehr komplex. In der Praxis wird bei Böden mit einer hohen Nitrataustragsgefährdung (NAG) oft auch ein geringes Rückhalte- und Abbaupotenzial für PSM festgestellt. Grundsätzlich gilt aber, dass für die vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) auf der Grundlage von EU-Richtlinien zugelassenen PSM bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Anwendung keine Beeinträchtigungen für Mensch und Tier sowie das GW und keine unververtretbaren Auswirkungen auf den Naturhaushalt bestehen (BMEL 2013).

Auflagen zum Schutz des Grundwassers und der Wasserorganismen

Bei der Zulassung von PSM werden vom BVL für die einzelnen PSM Auflagen festgelegt oder sie ergeben sich aus der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung (BMELF 1992b). Für PSM mit dem gleichen Wirkstoff, aber unterschiedlichen Indikationsmöglichkeiten können verschiedene Auflagen gelten. Für einzelne PSM bestehen Auflagen mit Bezug zur Saatgutbehandlung, Flächenauswahl, Auflagen zum Naturhaushalt Wasser-

organismen, Auflagen bezüglich Nicht-Zielorganismen sowie Auflagen zum Gewässerschutz. Bei den Auflagen zum Gewässerschutz (sogenannte NG-Auflagen) besteht eine zusätzliche Kodierung W1 für das Anwendungsverbot in Zuflussbereichen/ Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen, Heilquellen und Trinkwassertalsperren. Die zusätzliche Kodierung W2 gilt für das Anwendungsverbot auf Flächen in Zuflussbereichen, bei denen die Fließzeit des Wassers bis zur Fassungsanlage mehr als 50 Tage beträgt. Darüber hinaus gibt es zum Gewässerschutz weitere Auflagen: Schutz von Wasserorganismen (NW-Auflagen), zum Schutz der Bienen (NB-Auflagen) bzw. zum Schutz von Saumbiotopen und Nichtzielorganismen (NT-Auflagen). Eine Auswahl einiger Auflagen ist in gekürzter Fassung in Tabelle 24 dargestellt. Werden für ein PSM keine gesonderten Abstandsauflagen (s. NG-Auflagen) angegeben, gilt für alle Gewässertypen (permanent/periodisch/gelegentlich wasserführend) der für Niedersachsen länderspezifisch gültige ein-Meter-Mindestabstand. Demnach muss ein ein Meter breiter Streifen der ebenen Gewässerböschung unbehandelt bleiben.

Einige Anwendungsbestimmungen sind bußgeldbewehrt, z. B. die o.a. standortbezogene Einschränkung „NG 407“.

Tab. 24: Auswahl einiger Umweltauflagen von PSM zum Schutz des Grundwassers (NG) sowie zum Schutz von Wasserorganismen (NW) in gekürzter Form

Auflagen zum Schutz des Grundwassers (NG)	
NG 237	Keine Anwendung in Zuflussbereichen/Einzugsgebieten von Grund- und Quellwassergewinnungsanlagen, Heilquellen und Trinkwassertalsperren (..) alte W 1 - Auflage
NG 315	Keine Anwendung vor dem 15.04. eines Kalenderjahrs
NG 329	Maximale Aufwandmenge von 1.000 g Wirkstoff/ha und Jahr auf derselben Fläche – gilt auch in Kombination mit anderen diesen Wirkstoff enthaltenden PSM
NG 346	Innerhalb von drei Jahren darf die maximale Aufwandmenge von 1.000 g Metazachlor/ha auf derselben Fläche - auch in Kombination mit anderen diesen Wirkstoff enthaltenden PSM – nicht überschritten werden.
NG 402	Keine Anwendung auf Flächen mit > 2% Hangneigung. Ausnahme: min. 10 m bewachsener Randstreifen oder Anwendung im Mulch- oder Direktsaatverfahren
NG 405	Keine Anwendung auf dränierten Flächen
NG 407	Keine Anwendung auf Sandboden (für Chloridazon und Bentazon)
NG 408	Keine Anwendung auf gedränten Flächen im Zeitraum 01.06 – 01.03.
NG 410	Keine Anwendung auf Böden mit mittleren Tongehalt $\geq 30\%$
Auflagen zum Schutz von Wasserorganismen (NW)	
NW 201	Anwendung nur in der jeweiligen Kultur und max. Aufwandmenge/ha und -häufigkeit gemäß der Gebrauchsanleitung
NW 468	Spritzbrühe und deren Reste, Mittelreste, entleerte Behälter/ Packungen und Reinigungs-, Spülflüssigkeiten nicht in Gewässer gelangen lassen. Dies gilt auch für indirekte Einträge in Kanalisation, Hof-, Straßenablauf, Regen- und Abwasserkanälen
NW 607	Die Anwendung des PSM auf Flächen in Nachbarschaft von Oberflächengewässern muss mit einem „verlustminderndem Gerät“ erfolgen.

Vorgehensweise bei Funden von PSM-Wirkstoffen oder deren Metaboliten im Grund- und Trinkwasser

Jedes WVU ist gemäß TrinkwV verpflichtet, dem Gesundheitsamt eine Grenzwertüberschreitung von PSM-Wirkstoffen oder deren Metabolite im Trinkwasser unverzüglich zu melden. Außerdem muss die UWB gemäß den Ausführungsbestimmungen für das Rohwasser (MU 2012) informiert werden.

Das Pflanzenschutzamt, die örtlichen Ansprechpartner der LWK-Bezirksstellen und die Prüfdienste der LWK bieten den WVU ebenfalls Unterstützung bei der Ursachenforschung zu folgenden Fragen an:

- Informationen zum Pflanzenschutzmittel
 - welcher Handelsname?
 - welcher Wirkstoff oder (nicht) relevante Metabolit?
- Zulassungssituation des PSM
 - ist das PSM aktuell (noch) zugelassen oder ein verbotenes PSM?
 - wann ist/ war das Zulassungsende?
 - wie sind/ waren die Aufbrauchfristen?
 - Indikation des PSM: zugelassene Anwendungsgebiete, welche Kulturen dürfen behandelt werden?
 - welche Auflagen zum Gewässerschutz hat das PSM?
 - wie häufig wird/ wurde der Wirkstoff in der Praxis eingesetzt?
 - wie sind die Fundhäufigkeiten zu bewerten?

Das WVU führt nach Abstimmung mit dem Gesundheitsamt und der UWB in Abhängigkeit von der Belastung eine Bewertung und Klärung der Fundsituation durch und verabredet die weitere Vorgehensweise, z. B. das begleitende Monitoring. Diese Informationen ermöglichen dem WVU, der WZB und der Trinkwasserschutzkooperation eine erste Einschätzung zu den Funden.

Gegebenenfalls erfolgt auch eine direkte Fundaufklärung mit dem Zulassungsinhaber durch das WVU oder die Untere Wasserbehörde. Auch das UBA sollte bei Grenzwertüberschreitungen informiert werden.

Der Zulassungsinhaber ist bei einer Grenzwertüberschreitung verpflichtet zur Fundaufklärung beizutragen. Bei der Fundaufklärung sind folgende Aspekte zu klären:

- Ist der (Einzel)Fund durch weitere Analysen bestätigt?

- Handelt es sich um eine „Altlast“ oder einen aktuell zugelassenen Stoff?
- Ist der Eintrag einer Punktquelle oder einer flächenhaften Anwendung zuzurechnen?
- Ist eine Anwendung auch außerhalb der Landwirtschaft wahrscheinlich?
- Ist eine Meldung an die Zulassungsbehörde zur weiteren Fundaufklärung erfolgt?
- Wurde ein aktueller Eintrag erkannt, gibt es Möglichkeiten der Reduzierung?
- eine Befragung des Handels
- eine Befragung der im betroffenen Gebiet wirtschaftenden Landwirte.

Nach einer abgeschlossenen Fundaufklärung, bei der im Idealfall der Verursacher der Belastung ausfindig gemacht wird, sollten die Trinkwasserschutzkooperation und der Wasserschutzzusatzberater in Zusammenarbeit mit der Pflanzenschutzberatung eine fachlich fundierte Strategie zur zukünftigen Vermeidung oder Reduzierung des PSM-Eintrags ins Grund- oder Oberflächenwasser festlegen. Die WZB und die Pflanzenschutzberatung nehmen eine wichtige vermittelnde Position ein, wenn es darum geht, auf die Minimierung von PSM hinzuwirken, Alternativpräparate einzusetzen oder gegebenenfalls ein Handlungskonzept umzusetzen.

Beratung und Maßnahmen zum Pflanzenschutz mit Fokus auf dem Gewässerschutz

Das Thema „PSM-Anwendung mit Fokus auf dem Gewässerschutz“ sollte intensiv in die Beratung vor Ort, in den Rundschreiben der WZB, bei Feldbegehungen oder auch bei den Pflanzenschutz-Wintertagungen berücksichtigt werden.

Die Anwender sind verpflichtet, sämtliche Vorgaben und Auflagen im Umgang mit PSM einzuhalten. Dennoch besteht ein Beratungsbedarf.

Die wichtigsten Eintragspfade sind in Tabelle 23 dargestellt. Oberflächen- und Dränagenabfluss sowie die unsachgemäße Spritzenreinigung, aber auch die Abtrift sind die vorrangigen Eintragspfade und -ursachen. Für die Beratung ergeben sich daraus wichtige Ansatzpunkte:

Reinigung des Spritzgeräts und Restmengenmanagement

In der landwirtschaftlichen Praxis sollten die Reste der Spritzflüssigkeit und die Reinigungsflüssigkeit nicht über

den Hof in die Kanalisation abgeleitet werden, sondern verdünnt auf den Ackerflächen ausgebracht werden. Nach Untersuchungsergebnissen können 60 bis 80 % der Gewässerverunreinigungen durch das Reinigen der Pflanzenschutzspritze auf dem Feld verhindert werden (BASF 2013). Eine sorgfältige Vorabkalkulation der (betrieblich und flächenmäßig) anzuwendenden Mengen trägt dazu bei, größere Restmengen zu vermeiden. Tendenziell sollte deshalb ca. 10 % weniger Spritzbrühe angesetzt werden. Auf das sogenannte Restmengenmanagement sollte auch die WZB hinweisen.

Schadsschwellenprinzip, Kontrollparzellen und Pflanzenschutz-Terrassen

Die Erfahrungen der Pflanzenschutzberatung zeigen, dass sich bei der PSM-Anwendung Probleme durch häufige PSM-Behandlungen und eine zu hohe PSM-Behandlungsmenge der Fläche ergeben können. Die reale Einschätzung und Bewertung eines potentiellen Schadens der angebauten Kultur durch Beikräuter, Schädlinge oder Krankheiten erfordert eine gute Beobachtung der Pflanzenbestände. Praxisetabliert ist z. B. das Aufstellen von Gelbschalen im Raps, um den aktuellen Insektenbefall (beispielsweise Rüsselkäfer oder Rapsglanzkäfer) zu erfassen und die Bekämpfungswürdigkeit, also den Spritzzeitpunkt zu terminieren. Die sogenannte wirtschaftliche Schadensschwelle ist erreicht, wenn der Aufwand der Pflanzenschutzbehandlung geringer ist als der zu erwartende ökonomische Schaden bei Unterlassung.

Das Prinzip der wirtschaftlichen Schadensschwelle sollte bei der Planung von Herbizidanwendungen stärker berücksichtigt werden. Gegebenenfalls sollte der aktuelle Unkrautbesatz gemeinsam mit dem Berater bewertet und die geplante Spritzstrategie dementsprechend festgelegt werden. Da ein Großteil der PSM-Funde den Vorauflauf-/Vorsaatherbiziden zuzurechnen ist, die auf den noch unbewachsenen Boden appliziert und leichter abgeschwemmt werden können, muss dieser Zustand bei der Spritzstrategie berücksichtigt werden.

Zur Überprüfung des Behandlungserfolgs vor allem von Herbizid- und Fungizidanwendungen sollten unbehandelte Kontrollparzellen angelegt werden. Sie verdeutlichen, ob die Maßnahme notwendig war und dienen als unterstützende Entscheidungshilfe für die nächste Saison. Außerdem sollte im Rahmen der WZB die Möglichkeit genutzt werden, die auf Praxisschlägen angelegten Pflanzenschutz-Terrassenversuche im Rahmen von Feldrundfahrten zu besichtigen.

Abtriftvermeidung und Teilflächenbehandlung

Durch abtriftmindernde Technik, wie die gezielte Düsenwahl, kann die Abtrift verringert werden. Die Verteilgenauigkeit von Luftinjektordüsen ist im Vergleich zu konventionellen Flachstrahldüsen deutlich besser. Je nach Kulturart und -wuchshöhe, Wasseraufwand (l/ha), Betriebsdruck der Spritze, Art des PSM (z. B. Herbizid oder Fungizid) kann die bevorzugt geeignete Düse variieren. Auch Injektordüsen eignen sich für einen Bekämpfungserfolg (Zielfläche/ Benetzung) mit möglichst sparsamen Mittelaufwand zur Umweltschonung bzw. Abtriftvermeidung (LWK NIEDERSACHSEN 2013c). Durch Teilflächen-, Rand- oder Einzelpflanzenbehandlung können oftmals großflächige Spritzmaßnahmen vermieden werden.

Mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen

Beim integrierten Pflanzenschutz werden ackerbauliche und pflanzenbauliche Maßnahmen mit mechanisch-physikalischen, biologischen, biotechnischen oder chemischen Maßnahmen kombiniert. Für den Einsatz der Mittel sollte immer gelten „so viel wie nötig, so wenig wie möglich“. Mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen sind meist effektiv, insbesondere bei größeren Flächen aber auch sehr aufwändig. Zu den mechanischen Maßnahmen gehören z. B. das Absammeln von Schädlingen sowie das Entfernen krankhafter Pflanzenteile. Zur Unkrautbekämpfung werden z. B. Hacke oder Striegel eingesetzt (s. Kap. 2.4.5).

Wirkstoff- und Resistenzmanagement

Bei einem vorbeugenden Resistenzmanagement sollten Strategien wie ein Wechsel von Wirkstoffen und -kombinationen oder auch die Reduzierung der Behandlungshäufigkeit beraten werden. Deshalb sollte z. B. der Einsatz von Glyphosat (Roundup) auf ein nachhaltig vertretbares Maß reduziert werden (BVL 2010, SMOLKA 2003), damit hoch wirksame, gut umweltverträgliche PSM möglichst lange angewendet werden können und dürfen (Zulassungsdauer und -verlängerung). Da auch PSM-Neuentwicklungen keine Grundwasserverträglichkeit garantieren, ist weiterhin eine Beratung zu einem sachgerechten und aus Grundwasserschutzsicht minimierendem Wirkstoffmanagement erforderlich.

Die Verwendung von Wirkstoffgruppen, die bereits im GW nachgewiesen werden und deren Verlagerbarkeit erwiesen ist, sollte aus Vorsorgegründen und aus trinkwasserhygienischen Belangen in TGG unterbleiben.

Werden PSM-Wirkstoffe oder Metabolite in den TGG im GW gefunden, sollte unter Berücksichtigung der Befundlage und der standörtlichen und landwirtschaftlichen

Gegebenheiten in der Trinkwasserschutzkooperation gemeinsam mit der WZB ein Konzept zur Eingrenzung, Vermeidung und/ oder der Ersatz durch andere Wirkstoffe entwickelt werden. Eine intensive einzelbetriebliche Beratung des Landwirts zur Auswahl eines geeigneten Ersatzmittels oder alternativer Verfahren ist sinnvoll.

Als Grundwasserschutzmaßnahme bei PSM-Befunden in TGG sollte gegebenenfalls ein freiwilliger Verzicht der Landwirte auf bestimmte PSM (z. B. der Verzicht auf Mecoprop im Getreide, Verzicht auf Metolachlor im Maisanbau) bzw. die Verwendung eines Alternativ-PSM oder durch mechanische Pflanzenschutzverfahren in Erwägung gezogen werden. Auch der Abschluss von FV ist möglich. In einigen Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen werden bereits Freiwillige Vereinbarungen angeboten, die zu einer Substitution der Wirkstoffe Metolachlor im Mais oder Mecoprop im Getreide oder auch Chloridazon in Rüben führen.

Bei andauernden PSM-Belastungen in WSG kann die UWB ein Anwendungsverbot von bestimmten Wirkstoffen prüfen.

Schaffung von Pufferzonen

Von großer Bedeutung zur Verhinderung bzw. Verminderung von PSM-Einträgen in das Oberflächen- und Grundwasser ist die Schaffung von Pufferzonen und Gewässerrandstreifen. Belastungen, die durch Abtrift oder infolge von Erosion entstehen können, werden verringert (DBU 2007). Gewässerrandstreifen werden bisher nur vereinzelt, aber erfolgreich, im Rahmen von Agrarumweltprogrammen, im Rahmen von agrarstrukturellen Programmen (z. B. Flurbereinigungen) oder in Verbindung mit Naturschutzmaßnahmen (s. Kap. 4.1) umgesetzt. In einigen TGG werden Gewässerrandstreifen als Freiwillige Vereinbarungen angelegt. Hierbei wird ein beispielsweise mindestens drei Meter (bis zu 30 m) breiter Streifen z. B. mit Gras oder mit der Kultur des übrigen Schlags bestellt. Als weitere Auflagen der Maßnahme können der Verzicht auf Düngung und/oder Pflanzenschutzbehandlung, eine Beerntung oder Mahd des Schutzstreifens festgelegt werden.

2.3.4 Beratung zur Bodenbearbeitung

Kurzcharakteristik

Unter dem Aspekt des Grundwasserschutzes zielt die Beratung zur Bodenbearbeitung in erster Linie auf eine Minderung der Mineralisation im Herbst ab. Auf humusreichen Böden und ehemaligem Grünland kann eine ganzjährige Minimierung der Mineralisation das Ziel sein, da die N-Freisetzungsraten häufig das Aufnahmevermögen der Ackerfrüchte übersteigen. Auf anderen Standorten trägt ein geeignetes Bearbeitungskonzept zur bedarfsangepassten Steuerung der Nährstoffverfügbarkeit bei.

Generell ist auch der Bodenschutz ein Anliegen der WZB. Dabei geht es primär um den Erhalt des natürlichen Ertragspotenzials der Böden, das auch für den Grundwasserschutz von Bedeutung ist. Ein weiterer Aspekt ist der Schutz der Oberflächengewässer vor Bodeneinträgen durch Erosion, die die Gewässerqualität auch wegen der damit verbundenen Phosphateinträge beeinträchtigen. Aus Sicht des Klimaschutzes hat auch der Erhalt der organischen Substanz in den Böden eine über das Schutzgut Boden hinausgehende Bedeutung.

Die aktive Beratung strebt eine Optimierung der Bodenbearbeitung an, die über die Einhaltung rechtlicher Vorgaben hinausgehen kann. Sie erfolgt standortspezifisch unter Berücksichtigung von Bodentyp, Bodenart und Bodenzustand sowie der betrieblichen Gegebenheiten. Die wesentlichen Beratungsinhalte sind:

- Optimierung der Bodenbearbeitung hinsichtlich des Bearbeitungszeitpunkts und der eingesetzten Gerätetechnik in enger Wechselwirkung mit der
- Gestaltung von Fruchtfolgen sowie
- Beratung zum möglichen Einsatz von Techniken der reduzierten Bodenbearbeitung.

Bei der Festlegung der Beratungsziele müssen neben den gewünschten Effekten auch die Nebenwirkungen der möglichen Bewirtschaftungsänderungen, z. B. auf den Einsatz von PSM und auf die Schutzfunktion des Bodens vor Stoffeinträgen, berücksichtigt werden.

Anwendungsbereich und Durchführung

Rechtliche Vorgaben

Bei der Durchführung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen sind unter anderem die folgenden Regelungen zu beachten:

- Das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BMU

1998) gilt flächendeckend bzw. für alle Flächenbewirtschafter. In § 17 wird die „nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource“ zur „Guten fachlichen Praxis“ (GfP) der landwirtschaftlichen Bodennutzung erklärt. Hierzu werden die folgenden Grundsätze genannt:

- standort- und witterungsangepasste Durchführung der Bodenbearbeitung
- Erhaltung der Bodenstruktur
- Vermeidung von Verdichtungen
- Vermeidung von Erosion
- Erhaltung von Strukturelementen der Feldflur, die zum Schutz des Bodens notwendig sind
- Erhalt bzw. Förderung der biologischen Aktivität durch die Fruchtfolgegestaltung
- Erhaltung des standorttypischen Humusgehalts durch Zufuhr organischer Substanz oder durch Verminderung der Bearbeitungsintensität
- Die zuständigen landwirtschaftlichen Beratungsstellen sollen bei ihrer Beratungsarbeit die Grundsätze der GfP vermitteln.
- Das Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz (BMELV 2010a) bindet die Gewährung von EU-Agrarbeihilfen an die Einhaltung sogenannter Cross Compliance-Auflagen. Dazu gehören die „Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in gutem landwirtschaftlichem und ökologischem Zustand“ und speziell Maßnahmen zum
 - Schutz des Bodens vor Erosion
 - Erhalt der organischen Substanz im Boden
 - Erhalt der Bodenstruktur
- Die Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (DirektZahlVerpflV) (BMVEL 2004) enthält eine Konkretisierung der Anforderungen insbesondere zum Erosionsschutz. Zum Erhalt der organischen Substanz sowie der Bodenstruktur enthält die DirektZahlVerpflV keine Vorgaben zur Bodenbearbeitung.

Spezielle Vorgaben auf Bundes- und Landesebene zum Erosionsschutz

Die Länder werden durch die DirektZahlVerpflV verpflichtet, in Anlehnung an DIN 19708:2005-02 (DIN 2005) bzw.

DIN 19706:2013-02 (DIN 2013) eine Klassifizierung der landwirtschaftlichen Flächen nach ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser (drei CC-Klassen) und durch Wind (zwei CC-Klassen) vorzunehmen. Gleichzeitig werden Bewirtschaftungsauflagen für die Erosionsgefährdungsklassen $CC_{Wasser1}$, $CC_{Wasser2}$ oder CC_{Wind} formuliert. Die Länder werden jedoch ermächtigt, diese Auflagen durch eine Landesverordnung abzuwandeln.

In der niedersächsischen Verordnung über erosionsgefährdete landwirtschaftliche Flächen (ML 2011b) wird das Verfahren zur CC-Klassifizierung der Feldblöcke für Niedersachsen konkretisiert und für die Erosionsschutzauflagen der Bundesverordnung werden Ausnahmen formuliert.

Die vorgenommene Einstufung der Erosionsgefährdung ist für Niedersachsen auf der Internetseite der Landesanstalt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) (www.lbeg.niedersachsen.de) einsehbar. Für die Flächen der Betriebe wird sie außerdem in den Grundlagendaten der Agraranträge angegeben.

Für die Wassererosionsgefährdung erfolgte die Einstufung in Anlehnung an DIN 19708:2005-02 (DIN 2005) feldblockbezogen nach den Faktoren Erodierbarkeit des Bodens (K), Hangneigung (S) und Erosivität des Niederschlags (S). Die Ergebnisse für Niedersachsen sind in Tabelle 25 dargestellt.

Für Flächen in den Erosionsgefährdungsklassen $CC_{Wasser1}$ oder $CC_{Wasser2}$, die nicht mit einer speziellen Fördermaßnahme zum Erosionsschutz belegt sind, legt die DirektZahlVerpflV die folgenden, durch Landesverordnung anpassbaren Auflagen fest:

$CC_{Wasser1}$: Pflugverbot vom 01.12. bis zum 15.02. sowie nach Ernte der Vorfrucht, wenn keine Aussaat bis zum 30.11. erfolgt – es sei denn, die Bewirtschaftung erfolgt quer zum Hang.

$CC_{Wasser2}$: Pflugverbot vom 01.12. bis zum 15.02.; vom 16.02. bis zum 30.11. ist das Pflügen nur bei einer unmittelbar folgenden Aussaat zulässig. Vor der Aussaat von Kulturen mit einem Reihenabstand von 45 cm und mehr (Reihenkultur) ist das Pflügen generell verboten.

Für genau definierte Bewirtschaftungsbedingungen enthält die niedersächsische Verordnung über erosionsgefährdete landwirtschaftliche Flächen (ML 2011b) Ausnahmen von den genannten Pflugverboten.

Die Einstufung der Winderosionsgefährdung wurde in Anlehnung an DIN 19706:2013-02 (DIN 2013) vorgenommen. In die Berechnung gehen Bodenart, Windgeschwindigkeiten und die Schutzwirkung von Hecken und ande-

Tab. 25: Niedersächsische CC-Klassifizierung der Feldblöcke nach Erosionsgefährdung durch Wasser – Kriterien und Ergebnisse (nach Daten LBEG 2010).

Stufe nach DIN 19708	Erosionsgefährdung durch Wasser	Potenzieller Bodenabtrag [t/ha/a]	Wassererosionsgefährdungsklasse	Anteil an LN
E _{nat0}	keine bis sehr gering	< 1	CC 0	94 %
E _{nat1}	sehr gering	1 - < 5		
E _{nat2}	gering	5 - < 10		
E _{nat3}	mittel	10 - < 15		
E _{nat4}	hoch	15 - < 30		
E _{nat5.1}	sehr hoch	30 - < 55	CC _{Wasser1}	3,6 %
E _{nat5.2}	sehr hoch	≥ 55	CC _{Wasser2}	2,4 %

Tab. 26: CC-Klassifizierung der Feldblöcke nach Erosionsgefährdung durch Wind (nach LBEG 2010).

Stufe nach DIN 19706	Erosionsgefährdung durch Wind	Winderosionsgefährdungsklasse	Anteil an LN
E _{nat0}	keine bis sehr gering	CC 0	90,5 %
E _{nat1}	sehr gering		
E _{nat2}	gering		
E _{nat3}	mittel		
E _{nat4}	hoch		
E _{nat5}	sehr hoch	CC _{Wind}	9,5 %

ren Hindernissen ein. Das Ergebnis für Niedersachsen ist in Tabelle 26 dargestellt.

Die Auflagen für Flächen in der Klasse CC_{Wind} zielen auf einen besonderen Schutz im Frühjahr hin, wenn die Böden bei oberflächlicher Austrocknung besonders windgefährdet sind. Die DirektZahlVerpflV enthält die folgenden Vorgaben:

CC_{Wind}: Pflugverbot bei Aussaat-Termin ab 01.03., wenn nicht unmittelbar nach dem Pflügen eine Aussaat erfolgt; bei Reihenkulturen ist das Pflügen ab dem 01.03. nur in Kombination mit Grünstreifen (max. 100 m Abstand, min. 2,5 m breit), Anbau-Dämmen quer zur Hauptwindrichtung sowie bei Pflanzkulturen zulässig.

Die niedersächsische Verordnung über erosionsgefährdete landwirtschaftliche Flächen (ML 2011b) enthält auch hierzu genau definierte Ausnahmen.

In der Summe hat das Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz mit den nachgeordneten Regelungen im Bereich des Erosionsschutzes für die landwirtschaftlichen Betriebe, die einen Agrarantrag stellen, eine Verschärfung der gesetzlichen Vorgaben gegenüber dem Bundesbodenschutzgesetz gebracht.

Die relativ hohen Schwellenwerte der Direktzahlungen-Verpflichtung für die Einstufung von Flächen als „erosionsgefährdet“ sowie die feldblockbezogene Mittelung und die Beschränkung der Auflagen auf gut prüfbare Maßnahmen machen eine Beratung zum freiwilligen, weiter gehenden Erosionsschutz sinnvoll.

Die für den Grundwasserschutz besonders wichtige Konservierung geogener N-Vorräte sowie die Vermeidung von Bodenverdichtungen werden durch das Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz nicht wesentlich verbessert.

Weiter gehende Beratungsinhalte:

Vermeidung von Nährstoffausträgen: Neben einer reduzierten Bodenbearbeitung (s. detaillierte Maßnahmenbeschreibungen in Kap. 2.4.2) kann bei der Bodenbearbeitung die Wahl des Zeitpunkts und der Tiefe der Bearbeitung helfen, die Höhe der N-Austräge zu vermindern. Folgende Maßnahmen bzw. Schwerpunktsetzungen in der Beratung sind empfehlenswert (s. Abb. 40):

- Zu Winterungen sollte die Bodenbearbeitung möglichst spät im Herbst, direkt vor der Aussaat der Winterung, erfolgen.

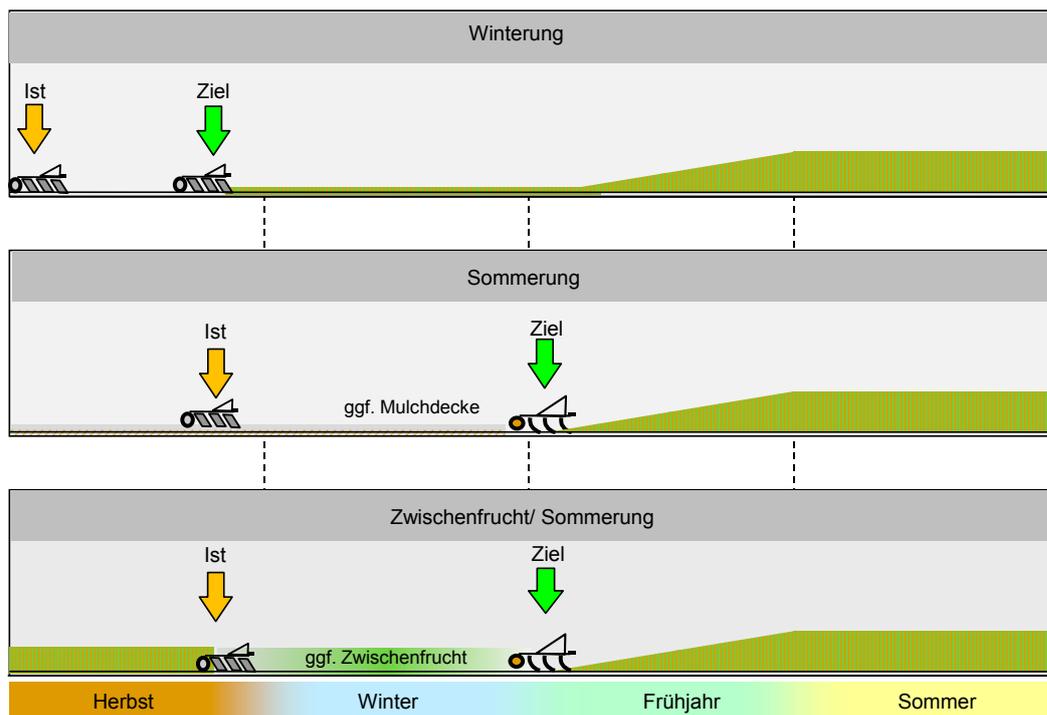


Abb. 40: Beispiele für eine Optimierung der Bearbeitungszeitpunkte (IGLU).

- Zu Sommerungen ist eine Verschiebung der Bodenbearbeitung ins Frühjahr sinnvoll. Ein Verzicht auf die Bodenbearbeitung nach der Ernte bringt eine sehr deutliche Minderung der auswaschungsgefährdeten N_{min} -Menge im Herbst (s. Abb. 41). Auch Zwischenfrüchte sollten im Frühjahr eingearbeitet werden.
- Die Bodenbearbeitung sollte möglichst flach erfolgen.
- Vor einer Stilllegung sollte eine intensive Bearbeitung vermieden werden.
- Die Einführung einer konservierenden Bodenbearbeitung, gegebenenfalls im Wechsel mit wendender Bearbeitung, ist aus Sicht des Grundwasserschutzes besonders auf Standorten mit hohem N -Nachlieferungspotenzial (humusreiche Böden, ehemalige Grünlandflächen) anzustreben. Wegen der hohen N -Freisetzung nach einem Grünlandumbruch wurde der Umbruch von Grünland durch die niedersächsische Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten (MU 2009) geregelt.

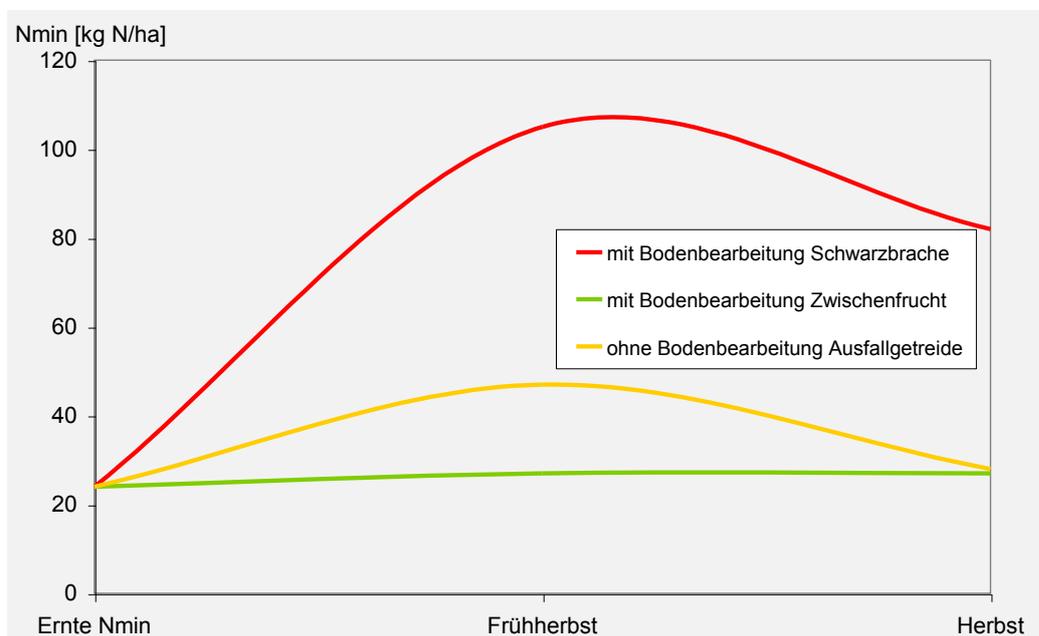


Abb. 41: Beispiel aus der Beratung: N_{min} -Verläufe nach der Ernte bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau (IGLU)

- Für die Grünlanderneuerung stehen umbruchlose Verfahren zur Verfügung, für die zum Teil FV abgeschlossen werden können.

Verminderung der Bodenerosion

Eine Folge der Bodenerosion ist die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit. Tendenziell ist damit eine Abnahme der Feldkapazität und somit eine Zunahme der Nitrataustragsgefährdung verbunden. Der erodierte Bodenabtrag sammelt sich (bei Wassererosion, s. Abb. 42) in Form von Kolluvien an Hangfüßen und in Auenbereichen an, wo es zu Nährstoffakkumulationen mit schwer steuerbaren Mineralisationsprozessen kommt. Der Eintrag des Bodenmaterials in die Oberflächengewässer trägt zu deren Eutrophierung bei (AUERBACHER et al. 2012).

Aus Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes muss Erosion am Entstehungsort vermieden werden. Bei der Bodenbearbeitung stehen hierzu folgende erosionsmindernde Maßnahmen zur Verfügung:

- Bearbeitung quer zum Hang
- Anlage von Stotterfahrgassen
- Schlitzdränung der Fahrspuren bei mäßiger Hangneigung
- Vermeidung von Verschlämmung durch grobkrümelige Saatbettbereitung nach Pflugfurche
- Aufbau einer hohen Infiltrationskapazität durch reduzierte Bodenbearbeitung und Mulchsaatverfahren
- bei winderosionsgefährdeten Flächen Bodenbearbeitung nur bei unmittelbar folgender Einsaat

Weitere Maßnahmen sind:

- Erosionsschutzstreifen (z. B. Gewässerrandstreifen mit Gräseranteil, Wintergerste gegen Winderosion)
- Zwischenfrüchte und Untersaaten
- Flurgestaltung (Flächenzuschnitt, Abflusswege, Windschutz)
- Anbauplanung
- Kalkung als Maßnahme zur Stabilisierung des Bodengefüges.

Bei der Anbauplanung ist für den Schutz vor Winderosion die Bodenüberdeckung im Frühjahr entscheidend (s. Tab. 27). Bodenerosion durch Wasser erfolgt durch Starkregenereignisse und wird durch wassergesättigten Boden begünstigt. Für die Schutzwirkung der Kulturen

ist die Vermeidung gerader Abflusswege in Verbindung mit dem Bodenbedeckungsgrad und der fruchttypischen Bodenbearbeitungsintensität entscheidend (MOSIMANN et al. 2009). Hier gilt die Regel Grünland > Feldfrüchte > Getreide und Raps > Hackfrüchte und Mais.

Tab. 27: Winderosionsschutzwirkung verschiedener Kulturen (THIERMANN 2001, zitiert nach NLÖ 2003, ergänzt).

Klasse	Kulturen (exemplarisch)
1 sehr gering	Mais, Hackfrüchte, Hülsenfrüchte, Gartenbau, Sorghumarten
2 gering	Sommergetreide, Ölfrüchte, Sonnenblumen
3 mittel	Winterweizen, Wintergetreidegemenge, Winterroggen (Saat nach 01.10.), Grünroggen, Maisengsaat (37,5 cm)
4 gut	Wintergerste, Winterroggen (Saat vor 01.10.), Grünbrache, Winterraps, Roggen-GPS
5 sehr gut	Dauerbegrünung, Futterpflanzen, Ackergras



Abb. 42: Erosionsschäden reduzieren die Bodenfruchtbarkeit - Wassererosion (IGLU).



Abb. 43: Erosionsschäden reduzieren die Bodenfruchtbarkeit – Winderosion (Thiermann).

Verminderung von Bodenschadverdichtungen

Bodenverdichtungen haben negative Auswirkungen auf die Bodenfunktionen und sind ein von Standort, Bodenfeuchte und -bearbeitung abhängiges Problem der Pflanzenproduktion. Die Bodenverdichtung führt zu Mindererträgen und begünstigt durch eingeschränktes Infiltrationsvermögen die Wassererosion. Durch das eingeschränkte Wurzelwachstum nimmt die pflanzliche Aufnahme von Nährstoffen ab und der Bestand wird trockenstressanfällig. In der Praxis wird versucht, durch höhere N-Düngegaben gegenzusteuern, die sich aber negativ auf die N-Bilanz auswirken.

Bodenverdichtung kann durch die Anpassung von Arbeitsverfahren und die Begrenzung der mechanischen Belastung vermieden werden. Die Anfälligkeit für Bodenverdichtungen wird durch eine optimale Kalkversorgung vermindert. Folgende Beratungsinhalte sind hierzu geeignet:

- Befahren nur bei entsprechendem Bodenzustand, Nicht-Auslastung hoher Bunkerkapazitäten bei hoher Bodenfeuchte, Absenken des Reifeninnendrucks,
- bodenschonende Gestaltung der Arbeitsverfahren, z. B. durch Kombination von Geräten und Arbeitsgängen zur Senkung der Überrollhäufigkeit,
- Anwendung konservierender Bodenbearbeitung mit reduzierter, nicht wendender Grundbodenbearbeitung nach Hackfrüchten, Raps, Körnerleguminosen und Zwischenfrüchten,
- standort- und bedarfsgerechter Maschinenbesatz, z. B. Einsatz von Breitreifen, Gitterrädern, Zwillingsrädern oder Gummiraupenlaufwerken zur Reduzierung des Kontaktflächendrucks,

- bodenschonende Kraftübertragung, z. B. durch Allradantrieb, Pflügen mit wechselnder Pflugtiefe und mit guter Furchenräumung; außerdem Verringerung von Radlast und Schlupf durch den Einsatz von Aufsattel- statt Aufbaugeräten; Wahl von angepassten Reifenstollen (Grünlandreifen),
- Kalkbedarfsermittlung, gegebenenfalls Kalkung.

Optimierung des Humushaushalts und des Bodenlebens

Maßnahmen zur reduzierten Bodenbearbeitung und die Vermeidung von Schadverdichtungen sind ebenso wie Maßnahmen zur Förderung der biologischen Aktivität und Maßnahmen der Fruchtfolgegestaltung für den Humuserhalt förderlich. Der Humusgehalt fördert die Nährstoffspeicherung und Umsetzung im Boden, erhöht die Wasserhaltefähigkeit und die biologische Aktivität und trägt zu einer günstigen Bodenstruktur bei. Auch durch die Rückführung organischer Dünger wird dem Boden wieder organische Substanz zugeführt. Zu hohe Humusgehalte führen jedoch zu einer erhöhten Freisetzung von Stickstoff aus der Mineralisation der organischen Substanz und erhöhen damit das Risiko von unerwünschten N-Austrägen in die Gewässer. Sie sind zu vermeiden (BEISECKER et al. 2010).

Schutzmaßnahmen zur Schonung und Förderung der Bodenorganismen beinhalten die Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität (Art, Häufigkeit und Zeitpunkt). Eine Schlüsselstellung nimmt die konservierende Bodenbearbeitung oder Direktsaat ein. Folgende Maßnahmen stehen zur Verfügung:

- Pflugarbeit in Zeiten geringer Bodenaktivität (Frühjahr, Herbst)
- Reduzierung der mechanischen Schädigung der Bodenlebewesen, z. B. durch schonende, nicht wendende Bodenbearbeitung
- Sicherstellung der Ernährung der Bodenorganismen, z. B. durch flaches Einarbeiten pflanzlicher Reststoffe oder Zwischenfruchtanbau mit nachfolgender Mulchsaat
- Schutz von Nützlingen (Laufkäfer, Regenwürmer etc.) durch Mulchmaterial auf dem Acker
- Kalkung bei Bedarf (in kleinen Gaben).

Erfolgsbewertung

Grundwasserschutzeffekte der Beratung zur Bodenbearbeitung sind in erster Linie:

- Verminderung des Herbst N_{\min} -Werts durch angepasste Wahl von Bodenbearbeitungszeitpunkten und –tiefen bzw. Bodenruhe
- Verminderung unproduktiver Nährstofffreisetzungen durch Steuerung des Mineralisationsverlaufs
- Verbesserung der Nährstoffeffizienz und damit Abbau von Nährstoffüberhängen durch verminderte Bodenverdichtung und verbesserte Nährstoffverfügbarkeit
- Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und der Auswaschungsschutzfunktion des Bodens durch Minimierung der Erosion

Wichtige Umwelteffekte der Beratung zu Bodenbearbeitung sind außerdem (neben dem Bodenschutz selbst):

- Schutz der Oberflächengewässer vor Eutrophierung (insbesondere durch Phosphat), Schwermetall-, PSM- und Schwebstoffeinträgen durch Erosion
- Klimaschutz durch Erhalt der organischen Substanz im Boden

Die Berücksichtigung des Bodenschutzes ist für die Glaubwürdigkeit und Akzeptanz der Wasserschutzzusatzberatung wichtig, da der Bodenschutz auch in der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU zunehmend Beachtung findet.

2.3.5 Beratung in der Forstwirtschaft

Kurzcharakteristik

Die Bewirtschaftung einer Waldgeneration erfolgt über Jahrzehnte, wenn nicht gar Jahrhunderte. Bewirtschaftungsmaßnahmen finden regelmäßig in mehrjährigen Abständen statt. Für eine gerichtete Steuerung ist daher eine langfristige Zieldefinition wichtig (z. B. Umbau von Nadelwald in Laubwald zur gezielten Erhöhung der Grundwasserneubildung), die in einem Schutzkonzept festgeschrieben werden sollte. Auf dieser Grundlage können über einen mittelfristigen bis langfristigen Zeithorizont mit den Waldbesitzern zielgerichtet Maßnahmen für den Grund- und Trinkwasserschutz vereinbart werden.

Anwendungsbereich und Durchführung

Die vorhandenen Daten für die forstliche Bewirtschaftung sollten bereits zu Maßnahmenbeginn zusammengetragen werden. Dazu zählen Forstinventuren und -einrichtungsdaten, Standortkartierungen, Bodenkarten sowie Grundwasserdaten.

Forstinventuren und Forsteinrichtungsdaten sind vergleichbar mit den Schlagdaten in der Landwirtschaft. Aus der Forstinventur gehen beispielsweise das Alter der Bestände, die Baumartenverhältnisse, der Durchforstungsgrad sowie weitere notwendige forstliche Eingriffe hervor. Die Forstinventuren werden üblicherweise alle zehn Jahre aktualisiert. Sofern diese Daten vorliegen, können Daten übernommen werden. In den Landesforsten- und im Kommunalwald werden sie regelmäßig erhoben. Ob Forstinventuren und -einrichtungsdaten im Privatwald durchgeführt bzw. erhoben wurden, ist zu prüfen. Eventuelle Nutzungsentgelte können gegebenenfalls als Schlagfassung über die WZB abgerechnet werden.

Forstliche Bodenkarten (Standortkarten) wurden in Niedersachsen von den Forstverwaltungen für einen großen Teil der Waldflächen erstellt. Die Waldflächen der Niedersächsischen Landesforsten (NLF), der Bundesforsten und der größeren Kommunalforsten sind nahezu vollständig standortkartiert, wenn auch mit zum Teil älteren Datenständen. Im Bereich des Privatwalds und der kleineren Kommunalwälder sind die vorhandenen Standortdaten zum Teil lückig. Dies gilt insbesondere für das westliche Tiefland und das Bergland. Deren Verfügbarkeit kann, je nach Waldeigentümer, über die NLF, die LWK Niedersachsen, die Bundesforsten (Bundesanstalt für Immobilienaufgaben) oder die betroffenen Kommunen abgefragt werden (ggf. beim LBEG).

Grundwasserdaten, Grundwasserflurabstände und Qualitätsdaten aus den vorhandenen Messstellen sind eine weitere wertvolle Erkenntnisquelle für die Beratung.

Belastungssituation prüfen

Wald ist für den Grundwasserschutz eine günstige Bewirtschaftungsform, die aus sich heraus kein generelles Gefahrenpotenzial enthält. Dennoch kann der günstige Einfluss des Walds auf die Gesamtsituation eines Trinkwassereinzugsgebiets (TGG) verbessert werden. Je nach örtlicher Gegebenheit und in besonderen Situationen können auch hier Problemfelder entstehen. Viele potentielle, wasserwirtschaftliche Be- und Entlastungsfaktoren sind im Entwurf des Arbeitsblatts DWA-A 906 aufgeführt (BRACHES et al. 2013).

Problemeinträge aus dem Wald in Oberflächengewässer und ins Grundwasser sollten definiert werden. In Oberflächengewässern und Talsperren kommt es durch Starkregenereignisse, natürliche Erosionsvorgänge und forstwirtschaftliche Nutzung immer wieder zu Erosionsvorgängen mit erheblicher Trübstoffbelastung (HARZWASSERWERKE 2012).

In das Grundwasser können folgende Stoffe über den Waldboden eingetragen werden:

- N-Eintrag durch Auskämmeffekte von Immissionslagen (Kammlagen und in Gebieten mit hoher Viehdichte (BALAZ et al. 2011))
- Säureeintrag durch Auskämmeffekte, der auf Böden mit geringer Pufferkapazität zu Schwermetall, Eisen- und Aluminiummobilisierung führt
- Sulfat über den atmosphärischen Eintrag oder aus Nitratbauprozessen im Boden.

Stellschrauben ermitteln

Grundlageninformationen zu Wald und Wasser bieten ZIMMERMANN (2008) und BEISECKER et al. (2012). In Verbindung mit den Erkenntnissen aus Langzeitversuchen in Eberswalde (pleistozänes Flachland) beispielsweise zu den Baumarten Kiefer-Buche-Douglasie (MÜLLER 1996, 2006, MÜLLER & ANDERS 1996) und im Solling (Bergland) zu den Baumarten Fichte und Buche (BENECKE 1984, HÖPER et al. 2012) sind die örtlichen Möglichkeiten auszuloten.

So können durch waldbauliche, technische und ingenieurbioologische Maßnahmen die vorgenannten Belastungssituationen entschärft werden oder der an sich günstige Einfluss des Walds auf die Gesamtsituation eines TGG kann noch weiter verbessert werden. Hierbei ist zwischen kurz- und langfristigen Maßnahmen zu unterscheiden.

Kurzfristig kann eine Umstellung in der regelmäßigen Bewirtschaftung erfolgen, so beispielsweise in der Durchforstungsart, und -stärke (zur Steuerung der Humusumsetzung und Verjüngung) oder durch eine Waldkalkung (zum Abpuffern der Säureinträge).

Eine langfristige Maßnahme ist die Änderung der Baumartenzusammensetzung hin zu hohen Laubbauanteilen. Dabei muss der passende Zeitpunkt zur Einleitung des Baumartenwechsels erreicht sein. Diese Maßnahme erhöht die Grundwasserneubildung (verringerte Interzeption und Wasserverbrauch) und verbessert die Grundwasserqualität (geringere Auskämmwirkung) (s. Kap. 2.6.2).

Ein wichtiger Baustein in der Beratung ist der Umgang mit Kahlflächen. Hierzu sollten Konzepte erstellt werden, da Kahlflächen heute hauptsächlich auf Grund von Schadereignissen wie Feuer, Sturm oder biotischer Schadorganismen entstehen. Um die mineralisationsstarke Freilage der Fläche zeitlich möglichst kurz zu halten, ist kurzfristiges Handeln erforderlich.

Kahlschläge sind gemäß § 12 des niedersächsischen Gesetzes über den Wald und die Landschaftsordnung bei der Waldbehörde anzuzeigen (Nds. LANDTAG 2002), sofern sie nicht aus Forstschutzgründen oder zur Bestandesverjüngung erforderlich sind. Seit den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts sind geplante Kahlschläge allerdings kaum noch relevant in der Forstwirtschaft, da man sich zunehmend der Vorausverjüngung unter Schirm (Verjüngung im Bestand) bedient.

Im Rahmen der WZB sollte die Erstaufforstung von Ackerflächen geprüft werden, um eine starke Verringerung der Nitratauswaschung zu erzielen (SPRINGOB et al. 2006).

Kooperationsarbeit

Je nach örtlicher Situation kann es ausreichend sein, nur die Bewirtschafter für den allgemeinen Wasserschutz zu sensibilisieren oder einzelne Maßnahmen zu vereinbaren (s. Kap. 2.6 ff). In TGG, in denen relevante Flächenanteile sowohl forstlich wie auch landwirtschaftlich bewirtschaftet werden, ist die Erstellung eines gemeinsamen Handlungskonzepts (Ziele, Maßnahmen, Kosten der Maßnahmen) und die Umsetzung in einer gemeinsamen Kooperation mit Land- und Forstwirtschaft anzustreben. In Abhängigkeit von der Größe der Kooperation kann es sinnvoll sein, rein land- bzw. forstwirtschaftliche Ausschüsse bzw. Teilkooperationen zu bilden, um agrar- und forstfachliche Fragen z. B. zur Ausgestaltung der FV zu beraten.

Forstliche Kooperationspartner der WVU sind per Definition die Waldbesitzer als Bewirtschafter (s. Abb. 44). Für den Bundes-, Landes- und Großprivatwald sind die Forstämter Ansprechpartner. Im Mittel- und Kleinprivatwald sind die Forstlichen Zusammenschlüsse (Forstbetriebsgemeinschaften) eine gute Möglichkeit, eine große Anzahl der Waldbesitzer zu erreichen.



Abb. 44: Kooperation im Wald (Zander, enercity)

Inhalte der Kooperationsarbeit sind beispielsweise der Austausch und das Angleichen des Kenntnisstands zu Wasserwirtschaft und Waldbau.

Beispiel Trinkwasserschutzkooperation Westharz - Forstwirtschaft

Aufgrund der natürlichen Prozesse – der morphologischen, bodenspezifischen und klimatischen Gegebenheiten – ergeben sich im Bereich des Harzes durch Starkregenereignisse bedingte Erosionsvorgänge und damit verbundene Trübstoffverfrachtungen. Diese können durch die forstliche Bewirtschaftung deutlich verstärkt werden. Die Folge dieser Trübstoffbelastungen in Talsperrern und Hochbehältern ist eine aufwendige Trinkwasseraufbereitung (HARZWASSERWERKE 2012).

Für die Erstellung des Schutzkonzepts hat die WZB im Auftrag des WVU umfangreiche Vorerhebungen im Bereich der Waldflächen vorgenommen. Bei Geländebegehungen mit den zuständigen Forstdienststellen wurden die jeweiligen Ursachen für eine Erosionsgefährdung diskutiert und Belastungsschwerpunkte identifiziert. Standortgegebenheiten wie Hangneigung, Bestockung, Bodenbelichtung, Bodenbewuchs und Substrateigenschaften sowie die Art der Waldbewirtschaftung sind ausschlaggebend für konkrete Erosionsvorgänge (GFP 2008)

Auf Basis der festgestellten Erosions- bzw. Trübungsursachen erfolgt von der WZB in enger fachlicher Abstimmung mit den Flächenbewirtschaftern eine Erarbeitung und Kalkulation von Maßnahmen, die geeignet erscheinen, den Ursachenfaktoren entgegenzuwirken (s. Abb. 45). Die so erarbeiteten Maßnahmenkataloge bilden die Grundlage für die Kooperationsarbeit und den Abschluss von FV mit den Waldbewirtschaftern.



Abb. 45: Beispiel für eine Holzernte-Sammelmaßnahme (Naeder, GFP)

Erfolgskontrolle

Die Erfolgskontrolle hinsichtlich des Einflusses von Beratung und Maßnahmen auf das Grundwasser ist im Wald besonders aufwendig. Auf Grund der unterschiedlichen Wirkung der Waldbestände in verschiedenen Altersphasen auf Qualität und Menge der Grundwasserneubildung sind Bewertungen einer Baumart nur über unechte Zeitreihen (parallele Untersuchungen in Beständen unterschiedlichen Alters) zu erzielen. Im Einzelbestand sind



Abb. 46: Untersuchungsbestand Fuhrberger Feld, Messtranssekt (Zander, enercity)

zudem viele Probepunkte nötig, da die Lage im Bestand (Krone / Kronenrand / Lücke / Stammfuß) und die Heterogenität im Oberboden deutliche Unterschiede sowohl bei Stoffgehalten als auch bei der Sickerwassermenge aufweisen. Dies bedeutet, dass 20 bis 50 Probepunkte je Fläche nötig sind (s. Abb. 46). Eine annähernde Bewertung kann über den Vergleich eines relevanten örtlichen Bestands mit einem der oben genannten Langzeitversuche erreicht werden.

2.3.6 Beratung zu ausgleichspflichtigen Maßnahmen

Kurzcharakteristik

Maßnahmen zum Vertragsgrundwasserschutz FV sind ein zentrales Element der WZB zur Minimierung diffuser Stoffausträge (z. B. Nitrat, PSM-Rückstände) auf der Fläche. Vertragspartner sind die Bodenbewirtschaftler und die Wasserversorgungsunternehmen (WVU). Die Verträge enthalten detaillierte Bewirtschaftungsbedingungen, wobei die resultierenden Mehraufwendungen und/oder Ertragsrisiken den Landwirten geldlich ausgeglichen werden. Darüber hinaus wird der Abschluss einzelner Maßnahmen aus den Agrar-Umwelt-Programmen der Länder (z. B. NiB-AUM) empfohlen, sofern sie Wasserschutzeffekte erzielen.

In Niedersachsen hat das für die Verwendung der Wasserentnahmegebühr zuständige MU einen landesweiten Maßnahmenkatalog mit übergeordneten Maßnahmenkategorien (z. B. Aktive Begrünung, Reduzierte Bodenbearbeitung) vorgegeben (MU 2007a). Der MU-Maßnahmenkatalog ist einschließlich der Berechnungswege zur Ermittlung der Maßnahmenkosten von der Europäischen Kommission notifiziert. Auf dieser Grundlage werden in den Trinkwasserschutzkooperationen jährlich gebietsspezifisch angepasste Maßnahmenkataloge entwickelt, abgestimmt und von der WZB bei den Landwirten beworben.

Über Demonstrationsversuche, Feldbegehungen, Boden- und Sickerwasseranalysen sowie den engen Austausch mit der Kooperation wird jährlich überprüft, ob die gewünschten Maßnahmenerfolge (z. B. Reduzierung der Herbst- N_{\min} -Werte) eintreten. Weniger wirksame Maßnahmen werden gestrichen oder zukünftig nicht mehr angeboten. Die fortlaufende Qualifizierung der Maßnahmen zur Erreichung einer hohen Wirkungssicherheit und einer möglichst hohen Emissionsminderung gehört zu den wichtigsten Aufgaben der WZB.

Zur weiteren Effizienzsteigerung bei der Verwendung des für Maßnahmen zur Verfügung stehenden Budgets wird auf Grundlage einer fachlich hergeleiteten, innergebietlich-räumlichen Prioritätensetzung (s. Kap. 2.1.3) jeder Maßnahme eine definierte Flächenkulisse zugewiesen. So können die besonders wirksamen, meist auch teureren FV auf hoch prioritären Teilgebieten gebündelt werden.

Neben einer guten und sicheren Wirkung jeder Einzelmaßnahme eines Maßnahmenkatalogs ist die Erreichung hoher Flächendeckungsgrade ein wesentliches Erfolgskriterium.

Da die Maßnahmen aus öffentlichen Mitteln finanziert werden, sind Verwaltungsabläufe erforderlich, die eine gute Dokumentation vom Vertragsabschluss bis zu den jährlichen, stichprobenartigen Vor-Ort-Kontrollen zur Überprüfung der Einhaltung der Bewirtschaftungsauflagen ermöglichen. Dazu gehört auch ein sachgerechter und ordnungsgemäßer Mittelnachweis für die FV bis zur Einzelschlagebene für den Zeitraum der Maßnahmendauer. Hierzu wurden geeignete Routinen entwickelt.

Anwendungsbereich und Durchführung Finanzmittel für Freiwillige Vereinbarungen (FV)

Die Finanzmittel für die Kooperationen werden in Niedersachsen über das sogenannte „Prioritätenprogramm Trinkwasserschutz“ vergeben, nachdem zuvor die Einteilung der TGG nach vier Handlungsbereichen erfolgt ist und zwar mit geringer (A-Gebiete), mittlere (B1 und B2-Gebiete) und hoher Priorität (C-Gebiete) (MU 2007b). Für jede Priorität gibt es einen festen Fördersatz pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche. Die daraus resultierenden Budgets werden nach Abschluss eines Finanzhilfevertrags für fünf Jahre verbindlich zugewiesen, so dass eine hohe Planungssicherheit besteht. Voraussetzung für den Abschluss des Finanzhilfevertrags ist ein vom Nds. MU vom WVU gefordertes fünfjähriges Schutzkonzept (s. Kap. 2.2), in dem die beabsichtigten Ziele und die zur Zielerreichung vorgesehenen Beratungs- und Flächenmaßnahmen verbindlich beschrieben sind. Im Schutzkonzept werden die vorhandenen Teilbudgets für die Beratung und die Flächenmaßnahmen festgelegt, deren Verausgabung dann gezielt geplant werden kann.

Entwicklung und fortlaufende Verbesserung von Grundwasserschutzmaßnahmen

Grundsätzlich gilt: Zunächst müssen geeignete (wirksame) Maßnahmen entwickelt, die Bewirtschaftungsbedingungen genau beschrieben und Maßnahmenkosten berechnet werden. In dem für Niedersachsen EU-notifizierten MU-Maßnahmenkatalog sind alle Mindestanfor-

derungen und Berechnungswege der Ausgleichsbeträge einschließlich der maximalen Höhe der Ausgleichsbeträge festgelegt. Die Daten für die jährlich neu zu berechnenden Ausgleichszahlungen werden jedes Jahres in einem „Blaubuch“ der Landwirtschaftskammer Niedersachsen auf Grundlage aktueller Richtwertdeckungsbeiträge veröffentlicht (LWK NIEDERSACHSEN 2014a).

Der MU-Maßnahmenkatalog wird in der Trinkwasserkooperation von der WZB jährlich inhaltlich weiter qualifiziert und kostenseitig überarbeitet. Dafür werden neue Erkenntnisse aus der Erfolgskontrolle herangezogen, so dass hierüber z. B. weniger wirksame Maßnahmen aus dem Katalog gestrichen oder entsprechend verbessert werden können. Bei den Bewirtschaftungsbedingungen wird stets geprüft, ob es weitere Optimierungsmöglichkeiten zur Erhöhung oder Absicherung der Wirkungseffekte gibt. Zur Bewertung der einzelnen Maßnahmen ist es sinnvoll, jeder Maßnahme ein oder mehrere wasserwirtschaftlich messbare (monitoringfähige) Maßnahmeneffekte zu zuweisen, z. B. Bilanzminderung, Herbst- N_{\min} -Minderung, N-Frachtminderung oder Sickerwassergüte-Verbesserung (OSTERBURG et al. 2007). Die Maßnahmeneffekte können dann zur Höhe der Ausgleichszahlungen in Bezug gesetzt werden, um eine Kosten-Nutzen-Rangfolge zwischen den Maßnahmen vorzunehmen (s. Kap. 2.7, Tab. 55).

Eine möglichst effiziente Umsetzung der Maßnahmen ist auch wegen begrenzter Finanzmittel wichtig. Sie kann durch eine Zuordnung der Maßnahmen gemäß einer innergebietlichen Prioritätensetzung weiter optimiert werden. In der Regel werden bewährte Standardmaßnahmen mit mittleren Maßnahmeneffekten und Kosten-Nutzen-Verhältnissen flächendeckend, besonders wirksame, aber teure Maßnahmen dagegen auf hoch prioritären Flächen fokussiert. Es ist auch möglich, eine Maßnahme in der Erprobungsphase zunächst nur für einen begrenzten Flächenumfang anzubieten.

Abstimmung und Vermittlung von Grundwasserschutzmaßnahmen

Der von der Beratung entworfene Maßnahmenkatalog wird rechtzeitig vor Maßnahmenbeginn mit den Kooperationslandwirten (z. B. in Arbeitskreisen) und den WVU abgestimmt und erst danach allen Bewirtschaftern bekanntgegeben.

Grundsätzlich werden alle Bewirtschafter einer Kooperation über Rundschreiben über den aktuellen MU-Maßnahmenkatalog und die Abgabefristen der Verträge bzw. Anträge informiert. Die Intensität der Bewerbung der Maßnahmen und die Unterstützung der Bewirtschafter durch die WZB beim Vertragsabschluss sind

in den Kooperationen je nach Finanzmittelausstattung unterschiedlich. Die WZB muss darauf achten, dass die Vertragsflächen die in den FV festgelegten Voraussetzungen erfüllen, wie z. B. hohe Grundwasserschutzpriorität. Die für den Grundwasserschutz eines TGG besonders maßgeblichen Bewirtschafter werden meist intensiver betreut, z. B. flächenstarke Betriebe mit hohem Einsatz organischer Dünger oder einem hohen Anteil brunnen-naher bzw. hoch prioritärer Flächen.

Abschluss von Grundwasserschutzmaßnahmen

Seit 2011 müssen in Niedersachsen zwischen den WVU und den Bewirtschaftern fünfjährige Verträge (FV) abgeschlossen und jährliche Auszahlungsanträge von den Bewirtschaftern beim WVU gestellt werden. Die Fünf-Jahres-Verträge müssen jeweils für eine Maßnahmenkategorie (lt. MU-Maßnahmenkatalog des MU), für die nachfolgend Auszahlungsanträge gestellt werden sollen, vorliegen. Die Maßnahmenkategorien umfassen meist mehrere Einzelmaßnahmen. Im jährlichen Auszahlungsantrag sind die jeweiligen Bewirtschaftungsauflagen im Detail beschrieben. Auch bei den mehrjährigen Maßnahmen (z. B. mehrjähriges Feldgras) ist jährlich ein Auszahlungsantrag zu stellen.

Wichtig ist, dass die Fünf-Jahres-Verträge und die Auszahlungsanträge für mehrjährige Maßnahmen vor Maßnahmenbeginn abgeschlossen werden. Dagegen können die Auszahlungsanträge für die einjährigen (rotierenden) Maßnahmen auch nach Maßnahmenbeginn gestellt werden. Die Verwaltung der Maßnahmen erfolgt erfahrungsgemäß meistens über Programme der WZB. Das vom Land Niedersachsen bereitgestellte EDV-Programm „Digitales Informationssystem Wasserschutz (DIWA)“ kann ebenfalls genutzt werden. Im sogenannten „DIWA-FV-Shuttle“ werden die landesweit anfallenden Daten für die FV mit den aktuellen Daten der Anträge zur Agrarförderung zusammengeführt. Dieser Datenpool stellt eine wichtige Voraussetzung für das weitere Berichtswesen auch gegenüber der EU sowie für die vorgeschriebene Überprüfung auf Doppelförderung dar.

Zusätzlich ist unter bestimmten Bedingungen auch der Abschluss von Maßnahmen des Niedersächsischen und Bremer Agrarumweltprogramms möglich. Manche dieser Maßnahmen sind mit FV kombinierbar, andere schließen sich aus Gründen der Doppelförderung aus. Ein großer Vorteil der MU-Maßnahmenkataloge für FV ist die Möglichkeit der Modifizierung je nach gebietsspezifischen Erfordernissen, was für die landesweiten Agrar-Umwelt-Programme trotz der Möglichkeit der Zielkulissenbildung nicht möglich ist.

Fachliche Betreuung der Grundwasserschutzmaßnahmen

Insbesondere neue Grundwasserschutzmaßnahmen sollten von der WZB intensiv fachlich betreut werden (s. Abb. 47). Dies erfordert eine enge Beratung der Bewirtschafter bei der Maßnahmenausführung, z. B. die Unterstützung in pflanzenbaulichen Fragen, wie Sortenwahl und Bearbeitungstechnik. Die Wirkungshöhe (z. B. erreichbare Senkung des Herbst- N_{\min} -Werts) sollte über Demonstrationsversuche und geeignete Untersuchungsprogramme überprüft werden. Die Kontrolle, ob die Maßnahmen vor Ort ordnungsgemäß umgesetzt werden, unterliegt dem WVU.



Abb. 47: Beratungsgespräche zu Freiwilligen Vereinbarungen vor Ort (INGUS)

Übersicht

Verfahrensablauf der jährlichen Maßnahmenentwicklung und -umsetzung in einem TGG

1. Entwurf des jährlichen Maßnahmenkatalogs und der berechneten Maßnahmenkosten durch die WZB
2. Abstimmung und Beschluss des gebietsspezifischen Maßnahmenkatalogs in einem Landwirte-/WVU-Arbeitskreis
3. Bekanntgabe des MU-Maßnahmenkatalogs der Trinkwasserschutzkooperation über ein Rundschreiben an alle Landwirte
4. Versand betriebsindividueller Flächenverzeichnisse zur Abfrage der beabsichtigten Maßnahmenabschlüsse durch die WZB
5. Vorbereitung der Einzelverträge für jede Maßnahme durch die WZB und Abschluss „vor Maßnahmenbeginn“ über Briefverkehr oder Betriebsbesuche
6. Verwaltungskontrolle zur Überprüfung der Richtigkeit aller Vertragsangaben durch das WVU
7. Vor-Ort-Kontrolle zur Überprüfung der vertraglich vereinbarten Leistungen durch den NLWKN (Technischer Prüfdienst)
8. Erstellung von Auszahlungslisten und Auszahlung durch das WVU

Erfolgsbewertung

Die Erfolge der Beratung zum Abschluss von FV lassen sich z. B. an folgenden Parametern festmachen:

- Jährlich erreichter Flächendeckungsgrad jeder Maßnahme (FV) im Verhältnis zur potentiell für jede Maßnahme verfügbaren Fläche
- Summenwirkung aller vermittelten Maßnahmen für geeignete Erfolgsparameter, z. B. in der Summe erreichte Minderung der N-Auswaschung durch Addition aller durch die Einzelmaßnahmen erreichten Herbst- N_{\min} -Reduzierungen.

Insgesamt erfolgt die Bewertung der erreichten Maßnahmenfolge gemäß den Zielsetzungen des fünfjährigen Schutzkonzepts (s. Kap. 2.2) in Form von „Vorher-Nachher-Vergleichen“ (s. Kap. 2.7).

2.3.7 Demonstrationsversuche

Kurzcharakteristik

Demonstrationsversuche sind in TGG ein wichtiges Instrument der WZB. Sie werden zu regionalen Fragestellungen durchgeführt, um

- die Landwirte vor Ort für den Grundwasserschutz zu sensibilisieren
- eine grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftung unter den gebietsspezifischen Rahmenbedingungen zu etablieren
- die Akzeptanz von Grundwasserschutzmaßnahmen, insbesondere der FV, zu erhöhen und deren ökonomische Auswirkungen zu prüfen.

Die Versuche sind fester Bestandteil der WZB bei jährlichen Feldbegehungen und Feldrundfahrten in den TGG (s. Abb. 48). Gemeinsam mit den Landwirten und gegebenenfalls weiteren Beteiligten der Trinkwasserschutzkooperation wird die grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftung anhand der Versuche diskutiert und weiterentwickelt. Am Feldrand können zusätzliche Informationstafeln das Versuchsziel verdeutlichen und die interessierte Öffentlichkeit informieren.



Abb. 48: Demonstrationsversuch zum Nacherntemanagement nach Raps (Kopf, LWK Niedersachsen).

Anwendungsbereich und Durchführung

Demonstrationsversuche können grundsätzlich zu allen flächenbezogenen Grundwasserschutzmaßnahmen angelegt werden, z. B.

- Düngeberatung
- Bodenbearbeitung
- FV wie Zwischenfruchtanbau oder Untersaaten
- PSM-Anwendung.

In Abhängigkeit von der Versuchsfragestellung und den regionalen Bedingungen werden verschiedene Versuchstypen unterschieden.

Düngefenster

Begleitend zur betriebsüblichen Bewirtschaftung des Schlags wird eine kleine Teilfläche von der Düngung ausgespart, um einen Wirkungsvergleich, z. B. mit/ohne Maßnahme direkt vor Ort visuell beurteilen zu können. Düngefenster werden beim Düngungs- und Pflanzenschutzmitteleinsatz verwendet und dienen zur Optimierung der jährlichen Bestandesführung.

Parzellenversuch

Für Parzellenversuche wird ein Bearbeitungstreifen in Teilstücke (Parzellen) geteilt. Parzellenversuche werden vor allem bei Sortenversuchen, zu Pflanzenschutzmaßnahmen aber auch zur Demonstration von Düngungsmaßnahmen meist einjährig angelegt. Um die Heterogenität des Pflanzenbestands innerhalb einer Parzelle zu erfassen, ist die Unterteilung der Parzellen in Teilparzellen möglich, die getrennt beerntet werden. Die Ertragsermittlung erfolgt durch Auslitern oder Wiegen des Ernteguts auf dem Feld.

Terrassenversuch

Ein Terrassenversuch wird vorwiegend zu Fragen des Pflanzenschutzes (eventuell in Kombination mit Düngung) angelegt. Dabei wird die Anzahl der PSM-Applikationen innerhalb eines Fahrstreifens variiert, indem die Spritze bei jeder Anwendung in unterschiedlichen Teilbereichen an- oder abgeschaltet wird.

Streifenversuch

Der Streifenversuch wird in verschiedenen Varianten, die in Bearbeitungsrichtung als Streifen über den Schlag verteilt sind, nebeneinander angelegt. Streifenversuche werden häufig in eine bewirtschaftete Fläche integriert und eignen sich besonders bei Fragestellungen zur Bodenbearbeitung, zur Düngung und zum Pflanzenschutz in Ackerkulturen. Im Vergleich zur betriebsüblich angebauten Kultur oder Sorte wird eine alternativ bewirtschaftete Versuchsvariante angelegt. Streifenversuche können als einfacher Versuch, Demonstrationsversuch oder als Versuch mit wissenschaftlichem Anspruch (Exaktversuch) angelegt werden (RICHTER 2011).

Versuchsdurchführung

1. **Lage und Beschaffenheit der Versuchsfläche**
Die Auswahl der Versuchsfläche hat eine große Bedeutung für die spätere Repräsentativität des

Versuchsergebnisses. Der Versuchsstandort sollte regional typisch und repräsentativ ausgewählt werden. Folgende Faktoren sind zu berücksichtigen (WAGNER & PREDIGER 1989):

- Die natürliche N-Dynamik des Standorts sollte beachtet werden. Hiermit ist die N-Nachlieferung aus dem Boden (Quellenstandort) oder die N-Bindung (Senkenstandort) gemeint. N_{\min} -Untersuchungen auf den Variantenflächen vor Versuchsbeginn sind sinnvoll, um die Variabilität des Schlags zu erfassen.
- Es sollte eine gleichmäßige (homogene) Fläche mit etwa gleichen Bodeneigenschaften gewählt werden. Kenntnisse zum Bodenzustand (Nährstoffgehalte, Humus- und C/N-Gehalt, pH-Wert) sollten einbezogen werden.
- Informationen über die Standortbedingungen der Fläche (Bewirtschaftungshistorie) sollten genutzt werden. Außerdem ist die Zuverlässigkeit des Landwirts hinsichtlich der exakten Einhaltung der Versuchsvorgaben von großer Bedeutung.

2. Laufzeit des Versuchs

Je nach Fragestellung werden einjährige Versuche (Düngefenster, Demonstrationsversuche), Versuche über eine Fruchtfolge oder auch Langzeitversuche (z. B. zur Ermittlung von Ertragseinbußen aufgrund Freiwilliger Vereinbarungen zur N-Reduzierung) angelegt. In einigen TGG werden von der WZB seit mehr als 20 Jahren Langzeit-Stickstoff-Reduzierungsversuche durchgeführt. Langjährige Versuche sind von Vorteil, da jahreszeitliche Effekte oder extreme Witterungserscheinungen das Ergebnis kaum beeinflussen.

3. Versuchsanlage

Bei Streifenversuchen orientiert sich die Streifenbreite in der Regel an der Arbeitsbreite des Düngegeräts. Die Fläche des Streifens sollte nicht zu klein sein, um die Auswirkung von Randeffekten (z. B. Pflugfurchen, Überlappungen und Beschattung durch Bäume) zu minimieren. Die Düngeebenen werden in Abhängigkeit von den Standorteigenschaften, der Ertragerwartung und den gebietsspezifischen Gegebenheiten festgelegt. Wird ein Versuch zur N-Reduzierung z. B. als Langzeitversuch geplant, wird z. B. das folgende Aufbaumuster genutzt.

Streifen 1	Betriebsübliche Düngung
Streifen 2	Bilanzorientierte Düngung
Streifen 3	Freiwillige Vereinbarung
Streifen 4	Null-Stickstoffdüngung

Wiederholungen werden je nach standörtlicher Gegebenheit in den Versuchsaufbau integriert. Kommt es bei den Wiederholungen aufgrund von Standortunterschieden zu unterschiedlichen Ergebnissen, kann gegebenenfalls ein lageabhängiger Korrekturfaktor für die anderen Versuchsvarianten berechnet werden.

4. Begleitende Beobachtungen

Bei einjährigen Demonstrationsversuchen wird insbesondere die Frühjahrs- N_{\min} -Untersuchung der Gesamtfläche für die Düngeplanung bestimmt. Bei mehrjährigen Versuchen werden oft vegetationsbegleitend weitere Untersuchungen durchgeführt, z. B. Spätfrühjahrs- N_{\min} - oder Nitrachek-Untersuchungen. Während des Pflanzenwachstums können Unterschiede in den Varianten bonitiert und gegebenenfalls fotografisch dokumentiert werden.

5. Beerntung und Analysen

Die Beerntung der Demonstrationsversuche erfolgt mit der Technik des Bewirtschafters oder einem Parzellenmähdrescher.

Quantitative und qualitative Parameter werden auf dem Feld aufgenommen oder im Labor untersucht. Bei mehrjährigen Versuchen zur N-Reduzierung wird eine Ernte- N_{\min} - und/oder Herbst- N_{\min} -Beprobung durchgeführt. Nach der Ernte sind neben der Ertragsermittlung (Frisch- und Trockenmasse) Pflanzenanalysen und Untersuchungen des Ernteguts zur Bestimmung der Qualitätseigenschaften sinnvoll. Ergänzend können für mehrjährige Bewertungen Untersuchungen zur Erfolgskontrolle (s. Kap. 2.7), z. B. Nitrat-Tiefenprofile, durchgeführt werden.

6. Auswertung

Neben den einjährigen Demonstrationsversuchen werden im Rahmen der WZB mehrjährige Versuche zu bestimmten regionalen Fragestellungen, z. B. der Stickstoffreduzierung in der Fruchtfolge auf Zielflächen durchgeführt. Die Auswertung von Versuchen zur Stickstoffdüngung umfasst in der Regel folgende Parameter:

- Herbst- N_{\min} -Wert
- Ertrag/Ertragsqualität

- Deckungsbeitrag
- gegebenenfalls Sickerwasserqualität
- N-Bilanz

Mehrfährige Versuche werden auch zur Ermittlung von standörtlichen Ertragseinbußen durch die grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftung in einzelnen TGG genutzt. So werden z. B. im WSG Hameln-Süd seit mehr als 20 Jahren Langzeit-Stickstoff-Reduzie-

rungsversuche durchgeführt. Die Versuche werden auch zur Ermittlung der jährlichen Ertragsschwankungen durch grundwasserschutzorientierte Maßnahmen auf den Zielflächen des TGG genutzt. Damit sind sie eine wichtige Grundlage für die Beschlüsse der jeweiligen Trinkwasserschutzkooperation zum MU-Maßnahmenkatalog der Freiwilligen Vereinbarungen. In der Abbildung 49 sowie der Tabelle 28 werden Auswertungsergebnisse der mehrjährigen Versuche im WSG Hameln-Süd dargestellt.

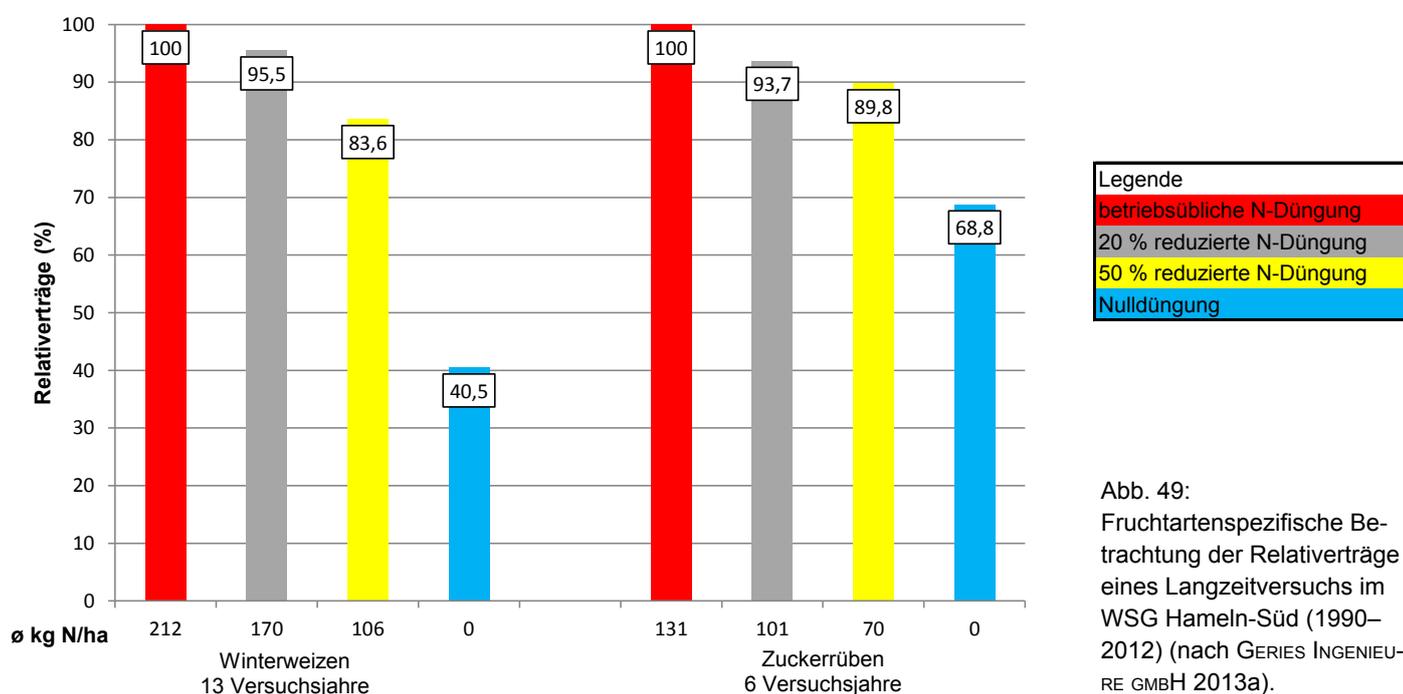


Abb. 49: Fruchtartenspezifische Betrachtung der Relativerträge eines Langzeitversuchs im WSG Hameln-Süd (1990–2012) (nach GERIES INGENIEUR-RE GMBH 2013a).

Für die Beurteilung des Maßnahmen Erfolgs wird das Versuchsergebnis den ökonomischen Kriterien gegenübergestellt, was die Akzeptanz für Grundwasserschutzmaßnahmen erheblich verbessert. Die Versuche ermöglichen

- eine Überprüfung der praxisüblichen N-Düngung und eine Abschätzung der möglichen N-Reduzierung
- die Bemessung der Höhe der Ausgleichszahlungen bzw. des standörtlichen Korrekturbedarfs in den Berechnungen (Deckungsbeitragsdifferenzen) für FV
- Hinweise für zukünftige Versuchsplanungen
- die Darstellung der Kosten pro kg N-Saldo-Minderung, Herbst-N_{min}-Minderung oder Minderung der Nitratkonzentration im Sickerwasser.

Mit den im Rahmen der WZB in den TGG angelegten Demonstrationsversuchen können Effekte der Grundwasserschutzmaßnahmen nur dann zuverlässig bewertet werden, wenn die Versuche langjährig durchgeführt werden. Ein Abgleich mit Ergebnissen vergleichbarer Versuche bzw. den Angaben aus dem Blaubuch der LWK Niedersachsen (LWK NIEDERSACHSEN 2014a) ist sinnvoll. Grundlage der im Blaubuch dargestellten Ergebnisse sind die statistisch abgesicherten Exaktversuche der LWK Niedersachsen zu Fragestellungen der grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft.

Tab. 28: Beispiel für die Ermittlung des Ausgleichsbetrags der Freiwilligen Vereinbarung „Stickstoffreduzierung in der Fruchtfolge“ (GERIES INGENIEURE GmbH 2011).

Vorbemerkung:

Durch eine reduzierte Stickstoffdüngung wird es neben dem Ertragsrückgang auch zu Veränderungen in der Qualität kommen, die z. B. über geringere Eiweißgehalte bei Getreide mit proteinabhängiger Bezahlung zu verringerten Auszahlungspreisen führen kann. Bei Zuckerrüben könnte das verringerte Stickstoffangebot zu sinkenden Masseerträgen mit steigenden Gehalten an ausbeutbarem Zucker, also steigendem Auszahlungspreis führen. Darüber hinaus kann es durch die resultierenden Ertragsreduktionen auch zu Reduzierungen bei sonstigen Aufwandspositionen (z. B. Grunddüngung, Pflanzenschutz, Maschinenkosten) kommen, die in der Berechnung mit zu erfassen sind.

Kostenermittlung für eine um ca. 30 Prozent reduzierte Stickstoffdüngung in der Fruchtfolge (Hameln):

Kultur	Stickstoffreduzierung um		Ertrag		Kultur			eingesparte		Saldo (Ausgleichsbetrag) EUR/ha	Anteil (WSG) %	Anteil-Ausgleichsbetrag EUR/ha
	... kg/ha	%	normal dt/ha	reduziert dt/ha	normal EUR/dt	reduziert EUR/dt	EUR/ha	kosten * EUR/ha	kosten ** EUR/ha			
Winterweizen	50	-25,0%	85	71	19,55	19,05	301,58	41,50	14,06	246,02	45%	110,71
Sommerweizen	50	-25,0%	65	55	19,55	19,05	230,62	41,50	10,75	178,37		
Wintergerste	40	-30,0%	85	75	17,87	17,62	200,97	33,20	10,55	157,23	17%	26,73
Sommergerste	40	-30,0%	55	48	17,87	17,62	130,04	33,20	6,82	90,02		
Winterroggen	40	-25,0%	80	70	16,08	15,58	189,57	33,20	9,93	146,44	14%	20,50
Triticale	30	-15,8%	85	75	17,89	17,39	219,88	24,90	10,55	184,43		
Winterraps	40	-22,0%	40	30	36,06	36,06	360,60	33,20	20,92	306,48	12%	36,78
Mais	40	-17,0%	450	383	2,80	2,80	189,00	33,20	31,31	124,49	6%	7,47
Zuckerrüben	40	-30,0%	600	540	3,70	3,70	222,00	33,20	14,79	174,01	6%	10,44

100%

Ø Erlösverlust : 212,63 €/ha
 anteilige Kosten der aktiven Begrünung "Zwischenfrucht": 102 €/ha 12,25 €/ha
 anteilige Kosten der aktiven Begrünung "Ausfallraps" : 56 €/ha 6,71 €/ha

Eignung und Fazit

Demonstrationsversuche eignen sich:

- zur Verbesserung der Maßnahmenakzeptanz bei den Landwirten
- zur Ableitung von Empfehlungen der Wasser-schutzzusatzberatung für eine gebietsspezifische grundwasserschonende Bewirtschaftungsweise
- zur Weiterentwicklung von Grundwasserschutzmaßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen)
- zur gebietsspezifischen Ermittlung der Maßnahmenwirkung (Erfolgskontrolle).



2.4 Landwirtschaftliche und erwerbsgärtnerische Flächenmaßnahmen

In diesem Themenblock werden grundwasserschonende Flächenmaßnahmen vorgestellt, die in den Trinkwassergewinnungsgebieten des Niedersächsischen Kooperationsmodells zum Einsatz kommen können. In der Regel erfolgt die Umsetzung im Rahmen von sogenannten Freiwilligen Vereinbarungen, die vertragsrechtlich zwischen dem Flächennutzer und dem WVU abgeschlossen werden und die Zahlung eines finanziellen Ausgleichs für Mehraufwendungen bzw. Minderleistungen beinhalten. Die Maßnahmenumsetzung wird durch die Wasserschutzzusatzberatung begleitet (s. Kap. 2 und 2.3.6). Folgende Maßnahmenblöcke werden nachfolgend behandelt:

- Begrünungsmaßnahmen
- Reduzierte Bodenbearbeitung
- Maßnahmen zur N-Düngung
- Maßnahmen zur Wirtschaftsdüngung
- Maßnahmen zur Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen
- Maßnahmen zur gewässerschonenden Fruchtfolgegestaltung
- Ökologischer Landbau
- Grünlandmaßnahmen
- weitere: Unterfußdüngung, Maisengsaat, schlagspezifische Aufzeichnung, Präzisionslandwirtschaft und Kurzumtriebsplantagen.

Die Umsetzung grundwasserschonender Maßnahmen im Rahmen von FV nimmt im Niedersächsischen Kooperationsmodell einen hohen Stellenwert ein. Dies wird auch anhand der Aufteilung der Gesamtausgaben für

die Umsetzung des Kooperationsmodells deutlich. Diese umfasst zu rund 70 % Ausgaben für FV und zu 30 % Ausgaben für die WZB (NLWKN 2011c).

Die größte Flächenausdehnung erzielen die Freiwilligen Maßnahmen „Wirtschaftsdünger Aufbringzeiten“, (45.452 ha) gefolgt von „Begrünung mit Zwischenfrüchten, Untersaaten oder ähnliches“ (40.218 ha) und „Wirtschaftsdüngerverteiltechnik“ (20.373 ha).

Den größten Anteil an den Gesamtausgaben für FV nimmt die Maßnahme „Begrünung mit Zwischenfrüchten“ gefolgt von „Optimierter Fruchtfolgegestaltung“ und „Reduzierter N- Düngung“ ein. Alle drei Maßnahmen zusammen haben einen Anteil von 60 % an den Ausgaben (Stand 2011, NLWKN 2011b).

Maßnahmen mit besonders hohem N-Minderungspotenzial, wie z. B. „Brachebegrünung“, „Umwandlung von Acker in Grünland“ oder der „Ökolandbau“ gehen dagegen mit großen betrieblichen Umstellungen bzw. Einschränkungen einher, sind kostenintensiv und zum Teil an Gebietskulissen gebunden. Sie sind daher in der Fläche weniger verbreitet.

Entscheidend ist die Bereitstellung einer Auswahl von Maßnahmen für die Praxis, die den regionalen und betrieblichen Bedürfnissen gerecht werden und individuell kombinierbar ein Maximum an Trinkwasserschutzeffekten ermöglichen. Eine Weiterentwicklung der Maßnahmen und regelmäßige Anpassung an die Rahmenbedingungen gehen damit einher.

2.4.1 Begrünungsmaßnahmen

Gegenüber Wald und Grünland tragen Ackerflächen wegen ihrer im Jahresdurchschnitt geringeren Verdunstung überproportional zur Sickerwasser- bzw. Grundwasserneubildung bei. In der Hauptvegetationszeit von Mitte März bis Mitte Oktober liegt in den Böden im Regelfall eine aufsteigende Wasserbewegung vor (Verdunstung > Niederschlag), sodass kaum Stoffverluste durch Auswaschung entstehen. Je nach Kulturart kehrt sich die Situation des Bodenwasserhaushalts ab Herbst um (Niederschlag > Verdunstung), da nach erreichter Aufsättigung der Böden die Sicker-/Grundwasserneubildung einsetzt (z. B. nach Getreide früher, nach Mais und Zuckerrüben später) und je nach Folgefrucht zum Teil bis ins Spätfrühjahr des Folgejahrs anhält.

Abbildung 50 zeigt am Beispiel von Mais, dass ausgehend von der Jugendentwicklung die Massebildung bis zur „Pflanzenernte“ nur etwa fünf Monate dauert. Wenn im Folgejahr wieder Mais angebaut wird, beträgt die Dauer der „Wasserernte“ (Grundwasserneubildung) über Winter sieben Monate. Sofern in dieser Zeit keine stark wüchsige Winterbegrünung vorhanden ist, wird der im Herbst vorhandene Nitrat-N (Herbst- N_{\min} -Wert) auf Sandböden zu 100 % bzw. auf bindigeren Böden zu 30 bis 70 % mit dem abwärts gerichteten Sickerwasser ins Grundwasser ausgewaschen. von der Jugendentwicklung die Massebildung bis zur „Pflanzenernte“ nur etwa fünf Monate dauert. Wenn im Folgejahr wieder Mais angebaut wird, beträgt die Dauer der „Wasserernte“ (Grundwasserneubildung) über Winter sieben Monate. Sofern in dieser Zeit keine stark wüchsige Winterbegrünung

vorhanden ist, wird der im Herbst vorhandene Nitrat-N (Herbst- N_{\min} -Wert) auf Sandböden zu 100 % bzw. auf bindigeren Böden zu 30 bis 70 % mit dem abwärts gerichteten Sickerwasser ins Grundwasser ausgewaschen.

Die Getreideernte ist in der Regel Ende Juli bis Mitte August abgeschlossen. Danach steigen die Wassergehalte und die Nitratwerte im Boden bis Oktober deutlich an. Wenn im Folgejahr eine Sommerung folgt, z. B. Mais oder Zuckerrüben, beträgt die Dauer der „Wasserernte“ acht Monate, wenn Wintergetreide folgt sind es noch fünf bis sechs Monate. Auch in diesen beiden Fällen werden hohe Herbst- N_{\min} -Werte ohne nachfolgende Zwischenbegrünung überwiegend ausgewaschen. Ähnliche Zusammenhänge lassen sich für die meisten Anbaufrüchte in Deutschland belegen, z. B. nach Raps (s. Kap. 2.5.3), nach Kartoffeln (s. Kap. 2.5.4) und nach Gemüse (s. Kap. 2.5.5).

Die beschriebenen langen Phasen ohne Begrünung sind im Ackerbau die entscheidenden Auswaschungs-Lecks für Nitrat, die geschlossen werden müssen. Hierfür ist die frühzeitige Aussaat (möglichst noch August oder früher) einer leistungsfähigen, das heißt stark massewüchsigen Winterbegrünung für die gesamte Dauer der winterlichen Sickerwasserneubildung die mit Abstand wichtigste Grundwasserschutzmaßnahme im Ackerbau. Eine zentrale Rolle spielen dabei die sogenannten Zwischenfrüchte (Definition: Früchte zwischen den Hauptfrüchten), die ausgehend von Untersaaten in stehendem Mais oder Getreide bereits im Spätfrühjahr oder wie es überwiegend der Fall ist, als Aussaat direkt nach der Ernte der Hauptfrucht, z. B. nach der Getreideernte etabliert werden können. Auch besondere Varianten

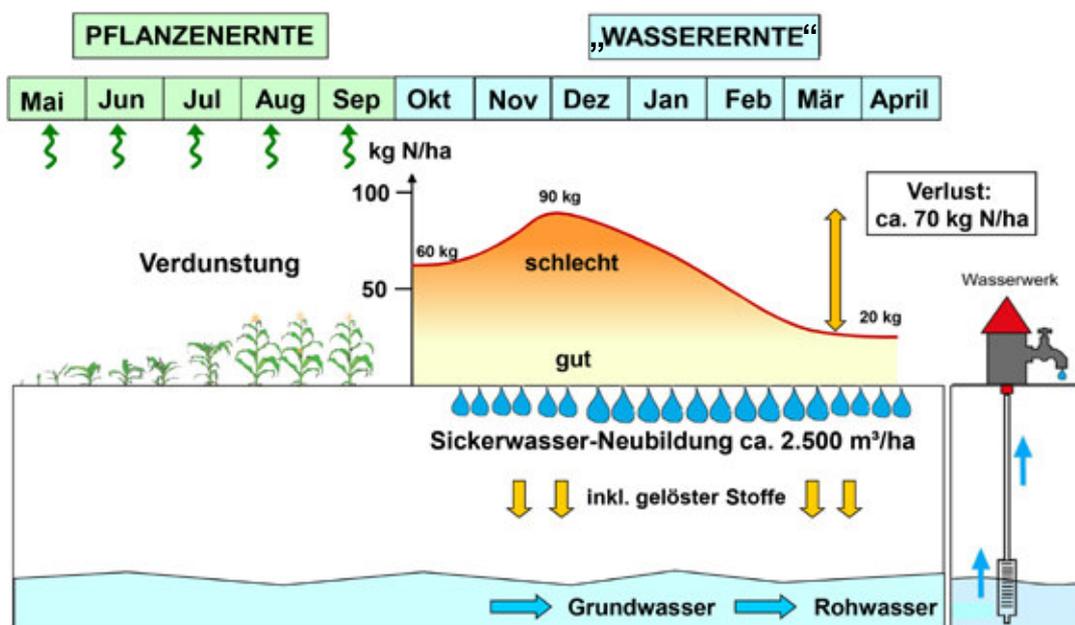


Abb. 50:
Prinzip der Nitrat-
auswaschung – Hohe
Herbst- N_{\min} -Werte ohne
leistungsfähige Herbst-/
Winter-Begrünung sind
Hauptursache hoher
Nitrat-Belastungen im
Sicker-/Grundwasser
unter Acker
(INGUS)

von Zweitfrüchten, die einen starken Herbstaufwuchs sicherstellen sind gut geeignet. Als Alternative zu den von Sommer/Herbst bis zum Folgefrühjahr stehenden Winterzwischenfrüchten oder Zweitfrüchten können insbesondere in Getreide betonten Fruchtfolgen auch Sommerzwischenfrüchte (z. B. Rübsen) bei zugleich später Wintergetreide-Aussaats angebaut werden und den Herbst- N_{\min} -Wert reduzieren.

Noch wirksamer für den Grundwasserschutz sind Begrünungsmaßnahmen, die eine ganzjährig bzw. mehrjährig durchgängige Begrünung sicherstellen, wie z. B. Ackerfeldgras, bis hin zu begrünten Brachen ohne Düngung. Wegen gestiegener Marktpreise für Agrarprodukte und des generell gewachsenen Flächendrucks sind die Kosten für ganz- bis mehrjährige Begrünungen pro Hektar und Jahr stark gestiegen, dadurch ist die Wettbewerbsfähigkeit dieser Maßnahmen stark zurückgegangen. Diese Begrünungsvarianten werden daher meist nur noch auf höher prioritären Flächen eines TGG angeboten.

2.4.1.1 Zwischenfruchtanbau

Kurzcharakteristik

In Ackerfruchtfolgen ist der Anbau von Zwischenfrüchten eine langjährig bewährte und besonders effektive Grundwasserschutzmaßnahme. Nach der Ernte der Hauptfrüchte verbleiben häufig erhöhte Mengen an Stickstoff im Boden. Es handelt sich um Stickstoff aus Ernterückständen, nicht verbrauchten Restdüngerstickstoff und bodenbürtigen Stickstoff, der bis zum Herbst weiter mineralisiert und sich bis zu Beginn der Sickerwasserperiode im Boden anreichert. Zwischenfrüchte können diesen Stickstoff (z. B. nach der Getreideernte) durch Einbau in die Pflanzenmasse über Winter konservieren und im Frühjahr für die nachfolgende Sommerfrucht (z. B. Mais) nutzbar machen. Damit wird gleichzeitig eine starke Reduzierung der Nitratauswaschung mit dem winterlichen Sickerwasser erreicht.

Neben Stickstoff, werden auch Phosphor, Kalium, Sulfat und weitere Nährstoffe durch Zwischenfrüchte „über den Winter gerettet“ (s. Abb. 51 und 52). Zudem haben Zwischenfrüchte eine wichtige Funktion, z. B. zum Erosionsschutz, zum Humuserhalt, zur Vermeidung bzw. Aufhebung von Bodenschadverdichtungen und zur Nematodenbekämpfung. Zwischenfrüchte können auch zur Schnittnutzung für Rauhfrutterfresser und Biogasanlagen genutzt werden.



Abb. 51: Senf als Winterzwischenfrucht (INGUS)



Abb. 52: Feldgras als Winterzwischenfrucht (INGUS)

Die Maßnahme hat eine sehr hohe Akzeptanz bei den Landwirten, ist sehr gut prüffähig und der Verwaltungsaufwand ist gering. Neben den klassischen Winterzwischenfrüchten (Standzeit möglichst Frühherbst bis Frühjahr) können bei bestimmten Fruchtfolgen auch Sommerzwischenfrüchte (Standzeit Sommer bis Spätherbst) eine starke Nitratreue des Bodens erreichen.

Anwendungsbereich

Zwischenfrüchte überbrücken im Ackerbau Zeiträume, in denen ansonsten keine Begrünung vorhanden ist. Dies betrifft vor allem Fruchtfolgen, deren Hauptfrüchte vor Mitte August geerntet sind und denen als nächste Hauptfrucht eine Sommerung im Folgejahr folgt. In diesen Fällen sollte eine Winterzwischenfrucht etabliert werden, die möglichst über den gesamten Zeitraum der winterlichen Sickerwasserneubildung auf der Fläche erhalten bleibt (s. Abb. 53). In vielen Regionen gilt dies für das Fruchtfolgepaar Getreide mit nachfolgendem Hackfruchtanbau

(Zuckerrübe, Kartoffel, Mais). Es gibt aber auch eine Reihe anderer Fruchtfolgen, in denen bei hohem Sommeranteil Winterzwischenfrüchte gut passen, z. B. nach früh gerodeten Kartoffeln bei nachfolgender Zuckerrübe, oder bei ausreichend früh geerntetem Feldgemüse mit nachfolgendem Maisanbau.

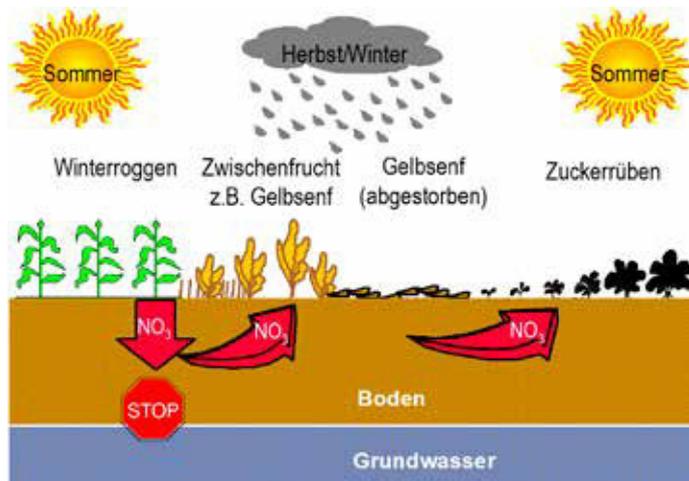


Abb. 53: Reduzierung der Nitratauswaschung durch Winterzwischenfrüchte (IGLU)

Geringe Herbst- N_{min} -Werte können aber auch mit sogenannten Sommerzwischenfrüchten erzielt werden. Geringe Herbst- N_{min} -Werte können aber auch mit sogenannten Sommer-Zwischenfrüchten erzielt werden. Diese passen insbesondere in das Fruchtfolgepaar Wintergetreide nach Getreide, z. B. mit Aussaat von Winterrüben nach Wintergerste Ende Juli und einer Standzeit von acht bis zwölf Wochen mit Umbruch im Oktober, um nachfolgendes Wintergetreide zu drillen.

Über den Agrarhandel wird eine Vielzahl von Zwischenfruchtarten als Reinsaaten oder als Gemenge angeboten. Für den Grundwasserschutz ist die hohe N-Aufnahme der Zwischenfrüchte vor Winter besonders wichtig. Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine frühe Aussaat (möglichst vor der 1. Septemberwoche) die Nitratentleerung am sichersten gewährleistet, da nur dann noch genug Langtage (> 12 Stunden Sonne) für ein ausreichendes Massenwachstum genutzt werden können. Sehr gute Leistungen erbringen Reinsaaten von Ölrettich oder Gelbsef, die über eine schnelle Jugendentwicklung verfügen. Auch gut aufgelaufener Ausfallraps kann eine ähnlich hohe N-Aufnahme erreichen.

Dagegen sind Leguminosen als Zwischenfrüchte im Wasserschutz unerwünscht, da es zu unkontrollierbaren N-Freisetzungen kommen kann. Nur bei ökologischer Bewirtschaftung werden Leguminosen bis zu einem gewissen Anteil in den Grundwasserschutzmaßnahmen zum Zwischenfruchtanbau akzeptiert. Noch besser und

sicherer wirken winterharte Zwischenfrüchte (z. B. Grünroggen, Weidelgräser). Diese frieren über Winter nicht ab und können auch in Phasen mit Temperaturen leicht über 0°C fortlaufend Nitrat aufnehmen. Mit zunehmender Durchlässigkeit der Böden, z. B. auf Sandböden oder flachgründigen Böden, sind winterharte Zwischenfrüchte nicht-winterharten vorzuziehen. Stehen gelassenes Ausfallgetreide hat eine deutlich geringere N-Aufnahme als aktiv gedüllte Zwischenfrüchte. Je nach Erntetermin der Hauptfrucht stehen verschiedene Zwischenfruchtarten zur Auswahl (s. Tab. 29).

Tab. 29: Übersicht ausgewählter Zwischenfrüchte

Pflanzenart	Einsaat spätestens bis ...	Saatstärke (kg/ha)
Ölrettich	Ende August	18-20
Gelbsef	Anfang September	15-20
Phacelia	Ende August	8-10
Einjähriges Weidelgras	Mitte August	40
Grünroggen	Mitte Oktober	160

Durchführung

Zur Erreichung eines sicheren und möglichst hohen Maßnahmeneffekts der Zwischenfrüchte haben sich bestimmte Bewirtschaftungsauflagen bewährt, die in den Freiwilligen Vereinbarungen (FV) vorgegeben sind:

- Die Aussaat der Zwischenfrüchte erfolgt nach der Ernte der Hauptfrucht möglichst in Drillsaat oder mit einem Pneumatikstreuer. Die Drillsaat bringt aufgrund günstigerer Auflaufbedingungen eine schnellere Bestandesentwicklung und eine höhere Wirkungssicherheit. Der Zeitpunkt der Aussaat trägt maßgeblich zum Erfolg der Zwischenfrucht bei. In vielen Grundwasserschutzmaßnahmen ist die Zwischenfruchtart freigestellt, aber der Aussaatzeitpunkt bis spätestens zum 5. September festgelegt (frühere Termine erhöhen die Maßnahmensicherheit und -wirkung).
- Meist wird auch die Höhe der Andüngung der Zwischenfrüchte begrenzt (z. B. auf max. 40 kg N/ha bzw. bei Schnittnutzung bis 80 kg N/ha). Bei Sommer-Zwischenfrüchten sollte auf die Andüngung vollständig verzichtet werden. Auch bei Winter-Zwischenfrüchten gibt es Maßnahmenvarianten, die gänzlich auf eine N-Düngung verzichten. In diesen Fällen dient die Zwischenfrucht allein als „Fangfrucht“ zur Nitratentleerung des Bodens.

- Die N-Düngung zur Zwischenfrucht sollte zu 100 % in der Düngung der Folgefrucht berücksichtigt werden, da nur dann die Zwischenfrucht den N-Überschuss der Nährstoff-Bilanz nicht erhöht.
- Der Umbruch der Zwischenfrucht sollte möglichst zeitnah zur Aussaat der Folgefrucht erfolgen, um die durch den Umbruch ausgelöste N-Mineralisation/-Freisetzung möglichst nah an die N-Aufnahme der Folgefrucht heranzuführen. In den Maßnahmenverträgen ist daher der frühestmögliche Umbruchtermin der Zwischenfrüchte je nach Folgefrucht differenziert, z. B. zu Sommergetreide frühestens ab dem 15.02. und zu Mais oder Zuckerrüben frühestens ab dem 15.03. Zum Erosionsschutz ist die nachfolgende Mulchsaat der Folgefrucht förderlich, alternativ auch Strip-Till-Verfahren.

Zwischenfrüchte sind auch ein wesentlicher Baustein „Gewässerschonender Fruchtfolgen“ (s. Kap. 2.4.6).

Erfolgsbewertung

Der Zwischenfruchtanbau ist eine der wirksamsten Grundwasserschutzmaßnahmen zur Senkung der Herbst- N_{\min} -Werte (s. Abb. 54).

Der jährliche Vergleich der Herbst- N_{\min} -Werte „mit“ und „ohne“ nachfolgende Zwischenfrucht zeigt deutlich den Erfolg der Maßnahmen (s. Abb. 55). Nach Getreide vor Sommerungen wird erfahrungsgemäß eine jährliche Herbst- N_{\min} -Senkung zwischen 30 bis 60 kg N/ha, nach Kartoffeln bei frühen bis mittleren Ernteterminen zwischen 50 und 80 kg N/ha und nach Feldgemüse (z. B. Eissalat) sogar bis weit über 100 kg N/ha erreicht.

Die Minderung der Nitratbelastung durch Zwischenfrüchte ist auch in der Sickerwasser-Dränzone nachweisbar. Das ausgewählte Beispiel in Abbildung 56 zeigt eine Verbesserung der einjährigen Sickerwassergüte durch Zwischenfrüchte von 58 mg Nitrat/l.

Bei der Auswertung von Ackerschlagkarteien ergibt die Flächenbilanzierung für Schläge mit Zwischenfruchtanbau häufig höhere N-Überschüsse, da die N-Herbstdüngung der Zwischenfrüchte meist nicht vollständig vom N-Düngebedarf im Frühjahr abgezogen wird.

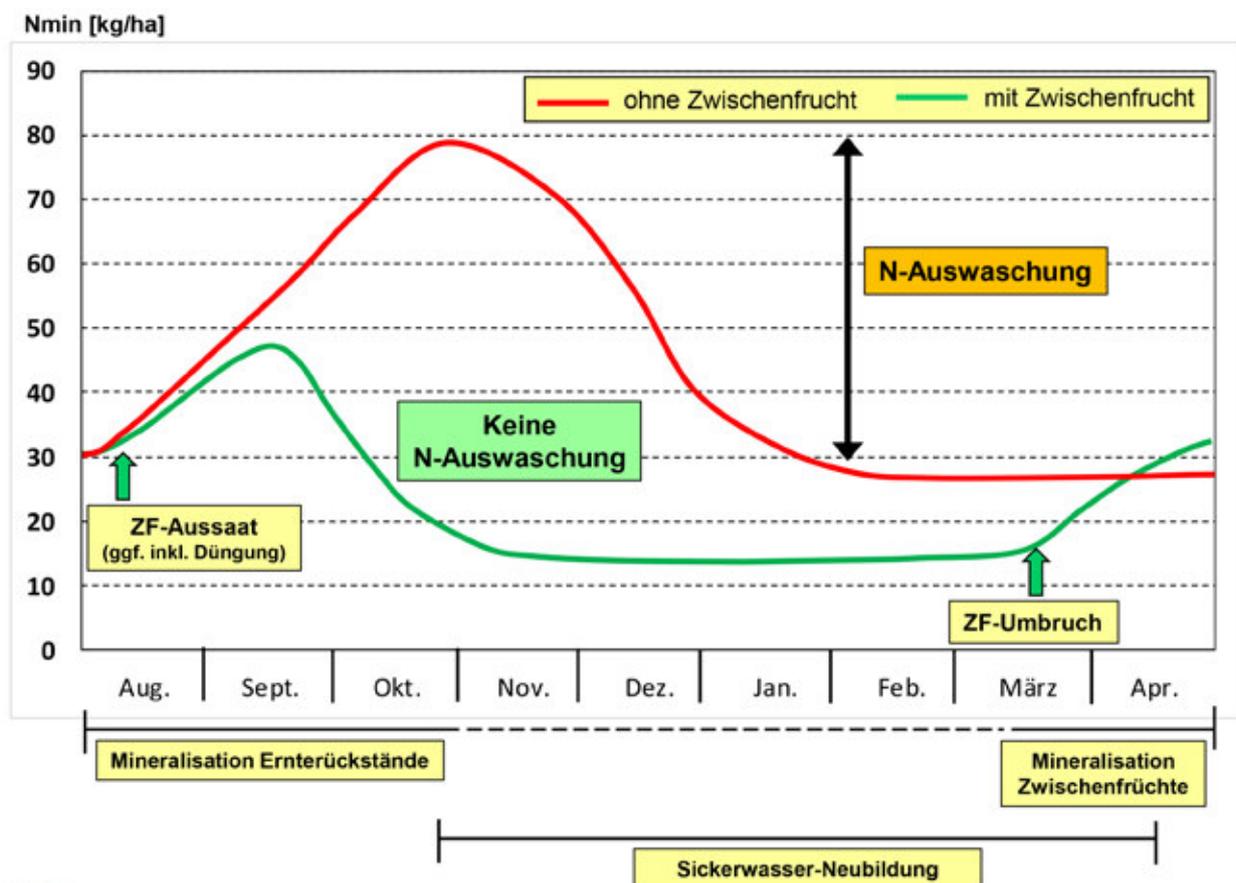


Abb. 54: Starke Verringerung der N-Auswaschung durch Zwischenfrüchte (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)

Abb. 55:
Herbst-N_{min}-Werte „mit“ und „ohne“ Zwischenfrüchte (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)

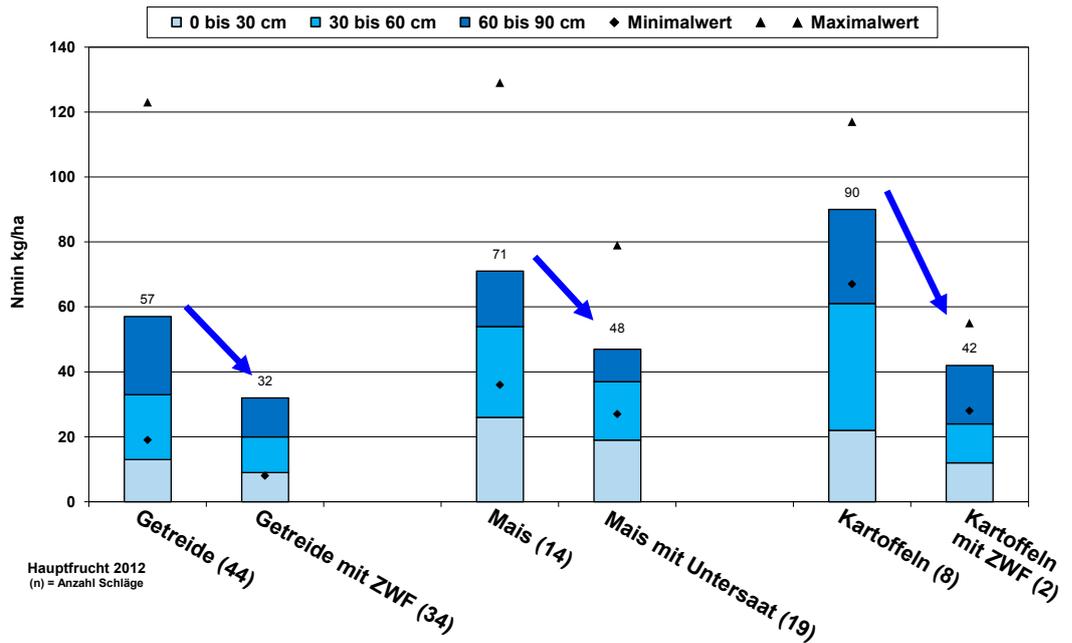
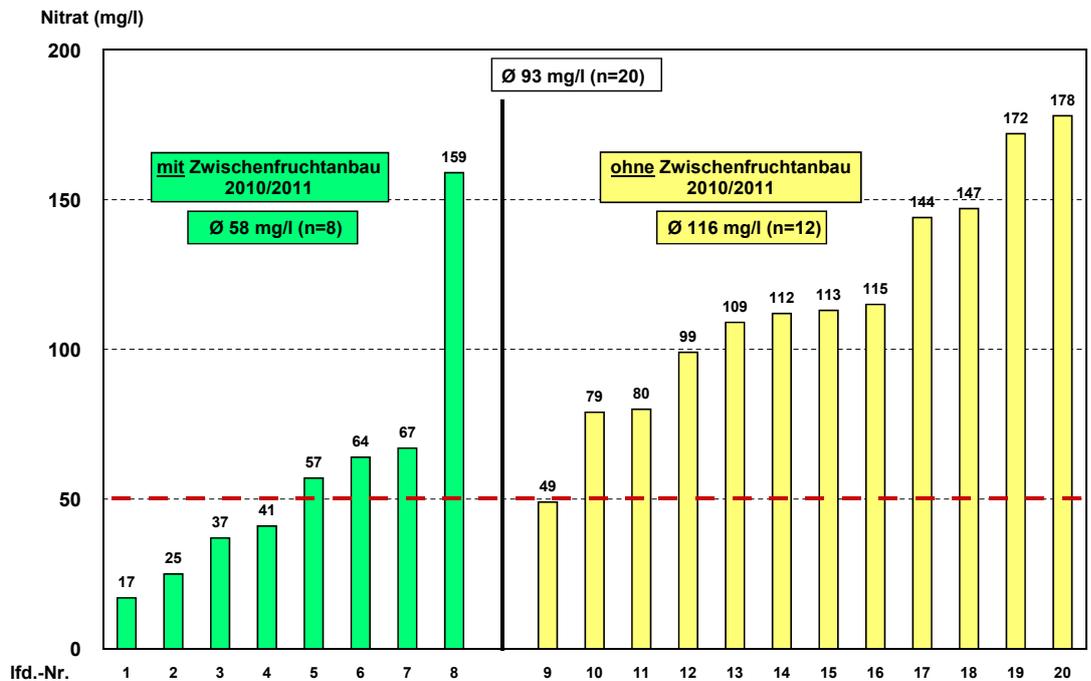


Abb. 56:
Vergleich der Nitratkonzentration im einjährigen Sickerwasser „mit“ und „ohne“ Zwischenfrüchte (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)



Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungs- und Saldominderung	- Nur, wenn die N-Düngung im Herbst voll und zusätzlich noch ein weiterer Anteil der in der Zwischenfrucht aufgenommenen N-Menge von der N-Düngung der Folgefrucht abgezogen wird oder im Falle einer N-Abfuhr durch Schnittnutzung. In der Praxis ist dies aber selten der Fall.
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja und zwar deutlich zwischen 30 und > 100 kg N/ha je nach Höhe des potentiellen Herbst-N _{min} -Werts der jeweiligen Vorfrucht, wenn keine Maßnahme durchgeführt wird.
Sickerwasserentlastung	- Ja und zwar deutlich zwischen 30 und > 80 mg Nitrat/l je nach Höhe des potentiellen Herbst-N _{min} -Werts der jeweiligen Vorfrucht, wenn keine Maßnahme durchgeführt wird.

2.4.1.2 Untersaaten

Kurzcharakteristik

Untersaaten werden frühzeitig in bereits stehende Hauptfrüchte (Deckfrucht) als zweite Frucht zugesät, in der Landwirtschaft meist zu Mais und Getreide, zum Teil auch in Körnerleguminosen. Ein gleichzeitiger Anbau von Untersaaten mit der Deckfrucht ist möglich. Untersaaten entwickeln sich unter ihrer Deckfrucht wegen des geringen Lichtangebots zunächst nur schwach, haben aber direkt nach der Ernte der Deckfrucht einen erheblichen Entwicklungsvorsprung gegenüber Begrünungsvarianten, die erst nach der Ernte gesät werden können.

Untersaaten spielen im Wasserschutz vor allem dort eine Rolle, wo Hauptfrüchte eine vergleichsweise lange Standzeit haben (z. B. Mais) und nachfolgende Winter-Zwischenfrüchte nicht mehr ausreichend gut (früh) etabliert werden können. Untersaaten sollten, um nicht zusätzlichen Stickstoff ins System zu bringen, leguminosensfrei sein.

Wie die Zwischenfrüchte senken Untersaaten den Herbst- N_{\min} -Wert und konservieren den aufgenommenen Stickstoff über Winter. Dabei wirkt nicht nur der Begrünungseffekt Herbst- N_{\min} -mindernd, sondern auch die Bodenruhe, die automatisch mit der Zwischenfrucht einhergeht (s. Kap. 2.4.2 ff). Untersaaten schützen zudem vor Wind- und Wassererosion. Im ökologischen Landbau werden auch leguminosenhaltige Untersaaten zur N-Bindung genutzt, wobei der Leguminosenanteil beim Gewässerschutz nach den wasserwirtschaftlichen Erfordernissen zu begrenzen ist.

Anwendungsbereich und Durchführung

Untersaaten sind eine Spezialform des winterharten Zwischenfruchtanbaus bzw. des Zweitfruchtanbaus, wenn

die Bestände im Folgefrühjahr nochmals gedüngt und als Grünmasseertrag für Futterzwecke oder für Biogasanlagen genutzt werden sollen. Grasuntersaaten werden vor allem im Mais aber auch in Getreide etabliert, z. B. mit dem Produktionsziel Feldgrasvermehrung oder zur Futternutzung oder für Biogasanlagen.

Gut gelungene Untersaaten (s. Abb. 57) sorgen selbst bei Mais-Monokulturen für eine nahezu ganzjährige Bodenbedeckung, in dem sie vom Frühjahr des Aussaatjahrs bis zum Umbruch im Folgejahr für eine Begrünung sorgen. Jegliche Bodenbearbeitung nach der Ernte der



Abb. 57: Praxisbeispiele für gelungene Untersaaten im Mais – oben: nach der Saat, unten: im Herbst (INGUS)

Tab. 30: Übersicht ausgewählter Untersaatverfahren mit Weidelgras

Verfahrenstechnik	Einsaat	Saatstärke (kg/ha)	Anmerkungen
Breitsaat (Pneumatikdüngerstreuer)	Ab 4-6-Blatt-Stadium bis Reihenschluss	15-20	Einfaches Verfahren, geringe technische Anforderung
Breitsaat (Hacke und Pneumatikdüngerstreuer)	Ab 4-6-Blatt-Stadium bis Reihenschluss	15-20	Hackbearbeitung erfordert genaues Fahren, geringe technische Anforderung
Drillsaat	3- bis 6-Blatt-Stadium	5	Gute Grasbestandsentwicklung, gezielte Saat zwischen den Reihen, Verschluss und Hochhängen der Säschare über Mais, geringe Saatgutkosten
Aussaat in Kombination mit Gülleausbringung über Schleppschlauchverteiler	Ab 4-6-Blatt-Stadium bis Reihenschluss	18-20	Einsparung eines zusätzlichen Arbeitsgangs, auf gute Vermischung ist zu achten



Abb. 58: Beispiel einer durch Drillsaat gut gelungenen Untersaat im Mais (INGUS)

Hauptfrucht unterbleibt, so dass die herbstliche N-Mineralisation auf einem niedrigeren Niveau verläuft, als dies mit Bodenbearbeitung der Fall wäre. Aus phytosanitären Gründen ist eine mechanische Zünslerbekämpfung mit einem Schlegelmulcher, Walzen oder Stabwalzen erlaubt. Bei richtiger und sofortiger Durchführung nach der Maisernte wird die Untersaat dadurch nicht beschädigt.

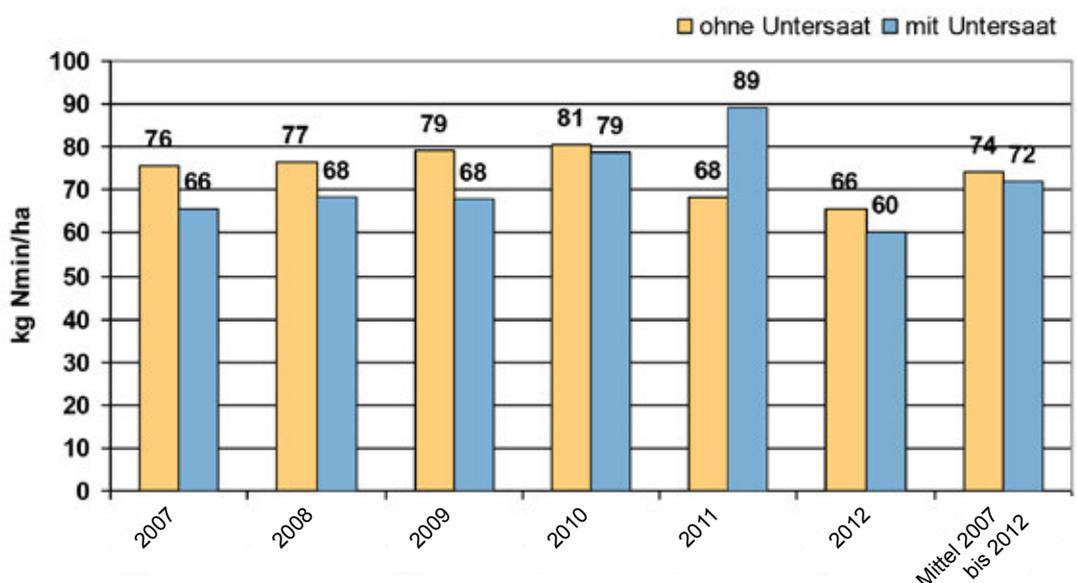
Es gibt verschiedene Verfahren der Untersaat-Aussaart. Die wichtigsten sind in der folgenden Tabelle 30 am Beispiel Mais dargestellt.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob die Untersaat unmittelbar vor bzw. nach der Maisaussaat oder während der Jugendentwicklung ausgesät wird. Dabei ist zu beachten, dass bei fortgeschrittener Entwicklung des Maises eine Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser durch das Gras verhindert werden muss. Sobald der Mais die Reihen schließt, wird dem Gras das Licht entzogen und das Wachstum gestoppt. Erst zur Abreife des Maises setzt dann das Gräserwachstum wieder stärker ein. Je früher der Mais geerntet wird und je milder der Witterungsverlauf im Herbst ist, umso besser entwickelt sich der vorwinterliche Masseaufwuchs zur Nitratentleerung des Bodens.

Sofern die Untersaat als Drillsaat erfolgen soll, stellt dies hohe technische Anforderungen an die Aussaat (genaues Fahren erforderlich (s. Abb. 58)). Darüber hinaus gibt es einige besondere Verfahren, die einzelne Betriebe erfolgreich praktizieren. Für den Pflanzenschutz gelten je nach Verfahrensart besondere Anwendungsbestimmungen, die für den Erfolg der Untersaat unbedingt zu beachten sind (z. B. Zeitpunkt des Einsatzes von boden- bzw. blattwirksamen Pflanzenschutzmitteln).

Eine erfolgreiche Entwicklung der Grasuntersaat hängt neben dem Aussaatverfahren stark von der Witterung ab. Mangelnde Niederschläge in der Jugendentwicklung des Maises können auch die Grasuntersaat stark schädigen, ebenso wie nasse Bedingungen bei der Maisernte (Zerfahren der Untersaat) oder lange Trockenperioden nach der Maisernte. Die Wahl der Grasuntersaat kann ebenfalls maßgeblich über die Bestandsentwicklung entscheiden. Rotschwingel verfügt über eine deutlich höhere Toleranz gegenüber Trockenheit als Weidelgras, dagegen regeneriert sich nach der Maisernte das Weidelgras in der Regel besser als der Rotschwingel.

Abb. 59: Herbst-N_{min}-Werte „mit“ und „ohne“ Untersaaten (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)



Erfolgsbewertung

Für den Grundwasserschutz ist entscheidend, ob sich die Untersaaten vor Winter ausreichend gut entwickeln und Nährstoffe binden können. Trotz des zusätzlichen Effekts der Bodenruhe ist die Minderung des Herbst- N_{\min} -Werts durch Untersaaten gegenüber Winter-Zwischenfrüchten (s. Kap. 2.4.1.1) geringer und weniger sicher. Abbildung 59 zeigt beispielhaft die Herbst- N_{\min} -Werte für Untersaatflächen in einem WSG im nördlichen Niedersachsen. Die Herbst- N_{\min} -Minderung der Untersaaten konnte in den meisten Jahren nachgewiesen werden, liegt aber mit ca. 10 kg N/ha deutlich geringer als bei Zwischenfrüchten. In Einzeljahren (hier 2011) haben Untersaaten sogar höhere Herbst- N_{\min} -Werte als Flächen ohne Untersaaten. Kein Maßnahmeneffekt tritt ein, wenn es bei

Trockenheit, durch zu starke Lichtkonkurrenz oder durch einen falschen Herbizideinsatz zu einem Totalausfall der Untersaat kommt. Es gibt aber auch Jahre, in denen eine Herbst- N_{\min} -Minderung um bis zu 40 kg N/ha erreicht wird.

Der Erfolg von Untersaaten hängt stark von der Witterung, der Verfahrenstechnik und den Erfahrungen der Bewirtschafteter ab. In manchen Regionen ist die Untersaat seit vielen Jahren im Fruchtfolgepaar Mais nach Mais fest etabliert. Andererseits ist die Grundwasserschutzwirkung häufig als zu gering und unsicher beschrieben worden. Die Maßnahme erfordert daher eine hohe pflanzenbauliche und langjährige Betreuung durch die WZB, bevor für die einzelnen Regionen entschieden werden kann, wie effektiv sie ist.

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungs- und Saldominderung	- Neutral bis mindernd. Letzteres nur, wenn ein Teil der in der Untersaat aufgenommenen N-Menge von der N-Düngung der Folgefrucht abgezogen wird oder im Falle einer N-Abfuhr durch Schnittnutzung. In der Praxis ist dies aber selten der Fall.
Herbst- N_{\min} -Minderung	- Ja, aber mit 10 bis max. 40 kg N/ha geringer als bei Winter-Zwischenfrüchten. Bei Totalausfall der Untersaat keine Wirkung.
Sickerwasserentlastung	- Ja, aber mit 15 bis 40 mg Nitrat/l geringer als bei Winter-Zwischenfrüchten. Bei Totalausfall der Untersaat keine Wirkung.

2.4.1.3 Brachebegrünung

Kurzcharakteristik

Die Brachlegung eines Schlags für den Grundwasserschutz umfasst eine leguminosenfreie Begrünung (Gräser) sowie den vollständigen Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitungs-, Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen. Je länger die Brachedauer, desto günstiger ist ihre Wirkung für den Grundwasserschutz. Im ersten Brachejahr kann es in Abhängigkeit zur Vorfrucht und zum Anteil leicht abbaubarer organischer Substanz zu einem Überhang beim Nährstoffangebot kommen, der nicht vollständig von der Brachebegrünung genutzt werden kann. Bei langjährigen Grünbrachen stellt sich der leicht verfügbare N-Vorrat des Bodens wegen der gehemmten Umsetzung des Bodenstickstoffs (Stichwort Bodenruhe) und des Dauerbewuchses bei zugleich fehlender Düngung dagegen auf einem sehr niedrigen Niveau ein.

FV zur Brachebegrünung müssen neben den Kosten der aktiven Graseinsaat auch den entgangenen De-

ckungsbeitrag einer ackerbaulichen Nutzung entschädigen. Dies macht die Maßnahme sehr teuer, sie erreicht aber einen sehr hohen und sehr sicheren Maßnahmeneffekt. Langjährige Grünbrachen erzeugen nachweislich niedrige Herbst- N_{\min} -Werte (< 20 kg N/ha) und sehr geringe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (< 30 mg/l). Sie gelten daher als besonders leistungsfähige Verdünnungsflächen zur Senkung der Grundwasserbelastung bei gleichzeitig gegenüber Grünland noch höheren Grundwasserneubildungsraten.

Die obligatorische Flächenstilllegung als Marktinstrument zur Reduzierung von Produktionsüberschüssen wurde zur Ernte 2008 EU-weit abgeschafft. Seither sind große Flächenanteile an Brachen verloren gegangen.

In den letzten Jahren ist die Akzeptanz für die mehrjährige Brachebegrünung bei den Landwirten stark gesunken, da es viele Diskussionen zum rechtlichen Erhalt des Ackerstatus gab. Zusätzlich sind die Marktpreise für landwirtschaftliche Produkte deutlich gestiegen. Darüber hinaus können wegen begrenzter Maßnahmengelder die hohen Kosten von den Kooperationen vielfach nicht

mehr getragen werden, so dass die Landwirte eine ackerbauliche Nutzung vorziehen. In den FV wird der Begriff „Brache“ kaum noch verwendet, stattdessen die Namen „Feldgrasanbau“ mit oder ohne Nutzung. Die Bewirtschafter werden über die erforderlichen jährlichen Codierungen in ihrem Gesamtflächennutzungsnachweis des Agrarantrags hingewiesen, damit der Ackerstatus nicht verloren geht. Verkürzte Brachezeiträume (ein- bis zweijährige Grünbrachen) können auch für grundwasserschonende Fruchtfolgen eingesetzt werden (s. Kap. 2.4.6).

Anwendungsbereich

Langjährige Grünbrachen stellen die höchste Eingriffsintensität, zugleich aber die sichersten und wirksamsten Grundwasserschutzmaßnahmen dar. Sie werden wegen ihrer hohen Kosten stark nach den Kriterien der innergebietlichen Prioritätensetzung platziert, also bevorzugt auf Flächen mit höchster räumlicher Priorität (s. Kap. 2.1.3).

Besonders in Sanierungsgebieten mit bereits hohen Nitratbelastungen im Förderrohwasser sind langjährige

Grünbrachen die höchste Stufe des Grundwasserschutzes. Abbildung 60 zeigt ein solches Beispiel, wo es gelungen ist, innerhalb von fünf Jahren (2002 bis 2006) mehr als 400 ha Grünbrachen auf hoch prioritären, das heißt in diesem Fall, brunnennahen Flächen gezielt zu etablieren. Dadurch konnte eine enorme Reduzierung der Nitratauswaschung erreicht werden (eine jährliche Herbst-N_{min}-Reduzierung um 50 kg N/ha entspricht bei 400 ha einer potentiellen Auswaschungsminderung von 20.000 kg N pro Jahr im jeweiligen Gesamtgebiet).

Durch den Wegfall der obligatorischen Flächenstilllegung ist die Brache heute eine eigenständige Grundwasserschutzmaßnahme. Die Vertragslaufzeiten reichen von eineinhalbjährigen Brachen (Herbstaussaat und mindestens zwei vollständigen winterlichen Begrünungsphasen) bis zu viereinhalbjährigen Brachen (s. Abb. 61). Auch nach gezieltem Flächenzukauf sensibler Flächen durch Wasserversorgungsunternehmen ist die anschließende Brachlegung die effektivste Nutzung für den Grundwasserschutz.

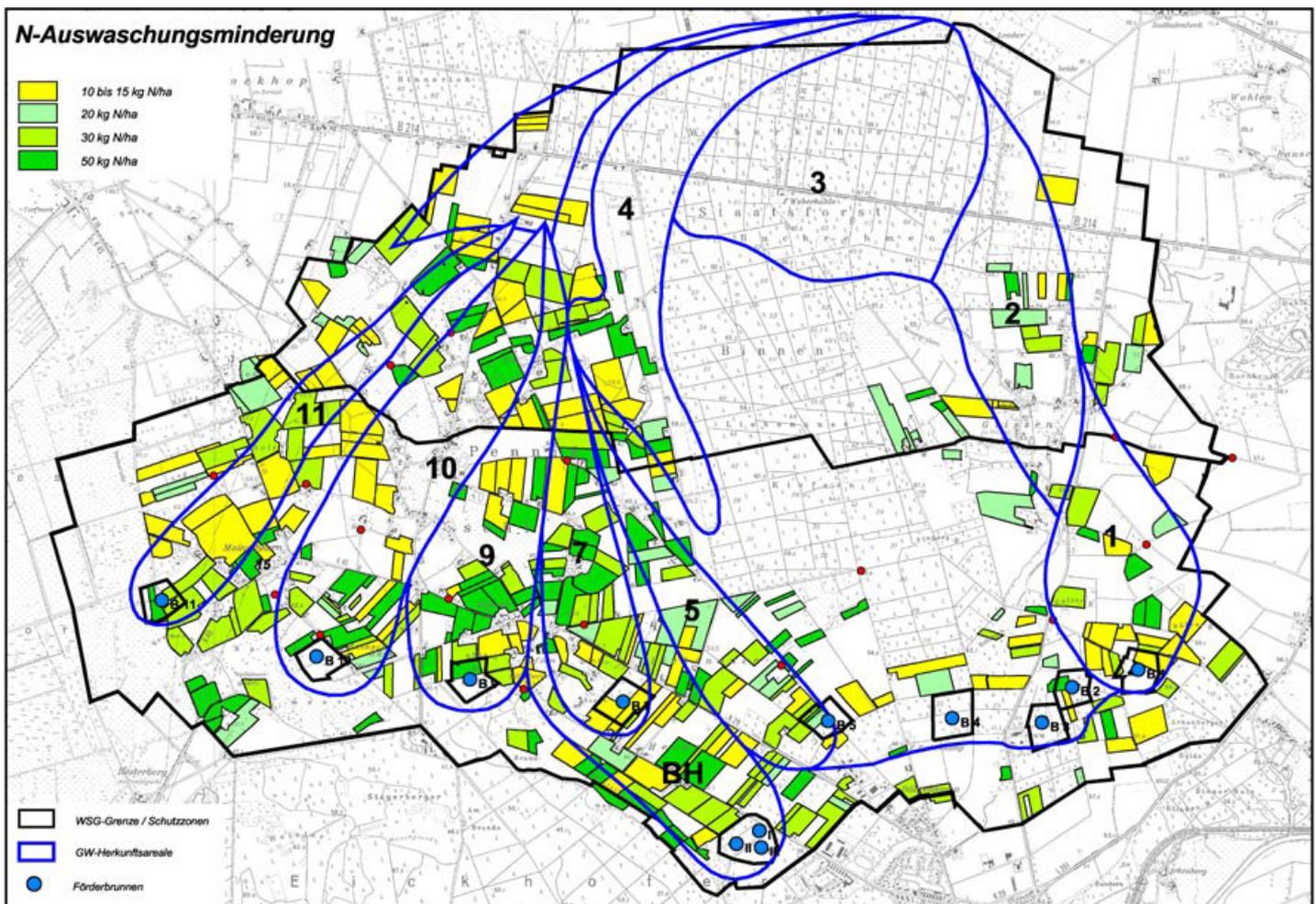


Abb. 60: Starke Verringerung der N-Auswaschung durch Grünbrachen in hoch prioritären Teilgebieten eines TGG (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)



Abb. 61: Mehrjährige Brachebegrünung (INGUS)

Durchführung

Der Zeitpunkt der Einsaat der Brachebegrünung ist in Abhängigkeit von der vorangegangenen Nutzung durchzuführen. Hierbei sind Spätsommereinsaat (bis spätestens Anfang September) und die Frühjahrseinsaat zu unterscheiden (April, Mai). Die Brachebegrünung erfolgt mit einer legumionsfreien, winterharten Gräsermischung, um eine N-Anreicherung über Leguminosen (z. B. Klee) im Boden auszuschließen. Eine Andüngung der Graseinsaat ist nicht zulässig. Die Pflege der Brache umfasst meist nur einen jährlichen Schlegelgang. Bei langjährigen Brachen kann eine umbruchlose Nachsaat zur Verbesserung der Grasnarbe erforderlich werden. Bei Flächen mit sehr hohem N-Nachlieferungspotenzial des Bodens ist die Vorschaltung einer mehrjährigen Aushagerungsphase (N-Abfuhr durch Schnittnutzung) sinnvoll.

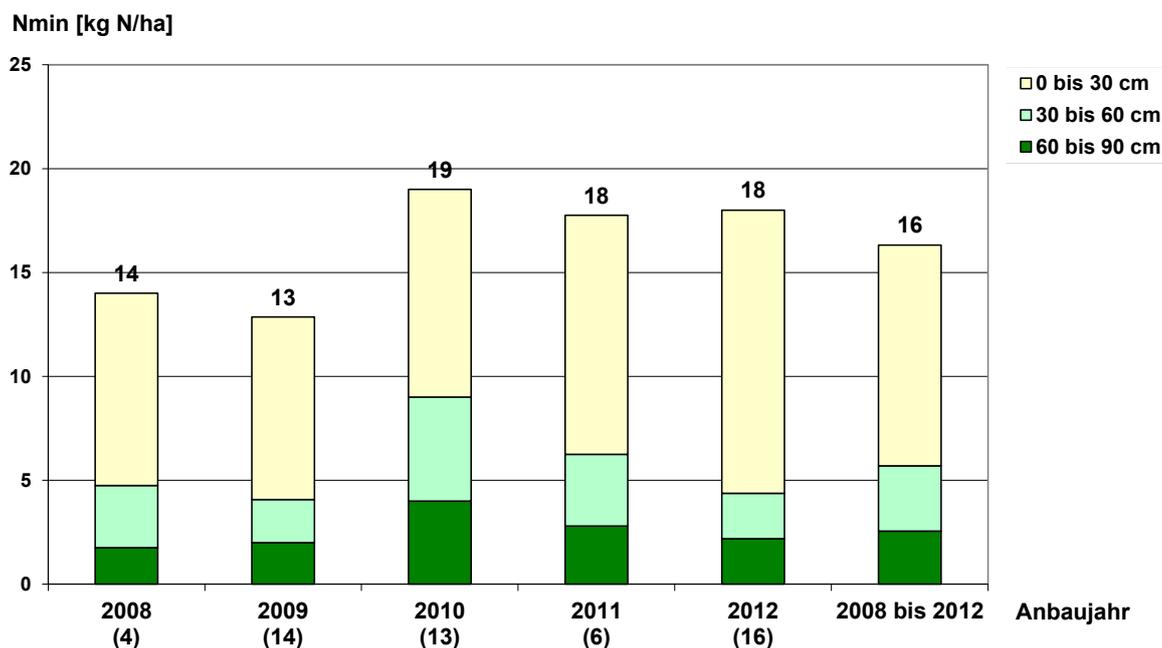
Der Übergang von Grünbrachen zu extensiven Feldgrasflächen (s. Kap. 2.4.9) ist in der WZB häufig fließend. Auf ehemaligen klassischen Brachflächen sind heute vielfach eine begrenzte Nutzung (Schnittnutzung, Beweidung) und Düngung zugelassen.

Der Umbruch der Brache sollte möglichst erst im Frühjahr und zeitnah vor der Folgefrucht-Bestellung (Sommerung) erfolgen, um eine hohe N-Freisetzung aus der Grasnarbe vor Winter zu vermeiden. Eine Ausnahme bildet ein nachfolgender Winterrapsanbau, da Raps vor Winter eine hohe N-Aufnahme sicherstellt. Hinsichtlich des Umbruchs sind entsprechende Vorgaben der gebietlichen und landesweiten Schutzgebietsverordnung zu beachten. Nach dem Umbruch mit Überführung in Ackerbau ist eine enge Betreuung durch die WZB erforderlich, um die umbruchbedingte N-Freisetzung möglichst optimal über die Folgefrüchte düngewirksam zu verwerten (z. B. mit Hilfe der Spätfrühjahrs-N_{min}-Beprobung und Nitrat-Nach-Pflanzensaftanalysen).

Erfolgsbewertung

Auf legumionsfreien Grünbrachen entstehen aufgrund der unterlassenen N-Düngung keine N-Bilanzüberschüsse. Bei Voranstellung von Aushagerungsphasen oder bei Überführung in extensive Feldgrasbestände mit Schnittnutzung können sogar negative N-Salden erreicht werden.

Grünbrachen erreichen bei frühzeitiger Graseinsaat bereits im Aussaatjahr niedrige Herbst-N_{min}-Werte von < 25 kg N/ha. Langjährige Brachen erreichen dann in den Folgejahren Herbst-N_{min}-Werte < 20 kg N/ha (s. Abb. 62) und Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von < 30 mg/l (s. Abb. 63). Neben extensivem Grünland mit Schnittnutzung sind Grünbrachen demnach die wirksamste aller Begrünungsmaßnahmen im Grundwasserschutz.

Abb. 62: Sehr geringe Herbst-N_{min}-Werte auf langjährigen Brachen (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)

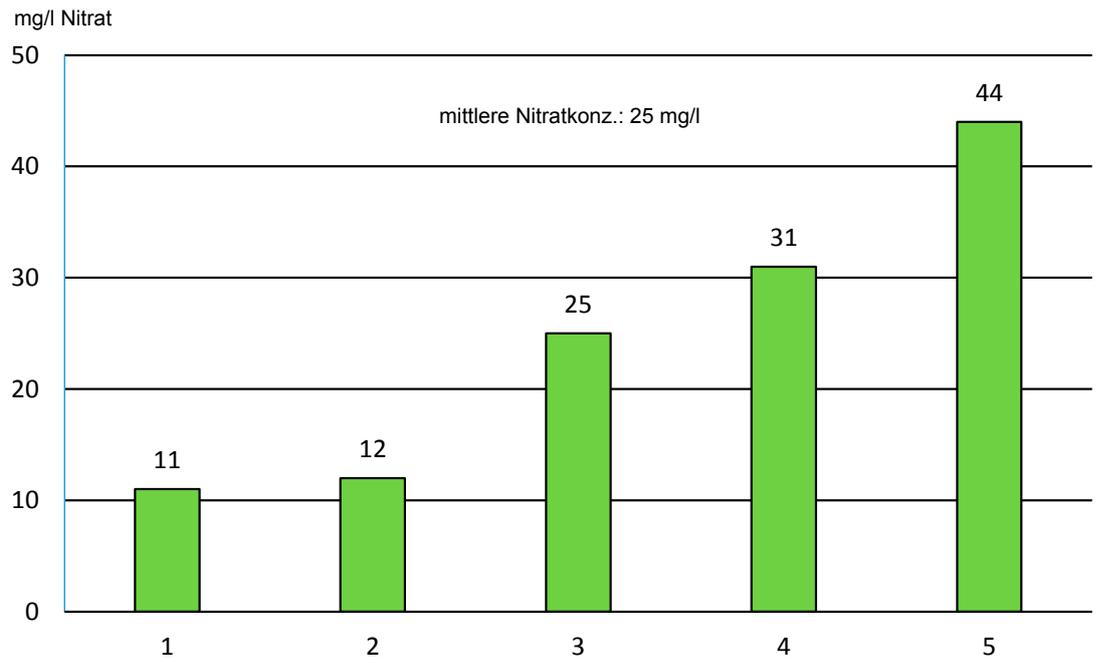


Abb. 63:
Sehr niedrige Nitratwerte
im Sickerwasser (unter
TrinkwV-Grenzwert 50 mg
Nitrat/l) unter langjährigen
Brachen (INGUS 2013b,
Daten aus einem WSG)

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, da keine Düngung.
Saldominderung	- Ja, da keine Düngung. Es entstehen keine bewirtschaftungsbedingten N-Überschüsse.
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, je nach Ausgangssituation der zurückliegenden Ackerfruchtfolgen Verminderung um 40 bis > 80 kg N/ha auf ein absolutes Niveau von < 20 kg N/ha.
Sickerwasserentlastung	- Ja. Herstellung einer Sickerwassergüte von < 30 mg Nitrat/l, das heißt unterhalb des TrinkwV-Grenzwerts von 50 mg Nitrat/l.

2.4.2 Reduzierte Bodenbearbeitung

Kurzcharakteristik

Bei der reduzierten oder konservierenden Bodenbearbeitung wird gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung auf den Einsatz des Pflugs zur regelmäßigen, krumentiefen Lockerung und Wendung des Bodens

vollständig verzichtet. Dazu werden nicht wendende, mischende Bodenbearbeitungsgeräte wie Grubber oder Scheibenegge eingesetzt oder es wird auf die Bodenbearbeitung verzichtet. Die Ernterückstände der Vor- oder Zwischenfrüchte verbleiben als Mulchdecke auf der Ackeroberfläche oder werden nur oberflächennah eingearbeitet. Dies fördert die Strohrotte sowie die

Tab. 31:
Typische Eigenschaften
von Bearbeitungssystemen
(VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN 2010)

	wendende Bodenbearbeitung	Mulchsaat	Direktsaat
Tiefe des Eingriffs	15–35 cm	5–25 cm	2–5 cm (Saattiefe)
Häufigkeit des Eingriffs	hoch	gering-hoch	gering
Organische Masse an der Oberfläche	keine	gering-hoch	hoch
Technische Lockerung	hoch	gering-hoch	keine
Biologische Aktivität	gering	mittel-hoch	hoch
Mischungsintensität	gering-mittel	gering-hoch	keine

Keimung von Ausfallgetreide und Unkräutern. Ziel ist eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung zum Schutz des Bodens vor Wasser- und Winderosion sowie vor Verschlammung und Verkrustung. In Tabelle 31 sind die typischen Eigenschaften von Bodenbearbeitungssystemen dargestellt. Tabelle 32 beinhaltet die typischen

Wirkungen von Bearbeitungssystemen. Die bereits nach einmaliger Anwendung festzustellenden Wirkungen sind „fett“ gekennzeichnet. Oft können die Wirkungen aber erst nach mehrjähriger Reduzierung der Bearbeitungsintensität beobachtet werden

	Wendende Bodenbearbeitung	Mulchsaat	Direktsaat
Aggregatsstabilität	gering	mittel-hoch	hoch
Nährstoffeinmischung	hoch	mittel	gering
Tragfähigkeit	gering-mittel	mittel-hoch	hoch
Erosionsrisiko	hoch	mittel	gering
phytosanitäre Wirkung	hoch	mittel	gering
Arbeitszeitbedarf	hoch	mittel-hoch	gering
Energiebedarf	hoch	mittel-hoch	gering
Maschinenneuwert	hoch	mittel	gering
Arbeiterledigungskosten	hoch	mittel	gering
Wassereffizienz	gering	mittel	hoch
bearbeitungsbedingte Nährstoffmineralisation	mittel-hoch	gering	gering

Tab. 32:
Typische Wirkungen von Bearbeitungssystemen (VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN 2010)

Eine Reduzierung der Bearbeitungsintensität hinsichtlich Art, Tiefe und Häufigkeit der mechanischen Einwirkung auf den Boden fördert ein stabiles und tragfähiges Bodengefüge. Dieser Effekt dient als vorbeugende Bodenschutzmaßnahme gegen Verdichtungen und ihre negativen Folgeerscheinungen. Da die Saat in die bodennahe oder oberflächliche Mulchauflage erfolgt, wird die Aussaat als Mulchsaat definiert. Erfolgt keine Bodenbearbeitung (auch keine Stoppelbearbeitung), wird die Aussaat als Direktsaat definiert. Lediglich zum Anlegen des Säschlitzes wird der Boden ein wenig bearbeitet (LEIBNIZ-ZENTRUM FÜR AGRARLANDSCHAFTSFORSCHUNG (ZALF 2013) E.V.). Durch die reduzierte Bodenbearbeitung wird insbesondere nach der Ernte der Hauptfrucht eine unerwünschte Mineralisation vermindert, was zur Reduzierung der Nitratauswaschung im Herbst beiträgt. Die erwartete Wirkung ist ein um zehn bis 20 kg/ha geringerer Herbst-N_{min}-Wert gegenüber der wendenden Bodenbearbeitung (OSTERBURG & RUNGE 2007).

Anwendungsbereich

Reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren haben grundsätzlich eine erosionsmindernde Wirkung. Bei bestimmten Standort- und Nutzungsverhältnissen (z. B. Hanglagen, Lage am Oberflächengewässer/ Infiltrationsbereiche) sind sie auch für den Gewässerschutz von Bedeutung. Durch die Reduzierung bzw. den Verzicht auf

eine Bodenbearbeitung kann im Herbst bei Kulturen, die große Mengen leicht mineralisierbaren Stickstoffs nach der Ernte auf der Fläche zurücklassen, die Mineralisation vor der nachfolgenden Hauptfrucht verringert werden. Der Herbst-N_{min}-Wert kann somit gezielt gesenkt werden.

Im Rahmen der WZB wird die reduzierte Bodenbearbeitung derzeit über FV hauptsächlich zu Reihenfrüchten wie Mais oder Zuckerrüben angeboten. Dies liegt an der speziellen Problematik dieser Kulturen:

- Durch lange Zeitspannen zwischen der Aussaat der Reihenfrüchte und dem Schließen der Bestände können Bodenverschlammung und -verkrustung sowie Bodenerosion auftreten.
- Bei konventioneller Bearbeitung besteht die Gefahr der Überlockerung der Krume und dadurch eine erhöhte Anfälligkeit zur Verdichtung.
- Das Fehlen der Bodenbedeckung während der niederschlagsreichen Wintermonate erhöht die Gefahr von Nährstoffauswaschungen.

Der Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung kann auf den Herbst beschränkt bleiben oder auf ganze Produktionsverfahren ausgedehnt werden. Auch die Intensität und die Tiefe der Bodenbearbeitung sind unterschiedlich gestaltbar und können von einer flach mischenden Bodenbearbeitung (Fräse, Flachgrubber) bis zur Festbo-

denwirtschaft (Schlitzsaat) reichen. Aus Gewässerschutzgründen sollte dies von den jeweiligen Standort- und Nutzungsverhältnissen abhängig gemacht werden. Zur Sicherung des Maßnahmen Erfolgs sollte eine Bodenbearbeitung frühestens im Frühjahr erfolgen, um einen Mineralisationsschub im Herbst zu verhindern und die N-Auswaschung zu reduzieren. Der Verzicht auf Bodenbearbeitung z. B. nach Mais oder bei nachfolgendem Anbau einer Sommerung wird in zahlreichen Trinkwasserschutzkooperationen als FV angeboten. Um die Wirksamkeit der Mulchsaat für den Grundwasserschutz zu erhöhen, wird die Maßnahme in der Regel an den vorherigen Anbau von Zwischenfrüchten gebunden. Die Kombination dieser Grundwasserschutzmaßnahmen kann den Nitratreintrag in das Grundwasser deutlich reduzieren. Zum einen kann der nach der Ernte der Vorfrucht im Boden zurückgebliebene mineralische Stickstoff durch die Zwischenfrucht über den Winter konserviert werden. Zum anderen mindert und verzögert die folgende Mulchsaat die bei der Einarbeitung der Zwischenfrüchte einsetzende Mineralisation. Die verspätete Nährstoffnachlieferung des Bodens muss bei der Düngplanung berücksichtigt werden. Zudem wird der Oberflächenabfluss durch die über Winter vorhandene Bodenbedeckung vermindert. In Rapsfruchtfolgen, bei denen im Anschluss eine Sommerung folgt, nutzt man die Bodenruhe nach der Rapsernte für Auflaufrops als Zwischenfrucht. Die Sommerung kann dann als Mulchsaat ausgesät werden. Ein Beispiel für diese Fruchtfolge ist in Tabelle 33 dargestellt:

Tab. 33: Reduzierte Bodenbearbeitung in einer Rapsfruchtfolge

Jahr	Monat	Kultur	Bearbeitung
1.	Juli	Winterraps	Ernte
1.	August	Zwischenfrucht (Auflaufrops)	keine Bearbeitung
2.	März	Sommergetreide	Mulchsaat
2.	Oktober	Wintergetreide	Pflug
3.	Oktober	Wintergerste	ggf. Stoppel-Mulchsaat

Durchführung

Technik

Die bei der reduzierten Bodenbearbeitung zum Einsatz kommende Technik kann nach ihrer Eingriffsintensität gegliedert werden. Der Einsatz von Schwergrubber oder Flügelschargrubber zur lockernden Grundbodenbearbeitung ermöglicht gegenüber dem Pflug eine geringere Eingriffsintensität. Eine weitere Eingriffsreduktion erfolgt mit der Frässaat. Mit der Direktsaat wird die unmittel-

barste Form der Feldbestellung erreicht, da hier auf die Bearbeitung des Bodens ganz verzichtet wird. Die Aussaat erfolgt mit speziellen Direktsaatmaschinen oder mit robusten herkömmlichen Sämaschinen, die mit ihren Säaggregaten die Mulchschicht durchdringen können (s. Abb. 64). Mulchsaatverfahren mit flacher und daher schonender Lockerung liegen in der Intensität zwischen dem Pflug und der Direktsaat (s. Abb. 65).



Abb. 64: Direktsaat von Wintergetreide nach Zwischenfruchtanbau (Kurlemann, LWK Niedersachsen)



Abb. 65: Mulchsaat mit Saatbettbereitung von Mais (Dijkstra, LWK Niedersachsen)

Bei Bedarf kann bei der Mulchsaat noch eine Saatbettbereitung erfolgen. Die Notwendigkeit hängt im Wesentlichen vom Bodentyp, von den Klimaverhältnissen und vom Zustand der Fläche ab. Generell kann man die Mulchsaat in zwei Verfahrensvarianten unterscheiden:

1. Mulchsaat mit Saatbettbereitung: Es erfolgt immer eine oberflächliche, meist bis maximal 10 cm tiefe Einarbeitung der Pflanzenreste in den Boden. Dies kann als gesonderter Arbeitsgang oder auch zeitgleich mit der Aussaat erfolgen (s. Abb. 65). Das Verfahren eignet sich besonders bei Böden, die schwer bearbeitbar

sind und sich nur langsam erwärmen (z. B. schluffige Lehmböden), aber auch bei dichtlagernden oder durch das Befahren verdichteten Böden (z. B. Lehm- und Sandböden). Außerdem sollte eine Saatbettbereitung bei einem sehr massigen Zwischenfruchtaufwuchs bzw. bei sehr verunkrauteten Flächen durchgeführt werden, da so gleichzeitig eine mechanische Unkrautbekämpfung erfolgt.

2. Mulchsaat ohne Saatbettbereitung: Hierbei verbleiben die Reststoffe der Vor- oder Zwischenfrüchte auf der Bodenoberfläche. Dieses Verfahren bietet sich besonders für erosionsgefährdete Flächen an. Auf die Saatbettbereitung sollte auch bei einem günstigen Zustand des Bodens im Saathorizont (leichte, humose oder durch Frosteinwirkung physikalisch gelockerte Böden) oder möglichst auch bei schwer bearbeitbaren Böden verzichtet werden. Die Anwendung dieses Verfahrens kann auch bei brüchigem und gut abgetrocknetem Pflanzenmulch oder einer spuren- und verdichtungsfreien Bodenoberfläche sinnvoll sein (KTBL 1998).

Kostenvergleich reduzierte und konventionelle Bodenbearbeitung

Gemäß Berechnungsgrundlagen der LWK NIEDERSACHSEN (2014a) ist bei reduzierter Bodenbearbeitung für zusätzlichen Dünger und Saatgut mit einem Mehraufwand von rund 50 €/ha gegenüber der konventionellen Bearbeitung zu rechnen. Durch den Pflugverzicht ergeben sich ein geringerer Personalaufwand, geringere Maschinenkosten und ein geringerer Treibstoffverbrauch. Nach SCHMIDT & NITZSCHE (2001) hat eine Umfrage unter Landwirten ergeben, dass der Dieselverbrauch um bis zu 30 l/ha reduziert wurde. Dieses Einsparungspotenzial kann aber nur erreicht werden, wenn die Zahl und die Intensität der Bearbeitungsgänge auf das Nötigste beschränkt wird. Gleichzeitig reduziert sich der Arbeitszeitbedarf von ca. zwei Stunden pro Hektar auf etwa eine Stunde pro Hektar. Bei den Maschinenkosten können nach Auskunft der Landwirte fruchtartenabhängige Kosten von ca. 50 €/ha bei Getreidearten und bis zu 125 €/ha bei Zuckerrüben eingespart werden.

Boden- und Standortvoraussetzungen

Die reduzierte Bodenbearbeitung bewirkt, vor allem nach mehrjähriger Anwendung, ein stabiles tragfähiges Bodengefüge und eine Steigerung der biologischen Aktivität des Bodens. Durch die geringe Intensität der Bodenbearbeitung werden Pflanzenreste auf der Bodenoberfläche und

in der obersten Bodenschicht angereichert (Mulch), was zu einer Förderung der Bodenorganismen, des Bodenklimas und des Bodengefüges führt. Vorteile für den Gewässerschutz aufgrund dieser Bodenwirkungen sind:

- Verbesserte Humus- und Nährstoffverteilung im Boden
- Verzögerter Stoffaustrag über Makroporen
- Reduzierung der winterlichen N-Auswaschung.

Die reduzierte Bodenbearbeitung ist eine sinnvolle Maßnahme bei fast allen Böden. Ton- und lössreiche Böden eignen sich aufgrund des weitgehend ungestörten Bodengefüges mit einer hohen Anzahl von Makroporen, da sie das Wasser relativ schnell in tiefere Bodenschichten verlagern, ohne dass dabei die gesamte Bodenmatrix durchspült wird. Weniger gut geeignet sind Standorte mit strukturinstabilen Böden (sandige und kiesige Böden). Sie weisen ungünstige bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften auf (ein geringes Wasser- und Nährstoffspeichervermögen aufgrund ihres hohen Grobporenanteils, Strukturabilität und eine Verdichtungsneigung (ELLMER & KÖHN 1999)). Ein zusätzlicher Makroporenfluss (SCHRADER 2004) entsteht durch Mulch- oder Direktsaatverfahren nicht. Pfluglos bewirtschaftete Sandböden sollten in regelmäßigem Wechsel krumentief gelockert werden, um eine oberflächennahe Bodenverdichtung und eine damit im Zusammenhang stehende schlechtere Nährstoffaufnahme und Wurzelwachstum zu vermeiden.

Stark kiesige Böden mit geringem Humusgehalt sowie staunasse Böden sind für eine reduzierte Bodenbearbeitung weniger geeignet. Ungünstig sind auch Flächen in einem schlechten Strukturzustand z. B. durch Erntefahrzeuge verdichtete Böden oder das Vorhandensein von tiefen Fahrspuren.

Pflanzenschutz

Mit der Umstellung auf reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren ist auch eine Anpassung beim Pflanzenschutz erforderlich. Tendenziell sind die Auswirkungen auf Unkräuter, Krankheiten und Schädlinge bei einer längerfristigen Umstellung des Anbauverfahrens höher als bei einem unregelmäßigen Wegfall der Pflugfurche. Kurzfristige Auswirkungen sind möglich (LANG 1993). Folgende Schwerpunkte sind zu nennen:

- **Unkräuter:** Mit abnehmender Eingriffsintensität können vor allem Gräser und Wurzelunkräuter wie Quecke oder Diestel zum Problem werden, da die Unkrautsamen nicht mehr durch den Pflug vergraben werden bzw. die Wurzeln und Rhizome nicht zerstört

werden. Ein verstärkter Herbizideinsatz kann die Folge sein, der bei der Direktsaat am höchsten ist. Alternativ kann der unkrautunterdrückende Effekt des Zwischenfruchtanbaus genutzt werden. Auch durch Mulchen oder Pflügen der Ackerränder kann eine Einwanderung vom Feldrand in die Fläche unterdrückt werden (KTBL 1998).

- **Schädlinge:** Die höhere Menge an Ernterückständen und Hohlräumen im Boden bietet gute Lebensbedingungen für tierische Schädlinge. Insbesondere Mäuse, Schnecken und der Maiszünsler werden begünstigt. Bei Fraßschäden durch Mäuse kann die Förderung der natürlichen Fressfeinde (z. B. Greifvögel) oder das gezielte Auslegen von Giftködern helfen. Während des Auflaufens der Kulturen stellen Schnecken ein größeres Problem dar. Durch gezielte Beseitigung der Hohlräume, durch Rückverfestigung des Saatbetts oder durch Entzug der Nahrungsquellen, durch Abtöten von Ausfallgetreide oder Unkräutern im Herbst kann die Schneckenproblematik gut unterdrückt werden. Im Mais fressen sich die Larven des Maiszünslers im Maisstängel nach unten und schädigen die Maispflanze. Sie überwintern in den auf der Fläche zurückgebliebenen Stoppeln und verpuppen sich im folgenden Frühjahr. Um ihnen diese Überwinterungsmöglichkeit zu nehmen, sollten die Stoppelreste im Herbst gehäckselt werden. Dies kann separat vor der Aussaat erfolgen oder in Kombination mit der Aussaat in einem Arbeitsgang. Diese Maßnahme wird bereits in einigen Trinkwasserschutzkooperationen in den FV zur reduzierten Bodenbearbeitung integriert (KTBL 1998).
- **Pflanzenkrankheiten:** Hier ist vor allem die Fusariumproblematik zu nennen (s. Tab. 34). Die Infektion geht von den Pflanzenresten der Vorfrucht aus, wobei Maisstroh die Infektion am stärksten fördert. Hier bilden sich insbesondere bei feuchtwarmer Witterung die Sporen, die die Ähren des Getreides infizieren können. Besonders Winterweizen ist hierfür anfällig. Eine wirksame Reduktion des Fusariuminfektionsrisikos kann durch den Verzicht des Anbaus von Winterweizen nach Körner- oder Silomais erzielt werden. Generell sollte der Maisanteil in der Fruchtfolge möglichst gering gehalten werden und die Maisstoppel sowie das Stroh gehäckselt werden, um den Rotteprozess zu beschleunigen. Nach dem Mais sollte möglichst Sommergetreide oder eine Blattfrucht angebaut werden. Beim Anbau von Wintergetreide sollten weniger fusariumanfällige Sorten gewählt werden (KTBL 1998).

Tab. 34: Einfluss der Vorfrucht auf das Fusariumbefallsrisiko

stark befallsfördernd	mittel befallsfördernd	wenig befallsfördernd
Körnermais	Feldgras	Zuckerrüben
Silomais	Winterweizen	übriges Getreide
	Triticale	Kartoffeln
		Raps

Folgekosten für den Pflanzenschutz

Aufgrund des erhöhten Anpassungsbedarfs beim Pflanzenschutz durch die reduzierte Bearbeitungsintensität wird oft von erhöhten Kosten ausgegangen. Laut SCHMIDT & NITZSCHE (2001) ist beim Fungizidaufwand kein erhöhter Aufwand zu erwarten, wenn Einflussfaktoren wie Fruchtfolge und Sortenwahl ausreichend beachtet werden. Bei den Herbizidanwendungen ist dagegen gem. Berechnungsgrundlagen der LWK NIEDERSACHSEN (2014a) mit einem Mehraufwand von ca. 35 €/ha zu rechnen, der vor allem durch den verstärkten Einsatz von Gräserherbiziden und/oder Totalherbiziden zu begründen ist. Wird eine Bekämpfung von Mäusen und Schnecken nötig, kann sich ein Mehraufwand von zusätzlich zehn bis 20 €/ha ergeben. Für alle Faktoren gilt, dass die Kosten durch Beachtung der acker- und pflanzenbaulichen Wechselwirkungen deutlich reduziert werden können.

Erfolgskontrolle

Die Herbst- N_{\min} -Methode kann zur Erfolgskontrolle herangezogen werden. Effekte der Bearbeitungsintensität sind möglicherweise erst bei mehrjähriger Anwendung zu erkennen (KESSENS 2001, SCHRADER 2004, FIER et al. 2011). Eine Kontrolle der Maßnahmenumsetzung ist durch die direkte Überprüfung auf dem Feld, durch Einsicht der Betriebsaufzeichnungen oder durch Belege des Lohnunternehmers möglich. Die Maßnahmeneffekte der reduzierten Bodenbearbeitung nach Mais werden im folgenden Kapitel 2.4.2.1 und für die reduzierte Bodenbearbeitung nach Raps im Kapitel 2.4.2.2 dargestellt.

2.4.2.1 Reduzierte Bodenbearbeitung nach Mais

Kurzcharakteristik

Aus Sicht des Gewässerschutzes kann die Reduzierung oder der Verzicht auf die Bodenbearbeitung nach der Maisernte zur Aussaat des folgenden Wintergetreides positiv wirken. Durch die reduzierte Bodenbearbeitung nach der Ernte der Hauptfrucht wird die unerwünschte N-Mineralisation vermindert und die Nitratauswaschung im Herbst reduziert.

Anwendungsbereich und Durchführung

Im Rahmen der WZB wird eine Reduzierung der Bodenbearbeitung nach Mais derzeit in verschiedenen FV angeboten. Dabei geht es vorwiegend um eine flächenbezogene Reduzierung oder Unterlassung beispielsweise nach der Maisernte. Eine Systemumstellung der Bodenbearbeitung erfolgt meist nicht.

Folgende FV werden zur „Reduzierten Bodenbearbeitung nach Mais“ angeboten:

1. Mulchsaat zu Wintergetreide nach Mais
2. Direktsaat von Wintergetreide nach Mais

Beide Mulchsaatverfahren sind ausführlich im Kapitel 2.4.2 im Abschnitt „Durchführung“ beschrieben. Ein Schlegeln der Maisstoppeln sollte aus feldhygienischen Gründen im Rahmen der Maßnahmenumsetzung eingeplant werden.

Die Aussaat kann mit speziellen Direktsaatmaschinen (s. Abb. 66) oder auch mit universellen Sämaschinen (s. Abb. 67) erfolgen. Mit diesen ist eine Aussaat sowohl als Direktsaat als auch Mulchsaat möglich.



Abb. 66: Direktsaat von Winterroggen in die stehenden Maisstoppeln mit Direktsaatmaschine; TGG Haselünne-Stadtwald, Emsland (Kurlmann, LWK Niedersachsen)



Abb. 67: Direktsaat von Winterroggen mit universeller Sämaschine; TGG Geeste-Varloh, Emsland (Schrader, LWK Niedersachsen)

Bodenruhe nach der Maisernte bis zum Frühjahr ohne Aussaat im Herbst

Folgt nach dem Mais erneut eine Sommerung, so kann durch einen „Verzicht auf Bodenbearbeitung“ bis zum Frühjahr des Folgejahrs ein Mineralisationsschub im Herbst zur Sickerwasserspense verhindert werden. Das Schlegeln der Maisstoppeln im Herbst sollte auch hier aus feldhygienischen Gründen durchgeführt werden. Mit der Umstellung auf reduzierte Bodenbearbeitung ist unabhängig von der Kultur (Mais oder Raps) je nach Verfahrensweise auch eine Anpassung beim Pflanzenschutz erforderlich. Die Auswirkungen auf Unkräuter, Pflanzenkrankheiten und Schädlinge sind bei einer längerfristigen Umstellung höher. Die Auswirkungen sind im Kapitel 2.4.2 beschrieben. Im sogenannten Blaubuch sind entsprechende Berechnungen für Ausgleichszahlungen aufgeführt (LWK NIEDERSACHSEN 2013a).

Erfolgskontrolle

Die Herbst- N_{\min} -Methode kann zur Erfolgskontrolle der Maßnahmenwirkung herangezogen werden. Effekte zur Bearbeitungsintensität sind meist erst bei mehrjähriger Anwendung zu erkennen (SCHRADER 2004; KESSENS 2001; FIER et al. 2011). Der Herbst- N_{\min} -Wert wird gegenüber der wendenden Bodenbearbeitung um zehn bis 20 kg N/ha (OSTERBURG & RUNGE 2007) verringert. Mehrjährige Herbst- N_{\min} -Untersuchungen der WZB der LWK Niedersachsen aus der Trinkwasserschutzkooperation Meppen für die Jahre 2007–2012 sind in Abbildung 68 dargestellt. Im Schnitt dieser Untersuchungsjahre fielen die N_{\min} -Ergebnisse auf den Maisflächen mit anschließender Direktsaat von Wintergetreide um 22 kg N/ha niedriger aus.

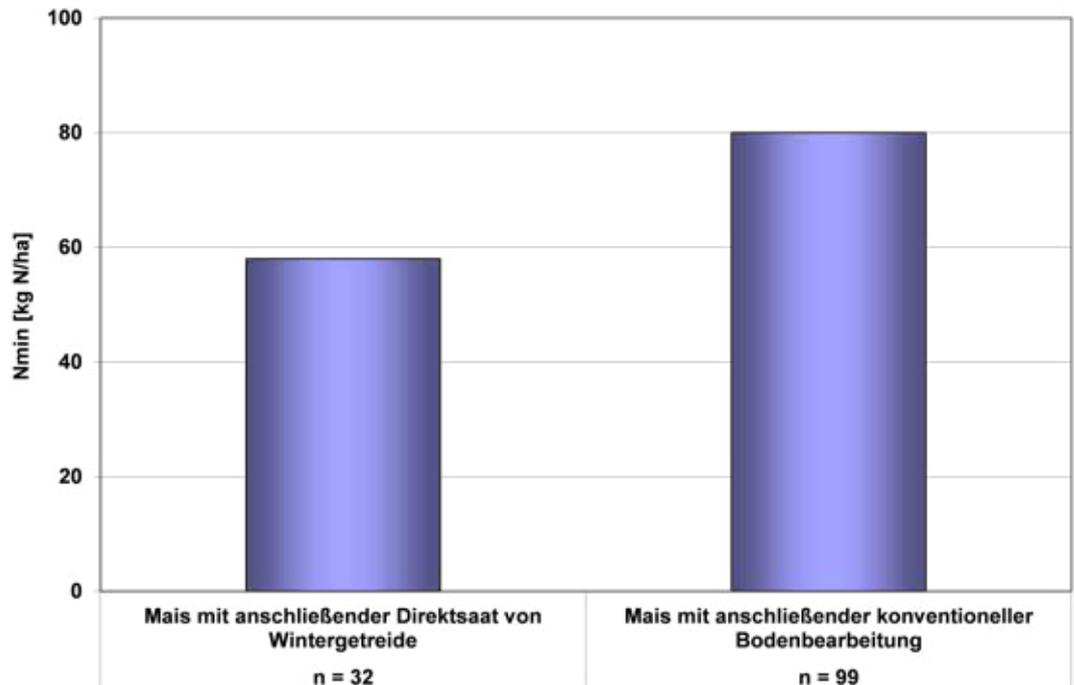


Abb. 68:
Mittlere N_{min}-Ergebnisse der Jahre 2007–2012 bei unterschiedlicher Bearbeitungsintensität (LWK NIEDERSACHSEN 2012c)

2.4.2.2 Reduzierte Bodenbearbeitung nach Raps

Kurzcharakteristik

In den Rapsanbaugebieten folgt auf die Blattfrucht meist Winterweizen, da Raps als Vorfrucht eine gute Bodengare und zugleich hohe Restnährstoffwerte im Boden hinterlässt. Ein nachgebauter Winterweizen kann bis zum Beginn der Vegetationsruhe aber nur rund 15 kg N/ha aufzunehmen. Die restlichen N-Mengen werden je nach Bodentyp und Witterungsverlauf während der Wintermonate in Form von Nitrat in tiefere Schichten verlagert bzw. ausgewaschen.

Einem N-Bedarf von etwa 200 bis 230 kg N/ha steht bei einer Rapserte von 40 dt/ha ein Entzug von nur rund 130 kg N/ha gegenüber. Damit verbleibt ein N-Überhang von bis zu 100 kg N/ha in Form von leicht mineralisierbaren Pflanzen- und Ernterückständen auf dem Feld (s. Abb. 69). Die Mineralisation im Herbst wird durch eine Belüftung des Bodens infolge einer Stoppelbearbeitung in Gang gesetzt. Wird die Bodenbearbeitung im Herbst später durchgeführt, reduziert oder unterlassen, wird weniger Stickstoff im Boden mineralisiert. Im Idealfall sollte aus Sicht des Grundwasserschutzes keine Bodenbearbeitung nach der Rapserte erfolgen und statt Winterweizen (Standard) eine Sommerkultur angebaut werden. Dabei fungiert der Ausfallraps als Zwischenfrucht über Winter. Ergebnisse dazu lieferte das mehrjährige sogenannte INTEX-Projekt der Universität Göttingen (STEINMANN &

GEROWITT 2000). Auch Feldversuche in den TGG wie z. B. von mehreren Standorten in Südniedersachsen bestätigen die positive Wirkung einer Bodenruhe auf die N-Dynamik der N_{min}-Werte (s. Abb. 70).

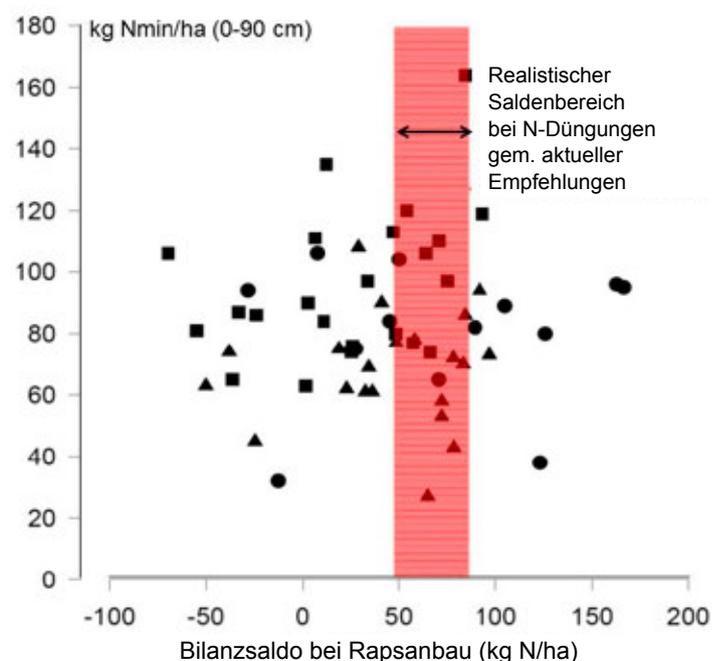


Abb. 69: N-Flächenbilanzsaldo und Herbst-N_{min}-Werte nach Winterraps. Ergebnisse des INTEX-Projektes der Universität Göttingen (verändert nach STEINMANN & GEROWITT 2000). Die drei unterschiedlichen Formen bilden die Versuchsergebnisse von drei Standorten in Süd- und Ostniedersachsen ab.

Besonders auf flachgründigen Standorten des südhan-noverschen Hügellands und den leichten Sandböden der Geest ist der Anbau von Raps in TGG aufgrund tendenziell höherer Rest-N_{min}-Werte nach der Ernte kritisch zu bewerten. Durch ein gezieltes Nacherntemanagement

nach Raps kann der Reststickstoff für die Nachfrucht konserviert und mögliche Nitratauswaschungen minimiert werden (LICKFETT et al. 1994; MÖLLERS 2000). Von besonderer Bedeutung ist dabei die Bodenruhe nach Raps (s. Abb. 70).

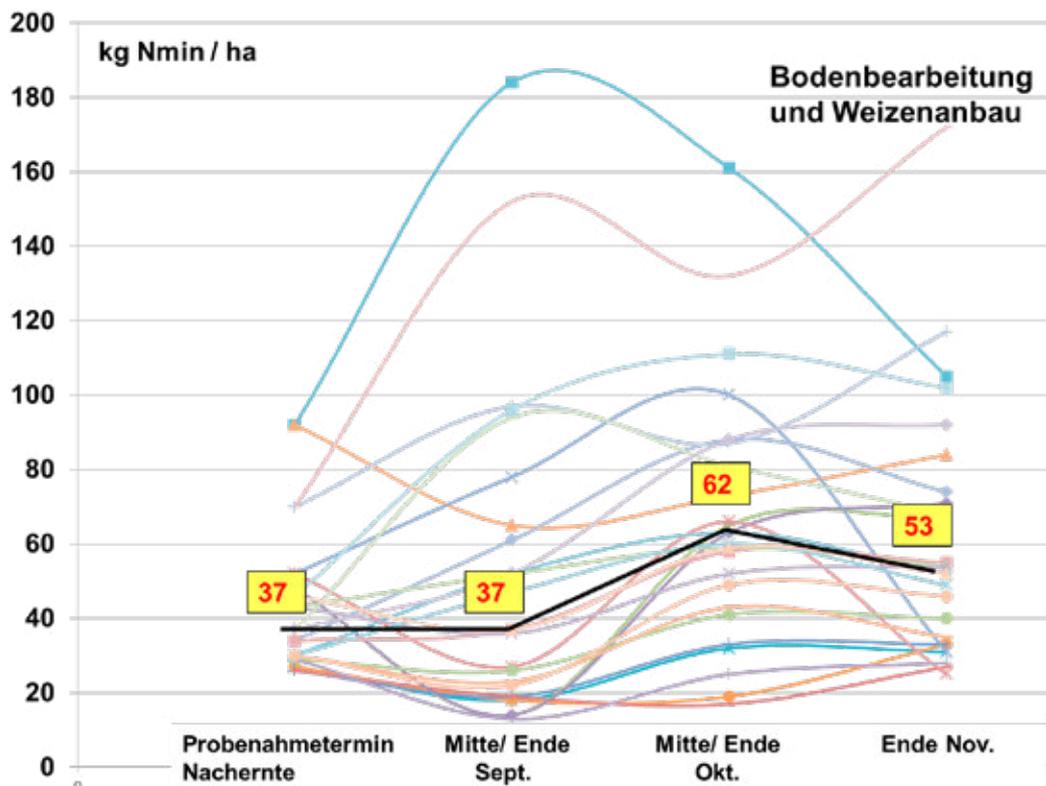
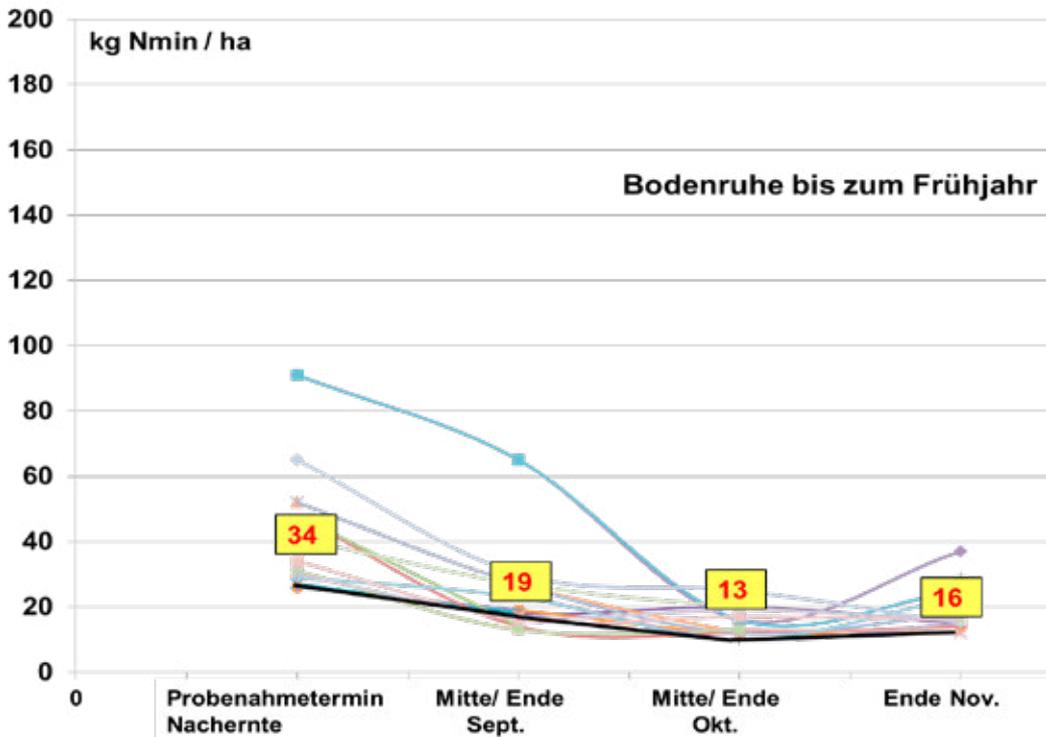


Abb. 70: Wirkung einer Bodenbearbeitung nach der Rapsernte (19 Flächen, oben) im Vergleich zur Bodenruhe bis zum Frühjahr (26 Flächen, unten) auf die Dynamik der N_{min}-Vorräte im Boden. Ergebnisse von Versuchsfeldern der Bezirksstelle Northeim, Jahre 2008-2012. (LWK NIEDERSACHSEN 2013e). Die farbigen Linien zeigen die Einzelwerte von Demonstrationsversuchen, die schwarze fettgedruckte Linie und die Werte den Verlauf des Median-N_{min}-Werts.

Anwendung und Durchführung

In der Praxis gibt es verschiedene Ansätze der reduzierten Bodenbearbeitung nach Raps. Hervorzuheben ist die damit erreichbare, deutliche Reduktion der Herbst- N_{\min} -Werte. Für die landwirtschaftliche Praxis ergeben sich aber auch Nachteile. Die Umsetzung im Rahmen von FV erfolgt derzeit nach folgenden Ansätzen:

Reduzierte, späte Bodenbearbeitung nach der Ernte, z. B. erst ab 01.09. oder 20.09.

Hierbei wird die oberirdische Beseitigung der Rapsstängel, beispielsweise durch Abschlegeln, sowie der Einsatz eines Totalherbizids nach einer bestimmten Zeit des Auflaufens des Ausfallrapses erlaubt. In der Praxis hat sich eine nicht-wendende Bodenbearbeitung (z. B. Grubbern) und die anschließende Mulch- bzw. Direktsaat des Getreides insbesondere bei Weizen etabliert. Früher gedrillte Kulturen, wie z. B. ein Ende September gedrillter Winterroggen, nehmen mit etwa 20 kg N/ha bis zum Beginn der Vegetationsruhe auch nicht deutlich mehr Stickstoff aus dem Boden auf als Winterweizen. Die erste Bodenbearbeitung sollte frühestens ab 01.09., besser erst ab 20.09. erfolgen, denn je später Sauerstoff im Zuge der Bodenbearbeitung in den Boden kommt, desto später beginnt der Mineralisationsprozess.

Durch eine so terminierte, hinausgezögerte Bodenbearbeitung wird der N_{\min} -Wert zur Sickerwasserspende jedoch nur geringfügig reduziert. Diese Maßnahme wird von den Landwirten gut akzeptiert. Nur ein kleiner Teil der Betriebe nutzt die Möglichkeit des Schlegelns der Rapsstoppeln ab einer Woche nach der Ernte. Hierdurch werden Ernterückstände zusätzlich zerkleinert und breit verteilt und die Ausfallrapskörner bodennah angedrückt bzw. unter/in die Spreuschicht gebracht. Die vorhandene Restbodenfeuchte und der Bodenkontakt helfen dem Ausfallraps, oberflächlich zu keimen. Im Gegensatz hierzu werden die Rapskörner bei einer unmittelbaren Bodenbearbeitung (etwa 5 cm tief) vergraben und können kontinuierlich auch noch in den Folgekulturen auflaufen, dies ist unerwünscht.

Das Nacherntemanagement ist zunehmend Bestandteil eines genehmigungspflichtigen Rapsanbaus in neu ausgewiesenen Wasserschutzgebieten (WSG), z.B. im Landkreis Northeim.

Der Landwirt erhält für die Umsetzung der FV „Reduzierte Bodenbearbeitung“ je nach Festlegung des Bearbeitungstermins in der Trinkwasserschutzkooperation aktuell 30 €/ha bzw. 60 €/ha gemäß Berechnungsgrundlagen (Blaubuch, LWK NIEDERSACHSEN 2013a). Hiermit sind die zusätzlichen Kosten für Saatgut, zusätzlichen Stickstoff sowie den PSM-Bedarf abgedeckt, aber auch

ein möglicher Minderertrag. Als Vorteile sind die Einsparungen beim Pflügen und Bestellen berücksichtigt (MU 2007a).

Verzicht auf die herbstliche Bodenbearbeitung bis zum Frühjahr und Anbau einer Sommerkultur

Durch diese Anbau- und Fruchtfolgestrategie wird der Rest- N_{\min} -Wert nach Raps deutlich gesenkt. Die frühestmögliche Bodenbearbeitung erfolgt je nach der folgenden Sommerkultur z. B. bei Sommergetreide und Leguminosen ab 01.02., zu Zuckerrüben ab 01.03..bzw. zum Mais erst ab dem 01.04..

Diese Variante wird seit vielen Jahren in den TGG südlich von Hannover von Landwirten praktiziert, obwohl dieses Verfahren auch mehrere Nachteile hat. Hierzu gehören eine schlechtere Bearbeitbarkeit der schweren, kalten (Ton-)Böden im Frühjahr und ein höheres Ertragsausfallrisiko auf flachgründigen, im Sommer knapper wasserversorgten Standorten. Soll ein Kulturwechsel vom üblicherweise dem Raps folgenden Blattfruchtweizen zu Sommerungen wie Hafer, Sommerweizen oder Mais erfolgen, sozusagen eine Fruchtfolgeumgestaltung, ergeben sich hohe Ertrags- und Vermarktungseinbußen. Verglichen mit dem Referenzsystem Raps – Weizen errechnet sich derzeit je nach Marktlage ein Betrag von bis zu 300 €/ha und mehr. Der Effekt (s. Abb. 71) dieser modifizierten Anbauvariante auf die Rest- N_{\min} -Werte nach Raps berechtigt den höheren Ausgleichsbeitrag.

Unter Weizen nach Raps fanden sich in den Jahren 2001 bis 2005 Herbst- N_{\min} -Werte im jährlichen Mittel von bis zu 90 kg N/ha, die Maxima lagen bei etwa 175 kg N/ha. Eine spätere Bearbeitung nach der Ernte (in den Jahren 2001 bis 2005 ab dem 15.09.) verbesserte den mittleren N_{\min} -Wert im Schnitt um etwa 20 kg N/ha. Bei unterlassener Bodenbearbeitung konserviert Ausfallraps als Zwischenfrucht den Bodenstickstoff nahezu vollständig und trägt zu einer Reduktion des Herbst- N_{\min} -Werts um 65 kg N/ha auf etwa 25 kg N/ha bei.

Probleme bei dieser Maßnahme, wie die Vermehrung von Ackerschnecken oder pilzlicher Erreger der Weißstängeligkeit (*Sclerotinia*), der sich in die Rapsstängel zurückzieht bzw. darin vermehrt, können durch Abschlegeln reduziert werden (TOPAGRAR online 2010). Eine weitere Pilzkrankheit – die Kohlhernie (*Plasmodiophora*) – hat allerdings in den letzten Jahren im Zuge eines gesteigerten Rapsumfangs generell und innerhalb der Fruchtfolge (Raps steht oftmals jedes dritte Jahr auf derselben Fläche) regional stark zugenommen (SONTHEIMER 2013). Der Erreger bildet beim Vorhandensein des Wirts im Boden verbleibende Dauersporen. Je länger der Raps und nachfolgend auflaufender Ausfallraps stehen bleiben

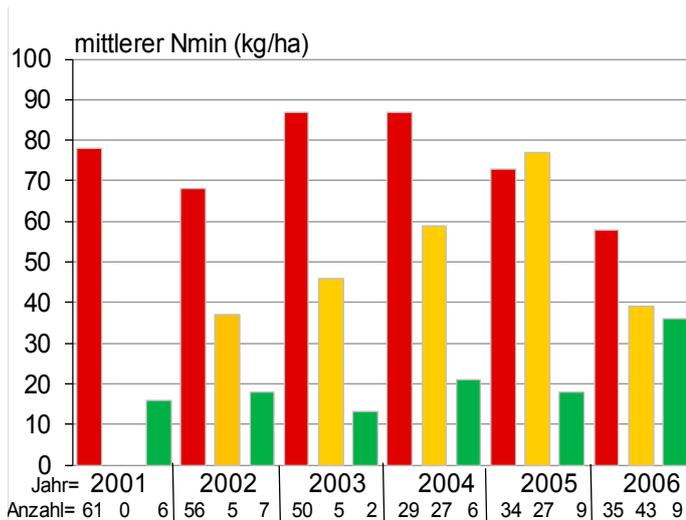


Abb. 71: Mittlere Herbst-N_{min}-Werte nach Raps bei variiertem Nacherntemanagement: Bearbeitung jeweils praxisüblich nach der Rapserte (rot), Bearbeitung ab 15.09. (gelb), Bodenruhe bis zum Frühjahr (grün), Jahre 2001–2006, Südniedersachsen, BST Northeim. (LWK NIEDERSACHSEN 2006)



Abb. 72: Ackerfläche mit Rapsstoppeln und aufgelaufenem Ausfallraps. (Bouws, LWK Niedersachsen)

(s. Abb. 72), umso mehr wird ein derzeit noch nicht chemisch bekämpfbares Erregerpotenzial im Boden gebildet (SCHÄFER, 2008; SONTHEIMER, 2013; DÖLGER 2006).

Deshalb wird eine reduzierte, späte Bodenbearbeitung nach der Rapserte bei den Praktikern in Frage gestellt. Vor diesem Hintergrund gilt es, das „Nacherntemanagement Raps“ weiter zu modifizieren und Ausfallraps als sogenannte „grüne Brücke“ der Krankheitsvermehrung möglichst nicht zuzulassen.

Eine mögliche Alternative zum Referenzsystem „Rapserte – mehrmalige Bodenbearbeitung – nachfolgende pfluglose Winterweizenaussaat“ könnte der unmittelbare Anbau (schnellstmöglich nach der Rapserte)

einer wüchsigen, gut deckenden und den freien Bodenstickstoff weitgehend aufnehmenden Zwischenfrucht bieten. Die LWK Niedersachsen hat im Einzugsgebiet ihrer Betriebsstelle Northeim seit 2008 mehrere Streifenversuche, zunächst mit Phacelia als einer sicher abfrierenden Pflanze, ab 2012 auch mit weiteren Zwischenfruchtvarianten durchgeführt.

Nach der Rapserte frühe Ansaat einer Zwischenfrucht (Nicht-Kruzifere)

Möglichst früh (bis 15.08.) sollte eine Zwischenfrucht (z. B. Phacelia) ausgesät werden, damit sich ein wüchsiger, gut unterdrückender Zwischenfruchtbestand etabliert. Zunächst muss aber eine Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung erfolgen. Die Zwischenfrucht entleert den im Boden vorhandenen frei werdenden Reststickstoff nahezu vollständig. Einige Streifen-Feldversuche zeigten, dass ein Phaceliabestand kontinuierlich Stickstoff aufnimmt. In der Summe werden bis zu 80 kg N/ha akkumuliert (s. Abb. 73). Je sorgfältiger bzw. tiefer die Bodenbearbeitung zu Phacelia erfolgt, desto besser sind das Wachstum und das N-Aufnahmevermögen der Zwischenfrucht. Mit zunehmender Bearbeitungstiefe steigt allerdings auch die Gefahr des Vergrabens dormanter Rapssamen (TOPAGRAR ONLINE 2010).

Insbesondere im Hinblick auf die aktuelle Kohlhernie-Problematik ist es wichtig, dass nicht dauerhaft Altrapspflanzen in dem Zwischenfruchtbestand wachsen. Dies lässt sich jedoch in Phacelia nicht verhindern, da später auflaufender Ausfallraps („2. Welle“) chemisch nicht selektiv

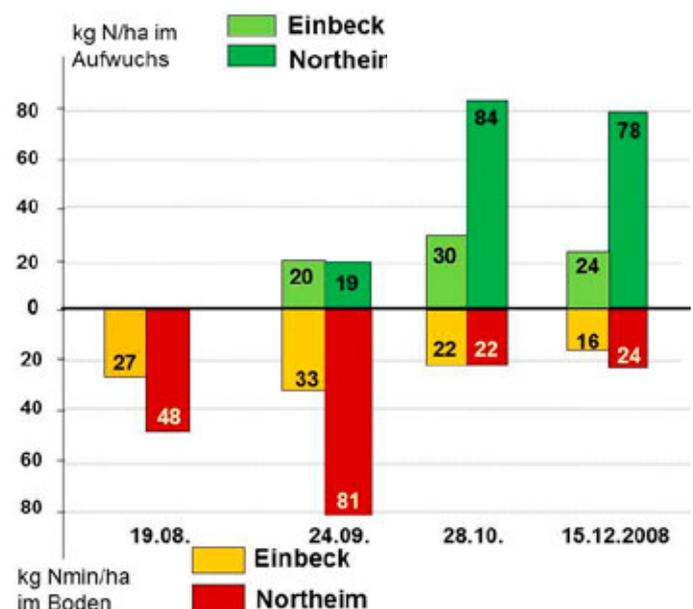


Abb. 73: N-Aufnahme eines Phacelia-Zwischenfruchtbestands und einhergehender N_{min}-Gehalt von Ackerflächen mit Vorfrucht Raps, südniedersächsische Standorte Einbeck bzw. Northeim, 2008 (LWK NIEDERSACHSEN 2013e).

bekämpft werden kann. Andere Zwischenfrüchte, wie Grasmischungen haben den Nachteil, dass sie zu wenig Reststickstoff vor Winter akkumulieren und auch hier eventuell auflaufender Raps chemisch beseitigt werden muss. Eine Bearbeitung mit Pflanzenschutzmitteln (sogenannte M-Mittel) ist möglich und erlaubt.

Erfolgsbewertung

Der Effekt einer reduzierten Bodenbearbeitung nach der Rapsernte auf die Verringerung der Herbst- N_{\min} -Werte ist eindeutig erkennbar. Er ist umso höher, je länger die Bodenruhe andauert, möglichst bis zum Frühjahr mit nachfolgendem Anbau einer Sommerung (s. Abb. 70).

Insbesondere aufgrund der Kohlhernieproblematik wird die beschriebene und zwischenzeitlich gut etablierte Maßnahme mittlerweile sehr kritisch gesehen. Da aber bei konventioneller Bodenbearbeitung das Problem zu hoher Rest- N_{\min} -Werte besteht, ist es sinnvoll, das Nacherntemanagement nach Raps insbesondere in den TGG weiter zu entwickeln. Auch der nach der Rapsernte folgende Zwischenfruchtanbau bietet mit Fokus auf die phytosanitären Probleme keine optimale Lösung, da in Feldversuchen auch eine gut deckende Zwischenfrucht wie z. B. die Phacelia nicht in allen Jahren und generell nicht sicher genug den Ausfallraps unterdrücken konnte. Andere Zwischenfrüchte wie Buchweizen oder Begrünmischungen erreichten meist keine gute Bodenbedeckung.

Abschließend können mit jetzigem Wissensstand folgende Empfehlungen für die Praxis gegeben werden (PARISOT & EICKERMANN 2012):

1. Bisher keine Kohlhernie auf der Fläche:

- Weitere Rapsfruchtfolge (nur alle vier bis fünf Jahre Raps)
- Boden-pH auf den jeweiligen Zielwert einstellen, ideal mit Kalkstickstoff vor/ zur Rapssaat (die sogenannte „Cyanid-Phase“ hemmt die Keimung der Dauersporen des Erregers, ohnehin deutlich verringerte Neuinfektionen bei einem pH-Wert > 7,0).
- Bodenverdichtungen und Staunässe möglichst beseitigen oder vermeiden.
- Vom Einsatz organischer Dünger im Raps wird abgeraten.
- Nach der Rapsernte zunächst Schlegeln u. Bodenruhe
- Je nach Witterungsverlauf, der Erreger braucht zwingend feuchtwarme Bodenbedingungen, nach 14 bis

20 Tagen den aufgelaufenen Ausfallraps beseitigen. Dies ist nur mit einem Totalherbizid möglich, damit die gesamte Pflanze einschließlich der Wurzel abgetötet wird und nicht mehr Wirtspflanze ist. Bei einer maschinellen Bodenbearbeitung hingegen bleiben ca. 20 % der Pflanzen (Wurzeln) vital.

- Feldhygiene: konsequente Beseitigung von Ausfall- und Wildrapspflanzen und andere Kreuzifere (kein Senf in der Fruchtfolge) aber auch Wirtsunkräuter (wie Hirtentäschel)
- Saatbettbereitung (Mulch/ Direktsaat von Winterweizen).

Viele der aufgeführten Maßnahmen sollten generell beim integrierten Rapsanbau beachtet werden.

2. Es besteht ein Kohlhernieproblem auf der Fläche:

- Rapsfruchtfolge auf mindestens sieben Jahre strecken
- Wenn Raps auf der Fläche angebaut werden soll, dann resistente Sorte (Mendel, Mendelson, SY Alister, Andromeda) wählen und erneut Anbaupausen einhalten.
- Vorsicht vor Verschleppung (Lohnunternehmer) von befallenen Flächen, auch in den Folgejahren (PARISOT & EICKERMANN 2012, SONTHEIMER 2013).

Das Nacherntemanagement nach Raps muss weiterentwickelt werden. Nicht nur mit Fokus auf den Grundwasserschutz sollten zukünftig die Fruchtfolgen vielseitiger gestaltet, die Bearbeitungsintensitäten reduziert und der Zwischenfruchtanbau erweitert werden.

2.4.3 Maßnahmen zur Stickstoffdüngung

N-Einträge in Gewässer resultieren aus N-Überschüssen, die entstehen, wenn Ertragserwartungen nicht realisiert werden bzw. die N-Düngung den tatsächlichen Erträgen nicht angepasst wird. Belastungen resultieren aber auch aus der nicht ausreichenden Erfassung und Anrechnung erhöhter Boden-N-Vorräte sowie durch unpassende zeitliche und mengenmäßige Düngungsmaßnahmen.

Auf vielen Standorten ist Wasser bzw. die Niederschlagsverteilung während der Vegetationsperiode der entscheidende Wachstumsfaktor. In Jahren mit geringen Niederschlägen führt dies, insbesondere auf Standorten mit geringem Wasserspeichervermögen, zu niedrigen

Erträgen und somit zu hohen N-Überschüssen. Auf Standorten mit geringem Wasserspeichervermögen kann es darüber hinaus bei sehr hohen Niederschlägen bereits im Frühjahr zu N-Austrägen (Nitrat) mit anfallendem Sickerwasser kommen. Betroffen hiervon sind insbesondere Früchte mit langsamer Jugendentwicklung und spät einsetzendem Wasserverbrauch (z. B. Mais).

2.4.3.1 Stabilisierte Stickstoffdünger

Stickstoffdünger mit Nitrifikationshemmstoffen

Kurzcharakteristik

Im Gegensatz zu Nitrat unterliegt Ammonium im Boden nicht der unmittelbaren Verlagerung bzw. Auswaschung mit dem Sickerwasser. Bei stabilisierten N-Düngern sorgen sogenannte Nitrifikationshemmer für eine zeitliche Verzögerung der mikrobiellen Umwandlung von Ammoniumstickstoff in Nitrat-Stickstoff für eine Dauer von vier bis zehn Wochen. Mögliche N-Verluste durch Nitratverlagerungen können dadurch verringert werden.

Anwendungsbereich

Der Einsatz stabilisierter N-Dünger wird von den Herstellern für alle landwirtschaftlichen Kulturen empfohlen (ENTEC®, Alzon®). Ihre Anwendung ist in Sommerungen (Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben und Sommergetreide) am weitesten verbreitet. Auch im Gemüseanbau, insbesondere in Verbindung mit Beregnung, werden bzw. sollten stabilisierte N-Dünger eingesetzt werden (Novatec®). Auf Böden mit geringem Wasserspeichervermögen lassen sich in der Regel größere Effekte als auf Böden mit hohem Wasserspeichervermögen erzielen.

Durchführung

Die Ausbringung stabilisierter N-Dünger erfolgt mit der auf dem Betrieb vorhandenen Technik. Je nach Standort-

Durch FV zur N-Düngung sollen Nitratausträge im Frühjahr durch den Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen verhindert werden. Ein generell verringertes N-Düngungsniveau soll eine Verringerung der auswaschungsgefährdeten N-Überschüsse bewirken.

verhältnissen und angebauten Kulturen können ein bis zwei Arbeitsgänge gegenüber der sonst betriebsüblichen Vorgehensweise eingespart werden. Beim Anbau von Hackfrüchten und Raps ist in der Regel nur eine Gabe notwendig. Optimal ist die Einarbeitung nach der Ausbringung.

Erfolgsbewertung

Bereits 1981 konnte anhand von Untersuchungen des ehemaligen Bodentechnologischen Instituts in Bremen nachgewiesen werden, dass sich Nitratausträge beim Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen deutlich reduzieren lassen (KUNTZE & SCHEFFER 1981). Ergebnisse aus den Versuchen, die im Rahmen der WZB angelegt und ausgewertet wurden, zeigen aber uneinheitliche Effekte (s. Tab. 35).

Exkurs

Nitrifikationshemmstoffe (Piadin®) können flüssigen Wirtschaftsdüngern (Gülle, Gärreste) beigemischt oder aber vor deren Ausbringung direkt ausgebracht werden (Ausbringung mit der Feldspritze). Die Wirkungsweise unterscheidet sich prinzipiell nicht von der Wirkungsweise bei stabilisierten Mineraldüngern. Durch die verzögerte Nitrifikation des Ammoniumstickstoffs der flüssigen Wirtschaftsdünger werden mögliche Nitrat auswaschungen vermieden; die Ausnutzung des Stickstoffs der organischen Nährstoffträger wird verbessert.

Tab. 35: N-Düngung, Ertrag, N-Saldo und Herbst-N_{min}-Werte von Silomais beim Einsatz von N-Stabilisatoren (Piadin®) im Vergleich zu einer konventionellen N-Düngung. (REIMER 2010)

Einsatz Stickstoffstabilisator	Stickstoffdüngung (kg N/ha)	Ertrag (dt TM/ha)	Stickstoffsaldo (kg N/ha)	Herbst-N _{min} -Wert (kg N/ha)
Ohne Piadin	171	133	34	47
Mit Piadin	171	150	17	17
Differenz		17	17	30

CULTAN-Verfahren

Kurzcharakteristik

CULTAN ist die Abkürzung von „Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition“. Eine „mögliche“ Übersetzung könnte heißen: Kontrollierte Aufnahme von Stickstoff über einen längeren Zeitraum durch Ammonium basierte Düngung. Beim CULTAN-Verfahren erfolgt die N-Ernährung der Pflanzen nicht wie üblich über Nitrat, sondern über Ammonium. Dabei werden Ammoniumdünger im Boden platziert (Ammoniumdepot) und die Pflanze muss den Stickstoff durch Ausbildung des Wurzelwerks erschließen. Die Nitrifikation wird durch die hohe Ammoniumkonzentration im Depot verhindert bzw. verzögert. Der Effekt ist somit ähnlich wie bei den stabilisierten N-Düngern.

Anwendungsbereich

Entwickelt wurde das CULTAN-Verfahren maßgeblich am Agrikulturchemischen Institut der Universität Bonn. Der ursprüngliche Anwendungsbereich ist im Gemüsebau zu sehen, da hier Reihen- bzw. Unterfußdüngungen weiter verbreitet sind als im herkömmlichen Ackerbau. Prinzipiell ist der Einsatz des Verfahrens aber in allen Ackerbaukulturen möglich und wird insbesondere auf auswaschungsgefährdeten „leichten“ Böden empfohlen. Auf Grünland sind die Empfehlungen uneinheitlich.

Durchführung

Die Ausbringung des Ammoniumdepots erfordert eine spezielle Technik. Am weitesten verbreitet ist die direkte Injektion in den Boden über Sternräder. Gegenüber der herkömmlichen Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln ist die Schlagkraft deutlich herabgesetzt (geringere Arbeitsbreite, geringere Fahrgeschwindigkeit). N-Dünger wie z. B. Ammoniakgas, Ammoniakwasser und ammoniumhaltige N-Dünger in flüssiger Form kommen zum Einsatz (Ammoniumsulfatlösungen). Auch Harnstofflösungen werden verwendet.

Die technische Realisierung funktioniert auf sandigen Böden besser als auf bindigen Böden. Je höher der Tonanteil der Böden desto eher verhindert der Eindringwiderstand die erfolgreiche Injektion der Dünger in den Boden.

Erfolgsbewertung

Die CULTAN-Düngung hat sich in Niedersachsen noch nicht flächendeckend etabliert. Die Anwendung hängt häufig vom Vorhandensein der Applikationstechnik ab. Im Großraum Uelzen gibt es erfolgreiche Anwendungen in Wintergetreide und Zuckerrüben. Vereinzelt erfolgt der Einsatz im Gemüseanbau. Auf leichten Standorten kommt es zu einer Ertragsstabilisierung gegenüber der herkömmlichen Düngepraxis. Ergebnisse aus Versuchsprojekten belegen vereinzelt eine Reduzierung der N-Austräge.

Erfolgsbewertung

Sowohl der Einsatz stabilisierter N-Dünger als auch das CULTAN-Verfahren bewirken eine Hemmung der Nitrifikation. Auswaschungsverluste können hiermit verringert werden, insbesondere auf leichten Böden während der Vegetation. Unmittelbare Auswirkungen auf andere Erfolgsparameter wie z. B. N-Bilanzen oder Herbst- N_{\min} -Werte sind vereinzelt zu beobachten.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Es werden ähnliche N-Mengen benötigt wie beim Einsatz herkömmlicher N-Dünger; Erfahrungen mit dem CULTAN-Verfahren belegen Düngeeinsparungen bis zu 20 %.
Saldominderung	- Der Einsatz von stabilisierten N-Düngern hat selten Einfluss auf den Ertrag und auf die Qualitätsparameter. Der Einsatz des CULTAN-Verfahrens führt auf leichten Standorten zu einer Verringerung der Ertragschwankungen.
Herbst- N_{\min} -Minderung	- Zum Zeitpunkt der Herbst- N_{\min} -Probenahme zeigen die Nitrifikationshemmstoffe keine N_{\min} senkende Wirkung mehr.
Sickerwasserentlastung	- Eine Sickerwasserverbesserung tritt nur in den Fällen auf, wo bei anfallendem Sickerwasser im Frühjahr eine Verringerung der Nitratausträge erreicht wird.
weitere Effekte	- Einsparung von Arbeitsgängen; beim Einsatz des CULTAN-Verfahrens entstehen höhere Kosten durch die spezielle Applikationstechnik.

2.4.3.2 Reduzierte Stickstoffdüngung

Kurzcharakteristik

Neben der Optimierung ist die Reduzierung der N-Düngung im Ackerbau zentraler Bestandteil der WZB in Niedersachsen. Die Maßnahme wird auf sensiblen Flächen in TGG umgesetzt und führt in erster Linie zu einer deutlichen Verringerung der Bilanzüberschüsse, vor allem in Wintergetreide und Winterraps. In einigen Kulturen ist auch ein deutlicher Effekt auf den Herbst-N_{min}-Wert zu beobachten (z. B. Mais). Klassische Zielflächen sind ertragsunsichere Standorte mit hoher bzw. sehr hoher Nitratauswaschungsgefährdung (Festgesteinsgebiete). Zudem findet die Maßnahme generell auf prioritären Flächen Anwendung, wenn Extensivierungsareale ausgewiesen oder hydrogeologische Standorteigenschaften, z. B. kurze Verweilzeiten in der ungesättigten bzw. gesättigten Zone, berücksichtigt werden.

Anwendungsbereich

Zur Anwendung kommt die Maßnahme in erster Linie in Winterweizen, Wintergerste, Wintertriticale, Winterraps und Mais. Winterroggen, Sommergetreide (mit Ausnahme von Sommerweizen) und Zuckerrüben weisen in der Regel aus Sicht des Gewässerschutzes unproblematische N-Überschüsse und niedrige Herbst-N_{min}-Werte auf, so dass in diesen Kulturen kein unmittelbarer Handlungsbedarf besteht.

Durchführung

Die Bewirtschaftungsbedingungen sehen eine reduzierte N-Düngung auf den oben beschriebenen Standorten vor. Grundlage für die Bemessung der Höhe des suboptimalen Düngungsniveaus sind die von der LWK

Niedersachsen und die im Rahmen der WZB durchgeführten Versuche und deren standörtliche grundwasser-schutzorientierte Bewertung (s. Kap. 2.3.7). Es hat sich als zielführend herausgestellt, N-Düngung nicht drastisch zu reduzieren, sondern die Maßnahme soll dazu beitragen, hohe Überschüsse zu kappen und auf ein Maß zu reduzieren, das mit den Zielen des Grundwasserschutzes vereinbar ist. Bei einer zu starken Reduzierung der N-Düngung sinken die Erträge und teilweise die Qualitäten so weit, dass ein Effekt auf den N-Saldo nicht mehr zu erzielen ist.

In der Regel wird nur die gemäß Düngebedarfsermittlung zu düngende Menge reduziert; die Verteilung der Düngemengen auf die Düngezeitpunkte wird dagegen selten beschränkt. Eine Andüngung von Wintergetreide ist im Ansaatjahr verboten; hohe und späte Qualitätsgaben, insbesondere zu Winterweizen, sind ebenfalls ausgeschlossen. Die Maßnahme sollte flächentreu über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden. Im Rahmen von mehrjährigen FFV erfolgt eine reduzierte N-Düngung über die gesamte Fruchtfolge.

Erfolgsbewertung

Die Reduzierung der N-Düngung führt in den meisten Kulturen zu Ertragsdepressionen. Im Getreide ist sie darüber hinaus häufig mit Qualitätsverlusten (geringe Rohproteingehalte) verbunden. Trotz der verringerten N-Abfuhr auf reduziert gedüngten Flächen lässt sich in fast allen Kulturen eine zum Teil deutliche Verringerung der N-Überschüsse beobachten. Wird die Maßnahme über Jahre durchgeführt (z. B. als Bestandteil von Fruchtfolgevereinbarungen), sind sowohl niedrigere Herbst-N_{min}-Werte als auch verringerte Nitratkonzentrationen in der ungesättigten Zone zu beobachten (s. Tab. 36).

Tab. 36: Einfluss einer reduzierten N-Düngung im Rahmen von Fruchtfolgevereinbarungen (FFV) auf die Höhe der N-Düngung, des N-Saldos, des Herbst N_{min}-Werts und der Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone in der Kooperation IG Weser in den Jahren 1990 bis 2008. (TAPPE 2009)

Maßnahme	Stickstoffdüngung (kg N/ha)	Stickstoffsaldo (kg N/ha)	Herbst-N _{min} -Wert (kg N/ha)	Nitratkonzentration (mg NO ₃ /l)
Ohne FFV	200	28	79	74
Mit FFV	134	-3	62	39
Differenz	66	31	17	35

Exkurs

Die Umsetzung von Maßnahmen mit reduzierter N-Düngung wird häufig als schwer überprüfbar kritisiert. Die Kritik ist berechtigt, da in der Regel nicht nachgewiesen werden kann, wie viel Stickstoff tatsächlich gedüngt wurde. Im Wintergetreide und im Mais führt die Maßnahme zu einer Verringerung der Rohprotein-gehalte. Eine Möglichkeit, die Einhaltung der Bewirt-

schaftungsbedingungen zu überprüfen, besteht daher in einem Vergleich von Rohproteingehalten reduziert gegenüber praxisüblich gedüngten Flächen sowie in der Überprüfung von Schlagkarteien. In Zukunft kann der Nachweis der tatsächlich durchgeführten Düngung besser überprüft werden, wenn z. B. Düngeapplikationskarten auf den Betrieben vorliegen.

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Die Vorgaben der Bewirtschaftungsbedingungen schreiben eine Düngungsminde- rung vor (-20 bis -50 kg N/ha).
Saldominderung	- Eine Saldominderung ist insbesondere bei Winterraps und Wintergetreide nach- weisbar (-20 bis -50 kg N/ha).
Herbst-N _{min} -Minderung	- Auf flachgründigen Verwitterungsböden meist nicht nachweisbar; zum Teil deutliche Effekte bei Mais bzw. auf Standorten mit mehrjährigem Vertragsabschluss (-10 bis -25 kg N/ha).
Sickerwasserentlastung	- Eine Sickerwasserentlastung lässt sich anhand von Nitrat-Tiefenprofilen so- wohl auf schweren als auch auf leichten Böden nachweisen (-15 mg NO ₃ /l bis -50 mg NO ₃ /l).
Weitere Effekte	- Einsparung von Arbeitsgängen; positive Effekte auf die Qualitätsparameter bei Winterraps und Zuckerrüben.

2.4.4 Maßnahmen zur Wirtschaftsdüngung

Aufgrund der verzögerten Nährstoffverfügbarkeit organischer Dünger sowie der daraus resultierenden schlechteren Kalkulierbarkeit von Düngewirkung und Nährstoffnachlieferung aus dem Boden ist die Verbesserung des Umgangs mit organischen Düngern eine zentrale Aufgabe der WZB.

Rechtliche Vorgaben zur ordnungsgemäßen Verwertung von organischen Düngern basieren auf der EU-Nitratrichtlinie (EG 1991) sowie dem Düngegesetz (BMELV 2009a). Das Düngegesetz stellt die Grundlage der Düngung mit organischen Düngern unter Einhaltung folgender Ziele dar:

- die Ernährung der Nutzpflanzen ist sicherzustellen,
- die Fruchtbarkeit des Bodens, insbesondere des standort- und nutzungstypischen Humusgehalts, ist zu erhalten oder zu verbessern,
- Gefahren für Mensch, Tier und Naturhaushalt, die durch das Herstellen, Inverkehrbringen oder die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln sowie Kultursubstraten oder durch andere Maßnahmen des Düngens entstehen, sind vorzubeugen oder abzuwenden.

Neben den oben genannten Regelungen wird die Verwertung von organischen Düngern durch folgende weitere Verordnungen geregelt: Düngeverordnung (DüV - BMELV 2007), Düngemittelverordnung (DüMV - BMELV 2012b), Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG - BMU, BMWi 2012), Bioabfallverordnung (BioAbfV - BMU 2013) und Klärschlammverordnung (AbfKlärV - BMU 1992).

Speziell in WSG sind darüber hinaus die Regelungen der SchuVO (MU 2009) sowie weitere Landesvorgaben einzuhalten. Weiter werden gezielt FV zum optimierten Wirtschaftsdüngermanagement angeboten.

Ein grundwasserschonender Einsatz von Wirtschaftsdüngern basiert prinzipiell auf folgenden Säulen:

- der Ausbringung zu Zeiten hohen Nährstoffbedarfs, dieses setzt ausreichende Lagerraum- und Flächenverfügbarkeit voraus
- einer fachgerechten Anrechnung der Düngewirkung und damit einhergehend Kenntnisse über den konkreten Nährstoffgehalt des Düngers und dessen Düngewirkung

- dem Einsatz emissionsarmer Ausbringungstechnik zur Vermeidung von Verlusten in die Atmosphäre und die Gewässer
- der Erlangung einer hohen N-Effizienz beim Wirtschaftsdüngereinsatz, verbunden mit einer maximalen Ausschöpfung der Einsparpotenziale von Mineraldüngern.

Der Themenblock Maßnahmen zur Wirtschaftsdüngung umfasst sowohl Maßnahmen zur Umsetzung der SchuVO als auch die Umsetzung grundwasserschonender Maßnahmen im Rahmen von FV. Folgende Schwerpunkte werden behandelt:

- Zeitliche Beschränkung zur Wirtschaftsdüngerausbringung
- Gewässerschonende Aufbringung von Wirtschaftsdüngern
- Verzicht auf den Einsatz tierischer Wirtschaftsdünger
- Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen.

Die Kapitel enthalten aufbauend auf den derzeitigen Vorgaben und Regelungen sowie fachlichen Kenntnissen, Hintergrundinformationen, Maßnahmenbeschreibungen und Empfehlungen. Die jeweils aktuellen und vollständigen Rechts- und Verwaltungsvorgaben sind darüber hinaus zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf weiterführende Informationen zur Ausgestaltung und Kostenbewertung FV sowie Einschränkungen laut SchuVo wird auf das Blaubuch der LWK Niedersachsen verwiesen (LWK NIEDERSACHSEN 2014a).

2.4.4.1 Zeitliche Beschränkung der Aufbringung von Wirtschaftsdüngern

Kurzcharakteristik

Der in tierischen und pflanzlichen Wirtschaftsdüngern enthaltene Stickstoff ist zu einem wesentlichen Anteil organisch gebunden. Dadurch findet eine zeitlich schwer zu kalkulierende N-Freisetzung in der Folge von Wirtschaftsdüngeraufbringung statt. Um die unkontrollierte N-Freisetzung zu minimieren, ist es zum Zwecke des Trinkwasserschutzes geboten, die Aufbringung von Wirtschaftsdüngern überwiegend im Frühjahr durchzuführen und Zeiten ohne Begrünung – insbesondere im Herbst – zu vermeiden. Je näher die Ausbringung am Bedarfszeitpunkt der Pflanzen liegt, umso höher ist die Nährstoff-

wirkung der aufgebrauchten organischen Dünger. Die in den organischen Wirtschaftsdüngern enthaltenen Nährstoffe, insbesondere Stickstoff, können somit effizient durch die Kulturen genutzt werden. Dadurch entstehende Potenziale zur Einsparung mineralischer Ergänzungsdüngungen ermöglichen auch kostenseitig Vorteile. Für den Trinkwasserschutz stehen zwei wesentliche Ziele im Vordergrund:

- Verringerung der Nährstoffbilanzüberschüsse durch Senkung der Gesamtdüngungshöhe,
- Verringerung der direkten Nährstoffauswaschung durch Verzicht auf Wirtschaftsdüngeraufbringung zu Zeitpunkten mit geringem Nährstoffbedarf der Pflanzen.

Vorgaben zur zeitlichen Beschränkung von Wirtschaftsdüngern bestehen im Rahmen der Umsetzung der Düngeverordnung. Darüber hinaus beinhaltet die niedersächsische SchuVO weitergehende Regelungen für WSG und im Rahmen von FV können TGG-spezifisch weiterführende Maßnahmen ergriffen werden.

Hinweis: Für organische Dünger pflanzlicher Herkunft gelten unter pflanzenphysiologischen Aspekten und aus Wasserschutzsicht prinzipiell die gleichen Anforderungen. Dieser Sachverhalt wird in der SchuVO schon berücksichtigt und steht im Rahmen der Novellierung der DüV derzeit zur Diskussion.

Rechtliche Grundlagen

Düngeverordnung: Grundsätzlich ist gemäß der DüV (BMELV 2007) eine Aufbringung von flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern auf Ackerland im Zeitraum vom 01.11.–31.01. des Folgejahrs und auf Grünland vom 15.11.–31.01. verboten. Nach der Ernte darf Stickstoff nur bis zur Höhe des aktuellen Pflanzenbedarfs, jedoch insgesamt nicht mehr als 40 kg Ammonium oder 80 kg Gesamtstickstoff je ha ausgebracht werden. Dafür muss ein Nährstoffbedarf nachgewiesen werden. Auf unbestelltem Acker muss eine unverzügliche Einarbeitung erfolgen. Hintergrund ist, dass eine Aufbringung von Wirtschaftsdüngern einschließlich anderer organischer Nährstoffträger, wie z. B. Gärresten und Komposten sowie weiteren Düngemitteln mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff im Zeitraum von Oktober bis Ende Februar mit der Gefahr einer hohen N-Auswaschung in das Grundwasser verbunden ist (s. Kap. 2.3.1.6).

Ergänzender niedersächsischer Erlass: Eine weitere Konkretisierung der geltenden Vorschriften ist über den Erlass des Niedersächsischen ML (ML 2013) zur weiter-

gehenden Beschränkung einer herbstlichen Gülleausbringung erfolgt. Demnach besteht nach der Ernte der letzten Hauptfrucht nach Mais, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben, Feldgemüse, Leguminosen sowie zur Förderung der Strohhütte bis zum Winter kein Düngebedarf. Ein Bedarf kann, je nach Versorgungszustand des Bodens, beim Anbau von Winterungen nach der Hauptfrucht Getreide (nicht nach Mais!) bestehen.

Schutzgebietsverordnung: Die gemäß der DüV definierten Sperrzeiten sind in der Verordnung über Schutzbestimmungen in WSG (MU 2009) erweitert. So ist grundsätzlich die Aufbringung von flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern auf Ackerflächen nach der Ernte und auf Grünland ab dem 01.10. bis Ende Januar des Folgejahrs nicht zulässig. Bei Anbau von Zwischenfrüchten und von Winterraps ist eine organische Wirtschaftsdüngeraufbringung bis zum 15.09. möglich, jedoch nur, wenn Nährstoffbedarf besteht. Bei der Abschätzung des Nährstoffbedarfs sind die Empfehlungen der WZB zu berücksichtigen. Im Frühjahr verlängert sich der Verbotzeitraum um einen Monat bei einer Frühjahrsbestellung.

Anwendungsbereich

Während die Vorgaben der Düngeverordnung flächendeckend und die Vorgaben des ML-Erlasses (siehe oben) niedersachsenweit umzusetzen sind, gelten in den ausgewiesenen WSG die Vorgaben der SchuVO. Im Rahmen von FV können zudem über den gesetzlichen Rahmen hinausgehende Maßnahmen zur zeitlichen Beschränkung des Einsatzes tierischer Wirtschaftsdünger umgesetzt werden.

Durchführung

Mindestanforderungen für die Maßnahmenumsetzung (FV) sind z. B.:

- der Verzicht auf die Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger in gebietsspezifisch zu definierenden Zeiträumen unter Berücksichtigung der Boden- und Klimaverhältnisse,
- das Führen einer Ackerschlagkartei bzw. eines Weidetegebuchs.

Die vollständigen Voraussetzungen für die Förderung (Mindestanforderungen) sind dem Nds. MU-Maßnahmenkatalog in der jeweils aktuellen Fassung zu entnehmen.

In Tabelle 37 sind die gesetzlichen Sperrzeiten gemäß DüV, niedersächsischem ML-Erlass vom 03.07.2013 und SchuVO sowie weitere Zeiten weniger guter N-Ausnutzung dargestellt.

Die derzeitigen Sperrfristen der SchuVO decken im Wesentlichen die Phasen mit fehlendem Nährstoff- bzw. Düngebedarf der Pflanzen ab. Dabei ist entscheidend, dass nach der Hauptfruchternte keine organischen Dünger mehr ausgebracht werden dürfen. Einzige Ausnahme besteht bei nachfolgendem Zwischenfruchtanbau oder Winterraps mit nachgewiesenem N-Bedarf (Düngung bis 14.09. möglich) sowie für Grünland- und Feldgrasbestände (Düngung bis 31.09. möglich).

Zu Winterungen, zu Zwischenfrüchten wie z. B. Grünroggen und zu überwinternden Untersaaten sowie zu Feldgras und auf Grünland können ab 01.02. mit Vegetationsbeginn wieder organische Wirtschaftsdünger aufgebracht werden. Zu Sommerungen auf über Winter unbestellten Böden endet die Sperrfrist erst am 28.02.

Derzeit durch die Sperrfristen nicht abgedeckte Phasen ungenügenden Pflanzenbedarfs können aus Wasserschutzsicht bei Sommerungen wie Mais, Sorghum, Sonnenblumen und Kartoffeln im Frühjahr vor der Einsaat entstehen, da diese meist erst zwischen (je nach

Kultur und Vornutzung) Anfang April bis Anfang Mai zur Aussaat kommen (in Tab. 37 lila gekennzeichnet). Für diese gesetzlich zwar erlaubten, aber pflanzenphysiologisch ungünstigen Zeiträume ist eine Düngung direkt vor der Einsaat in Kombination mit direkter Einarbeitung zu empfehlen.

Auch bei Grünland und Feldgrasnutzung können in Abhängigkeit von Standort, Witterung und dem Jahresverlauf gegebenenfalls im Februar sowie im September Phasen mangelnder Nährstoffaufnahme auftreten, die von der Sperrfrist nicht gedeckt sind. Hier sollte die Düngegabe mengenmäßig und zeitlich vom tatsächlichen Pflanzenbedarf abhängig gemacht werden. Zudem sind die Vorgaben zur Ausbringung (s. Kap. 2.4.4.2) einzuhalten.

In den ausgewiesenen WSG sowie den TGG mit Trinkwasserschutzkooperationen besteht in Abstimmung mit diesen die Möglichkeit des Abschlusses FV, z. B. um die genannten Lücken zu schließen.

Tab. 37: Sperrzeiten für das Ausbringen von Gülle, Jauche, Silosickersäften, Gärresten, Geflügelkot (inkl. Hähnchenmist) und Kompost nach DüV, Niedersächsischem ML-Erlass und SchuVO. Angabe von Zeiten weniger guter N-Ausnutzung. (IGLU)

Nutzung	Jun	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	
DüV Kernsperrfristen*¹ (rot) und Erlass d. ML (hellrot)													
Grünland							15.11. - 31.01.						
alle Kulturen							01.11. - 31.01.						
Nach den Hauptfrüchten Mais, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben, Feldgemüse, Leguminosen			ab Hauptfruchternte bis 30.01.										
Strohrotte													
SchuVO (orange) und Zeiten ohne gesicherten N-Bedarf (lila)													
Zone II													
alle Kulturen	ganzjähriges Ausbringungsverbot, auch für Geflügelmiste												
Zonen III, A u. B													
Grünland							01.10. - 31.01.		*3				
über Winter bestellte Böden:			ab Hauptfruchternte bis 31.01.										
über Winter unbestellte Böden			ab Hauptfruchternte bis 28.02.								*2		
Zwischenfrüchte und W- Raps mit Nährstoffbedarf							15.09. bis 31.01.						

*1: DüV: Festmist ohne Geflügelkot weiterhin ganzjährig ausbringbar

*2 nicht abgedeckte Zeitfenster ohne gesicherten Nährstoffbedarf bei Sommerungen mit Saat ab Ende März/April (Mais, Sorghum, Kartoffeln)

*3: nicht abgedeckte Zeitfenster ohne gesicherten Nährstoffbedarf bei Grünland und Feldgras

Generell unterliegt Stallmist (von Rindern, Schweinen, Pferden, Ziegen, Schafen) nicht den Sperrfristen. Ausnahme stellt die Ausbringung von Geflügelmist (Enten-, Putenmist) in der Zone II dar, dieses ist verboten. Im Stallmist ist Stickstoff organisch gebunden und kann bei niedrigen Temperaturen nicht ausgewaschen werden. Erst bei höheren Temperaturen, mit Beginn der Vegetationszeit, wird der Stickstoff in eine pflanzenverfügbare Form umgewandelt. Daher bieten sich in Gebieten mit vermehrter Festmistausbringung auch Maßnahmen zur Beschränkung der Ausbringungszeiträume für Stallmist an.

Auf erosions- und abschwemmungsgefährdeten Standorten können zum Schutz der Oberflächengewässer weitere zeitliche Beschränkungen der Ausbringung von organischen Flüssigdüngern sinnvoll sein.

Weitere Vorgaben sind bei der Aufbringung von flüssigen, organischen oder organisch-mineralischen Düngemitteln zu beachten (LWK NIEDERSACHSEN 2014a):

- die Gehalte an Gesamtstickstoff, Ammonium N und Phosphat müssen bekannt sein (Analyse),
- die Einarbeitung hat unverzüglich zu erfolgen,
- die ausgebrachte N-Menge darf im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Flächen 170 kg N Gesamtstickstoff pro Jahr nicht überschreiten (nach SchuVO inklusive des pflanzlich-organischen Stickstoffs z. B. von Gärresten).
- Werden nach der Hauptfrucht Zwischenfrüchte angebaut, so ist noch bis 15.09. die Gabe von max. 40 kg Ammonium N oder 80 kg Gesamtstickstoff/ha möglich.
- Die Grenzen der Bilanzüberschüsse nach DüV sind mindestens einzuhalten.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass durch die Ausdehnung der Sperrfristen der Bedarf an Ausbringungsflächen oder aber an Lagerraum zunimmt. Anpassungsstrategien, unter anderem durch Hinzunahme weiterer Ausbringungsflächen, gegebenenfalls auch durch Wirtschaftsdüngerexport oder aber durch Lagerraumerweiterung sind daher zu prüfen.

Hinweis: Die Berechnung von Ausgleichszahlungen für erweiterte Sperrfristen erfolgt in der Regel über die Kalkulation der Kosten für den dadurch zusätzlich erforderlichen Lagerraum. Da die Unterschiede innerhalb und außerhalb von Schutzgebieten durch die neuen Festlegungen aber deutlich geringer geworden sind,

kann künftig in den meisten Schutzgebieten nur noch dann ein Ausgleich gezahlt werden, wenn weitergehende Einschränkungen zu Grunde gelegt werden. Die derzeit noch gültigen Rahmenbedingungen für Ausgleichszahlungen werden unter Berücksichtigung des erweiterten Erlasses daher derzeit angepasst.

Für weitere Hinweise zur Beratung zum Umgang mit Wirtschaftsdüngern siehe auch Kapitel 2.3.1.6.

Erfolgsbewertung

Der grundwasserschonende Effekt verlängerter Sperrfristen ist insbesondere dann hoch, wenn die Ausbringung des organischen Düngers vom Herbst in das Frühjahr verlagert und so in Phasen eines hohen Pflanzenbedarfs gelegt wird. Die Effizienz des eingesetzten organischen Düngers wird gesteigert, eine N-Auswaschung über die Wintermonate vermieden und Mineraldünger eingespart. Ausreichender Lagerraum ist jedoch die Grundvoraussetzung für eine gelungene Maßnahmenumsetzung.

Der Stellenwert verlängerter Sperrzeiten wird durch die Umsetzung verlängerter Sperrfristen in der SchuVO und seit 2013 auch landesweit über einen niedersächsischen Runderlass verdeutlicht. Auch andere Bundesländer, z. B. Schleswig-Holstein über den Weg des Landeswassergesetzes, reagieren derzeit mit einer Ausdehnung der Sperrfristen, da der durch die Vorgaben der DüV bestehende Schutz als nicht ausreichend angesehen wird und zeitliche Lücken bis zu einer Novellierung geschlossen werden sollen.

Wenn über ein über die gesetzlichen Sperrfristen hinausgehendes Ausbringungsverbot im Rahmen FV nachgedacht wird, so kommt dies insbesondere für flachgründige oder durchlässige Gebietskulissen mit hoher Nitrataustragsgefährdung (NAG 4 (hoch austragungsgefährdet) bis 5 (sehr hoch austragungsgefährdet)) in Frage.

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung	
Düngungsminderung	- Einsparung von Mineraldünger kann durch Verlagerung der Ausbringung vom Herbst (niedriger pflanzlicher Bedarf) in das Frühjahr (hoher pflanzlicher Bedarf) erfolgen, somit wird die Düngewirksamkeit erhöht und Mineraldünger kann eingespart werden.	
Saldominderung	- Verlängerung der Sperrfrist auf 01.10. – 15.02., Verzicht auf N zu Strohrotte* ¹	- Verzicht auf Ausbringung nach HF-Ernte außer Zwischenfrucht und Raps* ¹
	10–30 kg N/ha	20–40 N/ha
Herbst-N _{min} -Minderung	10 – 20 kg N/ha	20 – 40 kg N/ha
Sickerwasserentlastung	5–15 kg N/ha reduzierte N- Fracht	5–30 kg N/ha reduzierte N- Fracht
	- Entlastung auf leichten Standorten ist besonders groß. Auf Ackerflächen besteht eine größere Entlastung als bei Grünlandnutzung.	
Weitere Effekte	<ul style="list-style-type: none"> - Deutliche Risikominderung, da in stark witterungsgeprägten Phasen der verlagerebare Boden-N-Vorrat knapp gehalten wird. - Die Anpassungsstrategien der Betriebe an verlängerte Sperrfristen sind kritisch zu prüfen. Negative Sekundärerffekte, z. B. durch erhöhte N-Düngemengen in den Frühjahrs- und Sommermonaten können bei mangelndem Lagerraum auftreten. - Es entsteht ein positiver Effekt auf den Oberflächenabfluss. 	

*1) nach OSTERBURG & RUNGE 2007

2.4.4.2 Gewässerschonende Ausbringung von Wirtschaftsdüngern

Kurzcharakteristik

Der in tierischen und pflanzlichen Wirtschaftsdüngern enthaltene Stickstoff (N) ist zu einem wesentlichen Anteil organisch gebunden. Die N-Freisetzung nach Wirtschaftsdüngeraufbringung ist daher schwer kalkulierbar. Zum Zwecke des Trinkwasserschutzes ist es geboten, durch eine überwiegend im Frühjahr durchzuführende Aufbringung die unkontrollierte N-Freisetzung zu minimieren. Die in der Regel bereits bei wachsenden Winterungen erforderliche Kopfdüngung verlangt den Einsatz von Exaktverteiltern um die Bestandesentwicklung, Abreife und den Ertrag nicht durch ungleichmäßiges Wachstum infolge einer unzureichenden Verteilung zu beeinträchtigen.

Grundsätzliche Vorteile des Einsatzes von Exaktverteiltern sind:

- Reduktion von Emissions- und Immissionsverlusten
- Hohe Pflanzenverfügbarkeit und geringe N-Verluste steigern die Anrechenbarkeit und sichern die Ertragsleistung

- Höhere Wirtschaftsdünger-N-Ausnutzung eröffnet Einsparpotenziale beim Mineraldüngereinsatz
- Verminderung atmosphärischer N-Einträge in angrenzende Ökosysteme.

Die Ausbringung von Gülle, Gärrest und Festmist mit grundwasserschonender Verteiltechnik kann mittels folgender Geräte erfolgen:

- Schleppschlauchverteiler
- Schleppschuhverteiler
- Injektionstechnik (z. B. Güllegrubber für Acker, Schlitztechnik für Grünland)
- Exaktmiststreuer.

Förderprogramme (u. a. Agrar- und Umweltprogramme der Bundesländer) sind derzeit auf die Förderung der Verbreitung der Injektionstechniken bzw. auch der Unterfußtechniken für die Wirtschaftsdüngerapplikation ausgerichtet. Beide versprechen eine Minderung der gasförmigen N-Verluste, eine Steigerung der N-Effizienz und eine weitergehende Entlastung für Grund- und Oberflächengewässer sowie für die Atmosphäre.

Rechtliche Grundlagen

Gemäß DüV sind bei der Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern nur Gülle- bzw. Jauchewagen mit zentralem Prallteller zulässig, mit denen nach unten abgestrahlt wird. Verteiler, die nach oben abstrahlen, sind verboten (s. Abb. 74). Der direkte Eintrag von Nährstoffen in oberirdische Gewässer soll durch einen Mindestabstand von drei Metern zwischen der Böschungsoberkante des Gewässers und dem Rand der durch die Streubreite bestimmten Ausbringungsfläche vermieden werden.



Abb. 74: Nicht mehr zulässiger Prallteller (LWK Niedersachsen)

Aus Sicht des Gewässerschutzes sollte auf die Ausbringung mit Prallteller jedoch ganz verzichtet werden, da relativ hohe gasförmige Ausbringungsverluste zu erwarten sind und eine exakte, gleichverteilte Aufbringung zur Kultur nicht möglich ist (erschwerter Kalkulation der Düngewirkung, Überlappung, Gewässerabstand).

Bei der Ausbringung kann der Abstand zu oberirdischen Gewässern dann auf einen Meter reduziert werden, wenn beim Ausbringen der Wirtschaftsdünger Geräte eingesetzt werden, bei denen die Streubreite der Arbeitsbreite entspricht oder diese über eine Grenzstreueinrichtung verfügen.

Anwendungsbereich

Generell sollte Wirtschaftsdünger immer nach dem neuesten Stand der Technik ausgebracht werden, um die Ausbringungsverluste auf ein Minimum zu reduzieren und hohe Umweltstandards einzuhalten. Seit 2014 wird deshalb in Niedersachsen nur noch die Gülleaushbringung mit Hilfe eines Schleppschuhverteilers bzw. eines Injektors gefördert.

Der Einsatz moderner Exaktverteiltertechniken bedeutet ein Arbeiten mit großen Ausbringungseinheiten. Vielfach ist die Technik nicht mehr auf dem einzelnen Betrieb vorhanden, sondern wird in Ausbringungsgemeinschaften

angeschafft und eingesetzt oder bei Lohnunternehmen in Anspruch genommen. Durch die Verschiebung der Wirtschaftdüngerausbringung vom Herbst in das Frühjahr geht in der Regel auch ein gesteigerter Anspruch an das Vorhalten von Lagerraum einher. Lagerraumkapazitäten von acht bis neun Monaten sichern in Kombination mit erweiterten Ausbringungskapazitäten (Erhöhung der Schlagkraft) die Überbrückung der Wintermonate ab.

Durchführung

Ziel der Anwendung exakter Ausbringungstechniken ist eine effiziente und pflanzenbedarfsgerechte organische Düngung. Aus Wasserschutzsicht ist die Düngemenge auf Standorten mit hohem Nachlieferungspotenzial am P-Bedarf zu orientieren und sollte zu maximal zweidrittel organisch gegeben werden. Andere Studien empfehlen für mineralisationsstarke Standorte eine Deckelung bei 120 kg N organisch/ha (DWA 2010). Mineraldünger soll weitgehend substituiert und nur als Ergänzungsdüngung angewendet werden. Im Vorfeld werden bei der Düngplanung die genauen Ausbringungszeiträume (s. Kap. 2.3.1) und zeitnahe Nährstoffanalysen (s. Kap. 2.3.4) der Wirtschaftsdünger berücksichtigt.

Durch die Wahl moderner Wirtschaftsdüngertechnik und einen im Hinblick auf die Ausbringungsbedingungen und den Pflanzenbedarf optimierten Einsatz können sowohl die N-Auswaschungsrisiken als auch die NH_3 - und N_2O -Emissionen deutlich vermindert werden. Die Einsparung eines Kilos nicht genutzten N-Düngers mindert so die Treibhausgasemissionen um ca. 17,5 kg Kohlendioxid-Äquivalente (FLESSA et al. 2012).

Ausbringung zu Zeiten hohen Pflanzenbedarfs: Der Anteil an leicht verfügbaren N-Quellen aus tierischen Exkrementen beträgt rund 50 bis 60 %. Die Anrechenbarkeit des Gesamt-N schwankt mit der Kultur und dem Zeitpunkt der Ausbringung. Tabelle 38 verdeutlicht für Raps, Mais, Wintergetreide und Grünland, in welchen Monaten jeweils ein optimaler Pflanzenbedarf gegeben ist und wann eine N-Gabe nicht oder nur noch bedingt ertragswirksam wird.

Bei Gärresten ist häufig nicht nur der Anteil von Ammonium, sondern auch der pH-Wert höher als bei unvergorener Gülle, so dass bei Gärresten mit höheren Ammoniakverlusten (NH_3) zu rechnen ist, wenn nicht unter optimalen Bedingungen ausgebracht wird.

Vorgaben für die Ausbringung: Bei der Ausbringung organischer Dünger sind folgende Vorgaben zu berücksichtigen, um Ammoniakverluste zu reduzieren:

Tab. 38: Mittlere N-Ausnutzung in % des Gesamt-N-Gehalts von Rindergülle und Gärresten bei langjähriger Ausbringung auf demselben Schlag bei verlustarmer Ausbringung (unverzögliche Einarbeitung, bodennahe Ausbringung, der Jahreszeit entsprechend kühle, feuchte Witterung) (LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN 2012, verändert durch IGLU)

Ausbringungsmonat	Raps	Wintergetreide	Mais	Grünland
Juli				50
August	50	40		40
September	30	30		
Oktober				
Februar	60	60		70
März	60	60	70	70
April	40	50	70	60
Mai		40	70 60	60
Juni			60	50

optimal
nicht optimal
nicht empfohlen

- Grundvoraussetzung ist ein angepasster Lagerraum, der die Ausbringung zum pflanzenphysiologisch sinnvollsten Zeitpunkt erlaubt (insbesondere bei Sommerungen auch > sechs Monate),
- geeignete Witterungsbedingungen für die Ausbringung nutzen: kühl, feucht, möglichst windstill, bedeckt, leichter Regen,
- Einarbeitung innerhalb von vier Stunden vornehmen,
- keine Ausbringung vornehmen, wenn Starkregenereignisse zu erwarten sind,
- im Spätf Frühjahr und Sommer: Ausbringung zum Sonnenuntergang reduziert die NH₃-Verluste um 50 % gegenüber der Ausbringung am Tage,
- Aufnahmefähigkeit des Bodens beachten: Ausbringung auf gefrorenem oder wassergesättigtem Boden oder Schnee ist verboten!
- Ausbringung auf verdichtete, ausgetrocknete Böden vermeiden,
- Ausbringmenge an den Pflanzenbedarf anpassen (Orientierung am P-Bedarf der Pflanzen, max. zwei Drittel des N organisch),
- bei langjährig organisch gedüngten Flächen sollte die N-Anrechnung zu Getreide zwischen 60 bis 70 % und bei Mais zwischen 70 bis 80 % liegen.
- Durch Schleppschuh- und Schlitztechnik können die N-Verluste gegenüber Schleppschlauchtechnik halbiert werden, mit positivem Effekt für die N-Anrechnung,
- Einhaltung der Abstandsregelungen zu Gewässern.

Ammoniakemissionen vermeiden: Die Temperatur sowie die oberflächliche Verweildauer sind die wichtigsten Einflussgrößen zur Minderung von N-Verlusten. So steigen die N-Verluste nach Gülleausbringung bei 25°C auf Stroh innerhalb von vier Stunden auf über 60 % an (s. Abb. 75). Die Notwendigkeit einer sofortigen Einarbeitung wird deutlich.

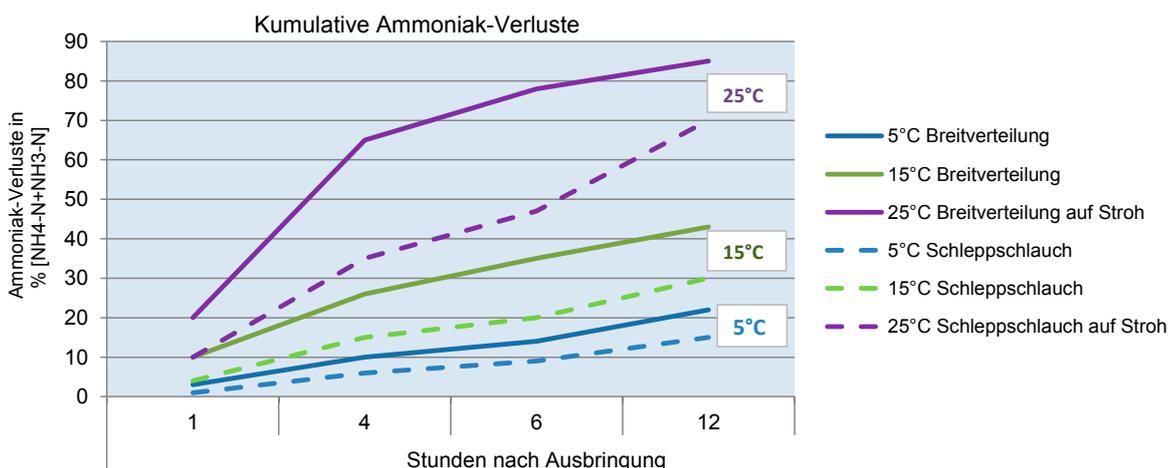


Abb. 75: Kumulative Ammoniakverluste in Prozent (NH₄-N + NH₃-N) nach der Ausbringung von Rindergülle auf Ackerflächen mit Breitverteilung ohne Einarbeitung und Schleppschlauch, nach KTBL (2000), (IGLU)

Zur Verfügung stehende Techniken:

Gülleausbringung mit Schleppschlauchverteilern: Die Schleppschlauchtechnik reduziert die N-Verluste durch Ammoniak-Emissionen gegenüber einer Breitverteilung um zehn bis 30 % und der Mineraldüngerbedarf kann entsprechend gesenkt werden. Hinter dem Gülle-/Jauchwagen wird ein Schleppschlauchverteiler montiert, der die Gülle wenige Zentimeter über dem Boden mit flexiblen Schläuchen verteilt (s. Abb. 76). Dies ermöglicht eine:

- Ausbringung in stehende Ackerkulturen (Mais, Getreide)
- Erhöhung der innerbetrieblich begülbaren Fläche durch mögliche Ausbringung auch zu Getreide im Frühjahr
- Verringerung der N-Ausbringungsverluste in Form von Ammoniakausgasung während des Verteilvorgangs um 30 bis 50 % gegenüber der Breitverteilung per Prallteller
- gleichmäßige Verteilung auf der vollen Arbeitsbreite des Schleppschlauchverteilers
- Verringerung der Geruchsbelästigung
- eine sehr exakte Steuerung der Ausbringungsmenge.



Abb. 76: Bodennahe Gülleausbringung durch Schleppschlauchverteiler (LWK Niedersachsen)

Gülleausbringung mit Schleppschuhverteilern und Schlitzgeräten auf Grünland und Acker: Schleppschuhverteiler bringen die Gülle hinter einem über die Pflanzennarbe rutschenden Stahlfuß auf den Boden (s. Abb. 77). Der Schleppschuh (auch Gleitschuh oder Gleitfuß) hat die Funktion, den Pflanzenbestand zu teilen und gegebenenfalls den Boden anzuritzen. Schleppschuhgeräte werden auf Ackerflächen und Grünland eingesetzt

und weisen Arbeitsbreiten bis 15 m auf. Bei Schlitzgeräten mit Arbeitsbreiten bis sechs Meter wird die Acker- bzw. Grünlandnarbe angeschnitten und die Gülle in den entstandenen ca. 8 cm tiefen Schlitz gelegt (s. Abb. 78). Vorteile dieser für Grünland entwickelten Techniken bestehen in der

- Erhöhung der Verteilgenauigkeit auf Grünland und Acker,
- Minimierung der N-Ausbringungsverluste in Form von Ammoniakausgasung während des Verteilvorgangs (Verringerung um 60 bis 90 % gegenüber der Breitverteilung per Prallteller (s. Abb. 75)),
- Verminderung von Narbenschäden durch Verätzung,
- Verminderung der Futtermittelverschmutzung
- Verhinderung von Oberflächenabfluss.



Abb. 77: Exakte bodennahe Ausbringung durch Schleppschuhverteiler (LWK Niedersachsen)



Abb. 78: Exakte Bodeninjektion durch Scheibenschlitzgerät auf Grünland (LWK Niedersachsen)

Güllegrubber: Beim Güllegrubber sind Verteilschläuche im Abstand von 20 bis 30 cm am Grubber angebracht. Die Grubberzinken bearbeiten den Boden 5 bis 15 cm tief und in unmittelbarer Verlängerung wird die Gülle in den Erdstrom abgegeben. Der Zugkraftaufwand ist größer als beim Schlitzverfahren, fasst aber dafür zwei Arbeitsgänge zusammen.

Gülleausbringung mit Injektoren: Diese für Ackerflächen entwickelten Geräte sind eine Kombination von Grubber und Gülleverteiler. Die Gülle wird punktgenau hinter den Grubberzinken ins Erdreich eingebracht (s. Abb. 79). Vorteile dieser Technik sind:

- fast vollständige Verhinderung von Ausbringungsverlusten,
- Minimierung von Geruchsbelästigungen,
- gute Vermischung mit dem Erdreich.



Abb. 79: Injektion und Einarbeitung in einem Arbeitsgang (LWK Niedersachsen)

Unterfußdüngung im Mais mit flüssigem Wirtschaftsdünger: Anstelle von mineralischen Düngern kann auch flüssiger organischer Wirtschaftsdünger nahe dem Maisaatgut platziert werden. Hierfür ist ein Maissaatgerät an einen Güllewagen angeschlossen, so dass die Unterfußdüngung und die anschließende Einsaat in einem Arbeitsgang erfolgt. Eine zweite Form der Unterfußdüngung ist, die Gülle unmittelbar vor der Saat in Streifen auszubringen (s. Abb. 80). Dabei erfolgt eine direkte Injektion in den Boden oder eine Bearbeitung mit einem vor dem Saatgerät montierten Bodenbearbeitungsgerät. Zu beachten ist dabei, dass der abgelegte Wirtschaftsdünger in eine Tiefe von ca. 8 bis 10 cm eingearbeitet wird. Das Saatgut wird anschließend oberhalb des eingearbeiteten Güllebands abgelegt. Hilfreich für die genaue Ablage

sind entsprechend geeignete Schlepper, ausgestattet mit einem elektronischen Parallelfahrssystem oder einem Spuranzeiger für den Güllewagen.



Abb. 80: Gülle-Unterfußinjektor zur gezielten Gülleausbringung vor dem Maislegen (LWK Niedersachsen)

Bei Anwendung dieser Technik können die üblicherweise eingesetzten Mineraldünger durch Wirtschaftsdünger substituiert werden. Die Gülleunterfußdüngung ist daher in Nährstoffüberschussgebieten von großem Interesse. In der heutigen Praxis wird auch bei Veredelungsbetrieben mindestens ein Drittel des Phosphatbedarfs der Pflanzen durch mineralischen Unterfußdünger, wie Diammonphosphat, abgedeckt. Häufig begrenzen die DüV-Vorgaben zur P-Düngung eine komplette innerbetriebliche Verwertung von phosphatreicher Gülle. Eine Substitution der mineralischen N- und P-Unterfußdüngung durch eine Gülleunterfußdüngung kann neben der Kosteneinsparung für den Mineraldünger auf Betriebsebene die N- und P-Bilanz deutlich verbessern. Zusätzlich können weitere Kosten, die durch den Transport von überschüssigen Wirtschaftsdüngern zu Bedarfsbetrieben entstehen, vermieden werden (LWK NIEDERSACHSEN 2010b).

Festmistausbringung mit Exaktmiststreuern:

Exaktmiststreuern sind Stand der Technik. Stallungstreuern sind serienmäßig mit Exaktstreuern ausgestattet, so dass keine Mehrkosten entstehen. Die FV „Mistausbringung mit Exaktverteiler“ wird daher nicht mehr angeboten.

Erfolgsbewertung

Minderungspotenzial der Ammoniakemissionen:

Tabelle 39 zeigt eine Übersicht der NH_3 -Minderungspotenziale innovativer Ausbringetechnik im Vergleich zu oberflächlicher Breitverteilung von Wirtschaftsdüngern ohne Einarbeitung:

Tab. 39: NH₃-Minderungspotenziale (in %) von Exaktverteilern gegenüber Breitverteilung von Wirtschaftsdüngern ohne Einarbeitung auf Ackerflächen mit wachsendem Bestand und Grünland (Auszug aus FLESSA et al. 2012, IGLU)

Nutzung	Technik	Minderung des NH ₃ -Emissionspotenzials	
		auf Ackerflächen in wachsendem Bestand	auf Grünland
wachsender Bestand	Schleppschlauch	Rind: 30 % Schwein: 48 %	Rind: 10 % Schwein: 30 %
	Schleppschuh	Rind: 28–30 % Schwein: 52–60 %	Rind: 40 % Schwein: 60 %
	Gülfeschlitze	Rind: 52 % Schwein: 76 %	Rind: 60 % Schwein: 80 %
unbewachsene Fläche	Güllegrubber	zwischen 80 und 90 %	
	Breitverteilung und Einarbeitung < 1h mit Pflug	90 % und höher	
	Breitverteilung und Einarbeitung < 1h mit Grubber	ca. 80 %	
	Zügige Festmisteinarbeitung	Rind: 90 % Schwein: 90 % Geflügel: 100 %	
	Schleppschlauch ohne zeitnahe Einarbeitung	Rind: 8 % Schwein: 30 %	

Wenn die Witterungsverhältnisse günstig sind, ist der Unterschied zwischen einer Breitverteilung mit unmittelbar folgender Einarbeitung und angepasster Ausbringtechnik gering. Der entscheidende Vorteil der angepassten Technik liegt darin, dass der Wirkungsgrad bei ungünstigeren Ausbringbedingungen deutlich höher ist, was nicht nur die Emissionsrisiken senkt, sondern auch eine größere zeitliche Flexibilität ermöglicht.

Bei Flächen mit wachsendem Bestand nimmt der Vorteil angepasster Ausbringtechnik deutlich zu. Hier zeigen Schleppschuh- und Schlitztechnik auch gegenüber dem Schleppschlauch eine deutliche Minderung der N-Verluste.

Wertsteigerung der Gülle durch bessere N-Ausnutzung: Der Wert von Gülle bzw. Gärrest ist mit rund 9,50 €/m³ nicht zu unterschätzen (bei 4,5 kg N mit 70% Ausnutzung, 2,5 kg P und 3,5 kg K). Bei schlechtem Wirtschaftsdüngermanagement reduziert sich dieser Wert um ca. 3,00 €/m³. Bei einer Gabe von 20 m³ pro Hektar können durch eine optimale Ausbringung rund 60 €/ha eingespart werden. Die hier beschriebenen Techniken leisten dazu einen wichtigen Beitrag (JOHNEN & VON BUTTLAR 2013).

Fazit

- Wirtschaftsdünger sind wertvolle Dünger und sollten so verlustfrei und effizient wie möglich eingesetzt werden.
- Grundvoraussetzung ist ein ausreichender Lagerraum, der die Ausbringung zum pflanzenphysiologisch sinnvollsten Zeitpunkt erlaubt (insbesondere bei Sommerungen auch > sechs Monate).
- Die Vorgaben zur Ausbringung sind einzuhalten, insbesondere die Ausbringung bei kühler Witterung und Einarbeitung innerhalb von vier Stunden.
- Bei langjährig organisch gedüngten Flächen sollte die N-Anrechnung zu Getreide zwischen 60 bis 70 % und bei Mais zwischen 70 bis 80 % liegen.
- Durch die Wahl der Ausbringtechnik kann die effiziente N-Verwertung weiter gesteigert werden. Durch Schleppschuh- und Schlitztechnik können die N-Verluste gegenüber Schleppschlauchtechnik noch halbiert werden.
- Wenn der Mineraldüngereinsatz zurückgefahren wird, ist nicht nur dem Wasser- und Klimaschutz gedient, sondern es werden auch Kosten eingespart.

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, wenn durch Vermeidung von Verlusten und gesteigerte Anrechnung eine zusätzliche Einsparung von Mineraldünger möglich ist
Saldominderung	- 10–40 kg N/ha* ¹
Herbst-N _{min} -Minderung	- 0–20 kg N/ha* ¹
N-Frachtentlastung:	- 10–20 kg N/ha* ¹
Weitere Effekte	- Deutliche Minderung von Treibhausgasen bei Einsatz von Nitrifikationshemmern (wichtig!) Minderung von N-Austrägen in Oberflächengewässer.

*1Quelle: abgeleitet aus OSTERBURG et al. 2007. Bezug: Vergleich von Exakttechniken zu Prallteller. Ohne Vergleiche der einzelnen Exakttechniken untereinander.

2.4.4.3 Verzicht auf den Einsatz organischer Wirtschaftsdünger

Kurzcharakteristik

Bei dieser Maßnahme wird auf den Einsatz organischer Wirtschaftsdünger bei einer ansonsten pflanzenbedarfs-gerechten Nährstoffdüngung verzichtet. Das Ziel ist die Vermeidung pathogener Belastungen im Grundwasser durch einen ganzjährigen Verzicht, insbesondere von tierischen Wirtschaftsdüngern. Besonders Nahbereiche von Trinkwassergewinnungsanlagen oder Quelfassungen sind aufgrund der kurzen Fließdauer und -strecke potenziell gefährdet gegenüber Verunreinigungen von pathogenen Mikroorganismen infolge tierischer Wirtschaftsdüngerausbringung oder intensiver Weidehaltung.

Auf langjährig organisch gedüngten Böden werden zudem im Herbst häufig mineralisationsbedingte Nitratanstiege, die nicht pflanzenverfügbar sind und ausgewaschen werden, gemessen. Durch einen Verzicht auf organische Düngung können diese schwer kontrollierbaren Nitratfreisetzungen reduziert werden.

Rechtliche Grundlagen

Gemäß SchuVO sind in festgesetzten WSG die Nahbereiche um den Förderbrunnen als Schutzzone II ausgewiesen. Deren Außengrenzen entsprechen der sogenannten 50 Tage-Linie, das heißt das Grundwasser benötigt von der Außengrenze bis zum Förderbrunnen eine Fließzeit von etwa 50 Tagen. Diese Mindestverweildauer soll gewährleisten, dass möglicherweise in das Grundwasser eingetragene pathogene Keime weitgehend eliminiert werden.

Daher ist in der Schutzzone II eine Aufbringung von Gülle, Jauche, Silagesickersaft, Gärresten und Geflügelkot bzw. -mist sowie von gütegesicherten Grünabfall- und Bioabfallkomposten und Abfällen aus der Herstellung oder Verarbeitung landwirtschaftlicher Erzeugnisse mit einem wesentlichen Gehalt an verfügbarem Stickstoff auf Grünland, landwirtschaftlich oder erwerbsgärtnerisch genutzten Flächen sowie forstwirtschaftlichen Nutzflächen verboten (MU 2009).

Die durch das Verbot entstehenden wirtschaftlichen Nachteile für den Betrieb werden gemäß § 93 NWG finanziell ausgeglichen. Gärreste sind hiervon ausgenommen. Der Ausgleichspflichtige ist nach § 1 NWG der Begünstigte, in der Regel das Wasserversorgungsunternehmen (WVU) (NDS. LANDTAG 2010).

Der Ausgleichanspruch kann auch durch Abschluss einer entsprechenden FV abgegolten werden.

Anwendungsbereich

Das gesetzliche Verbot zur Ausbringung von organischen Wirtschaftsdüngern betrifft alle Betriebe mit landwirtschaftlichen oder erwerbsgärtnerischen Flächen in der Schutzzone II.

Aber auch in TGG, die nicht als WSG festgesetzt sind, kann eine Maßnahme zum freiwilligen Verzicht auf Wirtschaftsdüngerausbringung Sinn machen. Besonders im Nahbereich von Quelfassungen oder Förderbrunnen mit einer geringmächtigen bzw. durchlässigen Bodenaufgabe und bei Vorhandensein von zur Rissbildung neigenden Böden, ist ein Verzicht aus Vorsorgegründen zu empfehlen.

Durchführung

Bedingt durch das Verbot gemäß SchuVO oder den freiwilligen Verzicht muss der landwirtschaftliche Betrieb dafür sorgen, dass die Menge an organischem Wirtschaftsdünger, die auf den entsprechenden Flächen nicht aufgebracht werden, anderweitig ordnungsgemäß verwertet wird. Es werden zwei Verwertungswege unterschieden:

Innerbetriebliche Verwertung:

Der von dem Verbot betroffene Landwirt bzw. der an einem freiwilligen Verzicht auf organische Wirtschaftsdüngerausbringung teilnehmende Betrieb verfügt über ausreichend eigene bewirtschaftete landwirtschaftliche Flächen außerhalb der Schutzzone II bzw. des definierten Nahbereichs für den freiwilligen Verzicht. Auf diesen Flächen kann unter Beachtung der DüV und der ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung die Aufbringung betriebseigener organischer Wirtschaftsdünger erfolgen. Ein wirtschaftlicher Nachteil entsteht nur durch mögliche zusätzliche Transportkosten für die Verbringung von organischen Wirtschaftsdüngern bei größeren Entfernungen zwischen Hof und Feld.

Überbetriebliche Verwertung:

Infolge des Verbots bzw. des freiwilligen Verzichts kann es zu einem Überschuss an organischen Wirtschaftsdüngern in einem Betrieb kommen, der nach der DüV innerbetrieblich nicht ordnungsgemäß verwertet werden kann. Der Betrieb muss dafür sorgen, dass dieser überschüssige organische Wirtschaftsdünger überbetrieblich ordnungsgemäß verwertet wird. Folgende Möglichkeiten bestehen:

■ Abgabe an andere Betriebe mit betriebseigener oder betriebsfremder Verbringung:

Landwirtschaftliche Betriebe vorzugsweise in der näheren Umgebung können über genügend Flächen verfügen, um neben betriebseigenen Wirtschaftsdüngern zusätzliche betriebsfremde Wirtschaftsdünger ordnungsgemäß verwenden zu können. Daher würde sich auch eine Abgabe der überschüssigen Wirtschaftsdünger an diese Betriebe anbieten. Für den abgebenden Betrieb entstehen Kosten durch mögliche Entgelte für Flächennachweise über die ordnungsgemäße Verwertung an den Aufnehmer. Hinzu kommen Transportkosten durch betriebseigene oder betriebsfremde Logistik (z. B. Lohnunternehmen) für die Verbringung.

- **Abgabe des überschüssigen Wirtschaftsdünger an die Güllebörse:** Güllebörsen, teilweise auch Güllebanken genannt, sind Dienstleister für eine ordnungsgemäße Verwertung von Wirtschaftsdünger, Kompost und anderen Naturprodukten. Betriebe, die nicht über genügend Flächen für eine ordnungsgemäße Verwertung von betriebseigenen organischen Wirtschaftsdüngern verfügen, geben gegen eine Gebühr ihren überschüssigen Wirtschaftsdünger an Güllebörsen ab. Die durch das Verbot bzw. den freiwilligen Verzicht auf Wirtschaftsdüngerausbringung betroffenen Betriebe können somit den entsprechenden Überschuss an Wirtschaftsdünger ordnungsgemäß verwerten.

Für die Abgabe von organischen Wirtschaftsdüngern sowohl an andere landwirtschaftliche Betriebe als auch die Güllebörse erhalten die abgebenden Betriebe in der Regel keinen Nährstoffersatzwert. Daher entstehen zusätzliche Kosten sowohl für den Mineraldünger als auch die ersatzweise vorzunehmende Mineraldüngerausbringung.

- **Flächenzupacht:** Um überschüssigen organischen Wirtschaftsdünger ordnungsgemäß zu verwerten, können zusätzliche landwirtschaftliche Flächen gepachtet werden. Für den Betrieb als Pächter entstehen daraus Kosten, die sich aus dem Entgelt für die Pacht (inkl. der Zahlungsansprüche (ZA) im Rahmen der Betriebsprämienregelung), zusätzlichen Fest- und Gemeinkosten und Arbeitsaufwand abzüglich den Erlösen für Ernteprodukte zusammensetzen.

Detaillierte Informationen zur Berechnung können dem Blaubuch entnommen werden (LWK NIEDERSACHSEN 2014a).

Erfolgsbewertung

- Primäres Ziel des Verzichts auf die Aufbringung organischer Dünger ist die vorbeugende Vermeidung von pathogenen Belastungen im geförderten Rohwasser.
- Zusätzlich wird das N-Eintragsrisiko ins Grundwasser reduziert.

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Es wird vollständig auf organische Dünger verzichtet. Der Einsatz von Mineraldünger bleibt möglich.
Saldominderung	- ca. 20 kg N/ha.
Herbst-N _{min} -Minderung	- ca. 20 kg N/ha.
Sickerwasserentlastung	- Ja, Vermeidung von Keim- und Nitrateinträgen.
Weitere Effekte	- Minderung von Keim- und N-Austrägen in angrenzende Oberflächengewässer.

2.4.4.4 Wirtschaftsdünger-, Boden- und Pflanzenuntersuchungen

Kurzcharakteristik

Wirtschaftsdüngeranalysen und Bodenuntersuchungen unterstützen vor allem das Düngemanagement der landwirtschaftlichen Betriebe. Sie dienen als Hilfsmittel zur Optimierung der Düngung und der Verringerung von Stickstoffüberhängen. Organische Wirtschaftsdünger weisen eine hohe Varianz bei den Nährstoffgehalten auf. Eine effiziente pflanzenbedarfsgerechte Düngung mit organischen Düngemitteln ist möglich, wenn sowohl die pflanzenverfügbaren Nährstoffvorräte des Bodens und der Nährstoffgehalt des jeweiligen Düngers bekannt sind. Weiterhin sind Pflanzenanalysen im Vegetationsverlauf ein wichtiges Instrument der bedarfsgerechten Düngesteuerung.

Rechtliche Grundlagen

In der Düngeverordnung (DüV) wird die Anwendung von Düngern, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der Guten fachlichen Praxis geregelt. Gemäß DüV sind zur Anwendung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und von Sekundärrohstoffdüngern detaillierte Grundsätze formuliert (BMELV 2007). So ist vor der Aufbringung von organischen Düngemitteln der Gehalt an Gesamtstickstoff, zusätzlich Ammoniumstickstoff bei flüssigen Düngern und Geflügelkot sowie Phosphat zu ermitteln. Die Düngebedarfsermittlung muss so erfolgen, dass ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung gewährleistet ist.

Anwendungsbereich

Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen werden in der Düngeberatung vom Wasserschutzzusatzberater eingesetzt, um unter Berücksichtigung der standörtlichen Witterungsverhältnisse dem Landwirt begründete Empfehlungen für eine am Pflanzenbedarf orientierte Düngung zu vermitteln. Um Fehleinschätzungen bei der Bewertung der Nährstoffgehalte vor allem tierischer Wirtschaftsdünger zu vermeiden und Potenziale für ein grundwasserschonendes Nährstoffmanagement zu identifizieren, sollten in Regionen mit intensiver organischer Düngung zusätzliche repräsentative Untersuchungen durchgeführt werden.

Durchführung

Die derzeit praxisrelevanten Untersuchungsmethoden für Böden und Wirtschaftsdünger sowie Pflanzen bzw. Erntegut werden im Folgenden mit Angaben zum Untersuchungsziel, zur Durchführung und zur Auswertungsebene (Fläche – Betrieb) tabellarisch dargestellt (s. Tab. 40 bis 42). Weitere Informationen zur Durchführung der im Rahmen der WZB möglichen Düngeberatung sind den Kapiteln 2.3.1.1 bis 2.3.1.3 zu entnehmen. Im Rahmen der WZB können die Maßnahmen den Betrieben angeboten werden. In der Regel werden sie durch den Berater ausgeführt und im Anschluss dem Betrieb das Ergebnis zur Verfügung gestellt. Art und Umfang des jeweiligen Maßnahmenangebots für Betriebe sollte sich an der Prioritäteneinstufung des jeweiligen Betriebs (s. Kap. 2.1.3) und den standörtlichen Gebietsvoraussetzungen orientieren.

Tab. 40: Übersicht der wichtigsten beratungsbegleitenden Pflanzenuntersuchungen

Untersuchung	Ziel	Durchführung	Auswertungsebenen
Pflanzenanalyse im Vegetationsverlauf	<ul style="list-style-type: none"> - Ermittlung Nährstoffmangel - Ermittlung Aufwuchsleistung 	<ul style="list-style-type: none"> - Schnittproben werden getrocknet im Labor untersucht. 	Auswertungsebenen: <ul style="list-style-type: none"> - Flächenbezogen - Einzelbetrieblich
Nitracheck	<ul style="list-style-type: none"> - Ermittlung N-Düngebedarf (insbesondere bei Wintergetreide) 	<ul style="list-style-type: none"> - Messung der Nitratkonzentration im Pflanzenstängelpresssaft durch Messung des Indikatorstreifens mit dem Nitracheck-Reflektometer. - Während der Hauptwachstumsphase kann die Messung zu den Düngeterminen wiederholt werden. 	Auswertungsebenen: <ul style="list-style-type: none"> - Flächenbezogen - Einzelbetrieblich - (vor allem prioritäre Betriebe) - Gebietsbezogen
N-Tester	<ul style="list-style-type: none"> - Messung des N-Ernährungszustands im Vegetationsverlauf - Ableitung einer schlagspezifischen Düngungsempfehlung (insbesondere zum Schossen und zur Ährengabe) 	<ul style="list-style-type: none"> - Messung erfolgt mit Yara-N-Tester über optisches Verfahren. Es wird der Lichtimpuls bei verschiedenen Wellenlängen nach der Durchstrahlung der Blätter gemessen. 	Auswertungsebenen: <ul style="list-style-type: none"> - Flächenbezogen - Einzelbetrieblich - (vor allem prioritäre Betriebe) - Gebietsbezogen
Analyse des Ernteguts	<ul style="list-style-type: none"> - Prüfung der Einhaltung einer N-Reduzierungsmaßnahme in Getreide 	<ul style="list-style-type: none"> - Untersuchung des Rohproteingehalts des Korns im Labor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Schlagspezifische Auswertung auf Teilgebietsflächen (Zielflächen) zur Einhaltung der FV „N-Reduzierung im Getreide“ im Vergleich zu betriebsüblich gedüngten Flächen
	<ul style="list-style-type: none"> - Prüfung der Futterqualität und der Nährstoffausnutzung des Futters - stickstoffangepasste Fütterung kann N-Ausscheidung des Tiers reduzieren 	<ul style="list-style-type: none"> - Untersuchung von getrockneten Schnittproben im Labor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Abstimmung des Futterproteins (Qualität und Menge) zur Steigerung der N-Effizienz auf Schlag- und Betriebsebene
Kritischer Rohproteingehalt im Mais	<ul style="list-style-type: none"> - Messung des Rohproteingehalts im Erntegut 	<ul style="list-style-type: none"> - Entnahme von schlagbezogenen Mischproben des frischen Häckselgutes und Untersuchung im Labor. 	Auswertungsebenen: <ul style="list-style-type: none"> - Flächenbezogen und Einzelbetrieblich - Ergebnis gibt Aufschluss über N-Versorgungsstand als Basis zur Nutzung von Einsparpotenzialen im Folgejahr.

Tab. 41: Übersicht der wichtigsten beratungsbegleitenden Wirtschaftsdüngeruntersuchungen

Untersuchung	Zweck	Durchführung	Auswertung
Wirtschaftsdüngeranalyse (Gülle, Festmist, Gärreste, Komposte)	- Bedarfsgerechter Einsatz des organischen Wirtschaftsdüngers durch Kenntnis des Düngewerts	- Probenahme einer homogenisierten (!) Mischprobe (Entnahme an mehreren Stellen) und Analyse der Inhaltsstoffe im Labor	Auswertungsebenen: - Einzelbetrieblich - Hinweis: gebietsspezifische Mittelwertbildung ist bei wenigen Untersuchungen und unterschiedlichen Düngern nicht zielführend.
Wirtschaftsdüngeranalyse von Gülle auf dem Betrieb	- Bedarfsgerechter Einsatz des organischen Wirtschaftsdüngers durch Kenntnis des Düngewerts	- Alternativ kann mit dem Quantofix-Gerät vor Ort gemessen werden: 100 ml durchmischte Gülle + 200 ml Wasser + Reaktionsflüssigkeit in ein Reagenzglas geben. Nach kurzer Zeit kann der Ammoniumstickstoffgehalt an der Wassersäule abgelesen werden in $\text{NH}_4\text{-N}$ (m^3)	- s. o.

Tab. 42: Übersicht der wichtigsten beratungsbegleitenden Bodenuntersuchungen

Untersuchung	Zweck	Durchführung	Auswertung
Frühjahrs- N_{min}	- Flächen- und fruchtartbezogene Berücksichtigung des verfügbaren Boden-N-Vorrats bei der Düngeplanung	- Probenahme erfolgt mit dem Bohrstock, i. d. R. in 0–90 cm Bodentiefe. - Methodik ist im Kap. 2.7.4 beschrieben.	- Einzelbetriebliche Auswertung - Gebietsbezogene Auswertung nach Fruchtarten - Trendbetrachtung zu einzelnen Früchten
S_{min} -Analyse	- Ermittlung des Schwefelversorgungszustands zu Vegetationsbeginn zur Ableitung von S-Düngungsempfehlungen.	- Analog der N_{min} -Methode wird der leichtlösliche Schwefel (fast ausschließlich $\text{SO}_4\text{-S}$) ermittelt.	- Bei der Schwefelernährung der Früchte ist die Schwefelnachlieferung aus dem Bodenvorrat entscheidend. - Sie wird durch Standortfaktoren beeinflusst (Bodengüte, Humusgehalt, Witterung, N_{min} , Boden, Ertragsniveau, Düngung, Mangelsymptome).
Grundnährstoffe	- Prüfung der Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit des Bodens - Sicherung von Ertragsleistung und N-Entzug durch optimale Versorgung	- Bodenprobe aus ca. 20 Einstichen/Fläche aus 0–30 cm Tiefe (etwa 400 g Probenmaterial); Analytik der Nährstoffgehalte N, P, K, Mg	- Schlagspezifische Auswertung - Klärung der standortangepassten und bedarfsgerechten Versorgung - Orientierung an Versorgungsstufen (i. d. R. Stufe C = optimal)
Humus-Analyse	- Das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Gesamtstickstoff gibt einen Hinweis auf die Humusqualität - Ziel ist optimale Versorgungsklasse C. - Überversorgung (Klasse E) vermeiden.	- Bodenprobenahme im Frühjahr vor der Düngung, Analyse der luftgetrockneten Probe im Labor. - Als Maß für den Humusgehalt gilt der organische Kohlenstoff C_{org} .	- Maßnahmen zur Humuserhaltung etablieren (z. B. mehrgliedrige Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau, Untersaaten)

Untersuchung	Zweck	Durchführung	Auswertung
Boden-Nitrat-schnelltest	<ul style="list-style-type: none"> - zur Zwischeninformationen zur Bodenversorgung - ersetzen nicht die Laboruntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung des Nitratgehalts im Boden (nach Extrahierung mit nitratfreiem Wasser) durch Teststäbchen. Die Bestimmung erfolgt durch einen Farbvergleich auf einer Skala, mit zunehmender Bodenfeuchte sind Zuschläge nötig. 	<ul style="list-style-type: none"> - Flächenbezogene Auswertung
CAT-Bodenuntersuchung	<ul style="list-style-type: none"> - Ermittlung des Bedarfs an Spurenelementen (Kupfer, Mangan, Zink, Bor) im Boden - Hilfsmittel zur Feststellung von Mangelercheinungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse im Labor - Die CAT-Methode ist ein Extraktionsverfahren bei dem eine Mischlösung aus Kalziumchlorid und DTPA (Diethylentriaminpentaessigsäure) verwendet wird. 	<ul style="list-style-type: none"> - Flächenbezogene Auswertung

Erfolgsbewertung

Möglichst genaue Kenntnisse über Inhaltsstoffe und Nährstoffgehalte im Boden und in den Düngemitteln sowie über den Versorgungszustand der Pflanzenbestände sind eine wichtige Grundlage für eine exakte Düngeplanung und hohe Nährstoffausnutzung. Sie sind

aus fachlicher Sicht immer der Verwendung von Durchschnittswerten vorzuziehen.

Eine Darstellung einzelner Maßnahmen-Minderungspotenziale erfolgt an dieser Stelle aufgrund der Vielzahl der Maßnahmen und der Heterogenität der Einsatzbereiche nicht.

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	<ul style="list-style-type: none"> - Stickstoffbezogene Untersuchungsmethoden: ja, durch gezieltere Düngesteuerung - Weitere: indirekt, z. B. durch stabilere Erträge bei guter Grundnährstoffversorgung
Saldominderung	<ul style="list-style-type: none"> - Ja, da Vermeidung von Überdüngung
Herbst-N _{min} -Minderung	<ul style="list-style-type: none"> - Ja, da Vermeidung von Überdüngung
Sickerwasserentlastung	<ul style="list-style-type: none"> - Ja, da Vermeidung von Überdüngung
Weitere Effekte	<ul style="list-style-type: none"> - Bodenuntersuchungen: Sicherung der Ertragsfähigkeit des Standorts - Wirtschaftsdüngeruntersuchungen: Vermeidung von Nährstoffüberhängen, Humusmanagement - Pflanzenuntersuchungen: optimierte Düngung.

2.4.5 Maßnahmen zur Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen

Kurzcharakteristik

Neben der Belastung der Gewässer mit Nitrat und Phosphor werden vermehrt Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (PSMBP) bzw. deren Abbauprodukte (Metabolite) in Grund- und Oberflächengewässern nachgewiesen. Die Vermeidung dieser Einträge ist ein Aspekt der WZB mit zunehmender Bedeutung.

Maßnahmen zur Vermeidung von PSM-Einträgen lassen sich prinzipiell unterscheiden in:

- generelle Maßnahmen, die den Einsatz von chemisch-synthetischen PSMBP nicht zulassen (z. B. Ökologischer Landbau, s. Kap. 2.4.7)
- spezifische Maßnahmen, die den Einsatz von PSMBP gezielt verringern (z. B. mechanische Unkrautbekämpfung, biologische Schädlingsbekämpfung)
- Maßnahmen zum Verzicht auf den Einsatz bestimmter, im Grundwasser häufig nachzuweisender PSMBP durch Einsatz von alternativen Wirkstoffen.

Anwendungsbereich

Seit knapp zehn Jahren werden immer häufiger Funde von chemisch-synthetischen PSMBP in Grund- und Oberflächengewässern gemeldet. Am häufigsten handelt es sich dabei um Wirkstoffe oder Abbauprodukte von Herbiziden (Unkrautvernichtungsmittel). Werden PSM im Grundwasser gefunden, bedarf es einer sogenannten Fundaufklärung, die die Eintragsursache ermittelt. Maßnahmen zur Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen werden verstärkt dort durchgeführt, wo der Einsatz des entsprechenden Wirkstoffs in der Landwirtschaft als zentrale Eintragsursache angesehen wird.

Durchführung

Bei der Durchführung von Maßnahmen zur Vermeidung von Herbizideinträgen kann es sowohl zum Einsatz von mechanischen (Hacken, Striegel) als auch thermischen Geräten (Abflamngeräte) kommen, die den Einsatz von chemischen-synthetischen Unkrautvernichtungsmitteln ersetzen. Da mechanische oder thermische Verfahren häufig eine schlechtere Wirkung als chemisch-synthetische Verfahren haben, sind sie außerhalb des ökologischen Landbaus nicht sehr weit verbreitet. Dies gilt auch für den Ersatz chemisch-synthetischer Insektizide durch

alternative Verfahren (z. B. Bekämpfung des Maiszünslers durch Schlupfwespen).

In den letzten Jahren mehren sich Funde von Herbiziden (Wirkstoffe und Abbauprodukte), die insbesondere in Zuckerrüben, Mais und Raps eingesetzt werden. Ein erfolgreicher Ansatz zur Vermeidung entsprechender Einträge stellt der Verzicht des Einsatzes dieser Wirkstoffe und deren Ersatz durch alternative Produkte dar. In solchen Fällen wird durch die Fachbehörde ein alternatives PSMBP vorgeschlagen, das eine vergleichbare Wirksamkeit aufweist wie der Wirkstoff, der nicht mehr zum Einsatz kommen soll. Entstehende Mehrkosten oder Ertragsdepressionen werden finanziell ausgeglichen.

Gelangt das PSMBP mit dem Sickerwasser in das Grundwasser, so ist auch eine Änderung der Nutzung (Umwandlung von Ackerland in Grünland, Etablierung von begrünten Brachen) in sensiblen Bereichen eine Möglichkeit, um unerwünschte Einträge zu unterbinden (s. Abb. 82).

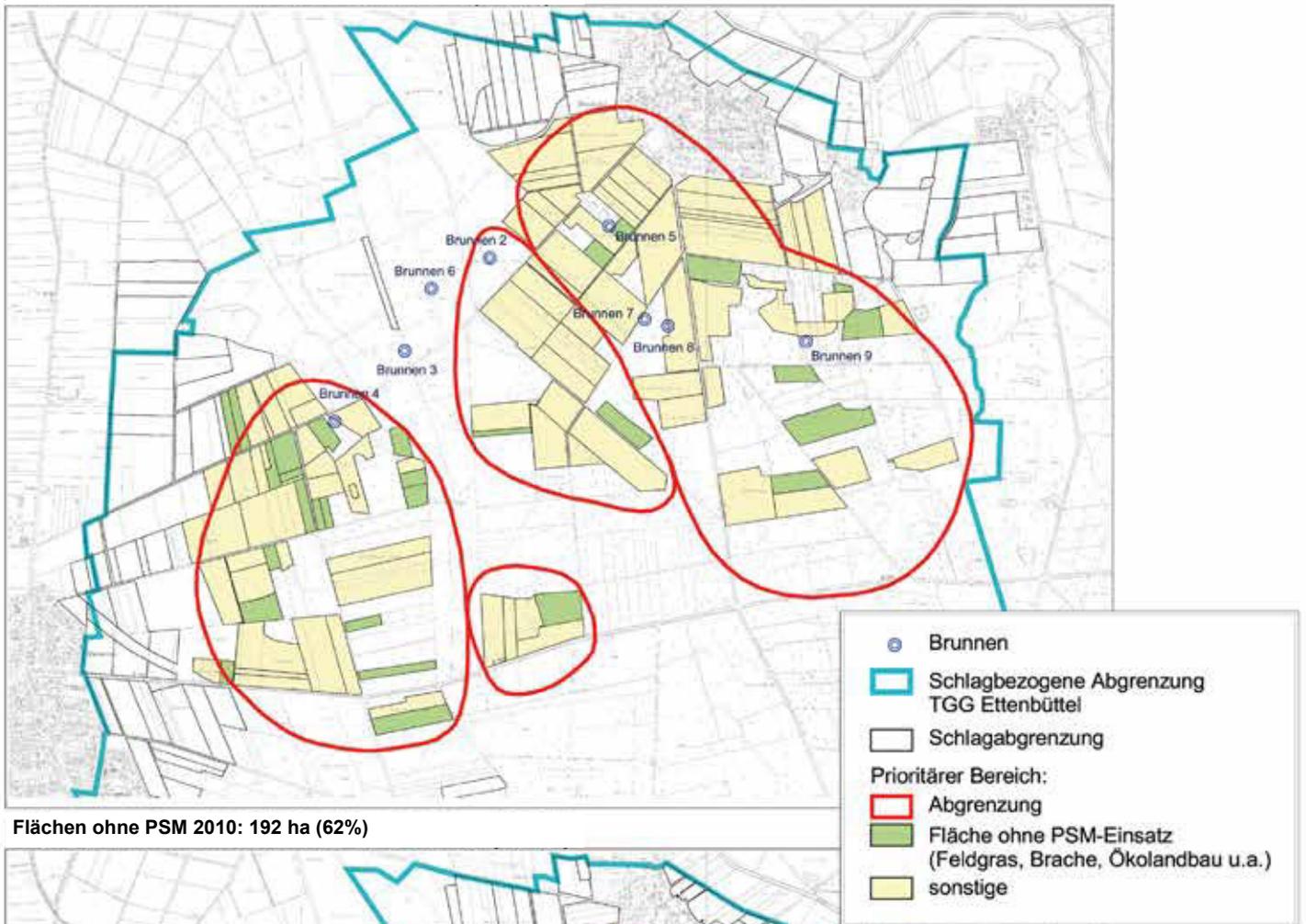
Häufig werden PSMBP durch Abdrift in Oberflächengewässern eingetragen und gelangen durch Infiltration in das Grundwasser. Eine gute Möglichkeit, diese Einträge zu minimieren, ist die Etablierung von Gewässerrandstreifen. Gewässerrandstreifen können entweder separat angelegt werden (aktive Begrünung entlang von Oberflächengewässern und/oder Gräben) oder der Landwirt verzichtet auf die Ausbringung von PSMBP auf dem Teil seiner Fläche, der unmittelbar an den Vorfluter grenzt (s. Abb. 81).



Abb. 81: Gewässerrandstreifen im TGG Tiefenbrunn der Kooperation Trinkwasserschutz Obere Leine (Geries Ingenieure GmbH)

Unerwünschte Abdrift lässt sich auch durch den Einsatz moderner Technik minimieren. Immer häufiger bieten die Produzenten von Pflanzenschutzspritzen Techniken

Flächen ohne PSM 2003: 49 ha (17%)



Flächen ohne PSM 2010: 192 ha (62%)



Abb. 82: Änderung der Nutzung landwirtschaftlich genutzter Flächen zwischen 2003 und 2010 im TGG Ettenbüttel zur Vermeidung unerwünschter PSMBP-Einträge in das Grundwasser (Geries Ingenieure GmbH)

an, die ein gezieltes Aus- und Anschalten der äußersten Düse am Spritzgestänge ermöglichen (Einzeldüsenabschaltung). Durch den Einsatz solcher Techniken, lassen sich Einträge in Oberflächengewässer und somit potenzielle Einträge in das Grundwasser deutlich verringern.

Erfolgsbewertung

Werden Wirkstoffe oder Abbauprodukte bestimmter PSMBP in Gewässern gefunden und es kommt zu einem Verzicht oder einem Verbot des Einsatzes dieser Mittel, so ist jeder weitere unmittelbare Eintrag zunächst unterbunden. Der Verzicht auf den Einsatz eines Wirkstoffs bedeutet aber nicht, dass diese Stoffe nicht mehr im Grund- bzw. Trinkwasser auftreten oder nachgewiesen werden können. Ob und wie schnell der Erfolg einer Maßnahme eintritt, hängt von vielen Einflussfaktoren ab. Ein zentrales Problem ist die sogenannte Persistenz der Wirkstoffe. Unter Persistenz versteht man die Abbaubarkeit bzw. die Abbaugeschwindigkeit von Wirkstoffen. PSM können durch UV-Strahlung, durch Aufnahme der Zielorganismen oder durch Mikroorganismen im Boden abgebaut werden. Sind die Wirkstoffe oder deren Metabolite erst einmal in den Grundwasserkörper gelangt, unterliegen sie häufig keinen weiteren Abbauprozessen mehr. Es ist daher schwierig abzuschätzen, wann ein Wirkstoff oder dessen Metabolit in den Grundwasserleiter eingetreten ist. Aus der Vergangenheit ist z. B. bekannt, dass Wirkstoffe, deren Einsatz bereits über einen geraumen Zeitraum verboten war, trotzdem noch im Grundwasser nachgewiesen werden konnten (Stichwort: Atrazin).

Fazit

Maßnahmen zur Vermeidung von PSM-Einträgen unterbinden den Eintrag von Wirkstoffen oder deren Metaboliten in das Grundwasser. Dies kann sowohl durch einen generellen als auch durch einen spezifischen Verzicht des Einsatzes von PSMBP erfolgen. Durch die Maßnahmen wird ein direkter Eintrag verhindert. Aufgrund der Persistenz von Wirkstoffen und deren Metaboliten ist aber nicht mit einem unmittelbaren Erfolg durch die Maßnahme zu rechnen. Die Zulassungskriterien für PSM müssen gewährleisten, dass es nicht zu Einträgen in das Grundwasser mit dem Sickerwasser kommen kann.

2.4.6 Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung

Kurzcharakteristik

Mit mehrjährig an die Bedürfnisse des Grundwasserschutzes angepassten Ackerbaufruchtfolgen können auf ein und derselben Fläche möglichst jährlich wiederkehrend Nitrat auswaschungen bzw. auch Auswaschungen von PSM-Rückständen verringert werden. Entsprechende Fruchtfolgeanpassungen können unterschiedlich stark erfolgen, je höher allerdings der Eingriff ist, umso nachhaltiger und sicherer ist die Wirkung.

Gewässerschonende Fruchtfolgen werden gezielt beplant, sind dann aber über eine Vertragsdauer von drei bis vier Jahren festgelegt. In manchen Fruchtfolgen genügt bereits eine Umstellung einzelner Fruchtfolgeglieder, um für den Grundwasserschutz eine Verbesserung zu erzielen. Es kann aber auch erforderlich sein, gezielt als grundwasserbelastend eingestufte Früchte durch weniger belastende zu ersetzen, z. B. Winterraps durch Sommergetreide. Zudem können Stickstoff intensive Anbaufrüchte durch weniger Stickstoff intensive Früchte ersetzt werden, z. B. Backweizen durch Keksweizen oder Wintergetreide durch Sommerbraugerste. Die geeigneten Möglichkeiten müssen ausgehend von den bisherigen Anbauverhältnissen in jeder Region bzw. auf einzelnen Betrieben gesondert geprüft werden.

Neben der Optimierung der Hauptfrüchte und deren zeitlicher Abfolge, ist ein möglichst hoher Anteil der in den Kapiteln 2.4.1 bis 2.4.5 vorgestellten Einzelmaßnahmen in die neue Fruchtfolge einzubauen, um die Maßnahmenwirkung zu erhöhen. Dies gelingt vor allem dann, wenn mit der geplanten Hauptfruchtfolge möglichst viel Platz zur Einbindung dieser Maßnahmen geschaffen wird. So kann z. B. durch Erhöhung des Sommerungsanteils die Einbindung von Zwischenfrüchten erweitert werden.

Die Maßnahmenkosten ergeben sich als Differenz der Deckungsbeiträge bisheriger Ist-Fruchtfolgen zu Soll-Fruchtfolgen, zuzüglich der Kosten für die eingeschalteten Einzelmaßnahmen. Entsprechend ist die Maßnahme vergleichsweise teuer. Dennoch ist deren Akzeptanz bei den Bewirtschaftern infolge der heute sehr stark marktorientierten und damit kurzfristigen Anbauplanung rückläufig. Alternativ sind daher in den letzten Jahren FV zu gewässerschonenden Fruchtfolgen entwickelt worden, die eine höhere Flexibilität zulassen. In diesem neuen Typus werden nur noch Mindestanforderungen genannt, z. B. mindestens zweimaliger Zwischenfruchtanbau in vier Jahren und grundsätzlich reduzierte N-Düngung im Wintergetreide.

Häufig werden betriebspezifische Lösungen benötigt. Deshalb haben einige Berater unterstützende EDV-Anwendungen zur schnellen fachlichen Planung und Kostenermittlung für gewässerschonende Fruchtfolgen entwickelt und im Einsatz.

Anwendungsbereich

In vielen Trinkwasserschutzkooperationen werden die gewässerschonenden Fruchtfolgen wegen der hohen Kosten auf hoch prioritären Einzelflächen angeboten (s. Kap. 2.1.3), z. B. für brunnennahe Flächen oder mineralisationsstarke Standorte. Je nach Bedeutung und Akzeptanz werden in den einzelnen Kooperationen entweder gebietsspezifisch pauschalierte Maßnahmen oder einzelbetrieblich Vertragslösungen angeboten.

Durchführung

Die großen Stellschrauben bei der Entwicklung einer gewässerschonenden Fruchtfolge sind:

- die Umstellung bzw. der Austausch von Einzelfrüchten
- die Festlegung von Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil an Zwischenfrüchten und N-extensiven Früchten
- die Kombination bzw. Verpflichtung zum Abschluss einzelner Freiwilliger Vereinbarungen innerhalb der Fruchtfolge, bis hin zu besonderen Pflanzenschutz-Vorgaben.

Daneben gibt es weitere Aspekte, die zu einer Wirkungsverbesserung der Maßnahme beitragen. Hierzu gehören z. B.:

- die Intensität, der Zeitpunkt und die Technik der Bodenbearbeitung und des Pflanzenschutzes
- die Höhe und Technik der Düngung und die Düngerform

- die Bestandesführung inkl. Sortenwahl, Saatverfahren etc.

Daher ist es wichtig, nicht nur die Fruchtfolgegestaltung im Blick zu haben, sondern das vollständige Anbausystem.

Eine bewährte Vorgehensweise bei der Maßnahmenentwicklung wird nachfolgend beschrieben.

Zunächst wird die Ausgangssituation eines Gebiets oder Einzelbetriebs ermittelt. Dazu werden jeweils die prozentualen Fruchtanteile der letzten drei bis vier Jahre ermittelt und die „Ausgangsfruchtfolgen“ berechnet. In Arbeitskreisen werden dann gemeinsam mit den Landwirten bzw. mit dem einzelnen Betriebsleiter grundwasserschonende „Zielfruchtfolgen“ entwickelt, die die Herbst-N_{min}-Werte bzw. die N-Salden im Vergleich zur bisherigen Bewirtschaftung deutlich reduzieren können. Besonders akzeptanzfördernd sind betriebsindividuelle Maßnahmenbeschreibungen. Abbildung 83 zeigt beispielhaft eine vierjährige Fruchtfolge mit einem erhöhten Sommerungsanteil, den dadurch etablierten, leistungsfähigen Winter-Zwischenfrüchten sowie einer flankierenden Reduzierung der N-Düngung zu den Hauptfrüchten.

Die Kosten ergeben sich durch die Differenz der Deckungsbeiträge zwischen den Ausgangs- und den Zielfruchtfolgen. Die Datengrundlagen zur Berechnung sind dem Maßnahmenkatalog für FV des MU (MU 2007a) sowie den Richtwertdeckungsbeiträgen der LWK Niedersachsen und den KTBL-Richtwerten zu entnehmen.

Dabei werden meist dreijährige Mittelwerte der Marktpreise, der Düngerkosten sowie weitere Angaben aus den Richtwertdeckungsbeiträgen herangezogen, um Preisschwankungen zu glätten. Aus den Berechnungen ergibt sich ein mittlerer jährlicher Ausgleichsbetrag. Zudem wird die Anpassung der Fruchtfolge möglichst kostenminimierend durchgeführt, das heißt, eine Frucht-

1. Jahr				2. Jahr				3. Jahr				4. Jahr			
Frühj.	Sommer	Herbst	Winter	Frühj.	Sommer	Herbst	Winter	Frühj.	Sommer	Herbst	Winter	Frühj.	Sommer	Herbst	Winter
W-Getreide				SG	W-Getreide					Mais		W-Getreide			
		(Bsp. Senf)								(Bsp. Rübsen)					
reduz. N-Düngung		Winter-Zwischenfrucht		Fruchtfolgewechsel		reduz. N-Düngung		winterharte Winter-Zwischenfrucht		reduz. N-Düngung					

Abb. 83: Beispiel einer vierjährigen gewässerschonenden Fruchtfolge (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)

folgestellung folgt nicht um jeden Preis. Daher werden Früchte mit einem hohen Deckungsbeitrag, z. B. Frühkartoffeln in der Regel nicht aus der Fruchtfolge herausgenommen und entschädigt. Hinzu kommt eine möglichst starke Einbindung zusätzlicher FV (Einzelmaßnahmen) und deren Kosten, die die gewünschte stoffliche Auswaschungsminderung erhöhen.

Zur Bewertung von verschiedenen gewässerschonenden Anbausystemen bietet sich eine Kosten-Nutzen-Analyse an, die den mittleren jährlichen Ausgleichsbetrag mit der zu erwartenden Herbst-N_{min}- und N-Saldo-Reduzierung in Beziehung setzt. Die Kosten-Nutzen-Betrachtung pro eingespartem oder nicht ausgewaschenem Kilogramm Stickstoff erlaubt einen direkten Effizienzvergleich der jeweiligen Anbausysteme.

Erfolgsbewertung

Die zumeist hohe Eingriffsintensität der gewässerschonenden Anbausysteme erfordert seitens der WZB auch einen hohen Betreuungsaufwand. Meist müssen mit den Bewirtschaftern immer wieder neu die jeweils anste-

henden Maßnahmen abgesprochen werden. Darüber hinaus sollte über ein geeignetes Monitoring (Vorher-Nachher-Vergleiche) geprüft werden, ob die in den Kosten-Nutzen-Analysen zu erwartenden Herbst-N_{min}- bzw. N-Saldo-Reduzierungen auch tatsächlich eintreten, z. B. über Herbst-N_{min}-Beprobungen, die Auswertung von Ackerschlagkarteien und Beprobung der Sickerwasser-Dränzonen.

In der Abbildung 84 ist ein Beispiel zur Erfolgskontrolle dargestellt. Dabei wurden die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von acht Schlägen mit gewässerschonenden Anbausystemen zu Maßnahmenbeginn 2008 (Erfassung der vier zurückliegenden Sickerwasserjahre 2004 bis 2008) und zu Maßnahmenende 2012 (Erfassung von vier Sickerwasserjahren 2008 bis 2012) verglichen. Im Mittel konnte auf den acht Schlägen eine Verbesserung der Nitratwerte von 21 mg/l erreicht werden. Je höher die Ausgangswerte der Sickerwasserbelastung waren, desto stärker konnten die Nitratwerte reduziert werden (vgl. Schläge Nr. 4, 5 und 8).

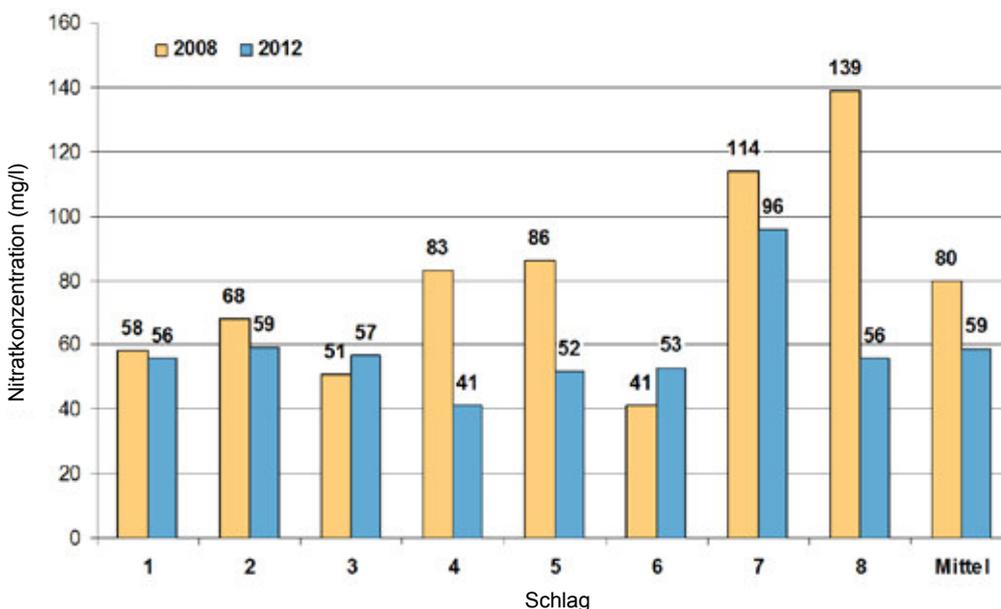


Abb. 84: Reduzierung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf Schlägen mit grundwasserschonenden Fruchtfolgen, Vergleich Maßnahmenbeginn 2008 zu Maßnahmenende 2012 (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, je nach N-Düngeniveau der Ausgangsfruchtfolgen Reduzierung um 20 bis 60 kg N/ha in der Zielfruchtfolge.
Saldominderung	- Ja, je nach N-Düngeniveau der Ausgangsfruchtfolgen Reduzierung um 20 bis 60 kg N/ha in der Zielfruchtfolge.
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, im Mittel der Zielfruchtfolge 20 bis 30 kg N/ha.
Sickerwasserentlastung	- Ja, im Mittel der Zielfruchtfolge 20 bis 40 mg Nitrat/l.

2.4.7 Ökologischer Landbau

Kurzcharakteristik

Aufbauend auf Kapitel 2.3.2 „Beratung im ökologischen Landbau“ werden an dieser Stelle Maßnahmen für Betriebe des ökologischen Landbaus vorgestellt, die aus der Wasserentnahmegebühr oder anderen Programmen in Niedersachsen gefördert werden. Dazu gehören:

- Förderung des ökologischen Landbaus in Niedersachsen durch Niedersächsische und Bremer Agrarumweltmaßnahmen (NiB-AUM, ML/MU 2014)
- Einzelne FV aus dem niedersächsischen Maßnahmenkatalog (MU 2007a) sind im ökologischen Landbau anwendbar.

Anwendungsbereich und Durchführung Förderung des ökologischen Landbaus durch NiB-AUM (BV 1)

Kofinanziert durch die Europäische Gemeinschaft und die Bundesregierung wird vom Niedersächsischen ML seit 1989 die Umstellung auf ökologischen Landbau finanziell unterstützt. Das mit der aktuellen Förderperiode beginnende NiB-AUM schließt an das bisherige Niedersächsische und Bremer Agrar-Umweltprogramm (NAU/BAU, ML 2011a) an. Im Rahmen von NiB-AUM besteht die Möglichkeit, Maßnahmen für den Ökolandbau in TGG und in der Zielkulisse Wasserrahmenrichtlinie abzuschließen, wenn die Flächen in Niedersachsen und Bremen liegen. Die bisherigen Agrarumweltmaßnahmen NAU C und W1 (Öko+) des NAU/BAU werden durch die Maßnahme BV 1 „Ökologischer Landbau“ der NiB-AUM ersetzt. Diese Förderung ist in BV 1.1 „Grundförderung“ (ehemals NAU C) und BV 1.2 „Zusatzförderung Wasserschutz“ (ehemals W1) aufgeteilt. Mit der Antragstellung von BV 1.1 und BV 1.2 verpflichtet sich der Betriebsinhaber, fünf Jahre nach den Regeln des Ökolandbaus zu wirtschaften.

Die genannte Maßnahme BV 1.1 umfasst neben der Umstellung auch die Beibehaltung des ökologischen Landbaus. Wesentliche Auflagen sind (s. Anlage BV 1.1, ML/MU 2014):

- Einführung oder Beibehaltung eines ökologischen Anbauverfahrens im gesamten Betrieb. Der Betrieb verpflichtet sich, nach den Vorschriften der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 und des dazugehörigen EG-Folgerechts zu wirtschaften.
- Spätestens einen Monat nach Beginn des Verpflichtungszeitraums muss der Betrieb einen Kontrollvertrag mit einer Öko-Kontrollstelle seiner Wahl abschließen. Es ist empfehlenswert, sich schon frühzeitig mit einer

Kontrollstelle in Verbindung zu setzen, um mit ihr den optimalen Umstellungsbeginn festzulegen.

- Die Zuwendungsbeträge sind bei der zuständigen Bewilligungsbehörde, in Niedersachsen bei der Landwirtschaftskammer, zu erfragen. Für die ersten beiden Jahre der Umstellung werden höhere Beträge gezahlt, ab dem dritten Jahr wird ein reduzierter Förderbetrag gewährt.

Weitere Informationen zur Umstellung bietet die LWK Niedersachsen (Stichwort „Biooffensive“) oder der Wasserschutzzusatzberater.

Die Maßnahme BV 1.2 „Zusatzförderung Wasserschutz“ dient dem Zweck der Einführung oder Beibehaltung einer besonders grundwasserschonenden Bewirtschaftung auf der Basis ökologische Anbauverfahren. Um die Flächenförderung zu erhalten, sind unter anderem folgende Vorgaben einzuhalten (s. Ausführungen der NiB-AUM, Anlage BV 1.2):

- Der gesamte Betrieb muss nach den jeweils aktuellen Vorschriften der Verordnung EG Nr. 834/2007 wirtschaften (EG 2007).
- Das gesamtbetriebliche Aufkommen tierischer Wirtschaftsdünger ist auf maximal 80 kg/ha Gesamtstickstoff zu beschränken und jährlich zu bescheinigen.
- Der Umbruch von Beständen mit Leguminosenanteil darf frühestens vier Wochen vor der Aussaat der Folgekultur erfolgen.
- Auf mähdäufigem Grünland ist mindestens eine Schnittnutzung pro Jahr mit Abfuhr vorzunehmen.

Hinweis zur Doppelförderung:

Die Doppelförderungsverbote auf der Grundlage der jeweils aktuellen Kombinationstabelle für Freiwillige Vereinbarungen und ELER müssen unbedingt geprüft werden (siehe Homepage des NLWKN)! Es ist z. B. keine Kombination mit der Freiwilligen Vereinbarung I.G. „Extensive Bewirtschaftung von Grünland“ sowie „I.O Ökolandbau und Gewässerschutz“ möglich.

Maßnahmen im Rahmen von Freiwilligen Vereinbarungen

Anbauempfehlungen zum ökologischen Landbau geben einen Anteil von etwa 30 % der Anbaufläche (AF) mit Hauptfruchtleguminosen an, insbesondere um eine ausreichende N-Versorgung der Marktfrüchte in der Fruchtfolge zu gewährleisten. Zusätzlich ist eine gute Kohlenstoffversorgung durch Gründüngung, Erntereste, Stallmist und gute Bodenstruktur vorzusehen (KAHNT 2008). Um

das Risiko von N-Austrägen beim Leguminosenanbau auf ein Minimum zu reduzieren, werden für niedersächsische TGG spezielle FV für Ökobetriebe angeboten. Die konkreten Bewirtschaftungsbedingungen sind dem jeweils aktuellen Maßnahmenkatalog für FV (MU 2007a) gemäß § 28 Abs. 3 Nr. 4b NWG (Nds. Landtag 2010) zu entnehmen. Exemplarisch werden nachfolgend zwei Maßnahmen aus dem Katalog der Kooperation Südharz vorgestellt (NLWKN 2011b).

Zwischenfruchtanbau für Ökobetriebe

Der Anbau von Zwischenfrüchten eignet sich nach früh räumenden Kulturen. Insbesondere, wenn deren Ernterückstände eine intensive N-Freisetzung erwarten lassen (z. B. Raps, Leguminosen, Kartoffeln), kann durch Zwischenfrüchte das N-Verlagerungsrisiko gemindert werden, da ca. 40 kg N/ha in der Pflanzenmasse gebunden werden. Zusätzlich wird die Humusbilanz verbessert. Speziell für Ökobetriebe werden Gemengeeinsaaten mit Leguminosenanteilen zugelassen. Beispiele für Leguminosengemenge sind in den Abbildungen 85 bis 87 dargestellt. Mindestanforderungen sind bspw.:

- Um eine gute Bestandsetablierung und damit N-Bindeleistung der Zwischenfrucht zu sichern, muss die Einsaat bis zum 05.09. eines Jahrs erfolgen.
- Eine Gemengeeinsaat ist verpflichtend (Leguminosenanteil / Nichtleguminosenanteil). Der zulässige Leguminosenanteil in der Saatmischung beträgt maximal 30% Gewichtsprozente.
- Der Umbruch der Zwischenfrucht darf frühestens ab dem 15.01. des Folgejahrs erfolgen (Ausnahmen für Standorte mit geringer bis mittlerer Austragsgefährdung: Umbruch ab dem 15.11. des Einsaatjahrs der Zwischenfrucht).
- Auf N-Düngung zur Zwischenfrucht muss verzichtet werden.
- Eine Beweidung ist unzulässig.

Die vollständigen Voraussetzungen für die Förderung (Mindestanforderungen) sind dem Nds. MU-Maßnahmenkatalog in der jeweils aktuellen Fassung zu entnehmen.



Abb. 85: Perserklee-Grasbestand (IGLU)



Abb. 87: Roggen-Wicken-Gemenge (IGLU)

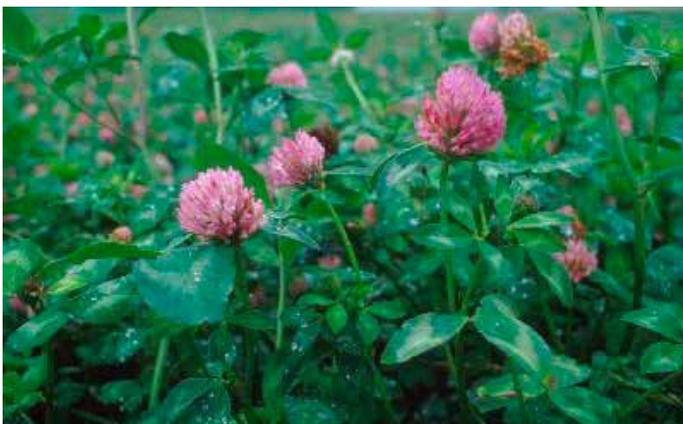


Abb. 86: Rotklee als Gemengepartner für den Zwischenfruchtanbau (IGLU)

Untersaaten in Körnerleguminosen und Getreide (inklusive Mais) für Ökobetriebe

Untersaaten können zeitig im Frühjahr mit der Hauptfrucht oder kurz nach deren Aussaat ausgesät werden. Sie eignen sich daher nicht nur für spät räumende Kulturen wie den Mais, sondern können nach früh räumenden Kulturen wie Getreide und Körnerleguminosen schnell nach der Ernte einen Bestand bilden (s. Abb. 88). Durch Untersaaten wird während der Wachstumszeit der Hauptfrucht Stickstoff gebunden, wenn auch in untergeordnetem Maße, da zunächst maßgeblich die Hauptfrucht gelingen soll. Der Wachstumsvorteil ermöglicht schon wenige Wochen nach der Ernte der Hauptfrucht gute Bestände, die mineralisierten Stickstoff aus den Ernteresten binden und sowohl als Gründüngung oder

als Ernteschnitt genutzt werden können. Anders als im konventionellen Anbau sind beim Abschluss von FV für Ökobetriebe auch Untersaatengemenge mit einem Leguminosenanteil zugelassen. Mindestanforderungen sind beispielsweise.:

- Aussaat einer winterharten Kleeegrasmischung als Untersaat
- maximal 30 % Gewichtsprozent zulässiger Leguminosenanteil in der Saatmischung
- bei nachfolgendem Anbau einer Sommerung Umbruch der Untersaat frühestens ab dem 15.01. des Anbaujahrs der Sommerung
- keine N-Düngung zur Untersaat nach Ernte der Deckfrucht
- Beweidung ist unzulässig.

Auch hier sind die vollständigen Voraussetzungen für die Förderung (Mindestanforderungen) dem nds. MU-Maßnahmenkatalog in der jeweils aktuellen Fassung zu entnehmen.



Abb. 88: Roggen-Erbсен-Gemenge, Bestände jeweils Ende Juni zur GPS-Ernte (IGLU)

Weitere Freiwillige Vereinbarungen

Weiterhin können auch im Ökolandbau unabhängig von der Betriebsform weitere FV genutzt werden:

- Förderung einer grundwasserschonenden Ausbringungstechnik für Wirtschaftsdünger (Nr. I.C des Nds. MU-Maßnahmenkatalogs* (MU 2007a))

- zeitliche Beschränkung der Aufbringung von Wirtschaftsdünger, Festmistausbringung (Nr. I.A*)
- Bodenruhe nach der Rapsernte bzw. Leguminosenernte vor Wintergetreide (Nr. I.E*)
- Reduzierte Bodenbearbeitung (Nr. I.J*)
- Nachsaat von Grünlandflächen (Nr. I.H*)
- gewässerschutzorientierte Fruchtfolgeumstellung (Nr. I.F*)

Für alle geförderten Flächen ist eine Schlagkartei zu führen. Die WZB ist in Anspruch zu nehmen.

Erfolgsbewertung

Die beschriebenen Maßnahmen zur Umstellung auf ökologischen Landbau sowie die Gewässerschutzmaßnahmen für den ökologischen Anbau leisten einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen und Stoffemissionen in die Umwelt (NLWKN 2011c). Die folgende Ergebnisdarstellung bezieht sich auf die Förderung des ökologischen Landbaus im auslaufenden Niedersächsischen und Bremer Agrar-Umweltprogramm (NAU/BAU 2014, ML 2011a), da für die beginnende Förderperiode mit den NiB-AUM noch keine Ergebnisse vorliegen:

- FV und Ökolandbau+:
Bezogen auf die Flächeneinheit Ackerland wird der FV das größte N-Minderungspotenzial (Herbst N_{\min} und N-Saldo) zugeschrieben. Auf Grünland werden eher Mitnahmeeffekte erwartet. Die Maßnahme hat derzeit nur eine geringe Flächenwirkung (Abschluss auf etwa 2 % der 303.778 ha LN in niedersächsischen TGG).
- NAU C Umstellung auf Ökolandbau:
NAU-Maßnahme mit dem größten N-Minderungspotenzial, bezogen auf die Flächeneinheit (Herbst- N_{\min} und N-Saldo). Diese Maßnahme hat allerdings derzeit nur eine geringe Flächenwirkung (Abschluss auf 3.342 ha in TGG, Stand 2011).
- Zwischenfrüchte und Untersaaten:
Beide Maßnahmen gelten im konventionellen Landbau als effiziente Wasserschutzmaßnahmen mit einem mittleren Herbst- N_{\min} -Minderungspotenzial von ca. 15 - 30 kg N/ha und ca. 15 - 30 kg N/ha saldominierendem Effekt. Ergebnisse speziell für die Maßnahmen im Ökolandbau liegen derzeit nicht vor.

Ergebnis/ Zusammenfassung

Parameter	Ölolandbau+	NAU C Ökologische Anbauverfahren
Düngungsminderung	- kein Mineraldünger zugelassen - Wirtschaftsdünger max. 80 kg N/ha*a ⁻¹ .	- kein Mineraldünger zugelassen - Wirtschaftsdünger max. 170 kg N/ha*a ⁻¹ mit Flächennachweis
Saldominderung	- 60 kg N/ha	- 60 kg N/ha
Herbst-N _{min} -Minderung	- 30 kg N/ha	- 30 kg N/ha
Sickerwasserentlastung	- hoch	- hoch
Kosten	- gehört zu den kostengünstigen Maßnahmen: 2,43 €/kg N-Bilanz Minderung 4,87 €/kg Herbst N _{min} -Minderung	- Finanzierung erfolgt über ELER
Weitere Effekte	- bei Umstellung systemimmanenter Wasserschutz, Förderung der Agrarbiodiversität, positive Klimaschutzeffekte	

(NLWKN 2011c)

2.4.8 Grünlandmaßnahmen

Der Grünlandanteil der niedersächsischen Trinkwasserschutzgebiete des Kooperationsmodells beträgt im Mittel 23,2 % (im Jahr 2011). Im Festgesteinsgebiet des südlichen Niedersachsen dominiert der Marktfruchtanbau und der Grünlandanteil ist mit 15,1 % am geringsten. Im Lockergesteinsgebiet östlich der Weser steigt der Grünlandanteil auf 21,1% und westlich der Weser bis auf 31,2 % an. Damit einhergehend steigt auch die Viehdichte von 0,39 im Festgesteinsgebiet bis auf 1,55 im westlich der Weser gelegenen Lockergesteinsgebiet (NLWKN 2011a).

Die Entwicklung des Grünlandanteils hat für den Grundwasserschutz eine besondere Bedeutung, denn einerseits geht von Grünlandflächen eine geringere Nitratbelastung aus als von Ackerflächen aus und andererseits bedingen Grünlandumbrüche Nitratbelastungen, die noch Jahre nach dem Umbruch gemessen werden können.

In Niedersachsen hat der Grünlandanteil seit 2005 bis 2009 um rund sieben Prozent abgenommen, sowohl in den Trinkwassergewinnungsgebieten als auch auf der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche. Am größten war der Grünlandrückgang in den Lockergesteinsgebieten, während der Rückgang in den Festgesteinsgebieten am geringsten war. Der deutliche Rückgang von Grünland, scheint derzeit gebremst zu sein, denn in

der Tendenz stagniert der Grünlandanteil seit 2009 bzw. steigt regional wieder leicht an (NLWKN 2011a).

Der Vermeidung von Grünlandumbrüchen kommt ein sehr hoher Stellenwert in der Wasserschutzzusatzberatung zu. Alternativen zum Umbruch gilt es zu vermitteln. Wo ein Umbruch nicht vermeidbar ist, können begleitende Maßnahmen helfen, Nitratausträge zu mindern.

Weiter bestehen Handlungsoptionen bei der Grünlandnutzung selbst. Hier kann durch gezielte Extensivierungsmaßnahmen die Grundwasserschutzleistung deutlich gesteigert werden, was insbesondere in ausstragsgefährdeten Gebieten von Interesse ist.

Für Flächen mit „hoher“ oder „sehr hoher“ Priorität kann eine Umnutzung von Acker in extensives Grünland eine dauerhafte Sicherung der Grundwasserqualität bieten.

Folgende Maßnahmen werden nachfolgend behandelt:

- Extensive Bewirtschaftung von Grünland
- Umbruchlose Grünlanderneuerung
- Begleitende Maßnahmen beim Grünlandumbruch
- Umwandlung von Acker in extensives Grünland/ extensives Feldgras

2.4.8.1 Extensive Bewirtschaftung von Grünland

Kurzcharakteristik

Dauergrünland umfasst im eigentlichen Sinne des Worts alle Flächen, die auf Dauer und ohne zeitliche Begrenzung von einer standort- und nutzungsspezifischen Vegetationsdecke aus mehr oder weniger artenreichen Pflanzengesellschaften bedeckt sind und deren Pflanzenaufwuchs landwirtschaftlich genutzt wird. Kennzeichnend für das Dauergrünland ist eine aus ausdauernden Gräser-, Leguminosen- und Kräuterarten vielseitig zusammengesetzte Narbe (KLAPP 1971). Im Gegensatz zu der Kurzlebigkeit von einjährigen Ackerkulturen gewährleistet die Ausdauer des Pflanzenbestands auf dem Dauergrünland ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit an Standort und Bewirtschaftung.

Typische Standortbedingungen für absolutes Grünland:

- Höhenlagen mit kurzer Vegetationsperiode und reichlichen Niederschlagsmengen
- Erosionsgefährdete Hanglagen
- Überschwemmungslagen
- Standorte mit hohem Grundwasserstand sowie Moorstandorte
- Böden mit hohen Ton- und Schluffanteilen
- flachgründige, steinige Böden

Je nach standörtlichen und wirtschaftlichen Gegebenheiten kann nach absolutem und fakultativem Grünland unterschieden werden (KLAPP 1971; VOIGTLÄNDER & JACOB 1987; VON BOBERFELD 1994). Das **fakultative** Grünland kann auch als Acker genutzt werden. Die Entscheidung über Acker- oder Grünlandnutzung hängt hier in der Regel von wirtschaftlichen Gründen, wie z. B. Betriebsgröße oder Zwang zur Tierhaltung, ab. Das **absolute** Grünland herrscht auf Flächen vor, die keine Ackernutzung erlauben.

Als **Dauergrünland** im fördertechischen Sinne gelten alle Flächen, die durch Ein- oder Selbstaussaat zum Anbau von Gras oder anderen Grünfütterpflanzen genutzt werden und mindestens fünf Jahre lang nicht Bestandteil der Ackerfruchtfolge sind (niedersächsische Dauergrünland-Erhaltungsverordnung, Nds. LANDESREGIERUNG 2009).

Aus Sicht des Gewässerschutzes bietet Grünland mehrere Vorteile gegenüber Ackerland:

- geringere N-Mineralisation durch Unterbleiben der Bodenbearbeitung (Ausnahme Grünlanderneuerung)
- hohe, ganzjährige Nährstoffaufnahme
- Schutz vor Erosion und Eutrophierung oberirdischer Gewässer
- geringer Pflanzenschutzmitteleinsatz.

Durch diese Vorteile werden unter Grünland im Mittel deutlich geringere N-Austräge gemessen als unter Ackerland. Ausnahmen bilden die Weidetierhaltung mit hohen Besatzdichten und der Grünlandumbruch zur Grünlanderneuerung oder Überführung in Ackernutzung (s. Kap. 2.4.8.2).

Anwendungsbereich

Bei der Bewirtschaftung von Grünland werden Weide, Mähweide und Wiese unterschieden. Dabei stellt aus Sicht des Grundwasserschutzes die Schnittnutzung die geeignetste Variante dar.

Weide: Bei der Weidenutzung wird der Aufwuchs von Weidetieren abgefressen (s. Abb. 89). Wegen der geringen Nährstoffabfuhr mit tierischen Produkten, der ungleichmäßigen Verteilung von Kot und Harn und gegebenenfalls der zusätzlichen Nährstoffzufuhr durch Zufütterung wird die reine Weidenutzung aus Grundwasserschutzsicht gegenüber der Mahdnutzung als ungünstiger bewertet.



Abb. 89: Weidenutzung (IGLU)

Mähweide: Die Mähweide ist durch den Wechsel von Schnittnutzung und Beweidung innerhalb einer Vegetationsperiode definiert. Dabei wird der ertragreiche erste Frühlingsaufwuchs überwiegend für die Silage- und gegebenenfalls Heugewinnung genutzt, während der spätere Aufwuchs vorwiegend abgeweidet wird. Vorteile gegenüber der reinen Weidenutzung ergeben sich aus der verringerten mittleren Besatzdichte, das heißt Minderung der Trittschäden und der Kot- und Harnzufuhr, und der höheren Nährstoffabfuhr durch die anteilige Mahdnutzung.

Wiese: Bei der Wiesennutzung wird der Aufwuchs zur Erzeugung von Silagegras und Heu verwendet. Die genau steuerbare Nährstoffzufuhr in Verbindung mit einer hohen N-Abfuhrleistung macht die Wiese zur optimalen Form der Grünland-Bewirtschaftung in TGG.

Mit steigender Mahdhäufigkeit nehmen die Futterqualität und der Ertrag zu (s. Abb. 90). Dadurch steigt der Nährstoffentzug überproportional zum Ertrag an. Das Risiko einer anschließenden N-Auswaschung wird gemindert (FREDE & DABBERT 1999). Aus diesem Grund wird eine möglichst hohe Schnitthäufigkeit gefordert. Bei Extensivgrünland sind maximal zwei bis drei Schnitte realistisch.



Abb. 90: Grünland mit Mahdnutzung (IGLU)

Die Mahdtermine sollten weitgehend dem Nutzer überlassen bleiben. Aus Sicht des Biotop- und Artenschutzes sind späte Nutzungstermine anzustreben. Die Futterqualität und die erzielbare Nährstoffabfuhr nehmen bei einer Verzögerung der Mahd jedoch ab.

Für hohe Milchleistungen ist junges, rohfaserarmeres Futter erforderlich, welches durch eine intensive, nutzungsangepasste Düngung und kurze Beweidungszeiten erreicht wird. Jung- und Mastrinder, ebenso Pferde und

Schafe bevorzugen dagegen einen rohfaserreichereren Aufwuchs. Dieses Grünland wird daher extensiv bewirtschaftet. Hier ist das Düngungsniveau niedriger und die Beweidungszeiträume sind länger.

Die Förderung einer extensiven Bewirtschaftung von Grünland ist besonders für Standorte mit hoher bis sehr hoher Grundwasserschutzpriorität zu empfehlen (s. Abb. 91). Primär gilt dies für Standorte mit hoher Nitrataustragsgefährdung und mit hohen N-Freisetzungspotenzialen. Auch auf extensiven Grünlandbeständen ist jedoch auf den Erhalt einer dichten Grasnarbe zu achten, um das Erosionsschutzpotenzial und die Nährstoffbindung der Grünlandbestände zu erhalten (durch beispielsweise Bewirtschaftungsmaßnahmen, angepasste Sorten und Artenwahl, Pflege).



Abb. 91: Extensiv Grünland (IGLU)

Durchführung

Bei der Dauergrünlandnutzung sollten unter Berücksichtigung der standörtlichen und produktionstechnischen Rahmenbedingungen folgende Maßnahmen zur Steigerung der Grundwasserschutzleistung geprüft werden:

- Kann die reine Weidenutzung durch eine Schnittnutzung optimiert werden?
- Kann die Mähweidenutzung durch Reduzierung des Weidegangs bei gleichzeitiger Erhöhung der Schnitthäufigkeit optimiert werden?
- Kann die reine Schnittnutzung durch ein verbessertes Schnittregime optimiert werden?
- Hier bieten sich gegebenenfalls auch Kombinationsmöglichkeiten zwischen Futternutzung und energetischer Nutzung an, indem der erste und gegebenenfalls zweite Schnitt zu Futterzwecken verwertet wird und die letzten Schnitte mit schlechteren Futtereigen-

schaften der energetischen Nutzung in Biogasanlagen zugeführt werden.

- Kann durch ackerbauliche Maßnahmen der Grasbestand in Hinblick auf die Gräserzusammensetzung, die Narbendichte die Ertragsleistung und somit optimale N-Entzugsbedingungen optimiert werden?
- Bestehen noch Optimierungspotenziale bei der N-Düngung, ohne die Ertragsleistung zu gefährden?
- Sind unter den gegebenen Standortbedingungen und Anforderungen seitens des Wasserschutzes darüber hinaus gehende Extensivierungsmaßnahmen anzustreben?

Wenn durch intensive Standweiden (insbesondere bei ganztägiger Außenhaltung) aufgrund der hohen N-Zufuhr aus der Düngung und Fütterung und der nur geringen N-Abfuhr erhebliche Nitratbelastungen zu erwarten sind, so kann im Extremfall eine Umstellung der Nutzungsintensität von intensiver Standweide auf extensive Standweide/ Mähweide erforderlich werden. Hier bietet der niedersächsische Maßnahmenkatalog (MU 2007a) die Möglichkeit zum Abschluss einer FV (Extensive Grünlandbewirtschaftung). Die Maßnahme wird für hoch austragsgefährdete Standorte empfohlen.

Mindest-Bewirtschaftungsauflagen für extensive Grünlandbewirtschaftung sind bspw.:

- Keine N-Düngung zwischen dem 01.10. und dem 31.01 des Folgejahrs
- Verzicht auf wendende oder lockernde Bodenbearbeitung während der gesamten Vertragslaufzeit
- Gegebenenfalls erforderliche Neuansaat nur im Schlitz-, Übersaat- oder Drillsaatverfahren
- Maximaler Viehbesatz 1,8 RGV/ha
- Eine Zufütterung auf der Fläche ist in der Zeit vom 01.07. bis 31.03. des Folgejahrs nicht zulässig.
- Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist unzulässig (Ausnahme bei Tipulabefall möglich).
- Führen einer Schlagkartei bzw. eines Weidetagebuchs.

Die vollständigen Voraussetzungen für die Förderung (Mindestanforderungen) sind dem Nds. MU-Maßnahmenkatalog in der jeweils aktuellen Fassung zu entnehmen.

Weitergehende Bewirtschaftungsauflagen: Weitere Einschränkungen können bei Bedarf und in Abstimmung mit der Kooperation vorgenommen werden. Zum Einsatz kommen unter anderem folgende Auflagen:

- N-Düngung beträgt pro Weidegang max. 30 kg N/ha. Bei ausschließlicher Weidenutzung ist die N-Düngung auf 90 kg N/ha und Jahr beschränkt.
- N-Düngung bei Schnittnutzung: max. 80 kg N/ha zum ersten Schnitt, insgesamt max. 180 kg N/ha und Jahr
- Kein Grünlandumbruch sowie Verzicht auf wendende oder lockernde Bodenbearbeitung, gegebenenfalls erforderliche Neuansaat nur in Schlitz-, Übersaat- oder Drillsaatverfahren; keine Einarbeitung des alten Bewuchses
- Kein weiterer Ausbau von Vorflutern oder Drainageeinrichtungen (die Instandhaltung vorhandener Anlagen bleibt hiervon unberührt), keine Durchführung reliefverändernder Maßnahmen.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zur gebietspezifischen Anpassung der Maßnahme.

Erfolgsbewertung

Durch die extensive Bewirtschaftung von Grünlandstandorten können die Nitratausträge gesenkt werden. Messbar ist dies durch niedrige Herbst- N_{\min} -Werte, verminderte Flächenbilanzsalden und letztlich in der Reduktion der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Die folgende Abbildung 92 zeigt langjährige Messergebnisse von Dränwasseruntersuchungen einer extensiv genutzten Dauergrünlandfläche mit FV im Vergleich zu einer Referenzfläche ohne Extensivierungsmaßnahmen mit zwei bis drei Schnittnutzungen und Gülledüngung. Die während der Sickerwasserperiode gemessenen mittleren Dränwasseraustritte der extensivierten Grünlandfläche liegen in allen Jahren unter denen der Referenzfläche. Im Mittel werden um 15 mg NO_3^-/l geringere Nitratkonzentrationen gemessen.

Ein Beispiel für die N-austragsmindernde Wirkung des Nährstoffexports durch Schnittnutzung zeigt Abbildung 93. Untersuchungen von BOBERFELD (1994) zeigen in neunjährigen Versuchen, dass die Herbst- N_{\min} -Werte mit Zunahme der Schnitthäufigkeit abnehmen. Dieser Effekt ist umso größer, je höher das N-Düngeniveau gewählt wurde.

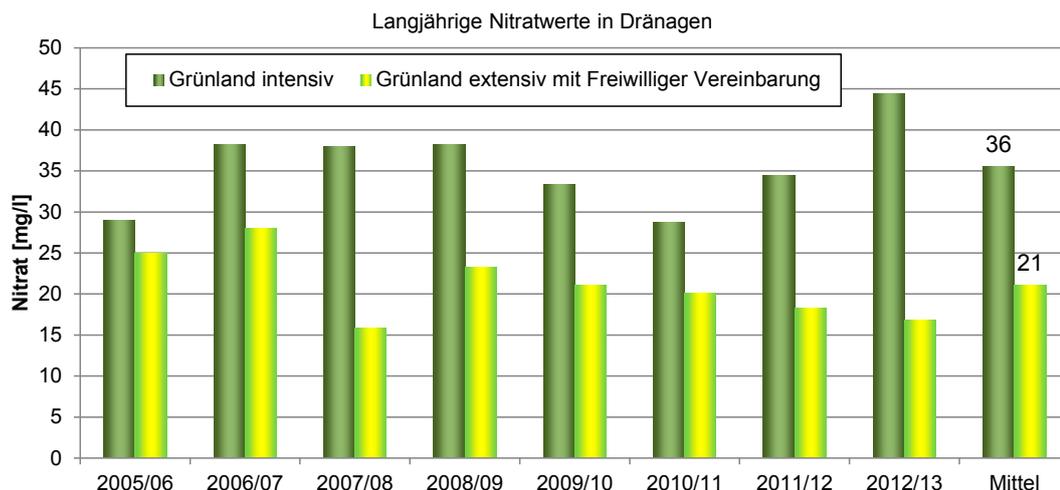


Abb. 92: Langjährige Nitratwerte in Drainageausflüssen unter Intensiv-Grünland und Extensiv-Grünland (Mittelwerte aus je 5 Werten über Winter), Kooperation Südharz. (IGLU)

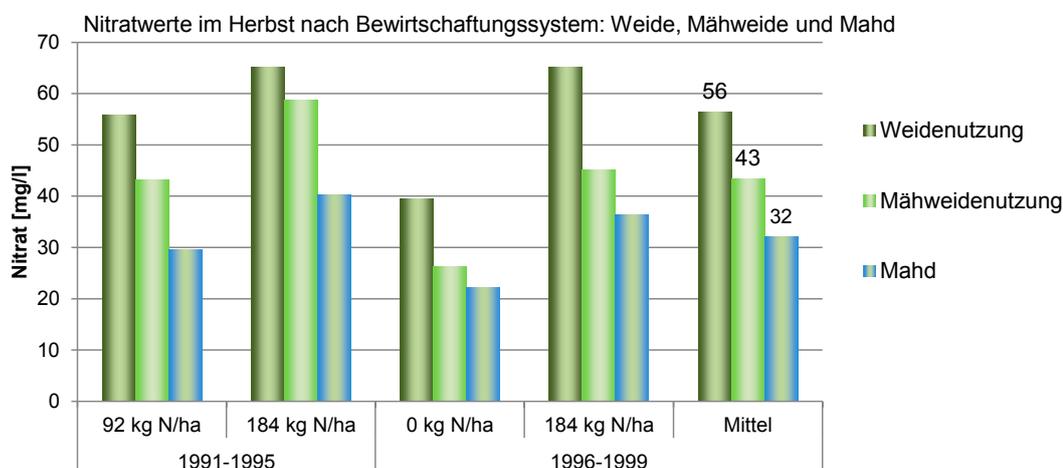


Abb. 93: Nitratwerte im Boden im November unter Weide-, Mähweide- und Mahd-nutzung. Untersuchungen zwischen 1995 und 1999. Unterschiedliche Dünge-stufen. (IGLU)

Erfolgsbewertung

Dauergrünland leistet in der Regel einen hohen Grundwasserschutz. Optimierungspotenziale von normal und intensiv genutztem Grünland bestehen in der Steigerung der Schnitthäufigkeit und Anpassung der N-Düngegaben. Reine Weidehaltung mit hohen Besatzdichten und Standweiden sollten vermieden werden.

Für austragsgefährdete Standorte kann eine weitergehende Extensivierung der Nutzung erforderlich werden. Zur Verbesserung der Sickerwasserqualität stellt extensiv bewirtschaftetes Dauergrünland die geeignetste Form der landwirtschaftlichen Flächennutzung dar.

Bei extensiver Grünlandnutzung werden die Ausbringungszeiträume und -mengen von N-Gaben begrenzt. Bei Weidenutzung sollten wegen der ungleichmäßigen Verteilung der Exkrememente Besatzstärken von max. 1,8 GVE/ha eingehalten werden. Winteraußenhaltung und Zufütterung sind weitestgehend zu vermeiden.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, jedoch in Abhängigkeit von der Nutzung des Aufwuchses
Saldominderung	- Ja, Verringerung des Stickstoffüberschusses bei 10–60 kg N/ha* a ⁽¹⁾
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, Minderung des Herbst-N _{min} -Werts um 10–40 kg N/ha*a ^(1,2)
Sickerwasserentlastung	- Ja, 10–20 kg N/ha Reduktion der N-Fracht
Weitere Effekte	- Sehr positiver Schutz vor Erosion und Oberflächenabfluss, positiver Effekt auf Landschafts-, Natur- und Klimaschutz

(1) Quelle: abgeleitet aus OSTERBURG et al. 2007

(2) Quelle: SCHMIDT & OSTERBURG 2010

2.4.8.2 Umbruchlose Grünlanderneuerung

Kurzcharakteristik / Anwendungsbereich

Eine intakte leistungsfähige Grünlandnarbe vermag ein Maximum an Stickstoff aufzunehmen und die N-Auswaschung in das Grundwasser zu minimieren (FREDE & DABBERT 1999). Grünlandnarben können sich jedoch während der Nutzungsdauer verschlechtern. Die Ursachen hierfür können sowohl natürliche Prozesse als auch Bewirtschaftungsfehler sein (siehe Exkurs). Die Verschlechterung führt zu einer unzureichenden Eignung des Pflanzenbestands für die futterwirtschaftliche Nutzung und letztlich aus Sicht des Grundwasserschutzes zu Nährstoffverlusten. Wenn trotz aller Pflegemaßnahmen die Ertrags- und die Ausdauerfähigkeit einer intakten Grünlandnarbe nicht wieder hergestellt werden kann, ist eine Grünlanderneuerung, das heißt eine Neueinsaat unerlässlich (s. Abb. 94).

Hintergrund

Grünlandumbruch vermeiden: Langjährige Grünlandnarben verfügen über große Mengen leicht mineralisierbaren Stickstoffs. Bei einem Umbruch durch einen Pflug oder Tiefengrubber kann ein großer Teil davon in kurzer Zeit mineralisiert werden (NLWKN 2010b).

Die Folgekulturen können diese freigesetzten Mengen jedoch nur zu einem Bruchteil aufnehmen. Ein Großteil der freigesetzten Nitratmenge wird deshalb ausgewaschen. Analyseuntersuchungen des oberflächennahen Grundwassers im WSG Fuhrberger Feld zeigen, dass unterhalb einer Grünlandumbruchfläche die Nitratwerte von einem sehr niedrigen Niveau < 10 mg/l nach einem Jahr auf 180 mg/l angestiegen sind (NLWKN 2010b).

Verschiedenen Untersuchungen und Auswertungen ist zu entnehmen, dass in den ersten fünf Jahren nach einem Grünlandumbruch mit Mineralisationsmengen von 500–2.500 kg N/ha (HÖPER 2009) bzw. 1.200 kg N/ha (DUYNISFELD et al. 1993) einzuplanen sind. Aus Sicht des Grundwasserschutzes ist daher der Erhalt von Grünlandflächen bzw. langjährig begrünter Flächen eine der wichtigsten vorsorgenden Maßnahmen (s. Kap. 2.4.8.3).

Vorbeugung durch Grünlanderhalt: Geeignete Pflegemaßnahmen sorgen für eine dauerhafte Erhaltung einer intakten leistungsfähigen Grünlandnarbe. Hierdurch werden nicht nur hohe Erträge mit hoher Futterqualität gewährleistet, sondern auch die Nährstoffausträge möglichst gering gehalten. Ein Umbruch zur Grünlanderneuerung kann langfristig vermieden werden.

Grünland erhaltende Maßnahmen zur Vermeidung von Umbrüchen sind:

- Standortangepasste Arten- und Sortenwahl
- Regelmäßige Nach- und Übersaaten
- Angepasste Schnitt- und Beweidungsintensität, z. B. Weiden mit regelmäßiger Nachmahd zwei- bis dreimal pro Jahr
- Wechsel zwischen Mäh- und Weidenutzung
- Walzen aufgefrorener Böden zur Wiederherstellung des Bodenschlusses der Grasnarbe
- Abschleppen zur Einebnung von Maulwurfshaufen, gegebenenfalls Striegeln zur Narbenbelüftung (Aufreißen von Mulchdecken)
- Maßnahmen gegen Wühlmäuse und Tipula-Befall
- Regelmäßige Bekämpfung von Unkrautnestern.



Abb. 94: Maschinenvorführung Technikeinsatz zur umbruchlosen Grünlanderneuerung im Rahmen einer Wasserschutzveranstaltung (IGLU)

Tab. 43: Ursachen für die Verschlechterung von Grünlandnarben in Anlehnung an Ratgeber der LWK NRW (2011)

Natürliche Faktoren	Bewirtschaftungsfehler	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Standortmängel ■ Nässe, Trockenheit, extreme Witterung ■ Dürreschäden ■ Auswinterung nicht ausreichend winterharter Arten und Sorten ■ Schädlinge (u. a. Mäuse, Maulwürfe) und Krankheiten (z. B. Tipula, Schneeschimmel, Roste) 	<p>Beschädigung und Ersticken der Narbe z. B. durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Tritt- und Fahr Schäden ■ Zu tiefer Schnitt ■ Überweidung ■ Reste nach Weidemaß und Futterwerbung ■ Zu kurze oder zu üppige Aufwüchse bei Wintereintritt 	<p>Nutzungs- u. Düngungsfehler z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Einseitige o. überhöhte Düngung ■ Schlechte Verteilung und überhöhte Gaben von Wirtschaftsdüngern ■ Nicht zeitgerechte Gülle- und Stallmistausbringung ■ Kalkmangel

Anwendungsbereiche:

Wenn eine Grünlanderneuerung, sprich eine Neueinsaat trotz aller Pflegemaßnahmen unerlässlich ist, ist diese im Sinne des vorsorgenden Grundwasserschutzes möglichst umbruchlos zu gestalten. Eine Mineralisierung wird dadurch deutlich verzögert und fällt häufig erst in die Zeit des zunehmenden Nährstoffbedarfs der Grünlandneueinsaat.

Eine umbruchlose Grünlanderneuerung durch Neueinsaat ist für alle Standorte zu empfehlen. Insbesondere schwere Brackmarschen, vermüllte Moorböden, echte Niedermoorstandorte, flachgründige Magerstandorte und starke Hanglagen sind hierfür prädestiniert.

Durchführung

Für den Grundwasserschutz wird eine umbruchlose Grünlanderneuerung als FV angeboten.

Neueinsaat:

- Erfolgt eine solche Maßnahme im zeitigen Frühjahr, so setzt das Verfahren in der Regel den Einsatz eines Totalherbizides, z. B. Glyphosat, auf den Altbestand voraus.
- Nach dem Absterben der alten Grünlandnarbe erfolgt eine Neueinsaat im Schlitz- oder Übersaatverfahren. Wird das Drillsaatverfahren verwendet, empfiehlt sich eine vorhergehende flache Saatbettbereitung bei einer Tiefe von maximal 5 cm.

Hinweis zum Einsatz von Glyphosat

Mit dem Einsatz von Totalherbiziden steigt die Gefahr des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser. Das überwiegend verwendete Glyphosat zeichnet sich durch einen relativ schnellen Abbau im Boden aus. Da es aber sehr häufig angewendet wird, kommt es auch zu relativ häufigen Funden des Wirkstoffs oder dessen Metaboliten im oberflächennahen Grundwasser. In WSG mit nachgewiesenen Funden im oberflächennahen Grundwasser sollte der Einsatz nicht gestattet werden. In Gebieten ohne Funde sollten die Aufwandmengen je Hektar, dem Vorsorgegrundsatz für den Grundwasserschutz entsprechend, möglichst niedrig gehalten werden (NLWKN 2013d).

Nachsaat:

- Je nach Zustand der alten Grünlandnarbe kann auch eine Grünlandnachsaat ohne jegliche Bodenbearbeitung ausreichend sein. FREDE & DABBERT (1999) empfehlen unmittelbar nach einer Nutzung in den Sommermonaten, das Saatgut entweder durch Übersaat (breitwürfig) oder mit einem Direktsaatgerät auszubringen, um die vorhandene Grünlandnarbe nicht zu zerstören.
- Eine gute Narbendichte wird erreicht durch enge Reihenabstände bzw. bei überkreuzdrillen mit halber Saatmenge.
- Ein abschließendes Walzen der Neueinsaat ist erforderlich.

Erfolgsbewertung:

Mehrjährige Sauglanzenbeprobungen im oberflächennahen Grundwasser eines niedersächsischen Geeststandorts zeigen die typisch niedrigen Nitratgehalte zwischen Null und 10 mg NO₃/l unter Grünland. Angrenzend erfolgte ein Grünlandumbruch mit anschließender Maisfolgenutzung. Die Nitratwerte unter der Umbruchfläche zeigten in den ersten zwei Jahren deutlich Mineralisationsschübe mit zeitweiligen Spitzenwerten von 180

mg NO₃/l. In den Sommermonaten sanken die Werte nur zum Teil durch den pflanzlichen N-Entzug, zum Großteil jedoch durch Denitrifikation ab (steigende THG-Emissionen). Erst mit den Jahren wird sich an dem Standort voraussichtlich wieder ein niedrigeres N-Mineralisationspotenzial einstellen. Das Beispiel macht deutlich, dass die Vermeidung von Grünlandumbrüchen eine essentielle Grundwasserschutzmaßnahme darstellt (s. Abb. 95).

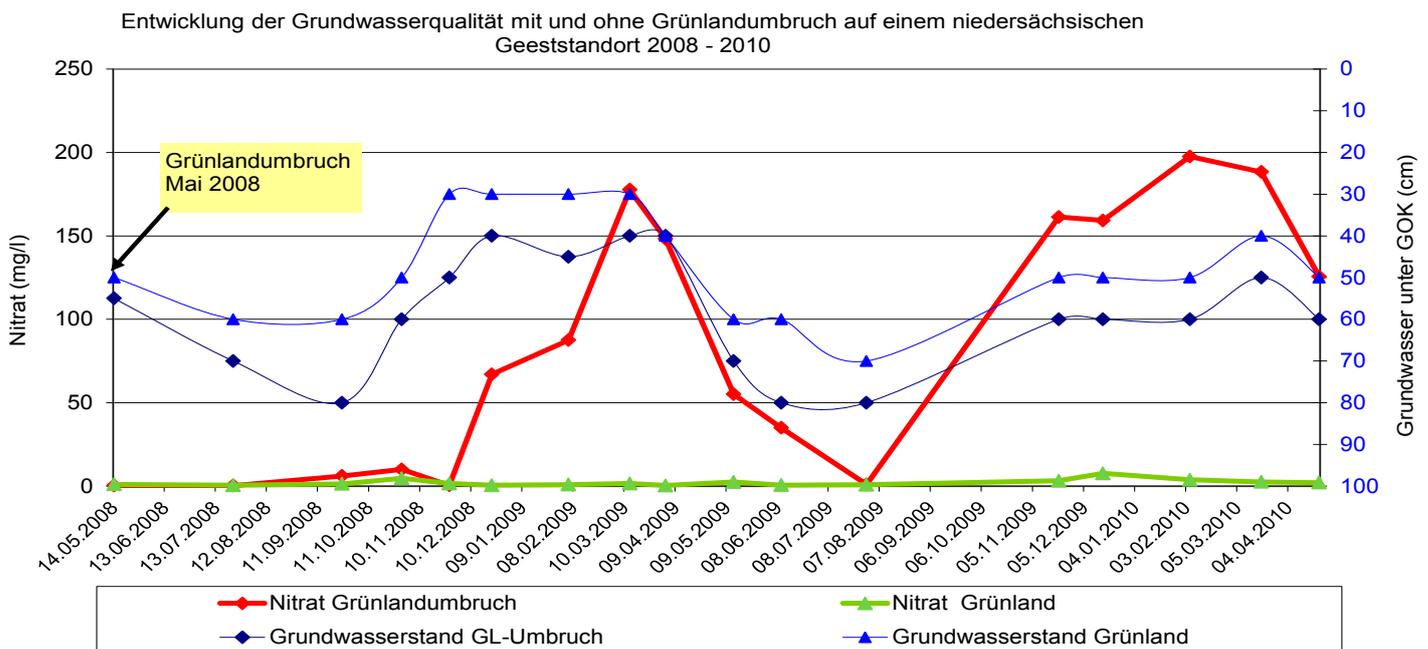


Abb. 95: Entwicklung der Grundwasserqualität unter Grünland im Vergleich zu einem Grünlandumbruch mit Maisnachnutzung in einem TGG (IGLU)

Erfolgsbewertung

Durch eine umbruchlose Grünlanderneuerung kann der Nitrataustrag in das Grundwasser deutlich vermieden werden.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, bei der umbruchlosen Erneuerung kann gegenüber der Umbruchvariante verhaltener gedüngt werden. Später zeigt die Neuansaat eine effizientere Nährstoffverwertung, die sich ebenfalls düngungsmindernd auswirken kann.
Saldominderung	- Ja, ca. 10 kg N/ha*a (beschränkte Eignung des Saldos als Erfolgskriterium)
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, ca. 40–80 kg N/ha a ⁽¹⁾ . Besonders in den ersten Jahren nach der Grünlanderneuerung werden Belastungsspeaks vermieden.
Sickerwasserentlastung	- Ja, um 40–80 kg N/ha*a reduzierte N-Frachten gegenüber der Umbruchvariante und Reduktion des Sickerwassers um bis zu 200 mg NO ₃ /l.
Weitere Effekte	- Schutz vor Erosion und Oberflächenabfluss, Klimaschutz (Verminderung von CO ₂ - und NO _x -Belastungen)

(1) abgeleitet aus OSTERBURG et al. 2007

2.4.8.3 Begleitende Maßnahmen bei Grünlandumbruch

Kurzcharakteristik

Erhöhte Risiken der N-Freisetzung und Nitratauswaschung bei Umbruch von Dauergrünland in Ackerland begleiten die Wasserwirtschaft in Niedersachsen seit der ersten großen Umbruchwelle in den 1970er Jahren. Die damaligen Anlässe waren der generelle Rückzug aus der Milchviehhaltung, die großflächige Entwässerung grundwassernaher Grünlandflächen und die Umstellung der Grundfuttererzeugung in der Rindviehhaltung von Gras auf Silomais.

In vielen TGG hat die entnahmebedingte Grundwasserabsenkung den Grünlandumbruch nochmals verstärkt, da hierdurch „absolute“ Grünlandstandorte (geringe GW-Flurabstände) in „fakultatives“ und damit ackerfähiges Grünland (größere GW-Flurabstände) überführt wurden. So gab es z. B. im WSG Fuhrberger Feld der Stadtwerke Hannover AG 1970 noch etwa 8.000 ha Grünland, von dem seither mehr als 50% in Acker überführt wurden, davon allein 3.400 ha zwischen 1975 und 1980.

Die nächste große Umbruchwelle in Niedersachsen ist jüngerem Datums und hat mehrere Ursachen:

- Die GAP-Reform 2003 und die darauf folgende Erstellung eines Grünlandkatasters (Befliegung) bei Einführung des InVeKoS haben dazu geführt, dass zur Sicherung des Ackerstatus im Agrarantrag viele Grünlandflächen umgebrochen wurden.
- Der durch das erste EEG 2004 und zweite EEG 2009 ausgelöste Boom an Biogasanlagen und der seither massiv angestiegene Flächenbedarf für Energiemais
- Einschränkungen zum Grünlandumbruch im Rahmen von Cross Compliance(CC)-Anforderungen bei Direktzahlungen (s. Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland VO EG Nr.73/2009 (EU 2009c)) und deren Umsetzung durch eine Landesverordnung im Oktober 2009 (NDS. LANDESREGIERUNG 2009) mit Einführung einer Genehmigungspflicht für Grünlandumbruch (vgl. sog. 5%-Regelung) waren zu erwarten. Dies hat dazu geführt, dass viele Landwirte Grünland vorbeugend umgebrochen haben.
- Die generell gestiegene Wertschöpfung im Ackerbau durch hohe Marktpreise für Agrarprodukte.

Hierdurch wurden zwischen 2003 und 2012 in Niedersachsen insgesamt 68.000 ha des über die GAP-Flächenförderung gemeldeten Grünlands umgebrochen (s.

Abb. 96), schwerpunktmäßig auf stark humosen Böden, mit einem hohen N-Mineralisationspotenzial (SCHÜTTE 2013). Dabei ist Mais die dominante Flächennutzung nach Grünland (NABU & DVL 2009).



Abb. 96: Grünlandumbruch eines Gley-Podsol-Bodens (IN-GUS)

Grünlandumbrüche führen infolge der Bodenbearbeitung (Belüftung) zum Abbau (Mineralisation) von Humusvorräten über einen Zeitraum von bis zu 20 Jahren und mehr. STREBEL et al. (1988) haben festgestellt, dass innerhalb der ersten zwei bis vier Jahre im A-Horizont umgebrochener Grünlandflächen von Sandböden 5.000 bis 6.000 kg N/ha freigesetzt werden. Der jährlich mineralisierte Stickstoff übersteigt den Nährstoffbedarf angebaute Ackerfrüchte um das Mehrfache. Die Folge sind hohe bis sehr hohe Herbst-N_{min}-Werte (100 bis > 500 kg N/ha und Jahr). Daraus resultieren hohe Nitratbelastungen im Sicker- und Grundwasser.

Die Wahrscheinlichkeit kritischer Belastungen steigt mit dem N-Freisetzungspotenzial der Fläche, das heißt dem Vorrat des organisch gebundenen Stickstoffs im Humus in Verbindung mit der Humusqualität (Abbaubarkeit). Problemflächen sind besonders solche, wo hohe Humusgehalte mit einer hohen Abbaubarkeit zusammentreffen (SPRINGOB 2010).

Anwendungsbereich und Durchführung

Begleitmaßnahmen zum Schutz des Grundwassers nach Grünlandumbruch sind in WSG in Niedersachsen eng an die wasserrechtlichen Vorgaben zum Grünlandumbruch gebunden. Schon deutlich länger als die Cross Compliance Anforderungen zum Grünlanderhalt gibt es hier in festgesetzten WSG gemäß der „Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten (SchuVO)“

ein Umbruchverbot für „absolutes“ Grünland und eine Genehmigungspflicht für den Umbruch von „fakultativem“ Grünland (MU 2009). Häufig gelten weitere Regelungen in örtlichen Schutzgebietsverordnungen.

Zur Einhaltung der Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland (Nds. LANDESREGIERUNG 2009) müssen Betriebe mit Direktzahlungen zwei getrennte Antragsverfahren durchlaufen: Zunächst ist ein Antrag bei der zuständigen Landwirtschaftsbehörde zu stellen, der unter anderem die Überprüfung naturschutzfachlicher Belange durch die Unteren Naturschutzbehörden beinhaltet. Nach Vorliegen dieser Genehmigung muss ein zusätzlicher Antrag bei der UWB gestellt werden, bei dem die wasserwirtschaftlichen Belange im Mittelpunkt stehen. Betriebe ohne Direktzahlungen müssen die Anträge direkt bei der UWB stellen.

Durch die Antragspflicht können die UWB ihre Anforderungen zum Schutz des Grundwassers in jedem Einzelfall (flächenscharf) einbringen. Genehmigungen (meist mit Auflagen) werden in der Regel mit der WZB abgestimmt. Hierfür wurden in den letzten Jahren fachliche Bewertungsgrundlagen und -verfahren für einen flächenscharfen Einsatz entwickelt.

Von der Genehmigungsbehörde werden folgende Prüfschritte in entsprechender Reihenfolge durchgeführt:

Vorab: Überprüfung, ob absolutes oder fakultatives Grünland vorliegt.

Die Definitionen und die Vorgehensweise zur Überprüfung sind in einem „Kriterienkatalog Nutzungsänderungen von Grünlandstandorten in Niedersachsen“ (BOESS et al. 2011) veröffentlicht. Die Erstbeurteilung erfolgt zunächst auf Basis vorhandener Bodenkarten oder ähnlicher Datengrundlagen. Lediglich bei Verdachtsflächen mit absolutem Grünland (z. B. geringer GW-Flurabstand, hoher Humusgehalt) wird eine fachgutachterliche Bearbeitung mit Geländebegehung und bodenkundlichen Bohrungen beauftragt. Bei Feststellung von absolutem Grünland wird der Umbruch versagt.

Bei fakultativem Grünland wird eine Gefährdungsabschätzung vorgenommen, auf deren Grundlage je nach Gefährdungsstufe entweder:

- eine Genehmigung ohne Auflagen,
- eine Genehmigung mit Auflagen
- oder ggf. auch eine Untersagung ausgesprochen werden kann.

Beispielhaft wird nachfolgend ein Antrags- und Bewertungsverfahren zur Gefährdungsabschätzung für fakultatives Grünland vorgestellt. Es wurde im WSG Fuhrberger Feld aus einem Modellvorhaben zur Humusforschung heraus entwickelt und trägt den Namen „Nfair-Konzept“ (SPRINGOB 2010). Das Verfahren wird von der Unteren Wasserbehörde der Region Hannover mit Unterstützung der WZB in der Praxis angewandt. Es ist vom Grundsatz her auf andere Schutzgebiete übertragbar. Es trennt potentiell unkritische von kritischen Grünlandflächen, stuft letztere weiter ab, und weist entsprechend abgestufte Bewirtschaftungsauflagen zu. Diese sind umso höher, je größer das Gefährdungsrisiko ist. Vorteil ist, dass das Verfahren auf Basis von Messwerten weitgehend standardisiert und transparent ('fair') abläuft. Gleichzeitig kann für Grünlandflächen ohne stark erhöhte N-Freisetzungspotenziale die Genehmigung stark vereinfacht werden, so dass eine Konzentration auf die eigentlichen Problemflächen möglich wird.

Die Bestandteile des Verfahrens sind:

1. Eine vorliegende Umbruchgenehmigung der LWK Niedersachsen gemäß Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland (Nds. LANDESREGIERUNG 2009).
2. Ein weiteres Antragsformular zur Nutzungsänderung von fakultativem Grünland im WSG, mit:
Anlage 1: „Flächennachweis und Begründung“
Anlage 2: „Ermittlung des N-Freisetzungspotenzials“ anhand einer nach bodenkundlichen Kriterien gezogenen Humusprobe und einer Humusgehaltsanalyse eines Labors. Dies führt in der Regel die WZB durch.
3. Aus der Humusanalyse (C_{org} , Gesamt-N) ermittelt die Untere Wasserbehörde anhand von Tabellen das N-Freisetzungspotenzial (als N-Überhang), das sich aus dem Vorrat an abbaubarem N_{org} relativ zu einem Bezugswert (Humusgleichgewicht) ergibt. Dazu wurde bisher der Parameter 'Effektiver N-Überhang' verwendet, der auch die Humusqualität berücksichtigt, wobei hier mittelfristig und nach Auswertung der bisherigen Erfahrungen weitere Vereinfachungen wahrscheinlich sind, z. B. Systeme, die nur noch auf dem Gesamt-N-Gehalt (N_t) des Standorts beruhen. Die Gefährdungsabschätzung wird dann anhand der fünf Risikoklassen nachfolgender Bewertungsmatrix (s. Tab. 44) vorgenommen. Die Gefährdung nimmt mit steigendem N_{eff} - bzw. N_t -Wert zu.
4. Je höher die Risikoklasse, umso umfangreicher werden die Auflagen:

- Bei den Risikoklassen 1 bis 3 gibt es weitgehend standardisierte Auflagen mit drei- bis fünfjähriger Laufzeit (Auflagen sind z. B. kein Herbstumbruch, Düngeplanung mit der Wasserschutzzusatzberatung, keine organische Düngung, kein Leguminosenanbau, sommerungsbetonte Fruchtfolgen mit Zwischenfruchtanbau oder absoluter Bodenruhe über Herbst und Winter).
- Bei Risikoklasse 4 werden individuell zugeschnittene Auflagen mit siebenjähriger Laufzeit festgelegt (Auflagen sind: ergänzend zu Klasse 1 bis 3 stark reduzierte bis unterlassene N-Düngung).
- In der Risikoklasse 5 ist im Einzelfall zu entscheiden, ob der Umbruchartrag abgelehnt wird.

Tab. 44: Risikoklassen erhöhter N-Freisetzung bei Grünlandumbruch auf Basis der gemessenen Kenngröße „N-Überhang in kg N/ha“ in 0-30 cm Bodentiefe und abgestufte Herleitung von Auflagen (SPRINGOB 2010)

Klasse	1	2	3	4	5
N-Überhang (kg N/ha, effektiv)	<2000	2001-4000	4001-6000	6001-8000	>8000
Bewertung	Unerheblicher N-Überhang	Deutlicher N-Überhang	Hoher N-Überhang ¹⁾	Hoher N-Überhang ¹⁾	Sehr hoher N-Überhang ²⁾
Folge	Genehmigung ohne Auflagen	Genehmigung mit Auflagen			Einzelfallbewertung unter Beteiligung von Landwirt, Behörde, Wasserversorger, Beratung
Maßnahmen	keine	Standard 1, einheitlich	Standard 2, einheitlich	Individuell nach Abstimmung mit der Beratung	

1) Der Bereich 4000-8000 kg ('hoch') wird als der wesentliche Problembereich eingestuft, da häufig vorkommend und mit starker N-Freisetzung verbunden. Die Klasse wurde hier noch unterteilt, um die Maßnahmen differenzieren zu können.

2) Die Bezeichnung 'extrem' wurde vermieden, da es tatsächlich noch extremere Standorte gibt, teilweise sogar unter Acker.

Erfolgsbewertung

Die beste Maßnahme für den Grundwasserschutz ist die Vermeidung von Grünlandumbrüchen. Daher sollten Umbrucharträge von Landwirten zunächst in jedem Einzelfall zwischen den Akteuren hinsichtlich ihrer Notwendigkeit und möglicher Alternativen zur Ackernutzung ausreichend geprüft und verhandelt werden.

Im Falle nicht vermeidbarer Genehmigungen können für Flächen mit einem geringen bis mittleren N-Freisetzungsrisiko (vgl. N_t -Gehalt) die Risiken erhöhter Nitrataustrags durch verbindliche, mehrjährige Bewirtschaftungsauflagen gemildert werden. Bewirtschaftungsauflagen können in den ersten fünf bis zehn Jahren nach dem Umbruch meist aber nur ca. 1/4 bis 1/3 der hohen N-Freisetzung abfangen, so dass die verbleibenden N-Mengen immer noch ein erhöhtes Belastungsrisiko für das Grundwasser darstellen. Wie gut Auflagen greifen, bzw. wie hoch das verbleibende Restrisiko ist, kann sehr gut über die Herbst- N_{min} -Methode nachgewiesen werden.

Hierzu bietet sich ein gesondertes stoffliches Monitoring mit folgenden Komponenten an:

- Lückenlose Erfassung aller Umbruchflächen z. B. Lage, Bodencharakterisierung (insbesondere N-Gehalt), Umbruchjahr, Auflagen
- Gezielte Bepflanzung und jährliche Umsetzung eines Sonder-Untersuchungsprogramms (alle Umbruchflächen oder repräsentative Auswahl) (vgl. hierzu auch Vorschläge in NLWKN (2010d) „Anforderungen an den Einsatz der N_{min} -Methode“, S. 14 bis 16).
- Auswertung zur Entwicklung des Belastungsrisikos.

Grünlandumbrüche „mit“ Auflagen können alle in nachfolgender Übersicht aufgeführten Erfolgsparameter deutlich verbessern, trotzdem verbleibt immer noch ein deutlich höheres Belastungsrisiko für alle genannten Parameter, als dies auf im Humusgleichgewicht befindlichen Ackerflächen der Fall ist.

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, deutliche Einsparungen nahezu in Höhe des gesamten Düngebedarfs angebauter Haupt- und Zwischenfrüchte in den ersten fünf bis zehn Jahren nach Umbruch möglich.
Saldominderung	- Ja, theoretisch in der Höhe der erreichten N-Düngeeinsparung. Aber: Bisher wird das Bilanzglied „Umbruchbedingte N-Freisetzung“ nicht als N-Zufuhr berücksichtigt.
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, trotzdem verbleibt in der Regel ein hoher Herbst-N _{min} -Wert, da die begrenzte N-Aufnahme der Haupt- und Zwischenfrüchte die hohe N-Freisetzung nur teilweise abfangen kann.
Sickerwasserentlastung	- Ja, trotzdem verbleiben in der Regel sehr hohe Sickerwasserbelastungen.

2.4.9 Umwandlung von Acker in extensives Grünland / extensives Feldgras

Kurzcharakteristik

Die aus Sicht des Grundwasserschutzes genannten Vorteile einer extensiven Bewirtschaftung von vorhandenem Grünland gegenüber Ackernutzung sind in Kapitel 2.4.8.1 beschrieben. Daneben besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, vorhandene Ackerflächen durch Einsaat in Grünland bzw. Feldgras umzuwandeln, um sie anschließend extensiv zu nutzen.



Abb. 97: Feldgras (IGLU)

Die Maßnahme Umwandlung von Acker in extensives Grünland/Feldgras lässt folgende **Vorteile** erwarten:

- Innerhalb kurzer Zeit nimmt die Nitratkonzentration im Bodenwasser deutlich ab.
- Insgesamt wird ein maximaler Grundwasserschutz erbracht.
- Die Mehrjährigkeit der Nutzung bietet zudem den Vorteil der Vermeidung von Erosionsschäden.

Mögliche **Nachteile** der Maßnahme sind:

- Die Maßnahme bietet sich praktisch nur bei guten Absatzmöglichkeiten für das Mähgut bzw. für viehhaltende Betriebe an.
- Geringere jährliche Grundwasserneubildung
- Die Akzeptanz ist stark von der Förderhöhe abhängig. Die Maßnahme ist vergleichsweise kostenintensiv.

Zum sicheren Erhalt des etwaigen Ackerstatus für die in die extensive Grünland- oder Ackergrasnutzung überführten Flächen wird die Abstimmung mit der örtlichen Bewilligungsstelle der LWK Niedersachsen über die Dauer der Maßnahme und über die Kennzeichnung der Flächen in den EU-Förderanträgen empfohlen.

Die Maßnahme eignet sich besonders für hoch prioritätäre Flächen im Sinne des Wasserschutzes mit mittlerem bis niedrigem Ertragsniveau.

Anwendungsbereich

Wenngleich die Umwandlung von Acker in Grünland eine sinnvolle Maßnahme für den Grundwasserschutz ist, sind wegen der großen Deckungsbeitragsdifferenzen gegenüber ortsüblichen Ackerfruchtfolgen im Allgemeinen hohe Ausgleichszahlungen erforderlich. Unter Berücksichtigung der verfügbaren Finanzmittel für FV werden daher Maßnahmen zur Umwandlung von Acker in Grünland nur für Standorte mit „hoher“ oder „sehr hoher“ Flächenpriorität angeboten.

In der Praxis findet die Maßnahme daher bevorzugt auf den leichten Geeststandorten im östlichen Niedersachsen sowie auf den flachgründigen Festgesteinsstandorten im südlichen Niedersachsen Anwendung (NLWKN 2011c).

Durchführung

Mindestanforderungen für die Umsetzung der beschriebenen FV sind z. B.:

- Aussaat einer ausdauernden Gräsermischung
- Verzicht auf wendende oder lockernde Bodenbearbeitung während der gesamten Vertragslaufzeit
- Erforderliche Neuansaat nur im Schlitz-, Übersaat- oder Drillsaatverfahren
- Zufütterung auf der Fläche ist vom 01.07.–31.03. des Folgejahrs nicht zulässig.
- Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist unzulässig.
- Die Maßnahme ist auf fünf Jahre abzuschließen.

Die vollständigen Voraussetzungen für die Förderung (Mindestanforderungen) sind dem Nds. MU-Maßnahmenkatalog in der jeweils aktuellen Fassung zu entnehmen.

Sorten- und Artenmischungen: Für die Umwandlung von Ackerflächen in extensives Grünland werden standortgerechte Qualitätsstandardmischungen empfohlen (LWK NIEDERSACHSEN 2012b & 2014b & c). Ackerstandorte weisen in der Regel ein höheres Mineralisationspotential als Grünlandstandorte auf. Um N-Austräge in der Übergangsphase in mehrjährige Feldgras- oder Grünlandnutzung zu vermeiden, sollten leistungsstarke Gräser gewählt werden, die einen ausreichenden N-Entzug aus der Nachmineralisation sichern. Nur auf Grenzstandorten bietet sich die Ansaat von extensiven Gräsermischungen an. Ein geringer Leguminosenanteil in den Mischungen ist aus Wasserschutzsicht tolerierbar (HAAS et al. 1998). Leguminosenanteile ermöglichen eine deutliche Reduktion (bis hin zum Verzicht) auf eine zusätzliche N-Düngung, sind förderlich für die Bodenstruktur und wirken humusmehrend. Wird ein extensiver Feldgrasbestand aufgebaut, so kommen Weidelgras dominierte Gräsermischungen in Betracht. Die Anteile an frühen,

Tab. 45: Auswahl geeigneter Mischungen Umnutzung von Acker in Grünland und Ackerfutterbau (LWK NIEDERSACHSEN 2014b & c, verändert)

Parameter	Ackergras mehrjährig		Kleegras mehrjährig		Nachsaaten und Wechselgrünland	
Standardmischung	A5	A5 spät	A5 spät plus W	A5 spät plus S	GV	GV-Klee
Eignung	insb. Schnittnutzung, auch Wechselgrünland, hoher Ertrag		für alle Standorte, vorwiegend Weidenutzung	für alle Standorte, schnittbetont	Standorte mit früher Mahd- und Weidenutzung	speziell für Weidenutzung und verhaltene N-Düngung
Nutzungsdauer	2 Hauptnutzungsjahre und mehr				Wechsel- und Dauergrünland	
Nutzungsformen	Schnitt und Weide			Schnitt	Weide Schnitt	
Aussaat	August Blanksaat oder Frühjahr unter Deckfrucht				Nachsaaten und Neuansaat von Wechselgrünland	
Mischungsverhältnis	% Gewichtsanteile					
Deutsches Weidelgras						
...früh	30				25	20
...mittel	40	50	33	33	25	20
...spät	30	50	34	34	50	50
Rotklee			20	33		
Weißklee			13		10	10
Saatstärke bei Blanksaat: kg/ha*	30	30	30	30	10 kg /ha für Übersaaten; 30 kg /ha für Neuansaat	
Saatstärke bei Untersaat: kg/ha*	20	20	25	25		

*= je nach Anteil tetraploider Sorten kann die Aussaat um 30 % erhöht werden

mittleren und spätblühenden Weidelgrasarten sollten dabei standortspezifisch gewählt werden. Die Wahl spätblühender Arten bietet eine größere Toleranz gegenüber Frühjahrstrockenheit und sichert beispielsweise qualitativ hochwertige Silage, da die Gräser später in die Blüte gehen. In Zukunft werden für Trockenstandorte Knaulgräser an Bedeutung zunehmen. Diese werden unter anderem auch für die energetische Nutzung empfohlen. Weiter werden insbesondere im Hinblick auf die Ertragsstabilität Potenziale beim Rohschwingel erwartet, der nach der Etablierungsphase mit Feuchte- und Trockenheitsextremen gut klar kommt (KALZENDORF 2014). Eine Übersicht geeigneter Mischungen für die Umwandlung von Acker zu Grünland ist Tabelle 45 zu entnehmen.

Erfolgsbewertung

Geeignete Methoden zur Erfolgskontrolle bei Umwandlung von Acker in Extensivgrünland sind die Herbst-N_{min}-Methode und Sickerwassermessungen im oberflächennahen Grundwasser. Die Berechnung des N-Saldos eignet sich nur dann, wenn belastbare Ertragsdaten für den Grünlandaufwuchs vorhanden sind.

Lysimeter-Untersuchungen des LBEG ergeben, dass innerhalb kurzer Zeit die Nitratkonzentrationen im Bodenwasser deutlich abnehmen, wenn eine ackerbaulich genutzte Fläche in Grünland umgewandelt wird (s. Abb. 98). Die Umwandlung von Acker in extensiv bewirtschaftetes Grünland ist somit eine der wichtigsten vorsorgenden Grundwasserschutzmaßnahmen.

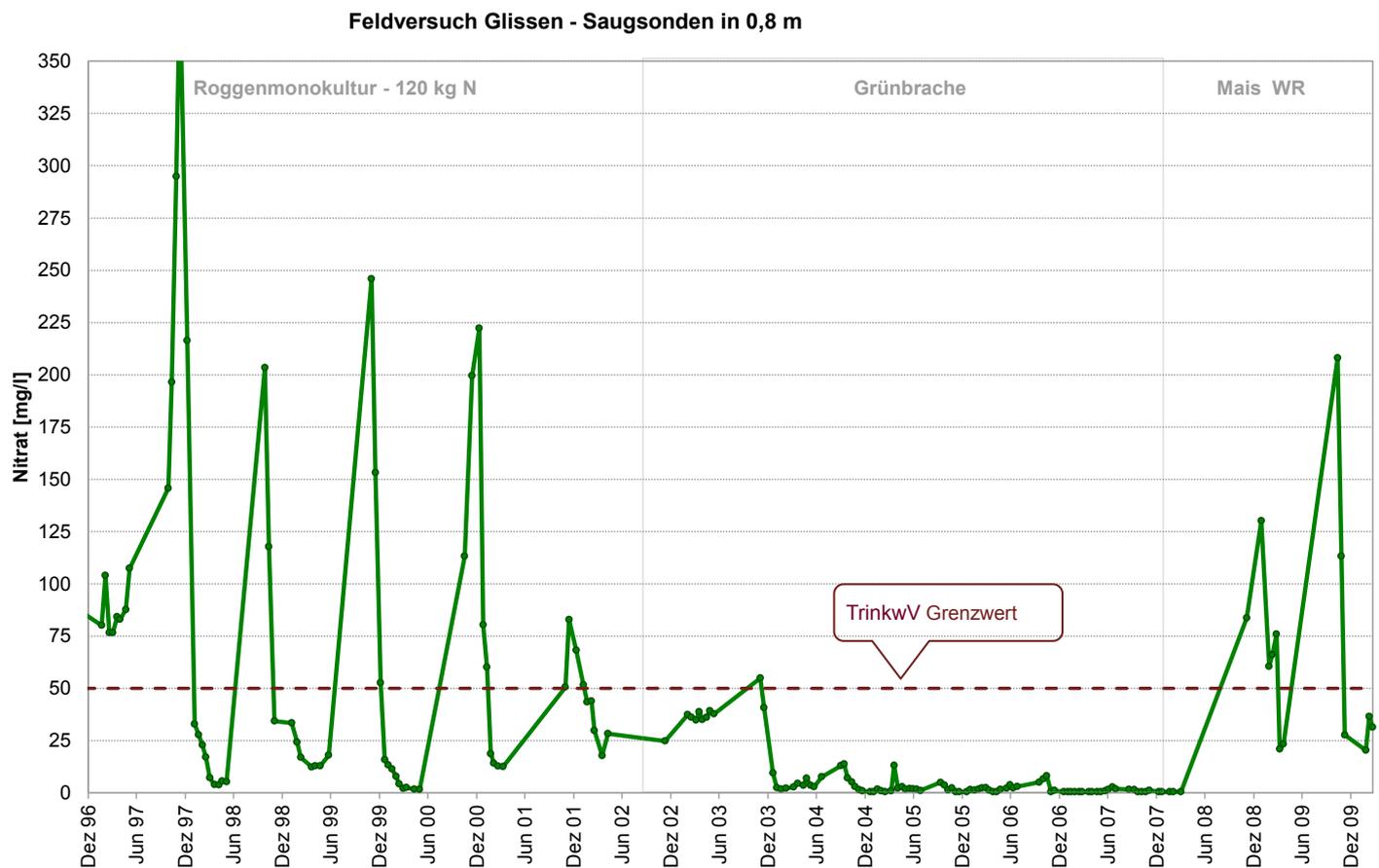


Abb. 98: Verlauf der Nitrat-N-Konzentration im Bodenwasser unter einer ackerbaulich genutzten landwirtschaftlichen Fläche mit zwischenzeitlicher Grünbrache (HÖPER & MEESENBURG 2012)

Auch das Beispiel mehrjähriger Messungen der Nitratgehalte in Drainageausflüssen einer Ackerfläche im Harzvorland, die in extensive Feldgrasnutzung überführt wurde, zeigt deutlich die Minderung der Nitratverluste an. Während in der Ackerbaurotation häufig auch grenz-

wertüberschreitende Nitratkonzentrationen gemessen wurden, konnten durch Anschluss der Freiwilligen Vereinbarung zur Umnutzung in extensives Feldgras kontinuierlich grenzwertunterschreitende Nitratgehalte gesichert werden (s. Abb. 99).

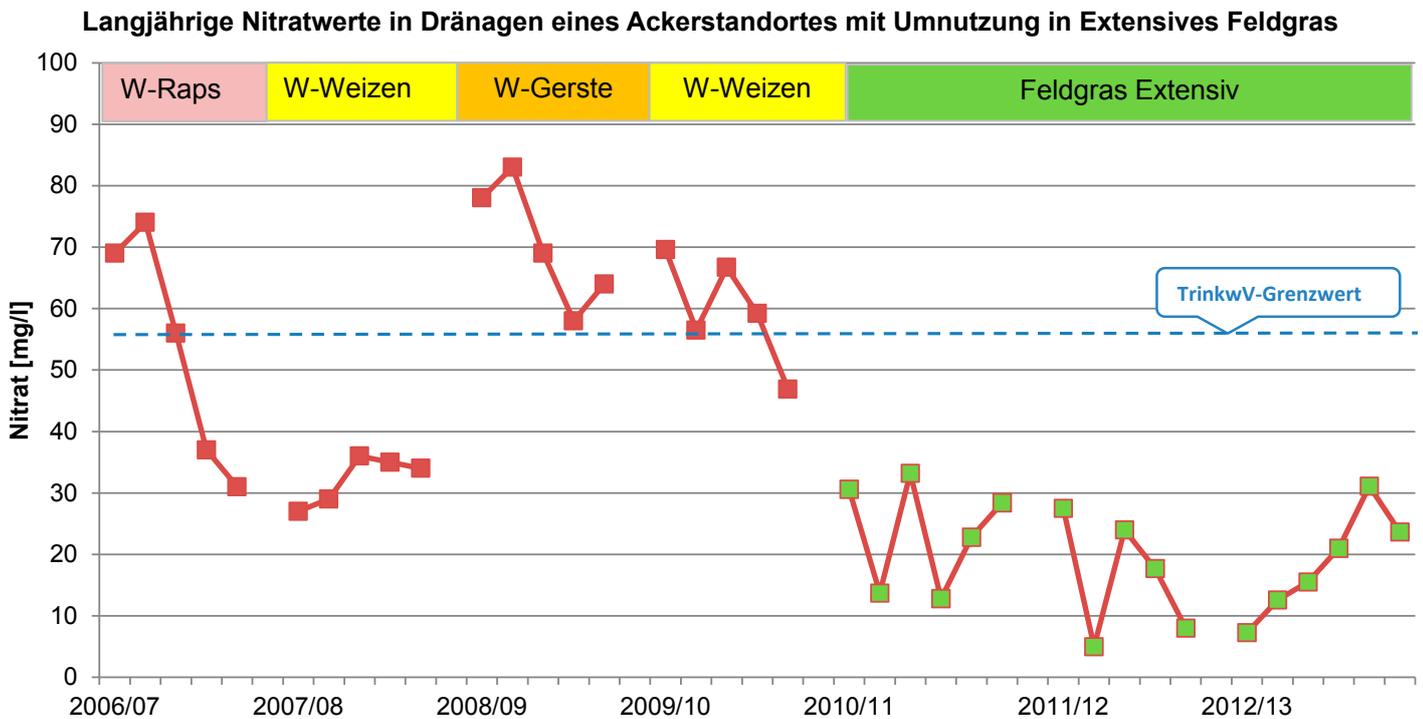


Abb. 99: Langjährige Nitratwerte in Drainageabflüssen eines Ackerstandortes, der in extensive Feldgrasnutzung überführt wurde. Festgesteinsstandort eines TGG im Harzvorland (IGLU)

Erfolgsbewertung

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, jedoch in Abhängigkeit von der Nutzung des Aufwuchses
Saldominderung	- Ja, mittlere Verringerung des N-Überschusses bei ca. 50 kg N/ha a ⁽¹⁾
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, eine mittlere Minderung des Herbst-N _{min} -Werts bis ca. 45 kg N/ha a ⁽²⁾
Sickerwasserentlastung	- Ja
Weitere Effekte	- Schutz vor Erosion, Humusaufbau, Verbesserung Bodengefüge

⁽¹⁾ abgeleitet aus OSTERBURG et al. 2007

⁽²⁾ SCHMIDT & OSTERBURG 2010

Ein Nachteil der Grünlandnutzung ist die gegenüber Ackerflächen geringere jährliche Grundwasserneubildung.

2.4.10 Unterfußdüngung

Kurzcharakteristik

Die Unterfußdüngung (UFD) wird insbesondere in Reihenkulturen wie Kartoffeln und Mais angewandt und ist bei der Mehrzahl der Betriebe ein bereits etabliertes Verfahren. Im Folgenden soll der Fokus auf die UFD im Mais gelegt werden, da es hier interessante Weiterentwicklungen unter anderem auch zur UFD mit Gülle gibt.

Die UFD im Mais wurde ursprünglich insbesondere in Bezug auf den Nährstoff Phosphat entwickelt. Denn Mais hat in der Jugendentwicklung aufgrund der weiten Reihenabstände, seines gering und weniger tief verzweigten Wurzelsystems ein daraus resultierendes schlechtes P-Aneignungsvermögen. Erschwert wird die Phosphataufnahme zusätzlich durch Kälte- oder Trockenheitsstress. Auch schlecht eingestellte pH-Werte des Ackers können zu einer gewissen Festlegung von Phosphat an Bodenteilchen führen, wodurch der Nährstoff wiederum schlechter für die Maispflanzen zugänglich ist.

Die praxisübliche mineralische UFD erfolgt zusammen mit der Saatkornablage in einem Arbeitsgang und ist seit mehreren Jahren in der Praxis etabliert (LWK NORDRHEIN-WESTFALEN 2012, LWK NIEDERSACHSEN 2013i, NIEDERLÄNDER 2013).

Aus Sicht des Grundwasserschutzes und mit Fokus auf den Stickstoff ist die UFD mit Gülle oder Gärresten eine Möglichkeit, die mineralische UFD einzusparen und durch vorhandene betriebseigene organische Dünger zu ersetzen und so den Saldo der N-Bilanz des Betriebs zu verringern. Bei der Gülle-UFD ist es von entscheidender Bedeutung, das Gülleband möglichst dicht und mit richtigem Abstand zum Saatkorn abzulegen (s. Abb. 100).

Durch den Einsatz eines Nitrifikationshemmers (s. Kap. 2.4.3.1) kann die P-Verfügbarkeit weiter verbessert werden. Damit steht der Maispflanze der Stickstoff als Ammonium länger anstelle des auswaschungsgefährdeten Nitrats zur Verfügung. Es kommt zu einer leichten Ansäuerung des Bodens und somit an vielen Standorten zu einer verbesserten Phosphatverfügbarkeit.

Wenn die Gülle effizienter genutzt werden kann, ergeben sich auch bei der Verwendung in nicht viehhaltenden Betrieben Vorteile, da bei gleicher Nährstoffwirkung der Transportaufwand verringert wird.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Feldversuche zur UFD, zur gezielten Platzierung von Gülle oder Gärresten neben bzw. unterhalb der Maisreihe durchgeführt. Im Idealfall kann hiermit der wertvolle Wirtschaftsdünger Gülle innerbetrieblich noch effektiver genutzt und entsprechend mineralischer Dünger eingespart werden. Mögliche Nährstoffverluste können vermindert werden.

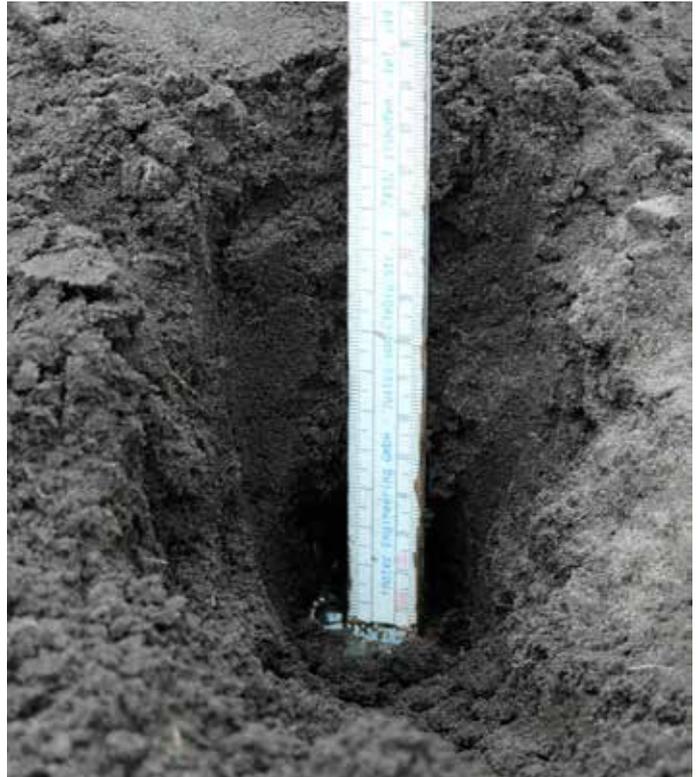


Abb. 100: In ca. 15 cm Tiefe abgelegtes UFD-Gülleband. (Harms, LWK Niedersachsen)

Denn es wird ein Nährstoffdepot im Boden nahe der Pflanzenwurzeln angelegt, das bei Starkregenereignissen in der Vegetationsperiode weniger auswaschungsgefährdet ist (vor allem wenn zusätzlich Piadin als Nitrifikationshemmer eingesetzt wird) und auch weniger Ammoniak- oder Lachgasentgasung verursacht.

Anwendungsbereich und Durchführung

Seit rund zehn Jahren wird versuchsweise eine UFD mit Gülle angewendet.

Die technische Umsetzung einer Gülle-UFD wird wie folgt durchgeführt:

1. Im zweigeteilten „absetzigen Verfahren“:
Für eine Bandablage der Gülle werden die Schleppschläuche auf Reihenweite (75 cm) zusammengefasst und die ausgebrachte Gülle anschließend mittels Fräse oder Zinkenrotor vertikal eingearbeitet. Oder die Ausbringung erfolgt mit auf 75 cm Reihenweite zusammen geschobenen Schleppschuhen, die eine etwas tiefere Ablage ermöglichen. Wichtig bei diesem zweigeteilten System ist das möglichst genaue Fahren z. B. durch die Nutzung von GPS-Technik oder mindestens Spuranreißer am Gülle ausbringenden Fahrzeug, sodass das Saatgut in direkter Nähe zum Nährstoffdepot abgelegt wird. Idealerweise erfolgt die Gülle-UFD so präzise wie möglich.

2. Im sogenannten „kombinierten Verfahren“: Hierbei werden die Gülle-UFD und das Legen des Maissaatguts in nur einem Arbeitsgang erledigt. Diese Technik wird erst seit ein paar Jahren angewendet. Hierfür kommen große, schlagkräftige, aber auch teure Maschinen zum Einsatz, die vorrangig von größeren Lohnunternehmern angeboten und eingesetzt werden (s. Abb. 101).



Abb. 101: Unterfußdüngung von Gülle und Maisaussaat in einem Arbeitsgang (Harms, LWK Niedersachsen)

Die Gülle-UFD im Mais wird weiterentwickelt und präzisiert, z. B. durch die Kombination mit dem sogenannten „Strip-Till-Verfahren“. Hierbei erfolgt nur noch eine streifenförmige Bodenbearbeitung (streifenweises Räumen der Erntesterne, Lockerung, Anhäufeln und Rückverfestigung), die präzise Gülledepot-UFD und das Ablegen des Maissaatkorns in einem Arbeitsgang (s. Abb. 102).

Durch die Kombination mit dem Strip-Till-Verfahren ergeben sich damit weitere bodenschonende Effekte zum Beispiel für den Erosionsschutz (LFL BAYERN 2013, AGRAR-HEUTE.COM 2013).



Abb. 102: Strip-Till-Verfahren zur Maisaussaat kombiniert mit Gülle-UFD (©Vogelsang GmbH, Essen/Oldbg.)

Versuchsergebnisse

Die LWK Niedersachsen hat seit 2007 an mehreren Standorten, insbesondere auf leichteren Standorten (in den Landkreisen Ammerland, Emsland und Rotenburg) Versuche zur Gülle-UFD durchgeführt. Das Verfahren wurde hinsichtlich der Position des Güllebands und des Abstands im Boden zum Maiskorn optimiert. Von 2007 bis 2010 wurde im ersten Arbeitsgang die Gülle als Band jeweils links und rechts der Maisreihe appliziert, ab 2011 wurde das Verfahren dahingehend modifiziert, dass nur ein Güllestreifen direkt unter der Maissaatreihe appliziert wurde (s. Abb. 102). Im zweiten Arbeitsgang wurde dann der Mais gelegt. Es wurden verschiedene Düngungsvarianten gegenüber den praxisüblichen „Standard“ (Gülle breit mit Schleppschlauch ausgebracht und mit Zinkenrotor eingearbeitet, UFD mineralisch mit 40 kg N/ha und 30 kg/ha P_2O_5) getestet. Die Düngung des Mais erfolgte gemäß Sollwertempfehlung (180 kg N/ha, abzüglich N_{min}), der Gülle-Stickstoff (Schweine- bzw. Rindergülle) wurde zu 70 % angerechnet.

Die bisherigen Feldversuche zur Gülle-UFD im Mais zeigen in Bezug auf den Trockenmasseertrag bzw. den Herbst- N_{min} -Wert über mehrere Jahre keine einheitlichen Ergebnisse. Teils wurden innerhalb eines Jahrs an verschiedenen Standorten unterschiedliche Resultate erzielt. In den Jahren 2007 bis 2010 konnten bei der seitlich versetzten Ablage des Güllebands selten signifikante Ertragsunterschiede zwischen der Gülleunterfußdüngung und der Standardvariante festgestellt werden. An manchen Standorten lagen die Erträge leicht unter denen des Standards. Die Herbst- N_{min} -Werte waren bei einigen Versuchen bei der Variante mit Gülle-UFD niedriger als beim Standard, aber in einigen Versuchen auch geringfügig höher.

Dies kann verschiedene Gründe haben:

- Generell ist es schwierig in Mais-Feldversuchen (wiederholt) signifikante Unterschiede zu erhalten. Die einzelnen Parzellen und Pflanzenbestände müssen sehr einheitlich sein.
- Jedes Jahr ist anders. Die Wachstumsbedingungen besonders in der Jugendentwicklung des Maises aber auch im späteren Verlauf des Jahrs beeinflussen den Ertragsaufbau und somit auch die im Boden zurückbleibenden Restnährstoffe erheblich.
- Einen großen Einfluss hat der Versuchsstandort mit seinem Bodentypus, Humusgehalt und insbesondere seiner Historie und dem Nachlieferungspotenzial der Fläche. Der Großteil der „typischen Maisstandorte“ in den Veredelungsregionen wurde langjährig wiederholt

organisch gedüngt, was letztlich ein schwer kalkulierbares Nährstoffpotenzial mit sich bringt.

- Bei einer Düngung mit Gülle wird der Nährstoff selten so genau appliziert wie bei mineralischen Düngergaben. Die Nährstoffgehalte und insbesondere deren Anrechenbarkeiten und die im Boden tatsächliche Nutzbarkeit für die Pflanzen sind kaum eindeutig zu kalkulieren. Ferner hat die Ausbringungsgenauigkeit der (Flüssig)Düngemittel einen Einfluss auf die Versuchsergebnisse.

Nachfolgend werden einige Versuchsergebnisse der LWK Niedersachsen zur UFD generell und speziell mit Gülle aus dem Versuchsjahr 2011 präsentiert. Die Ablage des Güllebands erfolgte direkt unter der Saatreihe. Der Ertrag lag bei Gülle-UFD gleichauf mit dem praxisetablierten Standard (UFD mineralisch und Gülle breit). In der Piadin-Variante war der relative Trockenmasseertrag sogar noch höher (s. Abb. 103).

Die entsprechenden Herbst-N_{min}-Werte dieses Versuchs lagen in 2011 insgesamt auf einem niedrigen Niveau (s. Abb. 104).

Abb. 103: Relative Trockenmasseerträge in % zur Variante „UFD min. – Gülle breit“ (LWK NIEDERSACHSEN 2011a)

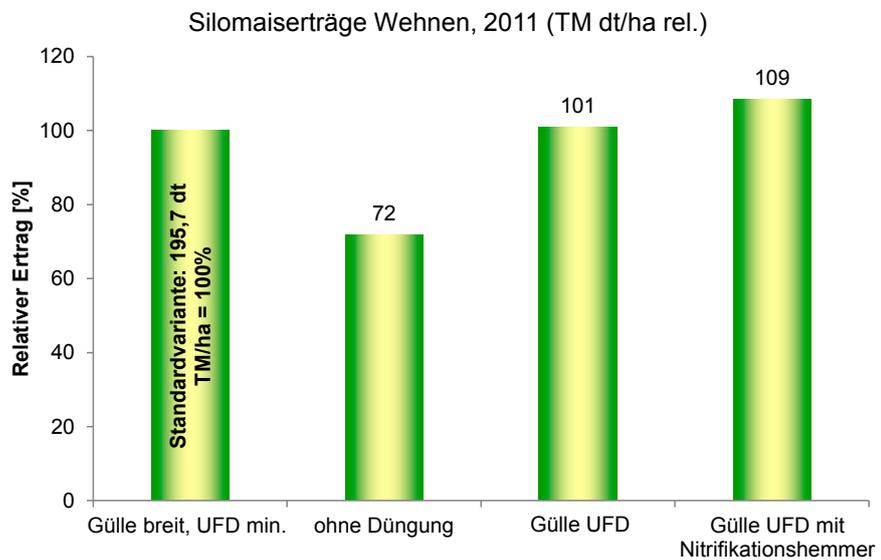
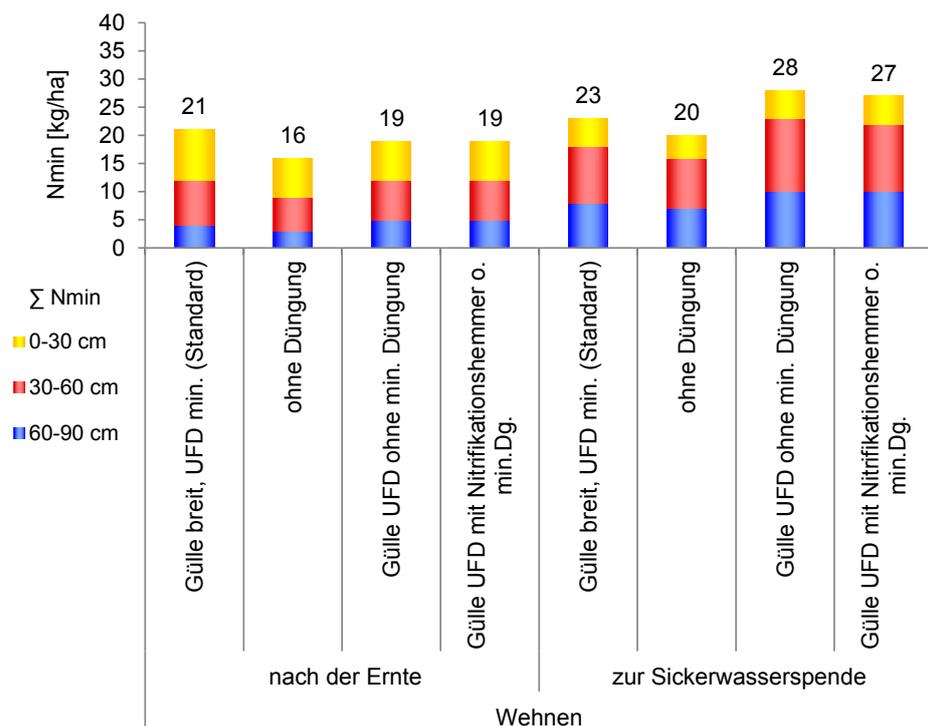


Abb. 104: N_{min}-Gehalte im Boden nach der Ernte von Silomais in Abhängigkeit von der Düngung, Versuchsstandort Wehnen (LWK NIEDERSACHSEN 2011a)



Auf einem weiteren Versuchsstandort (Werlte), der als stark stickstoffnachliefernd charakterisiert ist, lagen die N_{\min} -Werte nach der Ernte ebenfalls gleichauf mit den anderen Varianten und zur Sickerwasserspende sogar unter den N_{\min} -Werten der ungedüngten Variante. In jedem Fall wirkte sich der Zusatz des Nitrifikationshemmers Piadin positiv auf den Ertrag aus und resultierte in verringerten N_{\min} -Werten. Im Jahr 2012 lagen die TM-Erträge vergleichbarer Gülle-UFD Varianten bei rel. 97 bzw. 99 (ohne versus mit Piadin), die Gülle breit-Varianten zwischen rel. 100 und 103. Die N_{\min} -Werte waren mit rd. 28 kg N/ha auf einem sehr geringen Niveau. Hier müssen noch weitere Versuche folgen.

Erfolgsbewertung

Vor dem Hintergrund den Einsatz mineralischer Düngemittel weiter zu reduzieren und andererseits hofeigene Wirtschaftsdünger so effektiv wie möglich im eigenen Betrieb einzusetzen, kann im Mais eine UFD mit Gülle erfolgen.

Mehrjährige Feldversuche und zunehmende Praxiserfahrungen belegen die prinzipielle Machbarkeit und Praktikabilität und stufen das Verfahren der UFD mit Gülle grundsätzlich positiv hinsichtlich des Ertrags bzw. der Herbst- N_{\min} -Gehalte im Boden ein. Wenn die Nährstoffgehalte der Gülle aktuell erfasst werden und die Ausbringungstechnik in einem Arbeitsgang mit dem Maislegen so präzise wie möglich erfolgt, hat dieses Verfahren eine Chance sich in der Betriebspraxis zu etablieren.

Die Gewässerschutzwirkung dieser Maßnahme in Bezug auf die Verringerung des N-Saldos ist nachvollziehbar, in Bezug auf den Herbst N_{\min} -Wert ist sie bisher nicht eindeutig belegt. Es ist zu erwarten, dass sich aufgrund von Änderungen im Düngerecht, der Flächenknappheit und dem hohen Aufkommen von Gülle und Gärresten in den Maisanbauregionen diese Methode auch ohne Förderung durch FV in der Praxis verbreiten wird.

2.4.11 Maisensaat

Kurzcharakteristik und Anwendungsbereich

Mais wird in der Praxis nach wie vor fast ausschließlich mit Einzelkornsäegeräten gesät. Der am häufigsten gewählte Reihenabstand beträgt 75 cm. Bei angestrebten Bestandsdichten von acht bis elf Pflanzen pro m^2 resultiert daraus eine wenig optimale Standraumverteilung. Durch die Halbierung des Reihenabstands wird der für die Einzelpflanze zur Verfügung stehende Platz deutlich

verbessert (s. Abb. 105). Diese Saattechnik wird als Maisensaat bezeichnet. Durch die Verbesserung der Standraumverteilung kann der Boden gleichmäßiger durchwurzelt werden. Eine bessere Wasser- und Nährstoffausnutzung ist die Folge. Im Optimalfall lassen sich bei gleicher Düngung höhere Erträge erzielen, so dass geringere Nähr- bzw. N-Überschüsse auftreten. Die Verringerung der Reihenweite führt auch zu einem früheren Bestandsschluss und somit zu einer Verringerung möglicher Erosionsereignisse. Die Abreife der Bestände wird dagegen hinausgezögert.

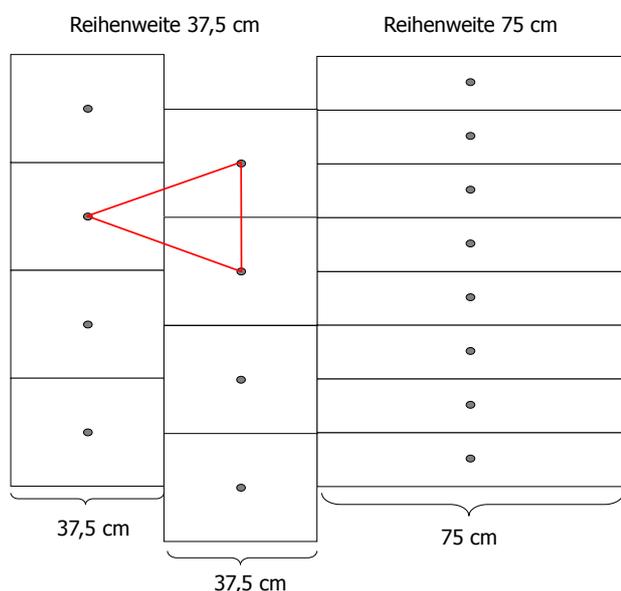


Abb. 105: Vergleich der Standraumverhältnisse bei Maisensaat gegenüber herkömmlicher Drilltechnik. (Gerles Ingenieure GmbH)

Durchführung

Die Maisensaat erfolgt mit entsprechend umgerüsteten Einzelkornsägeräten. Der maximale Reihenabstand beträgt per Definition 45 cm; in der Regel liegt er bei 37,5 cm. Die von der Beratung bzw. den Züchterfirmen empfohlenen Aussaatmengen werden durch die Maisensaat nicht verändert. Da Mais sehr häufig durch Lohnunternehmen und/oder Maschinenringe gesät wird, steht die Technik jedoch nicht immer zur Verfügung.

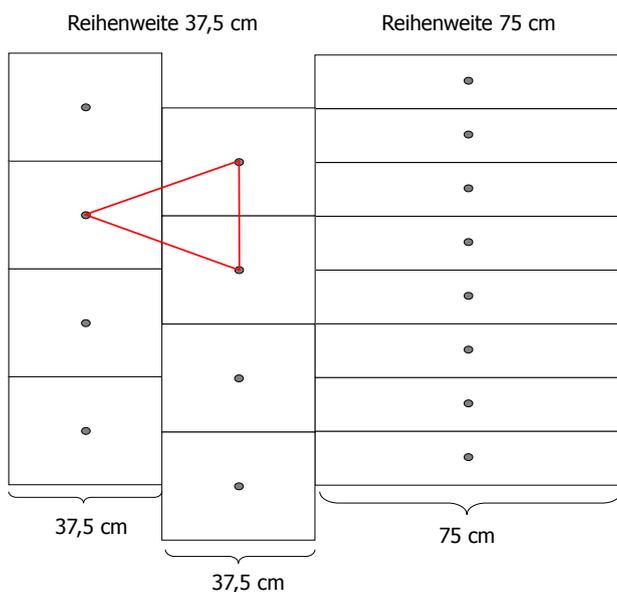


Abb. 106: Schematische Darstellung der Lage des Düngerbands bei Unterfußdüngung im Mais bei Maisensaat und herkömmlicher Reihenweite. (Geries Ingenieure GmbH)

Soll der jungen Maispflanze bei der Maisensaat die gleiche Nährstoffkonzentration im Wurzelbereich wie bei herkömmlicher Reihenweite angeboten werden, so muss die Unterfußdüngung erhöht werden. Wird die Düngermenge (kg/ha) gegenüber der herkömmlichen Reihenweite nicht verändert, so steht der Einzelpflanze nur die halbe Düngermenge zur Verfügung (s. Abb. 106). Die Erhöhung der Unterfußdüngung ist aus Sicht des Gewässerschutzes jedoch nicht immer zielführend.

Erfolgsbewertung

Versuchsergebnisse aus Schleswig-Holstein und Bayern (MÜLLER-THOMSEN 2010; FICK-HAAS 2011) belegen tendenziell höhere Erträge durch die Maisensaat insbesondere auf leichten Standorten. Der positive Effekt der Engsaat auf den Herbst- N_{\min} -Wert ist jedoch nicht immer eindeutig nachweisbar und auch die Untersuchungen in der ungesättigten Zone weisen keine besseren Ergebnisse auf als bei herkömmlicher Aussaattechnik. Weitere Versuchsergebnisse bestätigen diese Aussagen nur teilweise (TLL 2008). Auf ertragssicheren Löss- und Auenstandorten konnte sich die Maisensaat noch nicht etablieren. Gegebenenfalls können durch die Kombination mehrerer Maßnahmen im Maisanbau (Reduzierung der N-Düngung, Etablierung von Untersaaten) deutlichere Effekte für den Grundwasserschutz erzielt werden.

Die Maßnahme wird seit 2014 in den TGG nicht mehr landesseitig gefördert, nachdem die Akteure im Kooperationsmodell die Maßnahme als nicht ausreichend effizient eingeschätzt haben.

Erfolgsbewertung

Die Maisensaat führt zu einer besseren Standortverteilung der Einzelpflanze im Vergleich zur Normalsaat. Das höhere Angebot an Wasser kann die Ertragsleistung insbesondere auf leichten Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität erhöhen. Effekte der Engsaat bezüglich der Verringerung von N-Überschüssen oder Herbst- N_{\min} -Werten konnten nur vereinzelt beobachtet werden. Eine Kombination mit zusätzlichen Maßnahmen im Maisanbau sollte geprüft werden.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Die absolute Höhe der N-Düngung ist unabhängig von dem gewählten Aussaatverfahren.
Saldominderung	- Die absolute Höhe der N-Düngung ist unabhängig von dem gewählten Aussaatverfahren.
Herbst- N_{\min} -Minderung	- Uneinheitliche Ergebnisse, tendenziell keine Minderung
Sickerwasserentlastung	- Es liegen keine Messergebnisse vor.
Weitere Effekte	- Bei der Maisensaat wird die Unterfußdüngung gegenüber der normalen Reihensaat erhöht. Die zu düngende Restmenge muss entsprechend reduziert werden. Maisensaat können die Erosion verringern (früherer/vorgezogener Reihenschluss).

2.4.12 Schlagspezifische Aufzeichnung

Kurzcharakteristik

Das Führen einer Ackerschlagkartei ist eine der grundlegenden Rahmenbedingungen eines Landwirts zur Umsetzung der Guten fachlichen Praxis bei der Bewirtschaftung seiner Flächen. Durch die kontinuierlichen Aufzeichnungen und deren Auswertung erhält der Landwirt einen Überblick über seine flächenbezogenen Bewirtschaftungsmaßnahmen, aus denen er auch betriebswirtschaftliche und fachliche Optimierungsmöglichkeiten z. B. bei der Düngung ableiten kann.

Als Schlagkartei werden Aufzeichnungen des Landwirts für eine einheitlich bewirtschaftete, zusammenhängende Fläche mit vergleichbarem Nährstoffanspruch bezeichnet. In der Schlagkartei werden die durchzuführenden und durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen chronologisch erfasst. Vorgaben zum Erfordernis der Schlagaufzeichnung und der Erstellung des Nährstoffvergleichs für die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor sind in der Düngeverordnung geregelt. Sie resultieren aus den Vorgaben der EU-Nitratrichtlinie (EG 1991). Außerdem werden sie in den Vorgaben der niedersächsischen Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten (SchuVO – MU 2009) berücksichtigt, die für alle festgesetzten Trinkwasserschutzgebiete gilt.

Der Katalog der FV in den TGG beinhaltet in seiner Basismaßnahme zur Verbesserung des Nährstoffmanagements die schlagspezifischen Aufzeichnungen als Standardinstrument der Grundwasserschutzmaßnahmen (MU 2007a).

Durchführung

Das Führen vollständiger Schlagkarteien ist die Grundlage für den Nährstoffvergleich auf Schlagebene, bei dem für Stickstoff und Phosphor die Nährstoffzufuhr sowie die Nährstoffabfuhr zu bilanzieren sind. Die Regeln für die Schlagaufzeichnung und den Nährstoffvergleich sind in der DüV aufgeführt (BMELV 2007). Die Schlagbilanzen müssen für fast alle landwirtschaftlichen Flächen erstellt werden, außer für Zierpflanzenanbau, extensive Weidewirtschaft, extensive Düngung unter 50 kg N/ha sowie für Betriebe kleiner zehn ha Fläche. Die Dokumentation der Nährstoffmengen muss jährlich bis zum 31.03. für das abgelaufene Düngejahr erfolgen. Der jährliche Nährstoffvergleich wird fortlaufend zu einem mehrjährigen Nährstoffvergleich fortgeschrieben und muss mindestens über zwei Fruchtfolgen bzw. sieben Jahre aufbewahrt werden. Nachfolgend ist ein Muster der Schlagaufzeichnung bzw. des Nährstoffvergleichs dargestellt. Die Erstellung der Schlagkartei bzw. des Nährstoffvergleichs erfolgt in der Praxis meist über EDV-Anwendungen im Rahmen der EDV-technischen Verwaltung des landwirtschaftlichen Betriebs.

Maßnahmen zum Grundwasserschutz im TGG Burgdorfer Holz



INGUS
Ingenieurdienst UmweltSteuerung
Landwirtschaft • Boden • Wasser • GIS

Stickstoff-Bilanzen auf der Grundlage von Ackerschlagkarteien

Auswertungsebene - räumlich:

- * **Gesamtanzahl**
- * **Einzel Schlag**
- * **Betrieb**

- zeitlich:

Jahresbilanz 2011

Legende:

HF = Hauptfrucht
ZF = Zwischenfrucht
ges. = gesamt
Min. = mineralisch
WiDü = Wirtschaftsdünger
Sym = symbiotisch
HEG = Haupternte gut
NEG = Nebenernte gut
Saldo = Zufuhr - Abfuhr
Transferk. = Transferkoeffizient, Gesamt-abfuhr/ Gesamt-zufuhr

GS = Gelbsenf
ÖR = Örtlich
FGsv = Feldgras, Saatgutvermehrung
FGzf = Feldgras, Zwischenfrucht
KA = Kartoffeln
RAwi = Winterripps
SG = Sommergerste
WG = Wintergerste
WR = Winterroggen
WW = Winterweizen
ZR = Zuckerrüben

	Zufuhr [kg N/ha]					Abfuhr [kg N/ha]			Saldo [kg N/ha]	Transferk. [%]	
	ZF ges.	HF ges.	Min.	WiDü	Sym.	gesamt	HEG	NEG			gesamt
Gesamtanzahl:	53 Schlagbilanzen, 235,31 ha										
<i>flächengewichtete Mittelwerte:</i>	13	135	145	3	0	148	123	0	123	25	83

Seite 1 von 12

Abb. 107: Beispiel N-Bilanzierung über Schlagbilanzen aus der Acker-schlagkartei (INGUS 2010)

Erfolgsbewertung

Im Rahmen der WZB bilden die schlagspezifischen Aufzeichnungen eine wichtige Grundlage für die einzelbetrieblichen Beratungsgespräche. Der Wasserschutz-zusatzberater erhält Kenntnisse zu den betrieblichen Abläufen, insbesondere zum Düngemanagement, aber auch zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Dabei können Potenziale für eine Verbesserung der Nährstoffeffizienz und Verringerung diffuser Nährstoffbelastungen im Grundwasser erkannt und behoben werden. Die Aussagekraft der schlagbezogenen Aufzeichnungen ist aber umso geringer, je größer Ungenauigkeiten bei der Angabe der Düngermengen, dem Ertrag der Fläche etc. sind. So werden z. B. Erträge immer noch zu selten schlagspezifisch und über Wiegung erfasst, sondern immer noch geschätzt, meist sogar im Mittel über mehrere abgeerntete Flächen.

Eine gut geführte Ackerschlagkartei und deren Datenauswertung über mehrere Jahre ist eine zentrale Grundlage zur Bewertung und Optimierung des Nährstoffmanagements eines Betriebs durch die WZB. Das Führen einer Ackerschlagkartei oder des Weidetagebuchs ist daher in Niedersachsen eine obligate Auflage beim Abschluss von FV zum Trinkwasserschutz.

Schlagspezifische Aufzeichnungen sind die Grundlage für die Schlagbilanzierung, die im Rahmen der WZB als kalkulatorische Methode zur Erfolgskontrolle verwendet wird. Die Methodik ist ausführlich im Kapitel 2.7.3.3 beschrieben.

2.4.13 Präzisionslandwirtschaft

Kurzcharakteristik

Unter Präzisionslandwirtschaft (Precision Farming) versteht man im allgemeinen alle Verfahren, die mit Hilfe moderner elektronischer Verfahren Standorteigenschaften aufnehmen und weiterverarbeiten, so dass eine teilflächenspezifische, dem Standort angepasste Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutzten Flächen ermöglicht wird. Die Grundlage für die Umsetzung der Präzisionslandwirtschaft stellen dabei Navigationssysteme dar (z. B. GPS: Global-Position-System), wobei häufig eine Weiterverarbeitung der gewonnenen Daten mit Hilfe von Geo-Informationssystemen (GIS) erfolgt.

Eine rasche und genaue Ortung der Arbeitsgeräte ermöglicht die unmittelbare Umsetzung von Arbeitsbefehlen, die auf der Grundlage der erfassten Positionen und deren Standorteigenschaften vorgegeben werden. Eine dadurch kleinräumig differenzierte Bewirtschaftung auch

Erfolgsbewertung

Schlagspezifische Aufzeichnungen bilden generell die wichtigste Datendokumentation eines Landwirts zur einzelbetrieblichen Beratung. Sie tragen ganz wesentlich zur Identifizierung und Behebung von Schwachstellen insbesondere im Bereich Düngung und Pflanzenschutz bei.

Sie sind im Speziellen:

- die Grundlage zur Berechnung von Nährstoffbilanzen auf Schlagebene, wobei häufig mangelnde Ertragsmessungen die Aussagekraft der Schlagbilanzen einschränken
- die Datenquelle zur Erfassung aller Pflanzenschutzmittelanwendungen (Mittel- und Mengenangaben), was insbesondere für die Beratung zur Minderung von Pflanzenschutzmittelaufträgen genutzt werden kann
- eine wichtige Grundlage zur Erfassung wichtiger Daten zur Erfolgskontrolle der WZB und durchgeführter Grundwasserschutzmaßnahmen.

vermeintlich homogener Flächen optimiert den Einsatz von Produktionsmitteln. Oberstes Ziel der Präzisionslandwirtschaft ist daher die Steigerung der Effizienz der eingesetzten Produktionsmittel und somit eine nachhaltige Schonung von Ressourcen. Dies gilt sowohl für Düngemittel als auch für den Pflanzenschutz.

Anwendungsbereiche

Zur Anwendung kommen präzise Techniken sowohl im Ackerbau als auch auf Grünland. Es werden folgende Einsatzschwerpunkte ausführlicher beschrieben:

- Optimierung der Bearbeitungsgenauigkeit (Parallelfahrssysteme; automatisierte Teilbreitenabschaltung)
- Erfassung von Bodeneigenschaften (Bodenscanner)
- Erfassung von Erntemengen (Ertragskartierungen)
- Sensorsysteme zur Bestandsführung (z. B. teilflächenspezifische Düngung).

Optimierung der Bearbeitungsgenauigkeit

Alle namhaften Anbieter für Landmaschinen bieten heute Parallelfahrssysteme an. Vielfach gehören diese „Lenkhilfen“ inzwischen sowohl zur Grundausstattung moderner Schlepper als auch moderner Erntemaschinen.

Im Bereich des Gewässerschutzes verhindert der Einsatz von Parallelfahrssystemen ein unerwünschtes Überlappen von Arbeitsbreiten und ermöglicht den genauen Anschluss z. B. beim Einsatz von Düngerstreuern und Pflanzenschutzspritzen (s. Abb. 108). Durch exaktes Anschlussfahren werden Überdosierungen vermieden. Dies gilt sowohl für den Einsatz von Düngemitteln als auch für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Zielführend ist der Einsatz solcher Systeme überall dort, wo es keine Fahrgassen gibt. Dies ist in der Regel auf Grünland oder auf abgeernteten ackerbaulich genutzten Flächen der Fall.

Die Dosiergenauigkeit beim Düngen oder Spritzen von Flächen mit nicht rechtwinkligen Symmetrien (Regelfall!) lässt sich mit automatischen Teilbreitenabschaltungen verbessern. Dabei wird zuerst das Vorgewende des Schlags abgefahren. Diese Flächen werden als „bearbeitet“ im Bordcomputer gespeichert. Nähert sich die Pflanzenschutzspritze oder der Düngerstreuer bereits bearbeiteten Flächen, werden entweder die entsprechenden Teilbreiten der Spritze bzw. des Düngerstreuers abgeschaltet oder die Arbeitsbreite so angepasst, dass Überlappungen minimiert werden.

Die Genauigkeit der Ortungssysteme ermöglicht inzwischen auch die exakte Ablage von Einzelkornsaaten (z. B. Mais) neben Düngebändern (Stichwort:

Unterfußdüngung von Gülle), die zuvor durch spezielle Bearbeitungsgeräte im Boden platziert wurden. Diese Vorgehensweise optimiert die Ausnutzung der angebotenen Nährstoffe durch die Pflanzen und vermindert unerwünschte Nährstoffverluste.

Erfassung von Bodeneigenschaften

Um Standorteigenschaften innerhalb von landwirtschaftlichen Nutzflächen zu erfassen, wird von unterschiedlichen Dienstleistern die EM-38-Sondierung (GEONICS® Ontario/Canada) angeboten. Das EM-38-Gerät misst die scheinbare elektrische Leitfähigkeit nach elektromagnetischer Strominduktion ohne Bodenerstörung oder Bodentiefenkontakt. Die EM-38-Messwerte ergeben sich aus der pauschal aggregierten Leitfähigkeit über eine Tiefe von ca. 1,5–2 m. In Kombination mit einem GPS-Empfänger erfolgt die Erfassung entlang der Fahrgassen, um eine flächenhafte Beschreibung der Böden zu erhalten. Hauptzielgröße bei der Kartierung ist der Tongehalt, wobei Bodenfeuchte, Temperatur, Verdichtung organische Substanz u. a. die Ergebnisse beeinflussen können. Die anschließende Weiterverarbeitung mit Hilfe eines GIS-Systems führt zu einer flächenhaften Darstellung der Messergebnisse. Dabei werden Areale mit gleicher Leitfähigkeit zu Arealen mit ähnlichen bzw. vergleichbaren Bodeneigenschaften zusammengefasst. Die so gewonnene Karte ist die Grundlage für weitergehende Maßnahmen. In der Regel erfolgt nach der Erfassung und Auswertung der Leitfähigkeitsdaten eine teilflächen-spezifische Bodenbeprobung, um z. B. eine gezielte Versorgung der Flächen mit Grundnährstoffen oder eine

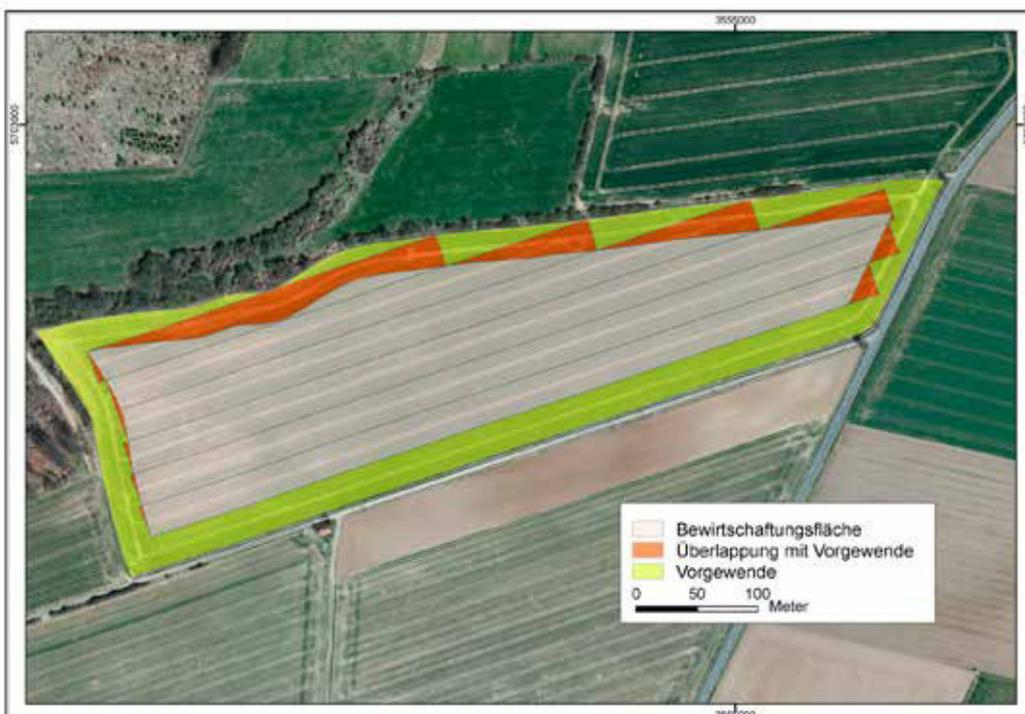


Abb. 108: Areale sich überlappender Arbeitsbreiten von Düngerstreuern und Pflanzenschutzspritzen im Bereich des Vorgewendes. (Geries Ingenieure GmbH)

gezielte Kalkung der untersuchten Flächen vornehmen zu können. Ziel dieser Vorgehensweise ist eine optimale Versorgung der Böden mit Grundnährstoffen bzw. die Einstellung optimaler pH-Werte. Mittelfristig können so Ertragsunterschiede minimiert werden und die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs steigt.

Erfassung von Erntemengen

Die automatisierte Erfassung von Erntemengen erfolgt über sogenannte Ertragssensoren. Diese Systeme arbeiten entweder nach dem Prinzip der Volumenmessung oder der Massenermittlung. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der geernteten Drusch- oder Häckselgüter sind Kalibrierungen der Messergebnisse unerlässlich. Neben der Erfassung des Ertrags ist die Erfassung der Wassergehalte der Erntegüter notwendig, um vergleichbare Ergebnisse produzieren zu können. Vor der weiteren Nutzung der Ertragsinformationen sind fehlerhafte Werte zu bereinigen. Wird z. B. die Arbeitsbreite beim Mähdrusch nicht exakt eingehalten, kann es zu Fehlinterpretationen kommen. Auf der Basis von Ertragskarten können zuerst Nährstoffentzugskarten und in einem zweiten Schritt Ausbringungskarten (Applikationskarten) z. B. für Grundnährstoffe erstellt werden (s. Abb. 109). Wechselnde Witterungsverhältnisse (z. B. Trockenperioden während der Hauptvegetationszeit) lassen die Erträge und entsprechend die Entzüge von Nährstoffen jahresabhängig stark schwanken. Der Nutzen von automatisierten Ertragserfassungen liegt daher in einer kontinuierlichen mehrjährigen Erfassung und Auswertung sowohl der Erträge als auch der Nährstoffabfuhr und der daraus im Abgleich mit den Applikationskarten resultierenden Nährstoffsalden.

Im Bereich der Futternutzung liefern entsprechende Daten häufig erstmals Informationen über die tatsächlich geernteten Mengen. Für die Optimierung der Bewirtschaftung von Grünland oder Ackerfutterpflanzen (Silomais) werden solche Systeme zukünftig an Bedeutung gewinnen.

Sensorsysteme zur Bestandsführung

Sensorsysteme zur Bestandsführung wurden für die Realisierung einer teilflächenspezifischen N-Düngung entwickelt. Inzwischen finden sie aber auch Anwendung beim teilflächenspezifischen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Ziel der Sensorsysteme ist eine der aktuellen Bestandsentwicklung angepasste N-Düngung, um eine bedarfsgerechte Versorgung des Pflanzenbestands zu ermöglichen. Die Bestandsentwicklung wird über die Höhe des Biomasseaufwuchses erfasst. Die Erfassung des Biomasseaufwuchses erfolgt meist über optische

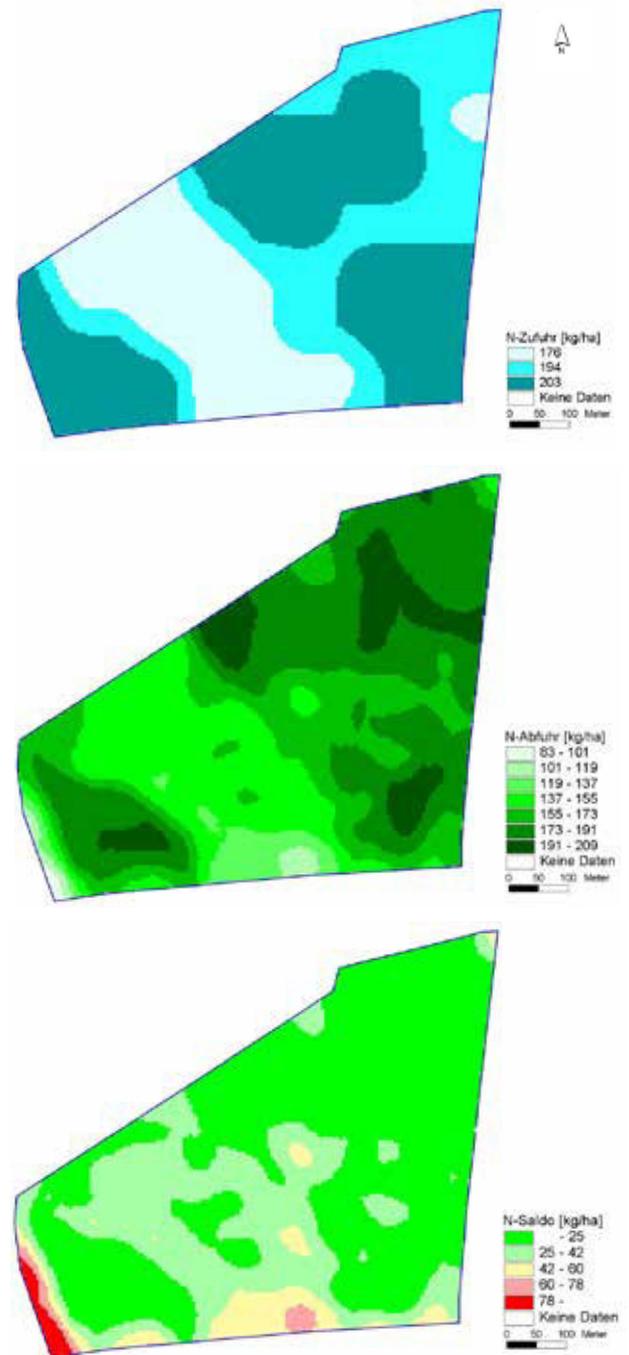


Abb. 109: Ermittlung teilflächenspezifischer N-Salden auf der Grundlage einer sensorgestützten (teilflächenspezifischen) N-Düngung und einer automatischen (teilflächenspezifischen) Erfassung der Erntemengen (N-Abfuhr). (Gerles Ingenieure GmbH)

Systeme, wobei zwischen sogenannten Offline- und Online-Verfahren unterschieden wird.

Bei Offline-Verfahren handelt es sich um zeitlich und räumlich getrennte Systeme des „Messens, Berechnens und Regelns“. Die Datenerfassung erfolgt auf Grundlage von Luft- oder Satellitenbildern vor dem Applikationstermin. Aus den Aufnahmen werden „Biomassekarten“ abgeleitet und auf dieser Grundlage Düngungskarten erstellt.

Online-Verfahren ermöglichen eine teilflächenspezifische Messung, Berechnung und Regelung in einem Arbeitsgang während der Überfahrt. Die Systeme sind am Schlepper montiert und messen nur jeweils einen Ausschnitt des zu düngenden Bestands (s. Abb. 110). Aufgrund der rasanten technischen Entwicklung spielen Offline-Verfahren im Gegensatz zu Online-Verfahren zurzeit eine untergeordnete Rolle.



Abb. 110: N-Sensor (Online-Verfahren) zur Realisierung einer teilflächenspezifischen N-Düngung. (Geries Ingenieure GmbH)

Alle auf dem Markt befindlichen Systeme arbeiten verlässlich in Wintergetreide. Von den meisten Herstellern werden darüber hinaus Anwendungen für die Kulturen Wintertraps, Mais, Kartoffeln, Rüben und Gras angeboten. Bevor eine Düngung erfolgt, müssen folgende Arbeitsschritte durchgeführt werden:

- Festlegung des Düngenniveaus
- Kalibrierung des Sensors auf dem Feld zum Applikationstermin
- Festlegung eines Regelbereichs (minimale und maximale Applikationsmenge).

Aus Sicht des Gewässerschutzes können die Effekte einer sensorgesteuerten Bestandsführung wie folgt zusammengefasst werden (Optimalfall):

- Die teilflächenspezifische Ausbringung von Stickstoff vermeidet eine Über- bzw. Unterversorgung der Pflanzen und führt in der Regel zu gleichmäßigeren „standortangepassten“ Beständen.
- Gleichmäßigere Bestände führen zu gleichmäßig hohen Erträgen und zu höheren durchschnittlichen Nährstoffabfuhr.
- Durch die teilflächenspezifische Düngung kann die N-Zufuhr gerade auf Teilflächen mit niedrigem Ertrags-

potenzial deutlich reduziert werden, was wiederum die N-Salden verringert.

- Ertragsschwache Teilflächen weisen häufig eine hohe Auswaschungsgefährdung auf, so dass der Wasserschutznutzen hier besonders hoch ist.
- Die Ertragsleistung des Gesamtschlags wird in der Regel nicht gemindert, sondern erhöht.

Exkurs

Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Sensorsystemen oder der sinnvolle Einsatz eines Bodenscanners sind an bestimmte Betriebsgrößen und -strukturen gekoppelt. Für den Einsatz eines Sensorsystems wird eine Flächenausstattung von mindestens 300 ha empfohlen. Der Einsatz von Bodenscannern zur differenzierten Bewertung von Teilschlägen ist umso wirtschaftlicher, je größer und heterogener die Flächen sind. Aussagen zur Mindestgröße von Schlägen können nur schwer getroffen werden. Eine Mindestgröße von drei Hektar erscheint erforderlich. Sensoren zur Bestandsführung und Bodenscanner werden daher häufiger auf großen Betrieben eingesetzt. Der Einsatz von Parallelfahrssystemen oder Teilbreitenschaltungen ist dagegen auch auf kleineren Betrieben wirtschaftlich vertretbar.

Erfolgsbewertung

Methoden des präzisen Landbaus werden immer häufiger in der Praxis eingesetzt, sind aber meist kein fester Bestandteil der WZB in Niedersachsen. Während die Technik zur Optimierung der Bearbeitungsgenauigkeit (Parallelfahrssysteme, Teilflächenschaltungen) und der Einsatz von Sensorsystemen von den Landwirten selbstständig eingesetzt werden kann, wird z. B. die elektronische Erfassung von Bodeneigenschaften (EM 38) in der Regel von einem Lohnunternehmer durchgeführt. Insbesondere wenn es um die Darstellung und Auswertung der erhobenen Daten geht, ist der Landwirt häufig auf externe Hilfe angewiesen.

Die Erfolgsbewertung beruht auf Auswertungen von speziellen Versuchsanstellungen oder zeitlich begrenzten Projekten und kann daher noch nicht auf einer breiten Datenbasis erfolgen. Von den oben genannten Einsatzschwerpunkten des präzisen Landbaus haben nur die Systeme zur Optimierung der Bearbeitungsgenauigkeit und die Sensorsysteme eine unmittelbare Bedeutung für den Gewässerschutz. Aus diesem Grund soll nur für diese beiden Punkte eine Erfolgsbewertung vorgenommen werden.

Erfolgsbewertung Parallelfahrssysteme / Teilbreitenabschaltung

Der Einsatz von Parallelfahrssystemen und Teilbreitenabschaltungen hat keinen flächendeckenden Einfluss auf die unten genannten Erfolgsparameter. Der Erfolg beruht auf der vermiedenen Überlappung (bei fehlenden Fahrgassen), insbesondere in den Bereichen des Vorgewendes und der nicht parallel zu bearbeitenden Restflächen der Bewirtschaftungseinheiten.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Düngungsminderung in den Überlappungsbereichen in Höhe der durchgeführten Düngegabe (30 bis 70 kg N/ha).
Saldominderung	- Ja, aber nicht genau zu beziffern
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, aber nicht genau zu beziffern
Sickerwasserentlastung	- Ja, aber nicht genau zu beziffern
Weitere Effekte	- Keine

Erfolgsbewertung Sensorsysteme zur Bestandsführung

Der Einsatz von Sensorsystemen zur Bestandsführung führt zu einer Umverteilung bzw. leichten Verringerung der applizierten N-Menge. Die standort- bzw. bestandsabhängig variable Düngung führt gegenüber einer starren N-Düngung zu einer verbesserten Versorgung der Kulturen. Sie führt zu gleichmäßigeren Beständen mit einer gleichmäßigeren Qualität. Dies führt zu einer moderaten Minderung der N-Überschüsse.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Moderate flächengewichtete Verringerung des Gesamtdüngungsniveaus (-5 bis -10 kg N/ha)
Saldominderung	- Moderate flächengewichtete Verringerung des N-Überschusses (-5 bis -10 kg N/ha)
Herbst-N _{min} -Minderung	- Es liegen keine Messergebnisse vor.
Sickerwasserentlastung	- Es liegen keine Messergebnisse vor.
Weitere Effekte	- Erleichterung der Ernte von Wintergetreide durch Lagervermeidung

2.4.14 Kurzumtriebsplantagen

Kurzcharakteristik

Der Anbau von schnellwachsenden Hölzern in Kurzumtriebsplantagen (KUP) erlangt in Deutschland bedingt durch den Ausbau regenerativer Energiequellen zunehmend an Bedeutung. Der Anbau von mehrjährigen schnellwachsenden Baumarten, insbesondere Pappel (*Populus spec.*) und Weide (*Salix spec.*), ist insbesondere für ertragsschwächere Standorte und extensive Bewirtschaftungsbedingungen von Interesse. Wesentliche Vorteile aus Sicht des Gewässerschutzes sind

- ein niedriger Düngerbedarf
- der reduzierte Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

- eine dauerhafte Bodenbedeckung und eine folglich niedrige Bodenerosion.

Demgegenüber steht eine im Vergleich zur Ackernutzung nachteilig verringerte Sickerwasserrate.

Derzeit werden in einzelnen niedersächsischen TGG erste Anbauerfahrungen mit Kurzumtriebsplantagen gemacht.

Anwendungsbereich

Als Kurzumtriebsplantage wird die flächenhafte Anpflanzung von Agrarholzbeständen bezeichnet, in denen schnellwachsende Baumarten für die energetische Nutzung angebaut werden. Agrarholzbestände sind vergleichsweise anspruchslos und eignen sich daher für den Anbau in wirtschaftlichen Grenzlagen.

Eine Sonderform stellt der Anbau schnellwachsender Hölzer in Alleycroppingsystemen (ACS) dar. In dieser besonderen Form der Agroforstwirtschaft werden zwischen zumeist parallel angeordneten KUP-Streifen konventionelle Ackerkulturen angebaut. Diese streifenförmige Anbauform ist vor allem zur Unterteilung von großen Schlägen geeignet. Sie bietet Erosionsschutzeffekte und soll auch die Funktion von mehrjährigen Landschaftselementen mit Habitatfunktionen übernehmen.

Mit dem vermehrten Interesse an schnellwachsenden Hölzern eröffnen sich auch langfristige, extensive Nutzungsalternativen für Standorte mit hoher Nitrataustragsgefährdung, wie flachgründige Standorte, leichte Sandböden oder ertragsschwache humose Böden. Aus Sicht des Gewässerschutzes ist vor allem der Anbau auf Ackerflächen von Interesse, da hier eine deutliche Verbesserung der Sickerwassergüte zu erwarten ist. Grünlandflächen bieten in der Regel ein hohes Maß an Grundwasserschutzleistung, so dass eine Umnutzung in Kurzumtriebsplantagen keine Minderung der Nitratausträge verspricht, sondern in der Umbruchphase sogar deutliche Verschlechterungen auslösen kann. Die Umwandlung von Dauergrünlandflächen in Acker ist in Niedersachsen genehmigungspflichtig und an Auflagen gekoppelt. Hier stellen KUP nur dann eine sinnvolle Alternative dar, wenn bei genehmigtem Grünlandumbruch die Nachnutzung der meist einjährigen Kulturen zugunsten der Dauerkultur vermieden werden kann.

Durchführung

Beim Anbau von KUP kommen derzeit meist die Baumarten Pappel (insbesondere normale Standorte), Weide (insbesondere feuchte Standorte) und Robinie (*Robinia pseudoacacia*, trockene Standorte) bzw. deren Klone zum Einsatz.

Die Pflanzdichten in KUP sind vergleichsweise hoch, so dass in Minirotationen (zwei bis vier Jahre) je nach Baumart 12.000 bis 16.000 Pflanzen/ha keine Seltenheit sind (BÖHM et al. 2011). Bei weiteren Ernteabständen (z. B. acht Jahre) reichen 2.000 bis 3.000 Pflanzen/ha aus (VETTER et al. 2006). Die Pflanzabstände orientieren sich an der verfügbaren Bewirtschaftungstechnik (s. Abb. 111 und 112).

Bei der Anlage der Plantage im Spätsommer und Herbst ist die Bekämpfung von Unkräutern, insbesondere Wurzelunkräutern durch eine Stoppelbearbeitung wichtig. Eine ca. 25 cm tiefe Pflugfurche wird zur besseren Etablierung des Bestands empfohlen.

In Umtriebszeiten von drei bis fünf Jahren (Weide, s. Abb. 113) bzw. vier bis sechs Jahren (Pappelhybride) werden die Bestände beerntet (z. B. mit dem Feldhäcks-



Abb. 111: Steckholz-Anpflanzung (Weiden) nach wendender Bodenbearbeitung (IGLU)



Abb. 112: Steckholz-Anpflanzung (Weiden) nach Streifenbearbeitung (IGLU)



Abb. 113: KUP-Bestand mit Weiden (IGLU)

ler, s. Abb. 114), wobei die Triebe ca. 10 cm über dem Boden zurückgeschnitten und direkt zu Holzhackschnitzeln verarbeitet werden. Die Pflanzen treiben im folgenden Frühjahr erneut aus und wachsen in den folgenden Jahren wieder zu erntereifen Beständen heran. Auch Rotationen von zehn bis 15 Jahren werden derzeit getestet. Sie setzen jedoch große Flächeneinheiten voraus, da die Ernte in der Regel mit forstlicher Großtechnik erfolgt. Von Vorteil sind hier die längeren Phasen der Bodenruhe. Durchschnittlich können KUP über einen Zeitraum von ca. 20 Jahren ohne Neuanlage bewirtschaftet werden.



Abb. 114: Häcksler mit Holzerntevorsatz

Auf den Einsatz von Dünge- oder Pflanzenschutzmaßnahmen zu KUP kann verzichtet werden (VETTER et al. 2006, HOFMANN 2007).

Die Ertragsleistung ist standortabhängig und beträgt zwischen acht und 12 t atro/ha und Jahr ($\sim 53\text{--}78\text{ m}^3$; das heißt bei Ernte nach vier Jahren Bestandszeit 32–48 t atro) (WALD 21 2011).

Rechtliche Rahmenbedingungen

KUP gelten gemäß Bundeswaldgesetz (BMELF, BMF 1975) rechtlich als Dauerkulturen und dürfen nur mit einer Umtriebszeit von höchstens 20 Jahren angebaut werden, um den Ackerstatus und damit die Agrarprämienberechtigung zu behalten. Dabei gilt als Umtrieb die Zeit von der Anlage bis zur ersten Ernte. Eine Rodung und komplette Rückumwandlung muss in dieser Zeit nicht erfolgen, sondern kann nach der Ernte der baumartenspezifische Stockausschlag zur Wiederbegrünung genutzt werden. Im Agrarantrag wird der Ackerstatus durch die Angabe „Niederwald mit Kurzumtrieb ≤ 20 Jahre“ belegt.

KUP als Gewässerschutzmaßnahme

Im MU-Maßnahmenkatalog ist der Anbau von KUP derzeit nicht als freiwillige ausgleichsfähige Wasserschutzmaßnahme vorgesehen. In einzelnen TGG werden erste Erfahrungen mit KUP gemacht. Hier bestehen individuelle Verabredungen zwischen den Wasserversorgungsunternehmen (WVU) und dem Bewirtschafter.

Aus Gewässerschutzsicht ist bei der Anlage der KUP ein Verzicht auf N-Düngemaßnahmen zu empfehlen. Verfahren mit verminderter Bodenbearbeitung wie streifenweises Pflügen bringen nach bisherigen Untersuchungen schlechte Anwuchsergebnisse sowie eine erhöhte Wühlmausgefahr mit sich und sind daher nicht geeignet (STOLL & DOHRENBUSCH 2010).

Erfolgsbewertung

Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt

Generell ist davon auszugehen, dass beim Anbau von Agrarholz aufgrund des permanent vorhandenen Bewuchses und einem allgemein höheren Blattflächenindex im Jahresverlauf weniger Niederschlagswasser auf den Boden gelangt als bei mit einjährigen Ackerkulturen bestellten Flächen. Auch die jährlichen Transpirationsraten sind bedingt durch die ca. ein bis zwei Monate längere Vegetationszeit höher als bei Ackerkulturen. Im Gegensatz dazu ist die Evaporation in Agrarholzbeständen aufgrund der guten Bodendeckung eher niedriger als bei Einjahreskulturen und durch das tiefe Wurzelwerk wird der Wasservorrat des Unterbodens stärker beansprucht (Angaben zur Höhe von Interzeption und Evaporation variieren je nach Quelle stark. U. a. PETZOLD et al. 2009; BUNGART & HÜTTL 2004; PERSSON & LINDROTH 1994; LAMMERSDORF et al. 2010).

Einfluss auf die Grundwasserneubildung

Unter Agrarholzbeständen kommt es im Vergleich zu Einjahreskulturen zu niedrigeren Sickerwasserraten. Untersuchungen zeigen für niedersächsische Standorte eine Verringerung von 30 bis zu 74 % gegenüber konventionell bestelltem Ackerland (BUSCH 2009).

Einfluss auf die Sickerwasserqualität

Der Anbau von Agrarholz kann zu einer Reduzierung der N-Auswaschungen beitragen. Wesentliche Gründe sind die im Vergleich zu Einjahreskulturen deutlich geringeren erforderlichen N-Düngermengen (in der Regel Nulldüngung) sowie die mit dem Agrarholzanbau einhergehende Erhöhung an organischer Bodensubstanz, die eine Zunahme der Kationenaustauschkapazität und somit eine größere Nährstoffhaltefähigkeit zur Folge hat. Weiterhin können die Pflanzen bedingt durch ihr tief reichendes Wurzelsystem Nährstoffe auch noch aus tieferen Bodenschichten aufnehmen (JOSE et al. 2004).

N-Dynamik in der Gesamt-Nutzungsdauer

Unter Agrarholzbeständen ist die N-Dynamik langfristig zu betrachten. Hierbei sind die Anbauphasen Etablierung, Ernte und Rodung sowie Effekte durch Düngung und Bodenbearbeitung zu unterscheiden. Das Pflügen der Fläche zur Bestandsanlage lässt den Nitrataustrag mit dem Sickerwasser zwar schlagartig ansteigen. Dieser sinkt aber innerhalb eines halben Jahrs unter den erlaubten Grenzwert ab und bleibt durch die dauerhafte Bodenruhe über viele Jahre konstant niedrig. Die regulären Erntemaßnahmen bewirken keine wesentlichen N-Freisetzen. Erhöhte N-Freisetzen sind erst

wieder zum Ende der 20-jährigen Nutzungszeit nach der Rodung infolge der verstärkten Bodenbearbeitung und Zerstörung der Wurzelstöcke möglich (STOLL & DOHRENBUSCH 2010, s. Abb. 115). Werden Nachpflanzungen ohne Bodenbearbeitung durchgeführt, so verursachen auch diese keine weiteren Mineralisationsschübe (BÖHM et al. 2011). Wird über den gesamten Anbauzeitraum bilanziert, so betragen die Auswaschungsverluste unter KUP im Mittel unter 15 kg N/ha im Vergleich zu 70 bis 120 kg N/ha unter einer vergleichbaren Fläche mit Getreidefruchtfolge (JÖRGENSEN & HANSEN 1998, ZANDER 2012).

Weitere ökologische Vorteile bestehen in einer Steigerung der Biodiversität, in der Erosionsschutzleistung, in der Humusmehrung und Unterstützung der Erholung der Böden. Wie in der Landwirtschaft sind aber auch hier angepasste Schlaggrößen einzuhalten (WALD 21 2011). Ein streifenförmiger Anbau an Fließgewässern (sieben bis neun Meter) kann einen Beitrag zum Oberflächengewässerschutz leisten (Minderung der Wassererosion), insbesondere durch eine 20 bis 90 %-ige Verringerung der Phosphoreinträge (LEE et al. 2003). Angebaut als ACS eignen sie sich auch zur Unterteilung großer Schläge und zur Biotopvernetzung (Minderung der Winderosion).

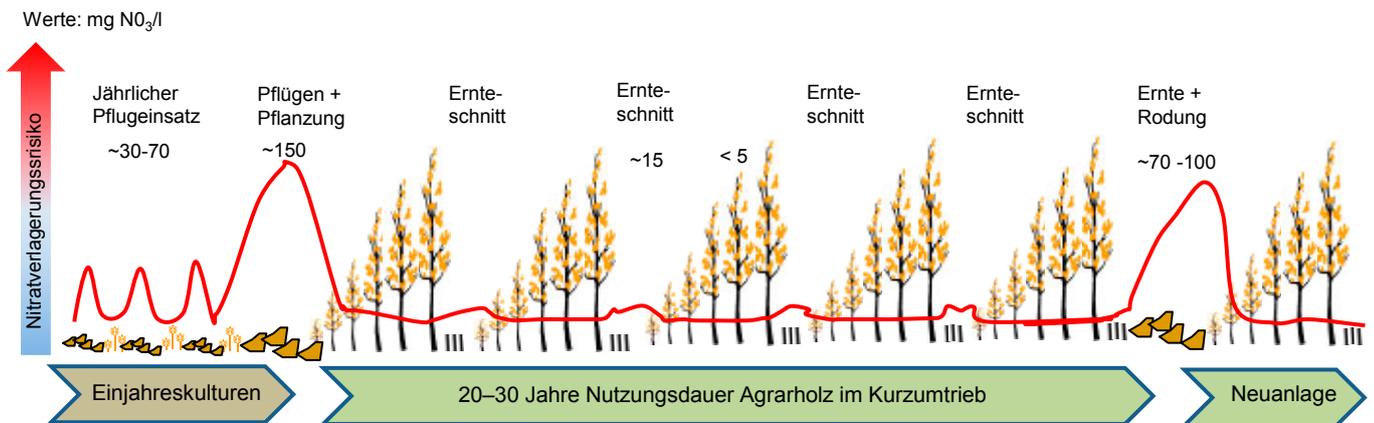


Abb. 115: Schema N-Dynamik unter KUP im Vergleich zu Ackernutzung mit Einjahreskulturen (von Buttler, Daten BÖHM et al. 2011 verändert)

Erfolgsbewertung

Im Vergleich zur Ackernutzung werden durch KUP deutliche Entlastungen für das Grundwasser, ähnlich einer extensiven Grünlandnutzung, erwartet. Wesentlicher Unterschied dieses Anbausystems gegenüber Ackerkulturen sind die Langfristigkeit (20 Jahre Standzeit) und die extensive Bestandesführung.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- In der Regel ist keine Düngung erforderlich.
N-Saldominderung	- Vergleichbar zu extensiven Grünlandbeständen
Herbst-N _{min} -Minderung	- Vergleichbar zu extensiven Grünlandbeständen mittlere Herbst-N _{min} -Werte zwischen 0 – 20 kg/ha
Sickerwasserentlastung	- Im Durchschnitt der 20-jährigen Anbauzeit wird mit ca. 15 mg NO ₃ /l eine gute Sickerwassergüte erreicht. Achtung: deutliche N-Mineralisationsschübe bei der Etablierung und zur Rodung!

Hinweise

- Zur Vermeidung von hohen N-Mineralisationsschüben zur Bestandesetablierung sind Pflanzverfahren mit reduzierter Bodenbearbeitung sowie Untersaaten zu prüfen. Auf zusätzliche N-Düngegaben ist zu verzichten.
- Die Sickerwasserspende und damit die Grundwasserneubildung ist unter Agrarholzbeständen geringer als unter Einjahreskulturen.
- Weitere Vorteile im Vergleich zur intensiven Ackernutzung sind die erosionsmindernde Wirkung für den Oberflächengewässerschutz, die Stabilisierung von Bodenfunktionen und der Humusbilanz, die Schaffung von diversifiziertem Lebensraum durch Biotopvernetzung.



2.5 Anwendungsbeispiele für grundwasserschonende Produktionssysteme

In den vorangegangenen Kapiteln wurden wichtige Einzelmaßnahmen vorgestellt und beschrieben, die in der Landwirtschaft, und im Erwerbsgartenbau eingesetzt werden, um Stoffausträge bei der Landnutzung zu verringern. Die Maßnahmen wurden zunächst separat betrachtet und bewertet. Dabei wurde auch deutlich, dass von bestimmten landwirtschaftlichen Kulturen eine erhöhte Belastung hinsichtlich der potenziellen Nitratauswaschung ausgehen kann. Zu nennen sind hier insbesondere Winterraps, Mais, Kartoffeln und verschiedene Sonderkulturen.

Auch der Anbau von Qualitätsweizen kann aus Sicht des Gewässerschutzes problematisch werden, wenn die N-Ährengabe aus Gründen der Witterung oder der Bestandesentwicklung nur zu einem geringen Teil ausgenutzt wird. In solchen Fällen ist zu überlegen, ob der stickstoffintensive Getreideanbau durch extensive Anbauverfahren eines nicht eiweißbetonten Wintergetreideanbaus, z. B. Winterbraugerste, Keksweizen, ersetzt werden kann.

Solche gravierenden Veränderungen in der betrieblichen Produktionsausrichtung zu Gunsten des Gewässerschutzes können natürlich nie isoliert betrachtet werden. Hierzu bedarf es der besonders gründlichen Analyse der Auswirkungen auf die Vermarktungssituation. In die Entscheidung über solche Veränderungen sind daher neben der Fach- und Wasserschutzzusatzberatung auch die Vermarktungsorganisationen und gegebenenfalls auch direkt die Verarbeitungsunternehmen der Ernährungswirtschaft einzubeziehen. Nachhaltig und dauerhaft kann die Neuausrichtung der Fruchtfolgezusammensetzung auf den Gewässerschutz nur gelingen, wenn der Anbau und die Vermarktung aufgrund vorab geschlossener Verträge erfolgen, in denen Produktqualitäten und Vermarktungsmengen sowie die Abnahmepreise geregelt sind.

Wenn jedoch die neuen Produktionssysteme von der Anbauplanung bis zum Verarbeitungsprodukt strategisch

konzipiert sind, dann können sich daraus aufgrund der besonderen verarbeitungstechnologischen Eignung der Rohstoffe und einer höheren Qualität der Verarbeitungsprodukte auch monetäre Vorteile auf allen Ebenen ergeben (Landwirt, Großhandel, Verarbeitung, Einzelhandel).

Im Ergebnis können sich aus den grundwasserschonenden Produktionssystemen neben den Vorteilen für den Gewässerschutz auch Vorteile für die Vermarktungs- und Wettbewerbssituation der teilnehmenden Betriebe ergeben. Konkrete Beispiele hierfür hat das Niedersächsische Kooperationsmodell Trinkwasserschutz in den letzten Jahren immer wieder hervor gebracht, so z. B. in Zusammenarbeit der Landwirte der örtlichen Trinkwassergewinnungsgebiete mit Bahlsen, Hofbrauhaus Wolters, AURO Leinölfarben, mit regionalen Filialbäckereien oder mit Großküchen und Kantinen.

Durch solche Kooperationsprojekte können Vermarktern, Verarbeitern und letztlich den Verbrauchern die Vorteile einer grundwasserschonenden Wirtschaftsweise konkret nahe gebracht werden und zwar bis hin zu der Bereitschaft, für diese nachhaltig erzeugten Produktqualitäten auch einen höheren Preis zu bezahlen. Dieser Mehrwert kommt dann nicht nur den Akteuren, sondern letztlich auch direkt dem Grundwasserschutz zugute und kann zu einer Verstärkung der Produktionssysteme beitragen.

Um den Nitrataustrag unter den eher grundwasserbelastenden Kulturen zu minimieren, ist es sinnvoll, verschiedene Einzelmaßnahmen in geeigneten Fruchtfolgen miteinander zu kombinieren, um letztlich grundwasserschonende Anbausysteme zu etablieren. So können auch produktionsintensive und mit Emissionsrisiko behaftete Einzelkulturen in Kombination mit ergänzenden Maßnahmen grundwasserschonend angebaut werden. Mit einer reduzierten Bodenbearbeitung nach der Ernte, einem anschließendem Zwischenfruchtanbau oder einer extensiven Folgefrucht kann dann ein Anbausystem mit minimierten Nährstoffemissionen etabliert werden.

Um die N-Verluste weiter zu minimieren, bietet sich ergänzend die Umsetzung einer systematischen, maßnahmenbegleitenden Analytik an. In den nachfolgenden Kapiteln sind entsprechende Beispiele dargestellt.

2.5.1 Wintergetreide

Beim Anbau von Wintergetreide führen hohe Eiweißgehalte im Haupterntegetut in vielen Fällen zu einer Verbesserung der inneren Qualität, die vom Handel eingefordert wird. Während es beim Futtergetreide lediglich zu einer Erhöhung des Futterwerts kommt, werden beim Anbau von Qualitäts- und Eliteweizen Preisaufläge für das Erreichen von Mindesteiweißgehalten gewährt.

Hohe Eiweißgehalte im Winterweizen werden durch die qualitätsbetonte N-Spätgabe zum Zeitpunkt der Blüte ermöglicht. Aufgrund der relativ schlechten Ausnutzung dieser N-Gabe kommt es häufig zu deutlichen N-Bilanzüberschüssen. Eine Anbaualternative stellen Getreidearten bzw. -sorten dar, bei deren Produktion besonderer Wert auf niedrige Eiweißgehalte gelegt wird. Zu nennen sind hier alle Braugersten und z. B. Weizen, der zur Produktion von Keksen oder Ethanol verwendet wird. Bei diesen Kulturen sind hohe Eiweißgehalte unerwünscht, da sie die Qualität der zu erzeugenden Produkte mindern (z. B. ungewollte Trübheit beim Bier, zu großes Porenvolumen bei der Keksproduktion).

Der Anbau von Winterbraugerste oder Keksweizen ist zurzeit nicht sehr weit verbreitet. Die Etablierung einer entsprechenden Produktion sollte daher durch eine unterstützende Beratung zur Vermarktungsförderung erfolgen. Dies erfordert z. B. die Zusammenarbeit mit der aufnehmenden Hand (Landhandel, Agrargenossenschaften) oder aber direkte Absprachen mit den weiterverarbeitenden Unternehmen (z. B. Mälzereien). Als zielführend haben sich Arbeitskreise aus Landwirten, aufnehmender Hand und Beratern erwiesen.

Die angebaute Winterbraugerste verdrängt im besten Falle den Stoppelweizen. Es kommt zu einer deutlichen Senkung des Düngungsniveaus und somit zu einer Reduzierung der N-Überschüsse. Auswirkungen auf die Höhe der Herbst- N_{\min} -Werte bzw. die Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone sind weniger deutlich ausgeprägt.

Tab. 46: Einfluss des Anbaus von Winterbraugerste auf die Höhe N-Düngung und des N-Saldos im Vergleich zum Anbau von Stoppelweizen, Ergebnisse aus dem TGG Börßum der Salzgitter Flachstahl GmbH aus den Jahren 2003 bis 2011 (Geries Ingenieure GmbH)

	N-Düngung (kg N/ha)	N-Saldo (kg N/ha)	Herbst- N_{\min}-Wert (kg N/ha)
Stoppelweizen	196	31	77
Winterbraugerste	72	-21	47
Differenz	124	52	30

2.5.2 Mais

Der Anbau von Mais hat in Deutschland in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen. Aufgrund der rasanten Züchtungsfortschritte bildet Mais seit gut 30 Jahren die Futtergrundlage fast aller Milchviehbetriebe (Silomais). Seit knapp einem Jahrzehnt wird Mais auch verstärkt als Energiepflanze für die Erzeugung von Biogas angebaut. Beim Anbau von Silomais für Futterbaubetriebe und für Biogasanlagen wird die gesamte Pflanze geerntet. Mais kann aber auch als Futter in Form von Corn-Cob-Mix (CCM), Lieschkolbenschrot (LKS) und Körnermais für Veredlungsbetriebe angebaut werden. Bei diesen Ernteverfahren wird entweder der Kolben von der Restpflanze getrennt (CCM, LKS) oder aber der Mais wird gedroschen (Körnermais). Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf den Anbau von Silomais.

Im Gegensatz zu den meisten Ackerkulturen ist Mais mit sich selbst verträglich. Er kann daher sowohl im Rahmen einer Fruchtfolge als auch als Monokultur angebaut werden. Bei der Bewertung des Maisanbaus im Sinne des Gewässerschutzes müssen beide Anbausysteme getrennt voneinander betrachtet werden. Mais reagiert auf eine Überversorgung mit Stickstoff nicht mit Ertragseinbußen, was für den Gewässerschutz sehr problematisch ist, da eine gewisse Selbstregulation zur Vermeidung einer N-Überdüngung fehlt.

Der N-Bedarf von Mais kann aufgrund der späten Jugendentwicklung zu einem großen Teil aus der Mineralisation des Bodenvorrats gedeckt werden. Da beim Anbau von Silomais die gesamte Pflanze geerntet wird, wird nahezu die gesamte Menge des aufgenommenen Stickstoffs mit dem Erntegetut von der Fläche exportiert. Die N-Salden von Silomais sind daher vergleichsweise niedrig und häufig sogar negativ.

Trotz niedriger bzw. negativer N-Salden finden sich nach Mais im Vergleich zu anderen Ackerkulturen häufig sehr hohe Herbst- N_{\min} -Werte im Boden. Die Gründe hierfür sind eine langsame Jugendentwicklung mit einem schwach ausgeprägten Wurzelwachstum unter den niedersächsischen Klimabedingungen (LWK NIEDERSACHSEN 2012d) sowie eine vielfach zu hohe N-Düngung. Die Höhe der N-Düngung hat großen Einfluss auf den Reststickstoffgehalt im Herbst. Langjährige Versuchsergebnisse (z. B. Thülsfelde) zeigen, dass eine deutliche Reduzierung der Herbst- N_{\min} -Werte sowie der Nitratkonzentration im Sickerwasser durch eine grundwasserschonende N-Düngestrategie mit relativ geringen Ertragsverlusten möglich ist (LWK NIEDERSACHSEN 2013j). Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen kann der Reststickstoffgehalt auch standortabhängig, unter bestimmten Bedingungen

auch sortenabhängig, beeinflusst sein. Beim Anbau von Silomais gibt es verschiedene Möglichkeiten, Einzelmaßnahmen zu kombinieren, um N-Austräge zu minimieren. Nachfolgend ist die Wirkung verschiedener Einzelmaßnahmen sowie einer grundwasserschonenden Fruchtfolgegestaltung auf die Erfolgsindikatoren N-Saldo, Herbst-

N_{\min} -Wert und Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone beim Anbau von Mais dargestellt (s. Tab. 47):

Im Folgenden sind Beispiele sowohl für den Anbau von Mais im Rahmen von Fruchtfolgen als auch beim Anbau als Monokultur dargestellt.

Tab. 47: Bewertung der Wirkung von Grundwasserschutzmaßnahmen und der Fruchtfolge auf die Erfolgsindikatoren N-Saldo, Herbst- N_{\min} -Wert und Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone (Sickerwasser) beim Anbau von Silomais (Geries Ingenieure GmbH)

Maßnahme	Minderung N-Saldo	Minderung Herbst- N_{\min}	Minderung Nitratkonzentration
N-Reduktion	+ (++)	+ (++)	+ (++)
Zwischenfrucht (FF)	o	++	++
Untersaat (Monokultur)	o	+	+
Grünroggen (Monokultur)	o	o (+)	o (+)
Bodenruhe	o	+	+
Engsaat	o	o	o
Nitrifikationshemmstoff	o (+)	+	+
Fruchtfolge (FF)	o (+)	o (+)	o (+)
++ = sehr gute Wirkung + = gute Wirkung o = keine Wirkung			

Maisanbau im Rahmen von Fruchtfolgen (ertragssichere Böden)

Im südlichen Bereich Niedersachsens wird Mais überwiegend im Rahmen von Fruchtfolgen auf ertragssicheren Böden angebaut. Maßnahmen zur N-Düngung (s. Kap. 2.4.3) werden meist nicht angeboten und somit beschränken sich die Maßnahmen auf den Anbau von Zwischenfrüchten (s. Kap. 2.4.1.1). Bei den angebauten Zwischenfrüchten kann zwischen Gründüngungszwischenfrüchten und Futterzwischenfrüchten differenziert werden.

Die Effekte der Begrünungsmaßnahmen wirken sich am stärksten auf die Nitratkonzentration in der Dränzone aus. Die Nitratkonzentrationen werden durch den Anbau von Zwischenfrüchten um knapp 30 % (Gründüngungszwischenfrüchte) bzw. um knapp 50 % (Futterzwischenfrüchte) reduziert. Der Einfluss auf den durchschnittlichen Herbst- N_{\min} -Wert in der Fruchtfolge ist weniger deutlich ausgeprägt (s. Tab. 48).

Tab. 48: Einfluss des Anbaus verschiedener Zwischenfrüchte (Zwfrucht) in Mais-Getreidefruchtfolgen auf die Höhe des N-Saldos, des Herbst- N_{\min} -Werts und die Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone auf 15 Dauerbeobachtungsflächen in TGG der Kooperation Obere Leine für den Zeitraum 1999 bis 2011 (Geries Ingenieure GmbH)

Maßnahme	N-Saldo (kg N/ha)	Herbst- N_{\min} -Wert (kg N/ha)	Nitratkonzentration (mg NO_3/l)
Ohne Zwfrucht	-3	76	29
Mit Zwfrucht (Senf)	9	63	21
Mit Zwfrucht (Gras)	-13	56	15

Maisanbau in Monokultur (ertragsunsichere Böden)

Im Nordwesten Niedersachsens wird Silomais zum Teil schon über Jahrzehnte als Monokultur angebaut. Dies liegt an der Spezialisierung vieler Betriebe (Milchproduktion) bei gleichzeitig hohen Viehdichten und dem Anbau als Biomasselieferant für Biogasanlagen. Die ackerbaulich nutzbaren Flächen werden zur Produkti-

on des benötigten Grundfutters herangezogen und es bleibt selten genug Fläche für den Anbau von geregelten Fruchtfolgen. Die vielfach sandigen Böden haben eine geringe Wasserspeicherkapazität und beim Anbau von Mais kann Nitrat sowohl im Frühjahr als auch im Herbst ausgewaschen werden (s. Abb. 116).

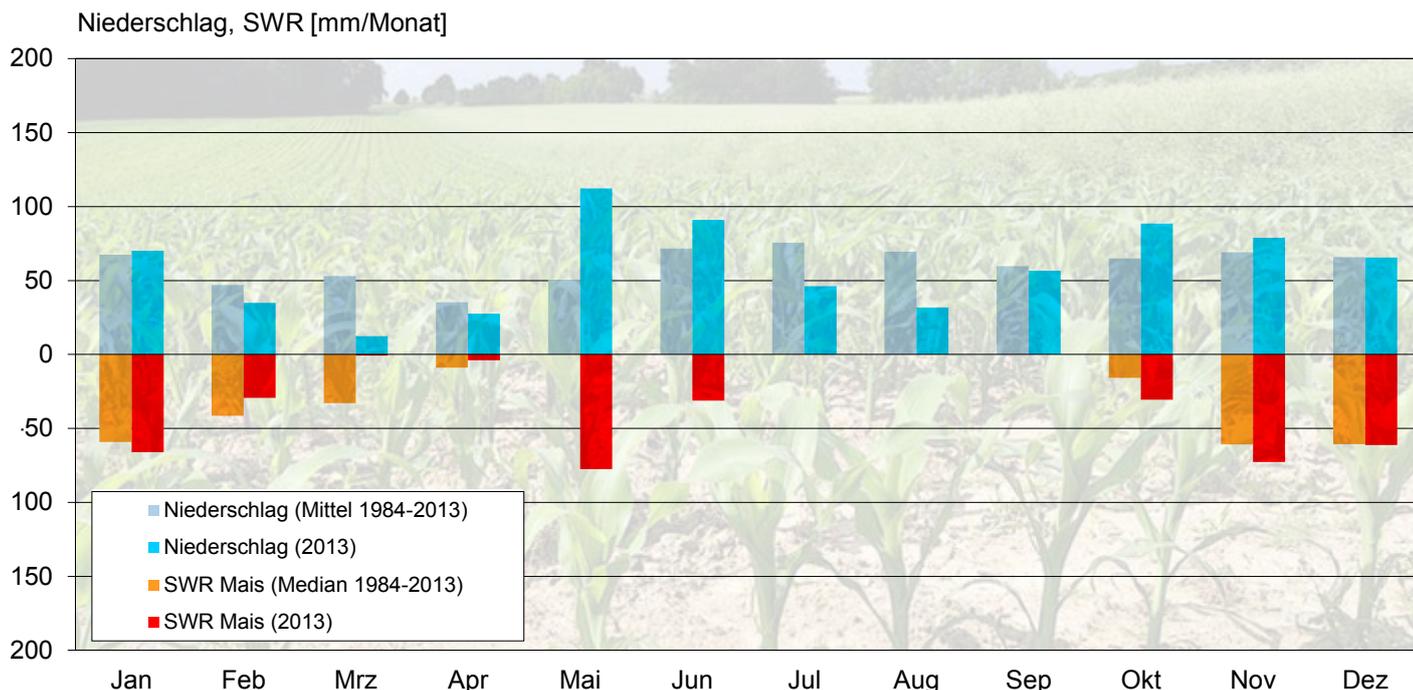


Abb. 116: Sickerwasseranfall unter Mais in einem niederschlagsreichen Jahr verglichen mit dem durchschnittlichen Sickerwasseranfall im langjährigen Mittel (DWD-Station Bremervörde, Berechnungen: (Geries Ingenieure GmbH)

Aus diesem Grund werden auf diesen Standorten deutlich mehr Maßnahmen angeboten und umgesetzt als auf den ertragssicheren Böden. Ähnlich wie beim Winterraps unterscheiden sich die Maßnahmen deutlich hinsichtlich ihrer Wirkung auf die genannten Erfolgsindikatoren. Die Wirkung verschiedener Kombinationen auf die Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone ist nachfolgend dargestellt (s. Abb. 117).

Es ist ersichtlich, dass sowohl Einzelmaßnahmen als auch Maßnahmenkombinationen einen zum Teil sehr deutlichen positiven Effekt auf die Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone haben. Die besten Ergebnisse

lassen sich durch die Kombination von aktiver Begrünung und reduzierter N-Düngung erzielen. Die Wirkung zusätzlicher Maßnahmen (Engsaaten, Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen) konnte anhand der vorliegenden Versuchsergebnisse nicht geprüft werden. Auffällig ist die sehr hohe Streuung der gemessenen Konzentrationen, insbesondere beim Anbau von Silomais ohne Maßnahmen. In der Praxis finden sich immer wieder Flächen bzw. Betriebe, auf denen auch ohne Maßnahmen ähnlich niedrige Nitratkonzentrationen ermittelt werden, wie auf Flächen mit Maßnahmen. Ein aus Sicht des Gewässerschutzes akzeptabler Maisanbau kann somit auch durch

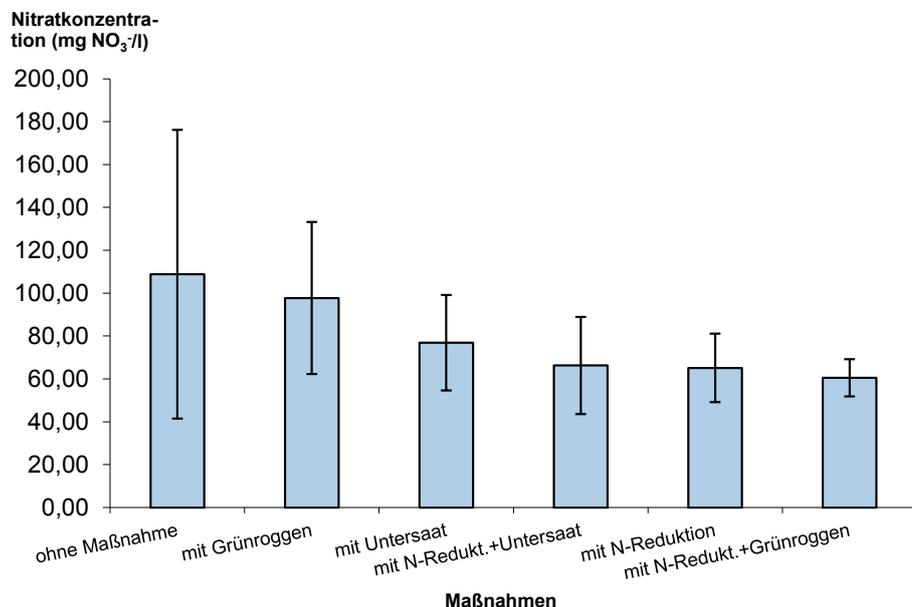


Abb. 117: Einfluss verschiedener Maßnahmen und Maßnahmenkombination auf die Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone beim Anbau von Silomais in Monokultur. Auswertung von 58 Tiefenprofilen aus den Landkreisen Stade, Cuxhaven und Rotenburg/Wümme aus den Jahren 1999 bis 2011 (Geries Ingenieure GmbH)

begleitende Beratung und nicht nur durch die Umsetzung von Maßnahmen herbeigeführt werden. Zu nennen sind hier insbesondere die in Kapitel 2.3.1 genannten Untersuchungen (Bestimmung des Humusgehalts, Nitratchek-Untersuchungen, Spät-N_{min}-Untersuchungen) aufgrund dessen die N-Düngung im Mais gegebenenfalls reduziert werden kann.

Anwendungsbereiche

Erfolgt der Anbau von Silomais auf sandigen, ertragsunsicheren Böden, so ist das Risiko von Auswaschungsverlusten deutlich höher als auf ertragssicheren Standorten.

Untersuchungen, die im Rahmen der WZB durchgeführt wurden, belegen, dass sich durch die Kombination von Maßnahmen die Nitratkonzentrationen in der ungesättigten Zone unter Silomais deutlich senken lassen. Dies gilt sowohl für den Anbau von Silomais im Rahmen von Fruchtfolgen als auch für den Anbau als Monokultur. Prinzipiell sollten deshalb alle Kombinationsmöglichkeiten ausgeschöpft werden, um die potenziellen Nitratausträge auf ein Minimum zu reduzieren. Die höchste Maßnahmenintensität sollte auf besonders sensiblen Flächen (hoch prioritätäre Flächen, Extensivierungsareale) umgesetzt werden.

Bewertung des Anbaus von Silomais in Monokultur aus Sicht des Gewässerschutzes

Der Anbau von Mais in Monokultur wird häufig als Ursache für hohe Nitratausträge herangeführt. Untersuchungsergebnisse zeigen aber, dass Flächen, auf denen Mais im Rahmen von Fruchtfolgen angebaut wird, vergleichbar hohe Belastungen aufweisen können, selbst wenn es zum regelmäßigen Anbau von Zwischenfrüchten kommt. Der Grund hierfür ist häufig in der unzureichenden Anrechnung des zur Zwischenfrucht gegebenen Stickstoffs bei der Düngung des Mais im Frühjahr zu sehen. Ob es unter Mais zu hohen Belastungen kommt, hängt in großem Maße von der allgemeinen Bewirtschaftungsintensität bei gleichzeitiger Beachtung der Standortverhältnisse ab. Bei Berücksichtigung aller relevanten Größen ist der Maisanbau sowohl als Monokultur als auch in Fruchtfolge ohne übermäßig hohe Nitratausträge mit dem

Sickerwasser möglich. Diese Tatsache ändert jedoch nichts daran, dass unter Mais häufig hohe Belastungen gemessen werden, die auf eine nicht sachgerechte Düngung mit Stickstoff zurückzuführen sind. Die Belastungen resultieren in der Regel aus zu hohen absoluten N-Gaben und aus Düngungszeitpunkten, zu denen keine optimale Ausnutzung des Stickstoffs gewährleistet ist. Auf leichten Standorten ist zusätzlich zu beachten, dass es beim Anbau von Mais sowohl im Frühjahr als auch im Herbst auf Grund der geringen nutzbaren Feldkapazitäten im effektiven Wurzelraum zu erhöhtem Sickerwasseranfall und damit zu verstärkten Nitratausträgen kommen kann. Diesem Aspekt wird in der gängigen Düngungspraxis häufig noch zu wenig Beachtung geschenkt.

Erfolgsbewertung grundwasserschonende Produktionssysteme Silomais

Beim Anbau von Silomais gibt es vielfältige Möglichkeiten, unerwünschte N-Austräge im Rahmen von Maßnahmen in Kombination mit Boden- und Pflanzenanalysen zu verringern. Die Berücksichtigung der Standortverhältnisse (z. B. Humusgehalte) und die vegetationsbegleitende Analyse von Böden und Pflanzen helfen den tatsächlichen Düngebedarf des Mais zu quantifizieren. Zusätzliche Maßnahmen (aktive Begrünungen, Einführung einer suboptimalen N-Düngung) haben einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der Herbst-N_{min}-Werte und somit auf die Höhe des potenziell auswaschbaren Stickstoffs.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, Düngungsminderung um 20 kg N/ha.
Saldominderung	- Ja, Saldenminderung um 20 kg N/ha bis 40 kg N/ha.
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, Minderung der Herbst-N _{min} -Werte um 20 kg N/ha bis 40 kg N/ha.
Sickerwasserentlastung	- Ja, deutliche Entlastung zwischen 10 mg NO ₃ /l (Löss) und 50 mg NO ₃ /l (Sand) je nach Standort und Ausgangssubstrat.
Weitere Effekte	- Durch die Düngungsminderung wird nur der Maisertrag verringert. Negative Auswirkungen auf die Futterqualität (Energiegehalt, nutzbares Rohprotein) treten i. d. R. nicht ein.

2.5.3 Winterraps

Winterraps ist ein fester Bestandteil vieler Getreidefruchtfolgen auf Marktfrucht- und Veredelungsbetrieben. Er gilt als Gesundungsfrucht (für Getreide) und hat einen positiven Vorfruchteffekt, insbesondere beim Nachbau von Winterweizen. Wo es die Standortverhältnisse zulassen, wird nach Winterraps Winterweizen angebaut. Winterraps ist mit sich selbst unverträglich; ein Anbau sollte somit maximal alle drei Jahre erfolgen. Standardfruchtfolgen wie Winterraps-Wintergetreide-Wintergetreide sind daher häufig. Winterraps hat einen vergleichsweise hohen N-

Bedarf, wobei meist nur etwa 40 % des aufgenommenen Stickstoffs mit dem Haupterntegetrag von der Fläche exportiert werden. 60 % des Stickstoffs verbleiben mit den Ernteresten auf der Fläche. Der Anbau von Winterraps führt somit generell zu hohen N-Salden.

Hinsichtlich der Auswirkungen des Rapsanbaus auf die Herbst- N_{\min} -Werte ist eine differenzierte Betrachtung vorzunehmen. Im Ansaatzjahr finden sich im Herbst vergleichsweise niedrige N_{\min} -Werte im Boden (Zwischenfruchteffekt), während im Erntejahr im Vergleich zu anderen Fruchtarten deutlich erhöhte Werte gefunden werden (s. Abb. 118) (LWK NIEDERSACHSEN 2009b), s. Kapitel 2.4.2.2.

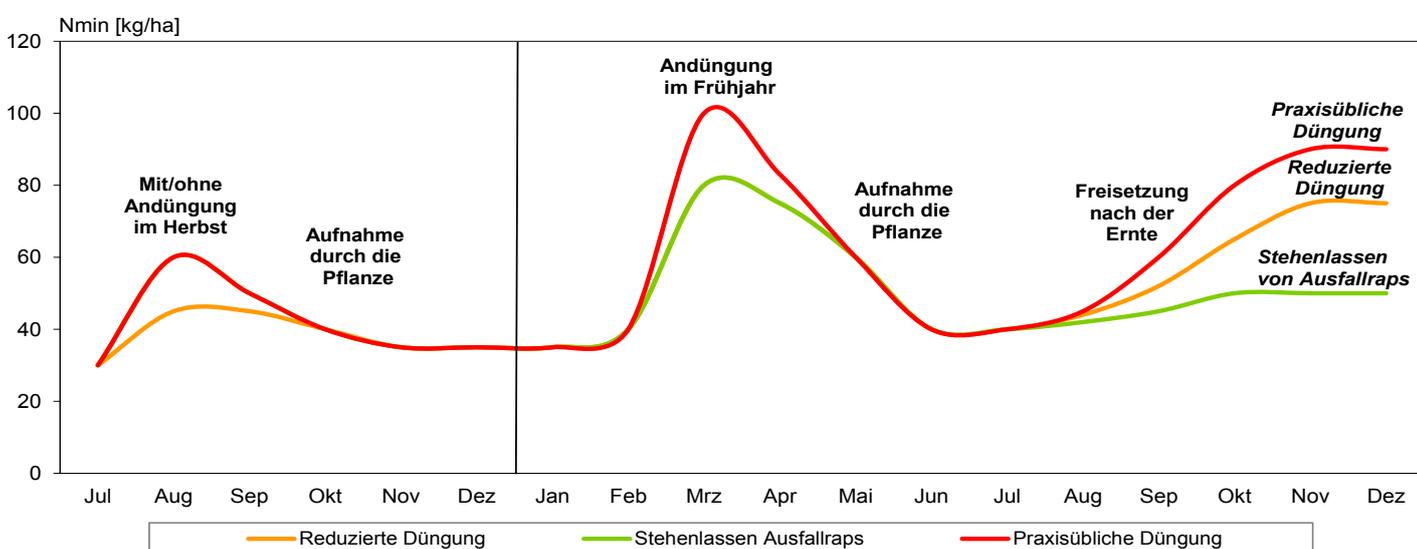


Abb. 118: Schematische Darstellung des Verlaufs der N_{\min} -Gehalte im Boden unter Raps von Juli (Aussaatjahr) bis Dezember (Erntejahr) bei unterschiedlichen Maßnahmen (Gerles Ingenieure GmbH)

Zahlreiche Versuchsergebnisse, die im Rahmen der WZB durchgeführt wurden, belegen, dass eine reduzierte N-Düngung im Winterraps die N-Salden durchschnittlich um bis zu 40 kg N/ha senken kann. Ein ebenso deutlicher Effekt der reduzierten N-Düngung auf die Herbst- N_{\min} -Werte ist aber häufig nicht zu beobachten. Grund hierfür ist die Mineralisation des mit den Ernteresten auf der Fläche verbleibenden Stickstoffs. Die

Herbst- N_{\min} -Werte fallen umso höher aus, je intensiver die Bodenbearbeitung nach Winterraps ist. Durch eine reduzierte oder gar unterlassene Bodenbearbeitung vor der Aussaat von Wintergetreide lassen sich Herbst- N_{\min} -Werte um durchschnittlich 20 kg N/ha senken (s. Kap. 2.4.2.2). Überwintert der Ausfallraps im Sinne eines Zwischenfruchtanbaus, so können die Herbst- N_{\min} -Werte auch noch stärker gesenkt werden. Nachfolgend ist die

Maßnahme	Minderung N-Saldo	Minderung Herbst- N_{\min} -Wert	Minderung Nitratkonzentration
N-Reduktion	++	o (+)	o
Bodenruhe (vor Winterung)	o	+	+
Ausfallraps (vor Sommerung)	o	++	+
Fruchtfolge	o	+	+

++ = sehr gute Wirkung + = gute Wirkung o = keine Wirkung

Tab. 49: Bewertung der Wirkung von Grundwasserschutzmaßnahmen im Raps und in Rapsfruchtfolgen auf die Erfolgsindikatoren N-Saldo, Herbst- N_{\min} -Wert und Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone (Gerles Ingenieure GmbH)

Wirkung der Einzelmaßnahmen und die Wirkung der Fruchtfolgegestaltung auf die Erfolgsindikatoren N-Saldo, Herbst-N_{min} und Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone dargestellt (s. Tab. 49).

Aufgrund der oben genannten Erkenntnisse empfiehlt sich eine Kombination der Maßnahmen. Bei FV, die

sowohl eine Reduzierung der N-Düngung als auch eine unterlassene oder stark eingeschränkte Bodenbearbeitung vorsehen, können sowohl die N-Überschüsse als auch die Herbst-N_{min}-Werte deutlich gesenkt werden (s. Tab. 50).

Tab. 50: Einfluss praxisüblicher Bewirtschaftung (ohne Maßnahmen) und Bewirtschaftung im Rahmen von Fruchtfolgevereinbarungen auf die Höhe der N-Düngung, des N-Saldos, des Herbst N_{min}-Werts und der Nitratkonzentration in der ungesättigten Zone in den TGG der IG Weser für den Zeitraum 2000 bis 2011 (Geries Ingenieure GmbH)

	N-Düngung (kg N/ha)	N-Saldo (kg N/ha)	Herbst- N _{min} -Wert (kg N/ha)	Nitratkonzentration (mg NO ₃ /l)
Ohne Maßnahme	195	35	84	55
Mit Maßnahme	133	1	65	49
Differenz	62	34	19	6

Anwendungsbereiche

Während sich die Kombination einer reduzierten N-Düngung mit unterlassener Bodenbearbeitung vor Winterungen häufig gut auf den Betrieben etablieren lässt, findet der Anbau einer Sommerung nach dem Stehenlassen

des Ausfallraps in der Regel weniger Akzeptanz. Letztgenannte Maßnahme ist relativ teuer und sollte daher auf besonders sensiblen Flächen umgesetzt werden (hoch prioritätäre Flächen, Extensivierungsareale).

Erfolgsbewertung grundwasserschonende Produktionssysteme Winterraps

Die Kombination der reduzierten N-Düngung und der reduzierten Bodenbearbeitung nach Winterraps vor Wintergetreide führt neben der Düngungsminderung sowohl zu einer deutlichen Entlastung der durchschnittlichen N-Salden als auch zu einer Minderung der durchschnittlichen Herbst-N_{min}-Werte.

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, Düngungsminderung um 40 kg N/ha bis 60 kg N/ha
Saldominderung	- Ja, Saldenminderung um 20 kg N/ha bis 40 kg N/ha
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, Minderung der Herbst-N _{min} -Werte um 10 kg N/ha bis 20 kg N/ha
Sickerwasserentlastung	- Ja, aber nicht genau zu beziffern.
Weitere Effekte	- Durch die Düngungsminderung wird der Rapserttrag verringert, wertgebende Inhaltsstoffe wie z. B. der Ölgehalt liegen bei reduziert gedüngtem Winterraps jedoch höher als bei praxisüblich gedüngtem Winterraps.

2.5.4 Kartoffel

Kurzcharakteristik

Ausgehend von der Bestellung bis zur Ernte zeichnet sich der Kartoffelanbau durch eine hohe Bodenbearbeitungsintensität aus. Die dadurch ausgelöste Belüftung fördert die mineralisationsbedingte Freisetzung von Stickstoff durch Abbau von Humus und Ernterückständen.

Um die Vorteile einer Frostgare zu nutzen, setzt die Bodenbearbeitung oftmals bereits im Herbst (Herbstfur-

che) ein, so dass der Anbau von Zwischenfrüchten „vor“ der Kartoffel, eine geringe Akzeptanz hat und die Gefahr einer Nährstoffverlagerung schon im Winter vor dem Kartoffellegen deutlich erhöht ist. Des Weiteren zeichnet sich der Kartoffelanbau durch einen hohen Düngereinsatz insbesondere der auf leichten Böden verlagerbaren Nährelemente Stickstoff, Kalium und Sulfat aus. Hohe Sulfatgaben entstehen durch die Chloridempfindlichkeit

der Kartoffel (geringere Stärkegehalte), wodurch nur sulfathaltige Kaliumdünger eingesetzt werden. Dies führt in der Konsequenz zu einer Sulfatüberdüngung.

Die N-Sollwerte in Niedersachsen liegen je nach Verwertungsrichtung zwischen 120 (Pflanzkartoffel) bis 200 kg N/ha (Industriekartoffel). Infolge des Humusabbaus und des hohen Nährstoffbedarfs werden Kartoffeln vielfach organisch gedüngt, was ein zusätzliches Mineralisationspotenzial erzeugt.

Die Ernte findet bei Frühkartoffeln noch in der Hauptmineralisationsphase des Bodens statt. Hinzu kommt ein ergänzender Mineralisationsschub des Bodenstickstoffs durch die intensive Bodenbewegung/-belüftung beim Rodevorgang zur Ernte. Die Folge sind hohe Herbst- N_{\min} -Werte und Nitratauswaschungen mit dem Sickerwasser.

Kartoffeln benötigen wegen der verglichen mit anderen Hackfrüchten schwächeren Wurzelbildung zur Erreichung marktfähiger Erträge und Qualitäten ein frühes und hohes Nährstoffangebot im Oberboden (0–60 cm). Ein zu geringes Nährstoffangebot führt unmittelbar zu Qualitätsminderungen (Kindelbildung, Sortierung, Marktwareanteil), so dass in der Praxis heute vielfach NPK-Mischdünger als Unterfußdünger platziert werden (s. Abb. 119).



Abb. 119: Kartoffel-Unterfußdüngung 10 cm neben der Knolle im Damm (INGUS)

Aufgrund der geringeren Durchwurzelungstiefe wird der Boden in den Hauptanbaugebieten mit Verbreitung von Sandböden durch intensive Feldberegnung in der nutzbaren Feldkapazität gehalten. In Kombination mit Starkniederschlägen kann es daher bereits während des laufenden Anbaus leichter zur Nitratauswaschung („Leaching“) kommen.

Anwendungsbereich und Durchführung

Problematik des Anbausystems

Der Kartoffelanbau umfasst in den WSG des östlichen Niedersachsen große Flächenanteile. Der Anbau erfolgt überwiegend in drei- bis vierjährigen Abständen und nahm in der Vergangenheit bis zu 25 % der Ackerfläche ein.

Der Kartoffelanbau ist durch erhöhte Herbst- N_{\min} -Werte gekennzeichnet. Nachgestellte Zwischenfrüchte sind nur bei ausreichend früher Ernte möglich und erreichen vielfach eine geringere Wirkung als nach Getreide. Trotzdem konnte bei intensiver Betreuung Kartoffel betonter Fruchtfolgen durch die WZB z. B. in der Trinkwasserschutzkooperation Lüneburg-Süd die Nitratkonzentration im Sickerwasser auf 55 bis zu 75 mg/l reduziert werden, während die Sulfatauswaschungen mit 70 bis 335 mg/l vergleichsweise deutlich höher sind.

Entwickelte Lösungsansätze

Durch den teilweise hohen Anteil organischer Dünger und die rodebbedingt hohen Mineralisationsraten ergibt sich das höchste Risiko einer Nitratverlagerung im Kartoffelanbau während der darauf folgenden Sickerwasserperiode. Aufgrund der chloridarmen Kalidüngung ergeben sich hohe Sulfatmengen. Eine wirksame N- und S-Konservierung durch eine leistungsfähige Begrünung ist nur nach einer Frührodung möglich, wobei folgende Anforderungen an die Zwischenfrucht gestellt werden müssen:

- eine frühe und hohe N-Aufnahme bis zum Beginn der Sickerwasserbildung,
- bevorzugt winterharte Zwischenfrüchte, um den aufgenommenen Stickstoff über Winter für die Folgekultur maximal sicher zu konservieren.

Zudem kann der Einsatz Schwefel armer NPK-Mischdünger (z. B. 12/12/17/2) die Sulfatüberhänge reduzieren und damit speziell die Sulfatauswaschung vermindern. Durch ein Düngesplitting (65 % des Gesamt N-Bedarfs zur Saat und 35 % erst kurz vor Reihenschluss) kann einer möglichen Verlagerung des Nitrats (Leaching) im Frühjahr vorgebeugt werden. Der Einsatz von N-stabilisierten Düngern (z. B. Entec, Alzon) kann einem möglichen Leaching ebenfalls vorbeugen.

Durch eine Düngeplanung können geeignete Grundwasser schonende Düngestrategien im Vorfeld des Anbaus besprochen werden.

Bei den Zwischenfrüchten nach Kartoffeln zeigt Grün- bzw. Winterroggen (s. Abb. 120) eine gute Leistung bei der Reduzierung der Herbst- N_{\min} -Werte. Hier konnten bis zum Beginn der Sickerwasserbildung Werte von 40 kg

N/ha erreicht werden. Dabei ist eine möglichst frühe Aussaat mit einem guten Feldaufgang anzustreben.



Abb. 120: Roggen als winterharte Zwischenfrucht nach Kartoffeln (INGUS)

Erfolgsbewertung

Der Anbau winterharter Zwischenfrüchte (hier Grün-/Winterroggen) ist vor allem nach Frühkartoffeln wirkungsvoll, da eine zeitige Aussaat der Garant für eine gute Jugendentwicklung und damit verbunden hohen N-Aufnahme ist. Werden unter dem Zwischenfruchtroggen immer noch höhere Herbst-N_{min}-Werte gemessen, liegen die Gründe hierfür meist in der schlechten Etablierung der Roggenbestände oder in der Nachmineralisierung organischer Dünger.

Durch eine zielgerichtete Düngeplanung mit bewusst schwefelarmen Düngern ist es möglich, die organische Düngung sowie die N+S-Düngung anzupassen. Zur Absicherung sollten Düngeempfehlungen über eine vegetationsbegleitende Düngeberatung mittels Pflanzenanalysen und Nitrachek-Untersuchungen angepasst werden, um Ertragsverluste bzw. Qualitätsminderungen auszuschließen. In der Praxis wird jedoch die sichere, meist hohe N+K-Versorgung der Kartoffelbestände (Stichwort Risikozuschläge bei der Düngung) oft höher bewertet, als eventuelle Düngeinsparungen.

Erfolgsbewertung grundwasserschonende Produktionssysteme Kartoffeln

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, durch Einhaltung der N-Sollwerte und durch Anrechnung der N-Nachlieferung bei der N-Düngeplanung.
Saldominderung	- Ja, theoretisch in der Höhe der erreichten N-Düngeeinsparung, in der Praxis jedoch starker Einfluss durch die Witterung. In der Regel haben Kartoffeln aufgrund des starken Humusabbaus einen geringen N-Saldo.
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, durch Zwischenfruchtanbau nach Frühkartoffeln oder Spätrodung, trotzdem verbleibt in der Regel ein hoher Herbst-N _{min} -Wert, da durch die Spätrodung die Mineralisation nur in geringem Umfang gemindert wird.
Sickerwasserentlastung	- Ja, trotzdem verbleiben in der Regel systembedingt noch deutlich höhere Sickerwasserbelastungen aufgrund der hohen N-Mineralisation infolge des Rodevorgangs.

2.5.5 Gemüse – Beispiel Salat

Kurzcharakteristik

Salatanbau zeichnet sich durch eine hohe Anbauintensität (Anbau mehrerer aufeinanderfolgender Sätze im gleichen Jahr) und einen hohen Düngereinsatz (N-Sollwerte je nach Salatart 100 bis 200 kg/ha und Satz) bei gleichzeitig geringer Ausnutzung der zugeführten Nährstoffe aus. Die Ernte findet im vegetativen Wachstum statt. Nach der Ernte verbleiben hohe Mengen leicht mineralisierender Ernterückstände. Die Folge sind hohe

N-Überschüsse und Nitratauswaschungen mit dem Sickerwasser in einer Größenordnung von 200 bis > 500 mg/l möglich.

Salatpflanzen benötigen wegen der kurzen Kulturdauer zur Erreichung marktfähiger Erträge und Qualitäten ein hohes Nährstoffangebot im Oberboden (0–30 cm). Durchgängig bis zur Ernte ist ein N-Mindestvorrat in der obersten Bodenschicht bis zu 50 kg N/ha erforderlich. Ein auch nur kurzzeitig zu geringes Nährstoffangebot bewirkt direkt eine Qualitätsminderung, so dass in diesem Fall

teilweise ganze Bestände nicht vermarktungsfähig sind und eingemulcht werden müssen.

Salate haben eine geringe Durchwurzelungstiefe. Damit kein Trockenstress entsteht, der direkten Einfluss auf die Vermarktungsqualität hätte, wird der Boden durch intensive Feldberegnung in der nutzbaren Feldkapazität gehalten. Infolge der durchgängig hohen Wassersättigung des Bodens kommt es daher bereits während des laufenden Anbaus leicht zur Nitratauswaschung („Leaching“). Die Minderung des Auswaschungsrisikos erfordert daher neben einem verringerten N-Angebot auch eine verbesserte Steuerung der Feldberegnung.

Anwendungsbereich und Durchführung

Problematik des Anbausystems

Der Gemüseanbau in Niedersachsen umfasst u. a. in den WSG des Landkreises Harburg große Flächenanteile. Neben Spargel, Grünkohl und Zuckermais werden hauptsächlich Salate angebaut. Insbesondere Eisbergsalat konzentriert sich mit jährlich fast 200 ha Anbaufläche auf ein WSG und nimmt dort sieben Prozent der Ackerfläche ein. Der Anbau erfolgt überwiegend auf Tauschflächen, die meist in zweijährigen Abständen den Bewirtschafter wechseln, so dass insgesamt ein großer Anteil der Ackerfläche langjährig vom Salatanbau betroffen ist.

Aufgrund seiner geringen Kulturdauer von in der Regel nicht mehr als 60 Tagen kann Eisbergsalat in bis zu drei aufeinander folgenden Sätzen pro Jahr auf ein und derselben Fläche angebaut werden (in zwei Jahren also bis zu sechs Sätze). Der hohen N-Düngung von 150 kg/ha und Satz stehen geringe N-Abfuhr von ca. 60 kg N/ha und Satz über die vermarktungsfähigen Salatköpfe gegenüber. Nicht vermarktungsfähige Köpfe, abgeschnittene Umblätter und Strünke verbleiben als leicht mineralisierbare Ernterückstände auf dem Acker (s. Abb. 121). Die Abernte eines Satzes ist dabei weniger von der Witterung, als vielmehr von den aktuellen Vermarktungsmöglichkeiten abhängig, da hier ohne Abnahmeverträge für eine gleichmäßige Beschickung des deutschen Markts produziert wird.

Problematik Nitratauswaschung

Der Salatanbau fiel zunächst durch sehr hohe Herbst-Nmin-Werte (z. T. > 300 kg N/ha) auf. Daraufhin durchgeführte Nitrat-Tiefbohrungen ergaben Nitratbelastungen im Sickerwasser im Mittel 250 mg/l (Maximalwerte > 300 mg/l), obwohl durch intensive Beregnung von durchschnittlich 60 mm/Satz und dadurch zusätzlicher Sickerwassermengen bereits eine gewisse Verdünnung anzunehmen ist.



Abb. 121: Eisbergsalat vor (oben) und nach der Ernte mit hoher Masse an Ernterückständen (unten) (INGUS)

Durch eine späte dritte Salatente im Herbst ergibt sich aufgrund einer erneuten N-Düngung und der Mineralisation der Ernterückstände vorangestellter Sätze das höchste Risiko einer Nitratverlagerung während der Sickerwasserperiode. Eine wirksame N-Konservierung durch eine leistungsfähige Begrünung ist nach dritten Salatsätzen in einem Jahr wegen des späten Erntetermins nicht mehr möglich. Da der Anbau gartenbaulicher Kulturen gemäß örtlicher WSG-Verordnungen meist genehmigungspflichtig ist, werden bei Erteilung der Genehmigung meist Auflagen gemacht, z. B. wie folgt:

- Der Anbau von Salaten ist beschränkt auf max. zwei Durchgänge pro Jahr als erster und zweiter Satz in direkter Aufeinanderfolge für maximal zwei Jahre in Folge auf den gleichen Flächen. Ein dritter Satz im Herbst ist verboten.
- Zwischen den beiden Salatanbaujahren ist die Aussaat einer leguminosenfreien, überwiegend winterharten Zwischenfrucht bis zum 15.09. obligatorisch.
- Nach zwei Anbaujahren muss sich eine mindestens zweijährige grundwasserschonende Fruchtfolge anschließen (kein Gemüseanbau).

Entwickelter Lösungsansatz

Die für den Wasserschutz unbefriedigende Ausgangslage war Anlass, die bisherigen Verfahren des Salatanbaus und die N-Dynamik über mehrere Jahre hinweg anhand von Exaktversuchen genauer zu analysieren und grundwasserschonende Ansätze über das Ordnungsrecht hinaus zu entwickeln. Wesentliche Fragestellungen waren:

- Mit welcher leistungsfähigen Zwischenfrucht kann die sehr starke N-Anreicherung von zwei Salatsätzen im ersten Jahr über den Folgewinter gebunden und vor der Auswaschung geschützt werden?
- Wie lässt sich die Düngewirksamkeit der Winter-Zwischenfrucht nach dem ersten Salat-Anbaujahr im zweiten Salat-Anbaujahr optimal nutzen?
- Wie sollte eine Nachbetreuung der Salatflächen nach zwei Anbaujahren, also ab Ernte des zweiten Satzes im zweiten Anbaujahr erfolgen, um die durch den Salatanbau angereicherten N-Potenziale gezielt abzureichern?

Aus den Versuchsergebnissen wurde ein zweijähriges grundwasserschonendes Anbauverfahren mit je zwei Sätzen Salatanbau entwickelt (Ziele: Reduzierung der N-Düngung und der Herbst-N_{min}-Werte, s. Abb. 122).

Hiernach ergeben sich aus Sicht des Wasserschutzes drei zentrale Handlungsansätze:

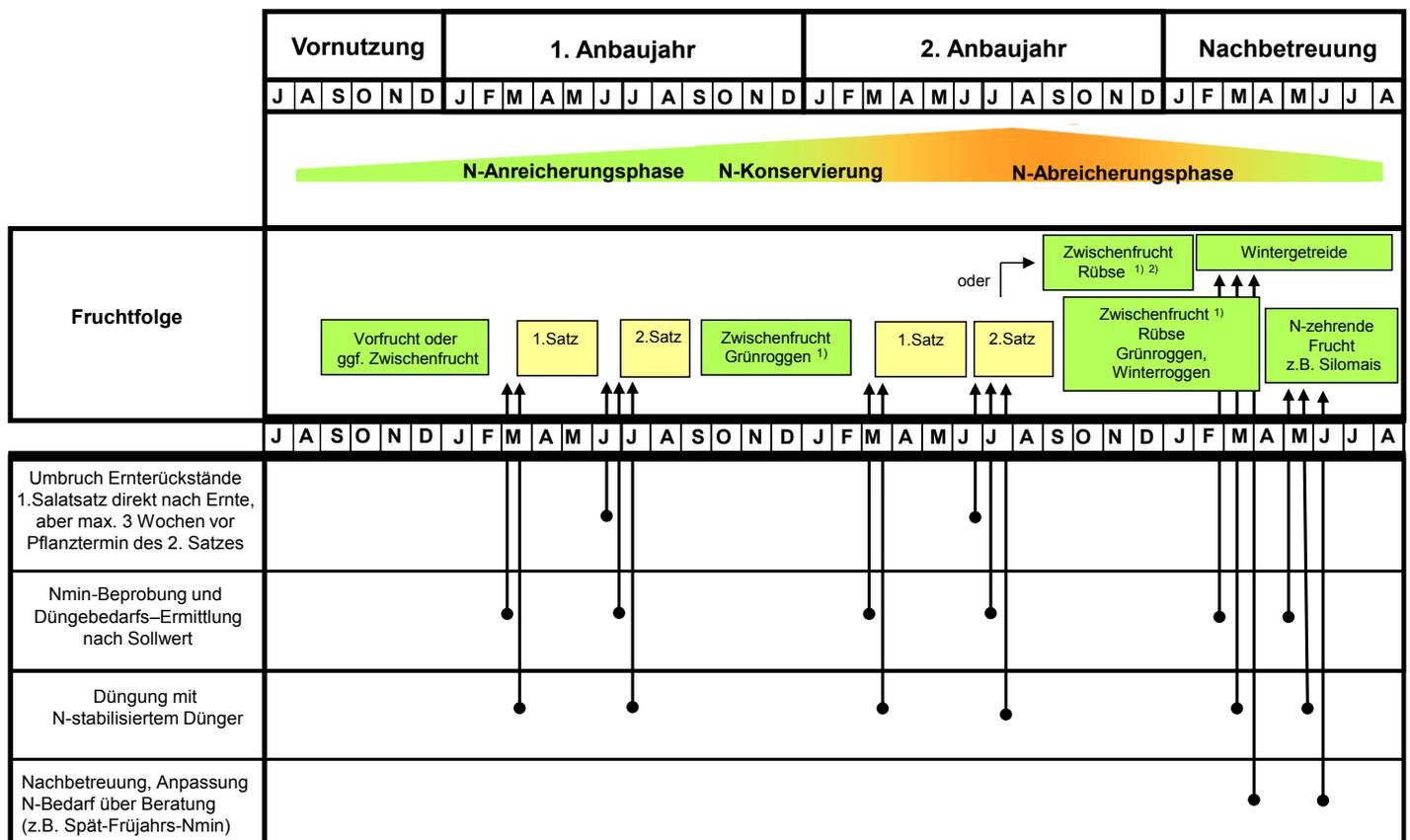
- Die weitgehende N-Konservierung der durch den Salatanbau in den Monaten März bis August angereicherten N-Überhänge in beiden Anbaujahren
- Eine gezielte N-Abreicherung der anbaubedingten N-Überhänge durch düngereinsparende Berücksichtigung der über Ernterückstände und Zwischenfrüchte konservierten N-Mengen
 - a) zum zweiten Salatsatz im zweiten Jahr
 - b) zur Folgefrucht nach dem zweiten Salat-Anbaujahr
- Die Nachbetreuung der Anbauflächen durch die WZB, das heißt Steuerung des Tauschflächenmanagements und Anbau-/Düngeberatung zu N-zehrenden Anbauverfahren nach zweijährigem Salatanbau.

Die Handlungsansätze werden nachfolgend konkretisiert.

Anbau einer geeigneten Zwischenfrucht (N-Konservierung)

In Versuchen wurden für den Wasserschutz folgende Anforderungen an Zwischenfrüchte gestellt:

- eine frühe und hohe N-Aufnahme bis zum Beginn der Sickerwasserbildung



¹⁾ Keine Düngung der Zwischenfrucht ²⁾ Umbruch frühestens ab dem 01.11

Abb. 122: N-Dünge- und Anbau-Optimierung im zweijährigen Salat-Anbau (INGUS 2012b, Daten aus einem WSG)

- Bevorzugung winterharter Zwischenfrüchte, um den aufgenommenen Stickstoff über Winter für die Folgekultur maximal sicher zu konservieren.

Aus Sicht der Gemüseanbauer gehört die Zwischenfrucht nicht der Familie der Kreuzblütler (Kohlhernie-Förderung) an.

Winterroggen zeigte in den Versuchen eine gute Leistungsfähigkeit. Er konnte bis zum Beginn der Sickerwasserbildung teilweise mehr als 100 kg N/ha allein in der oberirdischen Masse binden und den Herbst- N_{\min} -Wert auf 50 kg N/ha reduzieren. Bei der Roggenentwicklung ist neben einer möglichst frühen Aussaat die gute Einarbeitung der Ernterrückstände des Salats für den Auflauf entscheidend. Nach marktbedingt geringfügig beernteten Salatsätzen ist die N-Aufnahmerate des Roggens geringer als die N-Freisetzung durch die Mineralisation der Ernterrückstände, so dass sich trotz Zwischenfrucht sehr hohe Herbst- N_{\min} -Werte ergeben können.

Anpassung der N-Düngung zum zweiten Salatsatz im zweiten Anbaujahr (N-Abreicherungsphase)

Die ersten Salatsätze werden von März bis Mai gepflanzt. Während dieser Jahreszeit ist wegen der noch geringen Temperaturen von einer geringen N-Mineralisation im Boden auszugehen. Die N-Düngung sollte daher entsprechend dem Sollwert rein mineralisch erfolgen. Je nach Abernte des ersten Satzes verbleiben mit den Ernterrückständen bis zu 150 kg N/ha in leicht mineralisierbarer Form auf dem Acker. Zusätzlich steht dem zweiten Satz Eisbergsalat im zweiten Anbaujahr der aus der Roggenzwischenfrucht mineralisierende Stickstoff zur Verfügung.

In einem Exaktversuch wurde die N-Dynamik zum zweiten Satz im zweiten Anbaujahr untersucht und die N-Düngung reduziert. Es zeigte sich, dass eine Halbierung der N-Düngung zum zweiten Satz im zweiten Anbaujahr aufgrund der hohen N-Nachlieferungsrate ohne negative Auswirkungen auf Ertrag und Qualität möglich war. In der Praxis sollte die Reduzierung der N-Düngung der zweiten Sätze im zweiten Anbaujahr abhängig gemacht werden von:

- der N-Menge in der zum ersten Satz eingearbeiteten Roggenzwischenfrucht
- der Abernte des ersten Satzes bzw. der Menge der auf dem Acker verbleibenden Ernterrückstände
- und einem aktuell gemessenen N_{\min} -Wert des Einzelschlags ca. eine Woche vor dem Pflanztermin des zweiten Satzes, um die bereits erfolgte N_{\min} -Freiset-

zung aus Zwischenfrucht oder Ernterrückständen zu erfassen.

Steuerung des Tauschflächenmanagements und Empfehlung N-zehrender Anbauverfahren nach zweijährigem Salatanbau

Um nach zweijährigem Salatanbau eine grundwasser-schonende N-Reduzierungsphase sicherzustellen, sind Kenntnisse der geplanten Folgenutzung der Fläche übernehmenden Landwirts von entscheidender Bedeutung.

Ziel ist es, das nach zwei Jahren angereicherte Potenzial leicht mineralisierenden Stickstoffs aus Ernterrückständen von vier Sätzen Eisbergsalat und einer Roggenzwischenfrucht weiter über die anschließende Sickerwasserperiode vor Auswaschung zu bewahren. Es ergeben sich in der Nachnutzung zwei Möglichkeiten:

1. Anbau einer Winterung mit vorangestellter Sommerzwischenfrucht
Für den Wasserschutz ist der Anbau eines Wintergetreides nach zweijährigem Salatanbau die ungünstigste Variante, aber in der Praxis die häufigste. Wintergetreide versorgt sich im Herbst in der Regel aus dem Korn und nimmt darüber hinaus nur in einem geringen Umfang Stickstoff auf (ca. 10 bis 30 kg N/ha). Versuche der WZB belegen jedoch, dass mit dem Anbau einer Sommerzwischenfrucht vor Wintergetreide, hier Winterrüben, große Mengen an Stickstoff gebunden werden können. Die Winterrüben nahmen innerhalb von sieben Wochen mehr als 230 kg N/ha allein in der oberirdischen Pflanzenmasse auf. Der Umbruch der Sommerzwischenfrucht sollte so spät wie möglich erfolgen, um die Mineralisation im Spätherbst nicht unnötig zu fördern.
2. Anbau einer Sommerung mit vorangestellter Winterzwischenfrucht
Durch Anbau einer Sommerung kann direkt nach dem zweijährigem Salatanbau eine winterharte, stark N-zehrende Zwischenfrucht, z. B. Grünroggen vor Silomais (mit reduzierter N-Düngung) etabliert werden. Dadurch kann der Stickstoff stufenweise abgereichert werden. Versuche belegen, dass ein erfolgreicher Grünroggenanbau ohne N-Düngung möglich ist.

Über begleitende Untersuchungen (N_{\min} , Nitrachek etc.) in der ersten Folgefrucht nach zweijährigem Salatanbau kann das hohe N-Nachlieferungspotenzial aus dem Salatanbau verdeutlicht und den Landwirten die hohe Düngewirksamkeit dargelegt werden.

Erfolgsbewertung

Der Anbau winterharter Zwischenfrüchte (hier Winterroggen) zwischen den beiden Anbaujahren von Salat hat sich mittlerweile fest etabliert. Trotzdem werden unter dem Zwischenfruchtroggen immer noch sehr hohe Herbst-N_{min}-Werte gemessen, im Mittel einzelner Jahre zwischen 110 bis 130 kg N/ha. Gründe hierfür sind geringe Abernten des Salats und/oder eine schlechte Etablierung der Roggenbestände. Durch hohe Berechnungsgaben und zusätzliche nachfolgende Niederschläge während der Kulturdauer wird zudem bereits vor Beginn

der natürlichen Sickerwasserperiode Stickstoff verlagert, der von keiner Zwischenfrucht mehr erreicht wird.

Durch eine beratende Begleitung des zweijährigen Salatanbaus vor allem im zweiten Anbaujahr ist es möglich, die N-Düngung zum zweiten Satz im zweiten Anbaujahr zu halbieren, mindestens jedoch deutlich zu reduzieren. Zur Absicherung sollten Düngeempfehlungen über N_{min}-Beprobungen untermauert werden, um Ertragsverluste bzw. Qualitätsminderungen auszuschließen. In der Praxis wird jedoch die sichere N-Versorgung des Salatbestands in der finanziellen Risikoabwägung sehr viel höher bewertet, als eventuelle Düngereinsparungen.

Erfolgsbewertung grundwasserschonende Produktionssysteme Gemüse

Parameter	Bewertung
Düngungsminderung	- Ja, durch Einhaltung der N-Sollwerte zum ersten und zweiten Satz und durch Anrechnung der N-Nachlieferung bei der N-Düngeplanung zum zweiten Satz.
Saldominderung	- Ja, theoretisch in der Höhe der erreichten N-Düngeeinsparung, in der Praxis jedoch starker Einfluss von Vermarktungslage und Witterung.
Herbst-N _{min} -Minderung	- Ja, trotzdem verbleibt in der Regel ein hoher Herbst-N _{min} -Wert, da über die begrenzte N-Aufnahme der Zwischenfrucht besonders bei geringen Abernten nur ein Teil der N-Freisetzung abgefangen wird.
Sickerwasserentlastung	- Ja, trotzdem verbleiben in der Regel systembedingt noch deutlich höhere Sickerwasserbelastungen aufgrund der hohen N-Mineralisation infolge des Rodevorgangs.

2.5.6 Energiepflanzen

Kurzcharakteristik

Die Novellierung des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) im Jahr 2004 (BMU 2004) hat zur Errichtung einer großen Anzahl von Biogasanlagen im ländlichen Raum und damit verbunden zu einem zunehmenden Anbau nachwachsender Rohstoffe geführt. Der Betrieb von Biogasanlagen bringt somit neue Anbauverhältnisse und Stoffströme in der Landwirtschaft mit sich. Diese sind insbesondere geprägt durch einen verstärkten Energiemaisanbau sowie durch eine Zunahme an Wirtschaftsdüngern (Gärresten) aus pflanzlichen Substraten. Diese gegenwärtig zu beobachtenden Änderungen in der Landnutzung gehen nicht selten mit einer Intensivierung einher. Sie werden daher vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie sowie den besonderen Nutzungsaufgaben in TGG seitens der Wasserwirtschaft kritisch gesehen.

Situation in Niedersachsen

In nahezu jedem niedersächsischen Wassereinzugsgebiet werden nachwachsende Rohstoffe (Nawaros) für

die Biogasnutzung angebaut und damit einhergehend Gärreste als organische Dünger eingesetzt. Die höchste Biogasanlagendichte findet sich in den Tierhaltungsregionen im nordwestlichen Niedersachsen auf leichten, auswaschungsgefährdeten Standorten. Diese Gebiete sind durch ein hohes Wirtschaftsdüngeraufkommen sowie hohe Maisanteile in der Fruchtfolge geprägt.

Das Risiko von Nährstoffüberschüssen und N-Austrägen nimmt durch die zusätzlichen pflanzlichen organischen Dünger zu. Hier ist der Handlungsbedarf tendenziell größer als in marktfruchtgeprägten Regionen mit geringem Maisanteil und moderatem Wirtschaftsdüngeraufkommen. Regional ist auch der stark gestiegene Grünlandumbruch der letzten Jahre auf die Ausdehnung des Maisanbaus zurückzuführen. Die daraus resultierenden zusätzlichen Mineralisationsschübe können in der Regel nur teilweise durch den Aufwuchs gebunden werden und stellen ein besonderes Risikopotenzial für die Grundwasserqualität dar (NLWKN 2010b, OOWV 2011, s. Tab. 51).

Tab. 51: Optimierungsbereiche z. Umsetzung eines grundwasserschonenden Betriebs v. Biogasanlagen. (NLWKN 2010b, OOWV 2011)

Betriebsebene	Anlagenebene	Gebietsebene
Fruchtfolgegestaltung Sorten-/Artenwahl Düngesteuerung Gärrestmanagement Ausbringtechnik Bodenschonende Anbauverfahren	Rückverfolgbarkeit der Biomasse- und Gärrestströme Regelmäßige Überprüfung der Genehmigungsvorgaben Optimierung der Silagelagerung Verlängerte Lagerzeiträume für Gärreste	Erhaltung extensiver Nutzungsformen auf sensiblen Standorten Begrenzung des Anteils auswaschungsgefährdeter Kulturen Erhalt des Grünlandanteils Steuerung der Nährstofffrachten durch Monitoring

Risiken für den Wasserschutz vermeiden

Um Risiken für den Wasserschutz zu vermeiden, sollte der gesamte Prozess der Biogaserzeugung geprüft werden. Dieser beginnt bei der Planung der Anlage und des Lagerraumbedarfs und erstreckt sich über die angepasste Bereitstellung von Anbau- und Ausbringungsfläche für Gärreste bis hin zur Applikationstechnik sowie zur Anbau- und Düngeplanung für die Energiepflanzenfruchtfolgen.

Anwendungsbereich und Durchführung

Betriebliche Voraussetzungen prüfen

Folgende betriebliche Voraussetzungen für Anbau, Gärrestlagerung und Ausbringung sind essentiell für eine grundwasserschonend ausgerichtete Energiepflanzenerzeugung:

- ausreichende Flächenverfügbarkeit für die Beibehaltung von nachhaltigen, regional angepassten Fruchtfolgen mit einem angepassten, entzugsorientierten Düngenniveau
- Vermeidung von Grünlandumbrüchen, da sie mit hohen N-Mineralisationsschüben einhergehen
- ausreichender Lagerraum um pflanzenbedarfsgerecht, vorzugsweise im Frühjahr düngen zu können (Aus Wasserschutzsicht werden in Abhängigkeit von den Anbauverhältnissen über die nach Düngeverordnung (DüV, BMELV 2007) gesetzlich vorgeschriebenen sechs Monate Lagerraum hinaus bis zu neun Monate Lagerraum empfohlen, insbesondere bei hohem Anteil von Sommerungen in der Fruchtfolge (DWA 2010))
- gasdichte Abdeckung des Lagerraums (Verlustminimierung, Klimabilanz)
- Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben zum Einsatz emissionsarmer, bodennaher Ausbringungstechniken (z. B. Schleppschlauchtechnik, Injektionstechnik) sowie unverzügliche Einarbeitung nach der Ausbringung,

- Vermeidung von oberflächlichem Nährstoffabtrag und Bodenverdichtung durch angepasste Anbau- und Ernteverfahren, z. B. Mulchsaattechnik,
- Nutzung weiterer Optimierungspotenziale, z. B. durch den Einsatz von Parallelfahrssystemen oder Gärrestunterfußdüngung.

Rechtliche Voraussetzungen einhalten

Generell sind beim Anbau von Energiepflanzen im WSG die relevanten Vorgaben der Verordnung über Schutzbestimmungen in WSG (SchuVO, MU 2009) zu beachten, insbesondere:

- Die Zufuhr organischer Dünger schließt Substrate pflanzlicher Herkunft ein und wird auf 170 kg N_{org} begrenzt.
- Auf hoch und sehr hoch mit Phosphor (P₂O₅) versorgten Böden ist die jährliche Phosphorzufuhr für den zu düngenden Pflanzenbestand auf die durchschnittliche Phosphorabfuhr mit den Ernteprodukten zu begrenzen (gemäß §5 (2) 3 SchuVO, MU 2009).
- Die Ausbringung von Gärresten ist der Ausbringung von Gülle gleichgestellt und ist in Zone II verboten.
- Das Grünlandumbruchsverbot gilt in Zone II. In Zone III wird der Umbruch von absolutem Grünland verboten, während für fakultatives Grünland eine Genehmigung erforderlich ist.
- Brachen dürfen nur mit gezielter Begrünung umgebrochen werden.

Weiterhin gelten für den Energiepflanzenanbau und die Ausbringung von Gärresten dieselben Regelwerke wie für den Markt- und Futterfruchtanbau (z. B. DüV (BMELV 2007), Pflanzenschutzgesetz (BMELV 2012a), Cross Compliance (CC 2009), Nitratrichtlinie (EG 1991), Bundes - Bodenschutzgesetz (BBodSchG, BMU 1998)).

Bei geplantem Einsatz von Gärresten aus Bioabfällen sind die Vorgaben der Bioabfallverordnung (BMU 2013) zu berücksichtigen.

Anbaumaßnahmen ergreifen

Der Energiepflanzenanbau erschließt neue Möglichkeiten der Fruchtfolgegestaltung mit positiven Effekten nicht nur aus Wasserschutzsicht, sondern auch im Hinblick auf Erosionsvermeidung, Artenvielfalt und Systemstabilität. Diese sollten in der Praxis stärker zum Einsatz kommen, um langfristigen Anbauproblemen durch zunehmende Maisanteile in der Fruchtfolge entgegenzuwirken.

Durch folgende Maßnahmen der Fruchtfolgegestaltung können die Herbst-N_{min}-Werte und Sickerwasserkonzentrationen reduziert werden (s. Abb. 123 und 124):

- Integration von Winterungen, insbesondere Roggen-Ganzpflanzensilage (GPS). Nach Getreide-GPS werden zuverlässig niedrige N-Werte gemessen. Allerdings muss die restliche Vegetationszeit sinnvoll genutzt werden, z. B. durch Zwischenfrüchte oder durch Anschluss einer früh gesäten Marktfrucht (Raps). Auch die Ertragsleistung von Roggen-GPS ist in der Regel zufriedenstellend und die Wirtschaftlichkeit aufgrund geringer Anbaukosten gegeben.
- Integration von Sommerungen mit geringem N-Risiko, z. B. Zuckerrüben oder Sommergetreide.
- Anbau von "Neuen" Energiepflanzen wie Sorghum und Sonnenblumen oder Durchwachsener Silphie (Dauerkultur) oder Wildblütenmischungen, deren grundwasserschonender Anbau möglich ist, aber noch Untersuchungsbedarf mit sich bringt (zunächst mit Testflächen anfangen, um Standort- und Sorteneignung zu prüfen!).
- Anbau von Gräseruntersaaten, z. B. bei spät geerntetem Mais mit Umbruch erst im folgenden Frühjahr oder als Untersaat in Getreide-GPS mit Gräser-Nachnutzung.
- Anbau von Winterzwischenfrüchten, insbesondere nach frühräumenden Kulturen wie Getreide-GPS oder nach früh geerntetem Mais (vor 15.9.).
- Kombination von Marktfrüchten und Energiepflanzen in der Fruchtfolge.
- Zweitfruchtanbau (Ernte der Erstkultur zur Milch- bis Teigreife, z. B. Getreide GPS mit nachgestellter zweiter Hauptkultur, z. B. Mais oder Sorghum) kann auf Standorten mit guter Wasserversorgung und langer Vegetationszeit eine Alternative sein, die einen langen N-Entzug und niedrige Herbst-N_{min}-Werte sichert (Erträge sollten Mehraufwand der doppelten Bestellung ausgleichen).

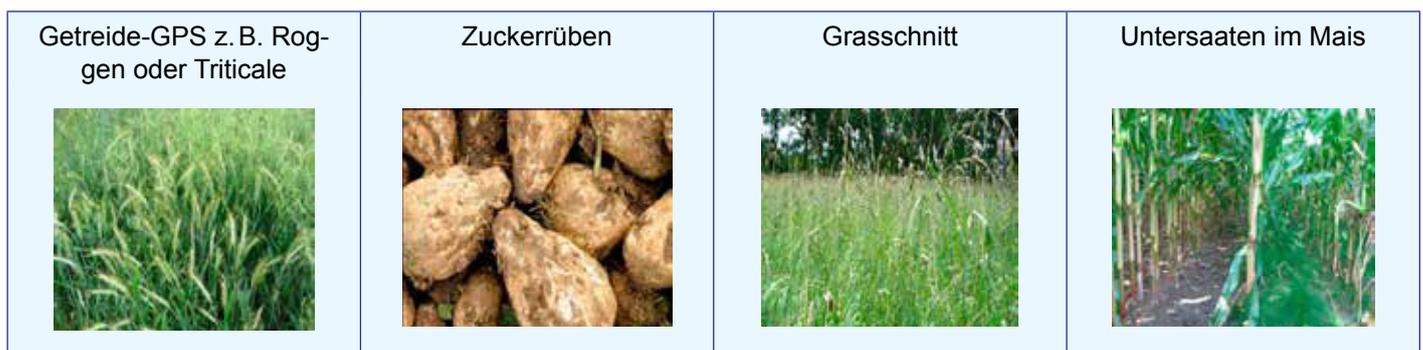


Abb. 123: Einbindung etablierter wasserschonender Kulturen in die Fruchtfolge (IGLU)



Abb. 124: Potenziale durch Einbindung neuer Energiepflanzen erschließen (IGLU)

- Reduzierte Bodenbearbeitung, dadurch Minderung von N-Mineralisationsschüben, insbesondere im Herbst, sowie Vermeidung von oberflächlichem Boden- und Stoffabtrag.

Düngung optimieren

In jedem Fall sind ergänzend zur Kulturen- und Fruchtfolgegestaltung weitere Optimierungsmaßnahmen sinnvoll. Entscheidende Bedeutung kommt der angepassten/reduzierten N-Düngung im Mais zu.

Düngen mit Gärresten

Die Kriterien „Nährstoffgehalte“ (N, P, K), „Gehalt an organischer Substanz“, „pH-Wert“ und gegebenenfalls auch „Schadstoffe“ sowie „Hygieneaspekte“ sollten zur Bewertung herangezogen werden. Aus Tabelle 52 wird deutlich, dass sich hinsichtlich der Inhaltsstoffe große Schwankungsbereiche zwischen Gärresten unterschiedlicher Ausgangssubstrate ergeben und zwar nicht nur zwischen verschiedenen Biogasanlagen, sondern auch im Jahresgang jeder einzelnen Anlage, z. B. durch unterschiedliche Zufuhr an Niederschlags- und Sickerwasser, Schwankungen im Gärprozess und durch die Änderung der Substratzusammensetzung

Die Gesamtstickstoffgehalte schwanken deutlich, wobei bei reiner Biomassevergärung niedrigere Werte auftreten, während durch die Vergärung von Hühner trockenkot die N-Gehalte im Gärrest deutlich ansteigen. Typisch für Gärreste ist der hohe Anteil an Ammonium-N, der rund 60 % des Gesamtstickstoffs ausmacht. Dieser

Anteil ist sofort pflanzenverfügbar und kann in seiner Wirkung mit Mineraldüngern verglichen werden. Gärreste eignen sich daher gut zur Bestandsführung, erfordern jedoch einen gezielten Einsatz zeitnah zum Bedarf der Pflanzen. Der restliche Stickstoff ist stabil in der organischen Substanz gebunden, reichert sich bei langjähriger Ausbringung im Boden an und wirkt erst langfristig.

Folgende Empfehlungen leiten sich ab:

- Die Analyse der Inhaltsstoffe sollte zeitnah vor jeder Ausbringung und Anrechnung bei der Düngplanung erfolgen.
- Bei Düngung von Sommerungen (insbesondere Mais) auf langjährig organisch versorgten Standorten in Wassergewinnungsgebieten wird ein Mineraldünger-äquivalent (MDÄ) von 80 % empfohlen.
- Für Winterungen (Getreide) wird ein MDÄ von 70 % bei der Frühjahrsdüngung empfohlen.
- Bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Raps) ist eine organische Herbstgabe in Niedersachsen nicht zulässig, da im Allgemeinen kein Düngbedarf besteht.
- Anmoorige Standorte mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr zeigen deutlich höhere und längere N-Freisetzungen. Hier sollten 100 % MDÄ berücksichtigt werden.

Zur weiteren Optimierung der Ausbringung bieten sich der Einsatz von Injektionstechnik und der Zusatz von N-Stabilisatoren an.

Tab. 52: Inhaltsstoffe von Gärresten aus niedersächsischen Pilotanlagen (NLWKN 2010b) .

Anz.	Anlage/ Substrate	TS [%]	Gesamt-N [kg/m ³]	NH ₄ -N [kg/m ³]	NH ₄ -N [%]	P ₂ O ₅ [kg/m ³]	K ₂ O [kg/m ³]
n=4	1 Nawaro min-max	5,2 4,2-6,0	3,0 2,4-3,8	2,1 1,7-2,7	68 % 58-75 %	1,2 0,9-1,9	4,6 3,8-5,2
n=6	2 Nawaro min-max	5,6 4,2-6,9	3,4 2,7-5,4	1,4 0,9-2,2	41 % 30-56 %	1,3 0,7-1,9	3,5 2,4-4,4
n=4	3 Nawaro + Rindergülle min-max	7,5 4,9-8,8	4,9 4,2-5,6	2,4 2,3-2,6	51 % 46-57 %	2,0 1,4-2,4	5,2 4,4-5,7
n=2	4 Nawaro + Schweinegülle ^{*1} min-max	9,2 8,3-10,0	5,6 5,4-5,9	1,8 1,1-2,1	33 % 19-39 %	2,2 1,9-3,7	6,6 4,8-7,2
n=4	5 Nawaro + Schweinegülle+ HTK ^{*2} min-max	6,9 4,2-9,1	5,7 4,6-6,8	3,3 3,0-4,0	59 % 53-72 %	2,1 1,3-2,9	4,5 3,4-5,4
n=3	6 Kofermentation + Mischgülle +HTK + Mais min-max	5,0 3,6-5,6	4,4 3,6-5,6	2,5 1,9-3,3	56 % 53-59 %	1,9 1,6-2,1	2,7 1,8-3,3

*1 teils mit separierter Gülle (feste Phase): N-Gesamt steigt dadurch an, NH₄-Anteil sinkt deutlich

*2 HTK: Hühner trockenkot

Maßnahmen der Düngesteuerung

Ziel einer optimierten Düngesteuerung ist es, die N-Düngung im gesamten Vegetationsverlauf möglichst optimal am Bedarf der Kulturen auszurichten und N-Überhänge nach der Ernte und im Herbst zu vermeiden. Hier kann auf verschiedene Instrumente zurückgegriffen werden, zum Beispiel:

- Für die Düngeplanung sollte auf Basis des Bedarfs der Kulturen, der Ertragserwartungen und des Gärrestaufkommens eine realistische Berechnung des erforderlichen Düngerzukaufs erfolgen (s. Kap. 2.3.1.1).
- Die 170 kg N/ha-Grenze für die Wirtschaftsdünger- ausbringung muss eingehalten werden (MU 2009). In Wasserschutz- bzw. Wassereinzugsgebieten und anderen aus Sicht des Gewässerschutzes empfindlichen Gebieten sollte die organische Düngung insgesamt auf eine N-Ausbringungsmenge von 120 kg N/ha begrenzt werden (DWA 2010, DVGW 2010).
- Die richtige Bemessung der Ausbringungsmengen von Gärresten setzt die Kenntnis der Inhaltsstoffe voraus. Regelmäßige Gärrestanalysen vor der Ausbringung geben hier Aufschluss.
- Zu Vegetationsbeginn sollte der zur Verfügung stehende bodenbürtige Stickstoff (N_{\min}) durch eine schlagspezifische Bodenbeprobung analysiert und bei der Berechnung des Düngebedarfs in Ansatz gebracht werden. Bei Mais bietet sich auch der sogenannte

„Spätfrühjahrs- N_{\min} Wert“ an (s. Kap. 2.3.1.3). Der Beprobungstermin bis zum Reihenschluss berücksichtigt hier schon die Bodenmineralisation zwischen Aussaat und zweiter Düngergabe.

- Bei Mais wird durch eine Teilung der Düngegabe die Möglichkeit einer Nachdüngung in Abhängigkeit von der Bodenversorgung (Spätfrühjahrs- N_{\min} vor zweiter N-Gabe) bzw. der Pflanzenversorgung (z. B. Nitrat- check) geschaffen. Hierdurch wird eine verminderte N-Düngung und ein Abbau von N-Überschüssen angestrebt.
- Weitere Maßnahmen, wie z. B. die Messung des kritischen Rohproteingehalts in der Maissilage oder auch die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, lassen eine Steigerung der Effizienz im Umgang mit Stickstoff erwarten, befinden sich aber noch in der Erprobungsphase.

Zur Vertiefung der Maßnahmen wird auf die jeweiligen Fachkapitel verwiesen.

Erfolgsbewertung

Ganzpflanzenerträge, Herbst- N_{\min} und N-Salden

Abbildung 125 stellt Ergebnisse aus Anbauversuchen mit Energiepflanzen dar. Der Standort liegt in Ostfriesland und ist durch sandige Böden und ausreichende Wasserversorgung gekennzeichnet.

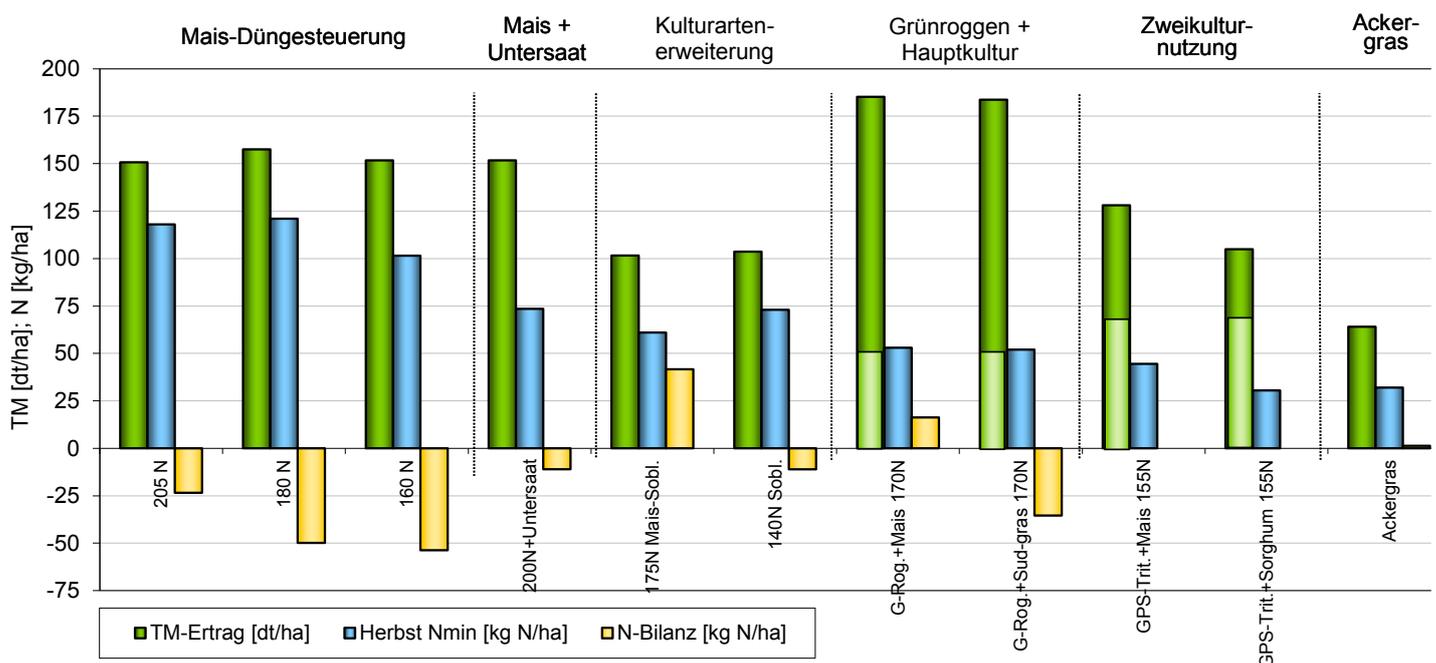


Abb. 125: Trockenmasseerträge, Herbst- N_{\min} und N-Flächenbilanzen als Mittelwerte der Jahre 2007–2009 am Standort „WSG Sandelermöns“, Landkreis Wittmund (IGLU, in NLWKN 2010b).

Der Mais zeigte mit etwa 16 t TM/ha die höchsten Biomasseerträge, führte jedoch auch zu hohen Herbst- N_{\min} -Werten. Durch eine reduzierte N-Düngung konnte der Herbst- N_{\min} gesenkt werden, ohne das Ertragspotenzial zu gefährden. Durch den Anbau von Untersaaten im Mais konnte der Herbst- N_{\min} weiter reduziert werden. Auch Sonnenblumen oder Sorghum zeigten niedrige Herbst- N_{\min} -Werte, allerdings verbunden mit einem Rückgang des Ertragsniveaus. Der Anbau von Grünroggen vor Mais resultierte bei ausreichender Wasserversorgung in hohen Jahreserträgen und niedrigen Herbst- N_{\min} -Werten von etwa 50 kg N/ha. Die Zweikulturnutzung ermöglichte an diesem Standort kein ausreichendes Ertragspotenzial und ist daher zur weiteren Absenkung der N_{\min} -Werte nicht zu empfehlen. Ackergras kann in der Grünlandregion eine gute Substratergänzung darstellen, unter Umständen auch durch Nutzung des dritten bzw. vierten Schnitts.

Fruchtfolgebeispiele

Die folgenden Beispiele (s. Tab. 53) zeigen exemplarisch Optimierungsmöglichkeiten in der Energiepflanzenfruchtfolge und deren Einfluss auf Herbst- N_{\min} -Werte und Sickerwasserqualitäten auf. Deutlich wird, dass auch Mais grundwasserschonend angebaut werden kann, wenn die N-Düngung an den realen N-Entzug und die bodenbürtige Nachlieferung angepasst wird. Weiterhin sollte der Maisanteil einen Anteil von 50 % an der Fruchtfolge nicht überschreiten. Besteht ein erhöhtes Austragsrisiko, bietet sich der komplette Verzicht von Mais zu Gunsten von GPS-Silagen an. Mit Mindererträgen muss allerdings gerechnet werden.

Eine weitere Intensivierung der Forschung zu Energiepflanzen (Fruchtfolge- und Düngemanagement) und zu Gärresten (Schadstoffgehalte, hygienische Qualität) ist ebenso erforderlich wie eine qualifizierte Beratung.

Mais in Selbstfolge (Basis)						
	Mais	Mais	Mais	Mais	Mais	Mittel
Herbst- N_{\min} (kg N/ha)	90	90	90	90	90	90
Sickerwasser (mg NO_3/l)	104	104	104	104	104	104
Wasserschutz: 60% Mais 120 kg N + Grünroggen, 40% GPS-Getreide						
	GrünR/Mais	GrünR/Mais	Roggen/Zwfr.	TriticaleGPS	GrünR/Mais	Mittel
Herbst- N_{\min} (kg N/ha)	50	50	20	40	50	42
Sickerwasser (mg NO_3/l)	55	55	23	46	55	47
Wasserschutz: 40% Mais + Untersaat, 150 kg N, GPS-Getreide und weitere Sommerung						
	Mais+US	Mais+US	Feldgras	Sorghum	Roggen GPS	Mittel
Herbst- N_{\min} (kg N/ha)	55	55	35	55	20	44
Sickerwasser (mg NO_3/l)	61	61	40	64	23	50
Wasserschutz: 60% GPS- Getreide, 20% Mais, 20% Gras						
	Mais+US	Feldgras	Ro/Mais	Roggen GPS	Triticale GPS	Mittel
Herbst- N_{\min} (kg N/ha)	65	35	40	20	40	40
Sickerwasser (mg NO_3/l)	75	40	46	23	46	46

Tab. 53:
Fruchtfolgebeispiele zur Reduktion von N-Austrägen im Energiepflanzenanbau (NLWKN 2010b). Sickerwasser(SW)-qualitäten berechnet für 384 l/m² SW + Feinsand (Station Friesoythe).

Erfolgsbewertung grundwasserschonender Produktionssysteme Energiepflanzen

Anhaltswerte zur Einschätzung der kulturenbezogenen Nitrataustragsgefährdung

Parameter	Stickstoff- bedarf (Sollwert)	Herbst-N _{min}	N-Bilanz	N-Konzentration im Sickerwasser
	(kg N/ha)	(kg N/ha)	(kg N/ha)	(NO ₃ mg/l)
Einjahres-Kulturen mit Ganzpflanzenernte				
Mais	180	90	negativ	100
Mais reduzierte N-Gabe	120	50	negativ	50
Mais-Sonnenblumen-Mischanbau	140	60	negativ	66
Sonnenblumen	90	55	negativ	66
Sorghumarten	180	55	negativ	66
Grünroggen + Hauptfrucht Mais	280	50	negativ	55
Grünroggen + Sorghum	280	50	10	55
Roggen-Mais Zweikulturnutzung	300	40	15	44
GPS-Getreide	140	35	10	39
Grünschnittroggen	100	45	20	50
Einjähriges Ackergras	180	35	negativ	39
Dauerkulturen				
Mehrjähriges Ackergras	180	35	negativ	39
Grünland	150	30	negativ	33

Durch die Anbauintensität und Fruchtfolgegestaltung kann erheblicher Einfluss auf die Herbst-N_{min}-Werte und somit die Auswaschungsgefahr genommen werden. Auch Mais kann bei angepasster Düngergabe grundwasserschonend erzeugt werden. Weitere Voraussetzungen für einen grundwasserschonenden Energiepflanzenanbau sind daher:

- Anpassung der Düngegaben an den realen N-Entzug und die bodenbürtige Nachlieferung
- Anrechnung eines MDÄ von 80 % auf langjährigen Wirtschaftsdüngerstandorten
- regelmäßige Analyse der Inhaltsstoffe im organischen Dünger, emissionsarme Ausbringung
- keine organische Düngung im Herbst.

Ergänzende Hinweise

Besonderheiten des Energiepflanzenanbaus gegenüber dem Marktfruchtanbau:

- vorwiegend Nutzung von Ganzpflanzensilage; damit einhergehend bei Getreide-GPS vorgezogene Erntetermine; durch Ernte in der Milch- bis Teigreife insgesamt höhere Anbauflexibilität
- große Vielfalt vergärbare Kulturen (neben Mais auch Grünschnitt, Getreide (Korn und GPS), Rüben sowie neue Kulturarten wie Sorghumhirsen, Sonnenblumen oder die durchwachsene Silphie)
- potenziell geringerer Fungizidbedarf; eine Reduzierung des Herbizidaufwands ist aus Gründen der Ertragssicherheit nicht zu erwarten (Ausnahme: Grünland- und Feldgrasnutzung)
- Rückfuhr des Gärrests als wertvoller P und N-Dünger; P-Gehalt kann auf gut P-versorgten Standorten begrenzend für die Ausbringungsmenge sein
- weitgehender Entzug der organischen Substanz mit dem Erntegut; die C-Rückfuhr durch Gärrestdü-

ngung ist gering und muss durch Anbaumaßnahmen abgesichert werden (Humuspflge!)

- Hektarmethanertrag bestimmt Qualitätskriterien: insbesondere Masseertrag, Trockensubstanzgehalt und Fettgehalt sind relevant
- N-Gehalt ist kein Qualitätskriterium; dies ermöglicht den Verzicht auf die Qualitätsgabe bei Getreide.

Substratmix in Niedersachsen

- 9,3 % der LN werden zum Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen benötigt.
- Energiepflanzenzusammensetzung: 85–87 % Mais (ca. 163.000 ha) und zwölf bis 15 % Sonstige, wie Biogasrüben, Sonnenblumen, Hirsen (ca. 25.000 ha) und Grünland (ca. 20.000 ha).
- Mengenmäßig werden rund 50 % der Masse aus Energiepflanzen und weitere 50 % aus Gülle/Mist, landwirtschaftlichen Nebenprodukten und Bioabfällen bereitgestellt.

(ML 2012)



2.6 Forstwirtschaftliche Maßnahmen

Der Anteil forstwirtschaftlich genutzter Flächen in den TGG des Niedersächsischen Kooperationsmodells beträgt im Mittel 36,8 % bzw. 239.251 Hektar (Stand 2011). Dabei sind deutliche regionale Unterschiede auszumachen. So dominiert der Waldanteil in den Festgesteinsgebieten im südlichen Niedersachsen mit 51,8 %, während im Lockergesteinsbereich östlich der Weser im Mittel 36,0 % und westlich der Weser 20,5 % Waldanteil vorhanden sind (NLWKN 2013c).

Waldnutzung hat im Vergleich zur landwirtschaftlichen Nutzung in der Regel ein hohes Grundwasserschutzpotenzial. Insbesondere die Dauerhaftigkeit des Bewuchses, eine geringe Eingriffshäufigkeit und der Verzicht auf Düngemaßnahmen sichern vergleichsweise niedrige Nitratausträge unter Wald.

Risiken bestehen dann, wenn nicht standortangepasste, instabile Waldbestände zu Windbruch und in der Folge zu Bodenabtrag und Stoffaustrag führen. Weiterhin kann es vor allem in Hanglagen, an Böschungen, Forst- und Rückewegen sowie bei Erstaufforstung zu Bodenerosion und damit einhergehend stofflichen Austrägen in das Oberflächengewässer und Grundwasser kommen.

Nicht zuletzt ist der Wald ein entzugsarmes Nutzungssystem, so dass insbesondere in den viehstarken Regionen atmosphärische N- Einträge in Waldökosysteme auch unter Wald zu erhöhten Nitratausträgen (z. B. von über 50 mg/l) führen können.

Aus diesen Gründen kann in TGG der Einsatz grundwasserschonender forstwirtschaftlicher Maßnahmen sinnvoll sein. Folgende Maßnahmen werden nachfolgend behandelt:

- Erosionsschutzmaßnahmen im Forst
- Grundwasserschonender Waldumbau.

2.6.1 Erosionsschutz Forst

Kurzcharakteristik

Wald trägt aufgrund der ganzjährigen Bodenbedeckung und der meist gut ausgeprägten Bodenstruktur vor allem in Hanglagen zum Erosionsschutz bei. Dennoch kann es vor allem an Bachböschungen, entlang von Forstwegen und auf Rückewegen sowie bei der Erstaufforstung auch im Wald zur Bodenerosion kommen.

Solche Prozesse werden in Niedersachsen in den Berglandregionen und hier vor allem im Harz beobachtet. Da die Trinkwassergewinnung des Oberharzes aus Talsperren erfolgt, ist der Erosionsschutz im Forst dort von besonderer Bedeutung. Im Rahmen der WZB werden Maßnahmen zur Verzögerung und Verringerung der Erosion angeboten.

Am Beispiel der TGG der Westharzer Talsperren, die in einer fast ausschließlich forstwirtschaftlich geprägten Trinkwasserschutzkooperation zusammenarbeiten, werden die Erosionsschutzmaßnahmen der WZB nachfolgend beschrieben.

In den Zuflüssen der Westharzer Talsperren kann es bedingt durch Wassererosion und Hangverlagerungen bzw. -rutschungen zu unerwünschten Trübungerscheinungen kommen. Trübstofffrachten führen im Wasserwerk zu erheblichen Aufbereitungsproblemen und zusätzlichen Kosten. Mit Hilfe technischer, gewässer- und waldbaulicher Maßnahmen sollen Erosionsschäden beseitigt und reduziert werden.

Definitionen / Erklärung

Technische Maßnahmen

Hierbei handelt es sich hauptsächlich um wegbau- und bautechnische Maßnahmen wie den Neu- und Rückbau von Rückewegen und die Optimierung von Gewässerquerungen (s. Abb. 126). Forsttechnische Maßnahmen beinhalten z. B. den Einsatz besonders schonender Holzernteverfahren.

Gewässerbauliche Maßnahmen

Zu diesen Maßnahmen gehört unter anderem die Stabilisierung abbruchgefährdeter Böschungen durch eine mechanische und ingenieurbio-logische Bachuferbefestigung (Fußsicherung durch den Einbau von Wasserbausteinen, Hangsicherung durch Lagenbau).

Waldbauliche Maßnahmen

Besonders wichtig ist hier die Förderung eines stabilisierenden Bachrandbewuchses durch vorsichtige Auflichtung der Bachrandbereiche mit anschließender gezielter Einbringung wurzelintensiver Lichtbaumarten (s. Abb. 127).



Abb. 127: Waldbauliche Maßnahme: Durch Beseitigung von Buchennaturverjüngung freigestellte Roterlen (GFP).



Abb. 126: Wegebaumaßnahme: Rückbau eines hangsenkrechten Rückewegs (oben: vorher – unten: nachher) (GFP)

Anwendungsbereich

Wasserschutzorientierte Maßnahmen zur Vermeidung von Erosionserscheinungen werden in erster Linie in Einzugsgebieten von Talsperren in Mittelgebirgsregionen durchgeführt, die von zahlreichen Bachsystemen geprägt sind. Hier kann es aufgrund der Hängigkeit und der Bodensubstrate unter bestimmten Witterungsvoraussetzungen und/oder aufgrund von Bewirtschaftungsmaßnahmen zu Erosionsvorgängen mit Trübstoffeinträgen in die Bäche kommen. Die Bewirtschaftung in diesen Einzugsgebieten ist im Regelfall forstwirtschaftlich dominiert, so dass eine intensive Zusammenarbeit mit den forstwirtschaftlichen Bewirtschaftern erforderlich ist.

Durchführung

Für eine sinnvolle Maßnahmenplatzierung ist eine Geländekartierung im Vorfeld notwendig. Unter Einbeziehung bestimmter Standorteigenschaften wie Bodensubstrat, Geländeneigung und Bewuchs werden erosionsgeschädigte und gefährdete Bereiche kartographisch erfasst. Dabei sollten Rückewege, Fließgewässer und Steilhänge bezüglich ihrer potentiellen oder tatsächlich beobachteten Erosion verschiedenen Gefährdungsklassen zugeordnet werden. Die Einzelmaßnahmen werden je nach Erosionsgefährdung in drei Dringlichkeitsstufen eingeteilt, die als Hilfestellung bei der Planung des zeitlichen Ablaufs der Maßnahmen und als Orientierung zur Festlegung von Prioritäten dienen. Nach der räumlichen Prioritätensetzung werden die erforderlichen Einzelmaßnahmen mit den lokalen Beteiligten intensiv fachlich und kostenseitig diskutiert und abgestimmt. Im Ergebnis entsteht für die erfassten erosionsgefährdeten Räume ein Maßnahmenkatalog, der als Grundlage für die Durchführung der Erosionsschutzmaßnahmen dient. Die Umsetzung der in diesem detaillierten Maßnahmenkatalog festgelegten Erosionsschutzmaßnahmen erfordert dann die interdis-

ziplinäre Zusammenarbeit aller Akteure vor Ort. Vor der Durchführung der Maßnahmen wird darauf geachtet dass die gesamten Maßnahmenkataloge mit den Genehmigungsbehörden im Vorfeld abgestimmt werden. Das gilt insbesondere für Gewässerquerungen und Maßnahmen zur Stabilisierung abbruchgefährdeter Böschungen.

Folgende Maßnahmen im Forst werden derzeit im Rahmen des Trinkwasserschutzes gefördert (MU 2007c, MU 2007a):

- Erstellung von Planungsgrundlagen (z. B. bodenkundliche Karten, Prioritätenkarten, Fließgewässerkarten)

- WZB der forstlichen Bewirtschafter (Förster)
- FV zum Erosionsschutz im Forst: Maßnahmen, die Erosionsprozesse gezielt verhindern oder verzögern bzw. Absetzprozesse vor dem Eintrag in Oberflächengewässer fördern (z. B. durch Bepflanzung); Durchführung von besonders schonenden Bewirtschaftungsmaßnahmen (z. B. hangparallele Anlage von Rückewegen)
- FV zum Waldumbau.

Erfolgsbewertung

Maßnahme	Wirkung
Technische Maßnahmen	
Wegebaumaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> ■ Einbau von Wasserabschlägen oder zusätzlichen Rohrdurchlässen ■ Aufgabe, Rückbau und Neubau von Rückewegen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verbesserung der Wasserführung bzw. des Wasserabflusses von Wegen, Verringerung des direkten Eintrags von trübstoffbelastetem Wasser in die Bäche
<ul style="list-style-type: none"> ■ Seilunterstützte Holzernteverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vermeidung von Trübstoffeinträgen während der Holzernte
Gewässerbauliche Maßnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Einbau von Wasserbausteinen und/oder Lagenbau (mehrrühige, rundholzgestützte Buschlagen) zur Fuß- und Hangsicherung direkt am Gewässer ■ Anlage bzw. Sicherung von Furten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Stabilisierung abbruchgefährdeter Böschungen durch mechanische Bachuferbefestigung ■ Verringerung von Trübstoffeinträgen bei Gewässerbefahrung, insbesondere während der Holzernte
Waldbauliche Maßnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Auflichtung von Bachrändern als Vorbereitung für Pflanzmaßnahmen oder zur Förderung bereits durchgeführter Pflanzungen bzw. der flächigen Entwicklung der Bodenvegetation ■ Anpflanzung geeigneter Baumarten entlang von Gewässern (Weide, Erle, Bergahorn etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Förderung eines stabilisierenden Bachrandbewuchses; langfristige Sicherung der Bachränder; Filterung der von Hängen abwärts transportierten Trübstoffe

Erfolgsbewertung am Beispiel Trinkwasserschutzkonzept Westharz – Forstwirtschaft

Zur Bewertung der in den einzelnen Wassergewinnungsgebieten durchgeführten erosionsmindernden Maßnahmen wird ein Monitoringprogramm durchgeführt, das an elf vorhandenen technischen Anlagen mit vertretbarem technischen Aufwand den zentralen Prüfparameter Trübung (photometrische Streulichtmessung) mehrmals wöchentlich als Stichproben oder online bestimmt (HARZWASSERWERKE 2012).

Dabei berücksichtigt das Monitoring, dass sich Trübstofftransport und –dynamik im Quellbereich, in Fließgewässern und Talsperren bzw. Vorsperren deutlich voneinander unterscheiden und grundsätzlich einen starken natürlichen Anteil aufweist, der von kleinen, mittleren und starken Hochwässern infolge von Starkregen- oder Schneeschmelzereignissen abhängig ist.

Das Monitoring im Zeitraum 2013 bis 2017 hat das Ziel, großräumig den jährlichen Trübstofftransport zu beschreiben und dabei die gemessenen Trübungswerte

mit aus Vormessungen statistisch abgeleiteten Zielwerten zu vergleichen. Bei Überschreitung von Trübungszielwerten in Fließgewässern, Tal- oder Vorsperren, werden von allen Projektpartnern Informationen zum Zustand der Einzugsgebiete und zu derzeitigen Holzernemaßnah-

men erfragt, um erosionsintensive Stellen und Flächen zu lokalisieren. Über diesen Zusammenhang lassen sich einzelnen Maßnahmen in ihrer Wirkung auf den Trübstoffrückhalt bewerten (HARZWASSERWERKE 2012).

2.6.2 Waldumbau

Kurzcharakteristik

Grundwasser aus Waldgebieten hat meist eine hohe Qualität, da in Wäldern keine Düngemittel und in der Regel auch keine chemischen Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden und fast keine Bodenbearbeitung erfolgt. Waldflächen werden deshalb häufig als „Verdünnungsflächen“ für das Grundwasser angesprochen. Dabei wird Laubwald positiver als Nadelwald bewertet, da er weniger Schadstoffe aus Luft und Niederschlag aufnimmt und mehr Sickerwasser von besserer Qualität entstehen lässt.

Sowohl der grundwasserschutzorientierte Waldumbau als auch die Aufforstung von Ackerflächen sind dauerhaft wirkende Maßnahmen mit hohem Anfangsaufwand, aber jahrzehntelanger Wirkung.

Über den Grundwasserschutz hinaus ist die Anhebung des Laubwaldanteils ein allgemeines Anliegen der Forstpolitik (BMELV 2011b, ML 2007a & 2007b), da insbesondere Mischwäldern eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen Schädlinge, Krankheiten und klimatische Extreme zugeschrieben wird. Laub- und Mischwälder dienen zudem besser der Erholung und den Zielen des Naturschutzes (BMELV 2011b).

Wegen des allgemeinen Interesses an intakten Waldfunktionen sind für die Erstaufforstung und den Waldumbau Fördermittel aus der Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) verfügbar (BMELV 2011a). Die „Waldstrategie 2020“ der Bundesregierung stellt eine weitergehende Förderung in Aussicht: „Es wird geprüft, wie Leistungen der Forstwirtschaft für die Wasserbereitstellung besser honoriert werden können“ (BMELV 2011b).

Im Rahmen von Freiwilligen Vereinbarungen können für weitergehende Anforderungen beim Waldumbau (Verringerung des ertragsstarken Nadelholzanteils zugunsten von Laubholz) die Deckungsbeitragsdifferenzen ausgeglichen werden. In Niedersachsen ist die Förderung von FV für die Erstaufforstung von landwirtschaftlichen Nutzflächen derzeit nicht vorgesehen. Jedoch besteht für TGG die Möglichkeit, Acker in Wald umzuwandeln (ELER).

Hintergrund

Fichte und Kiefer nehmen über 50 % der Waldfläche in Deutschland ein (BMELV 2009b). Diese Wälder werden überwiegend als nicht naturnah eingestuft (www.bundeswaldinventur.de). Eine Erhöhung des Laubholzanteils wird deshalb seit längerem von der Politik angestrebt und unterstützt. So sieht das niedersächsische LOEWE-Programm (ML 1991, 2007a) für die niedersächsischen Landesforsten langfristig eine Steigerung des Laubholzanteils von 37 % (1991) auf 65 % vor.

Der GAK-Rahmenplan 2011-2014 (BMELV 2011a) gewährt eine anteilige Förderung des Umbaus von Nadelwald-Reinbeständen zu Laub- bzw. Mischwäldern.

Zusatzinformation

Kombination von GAK-Fördermitteln und Mitteln aus der Wasserentnahmegebühr

Die Verwendung von GAK-Fördermitteln wird in dem GAK-Rahmenplan (BMELV 2011a) und der niedersächsischen Landes-Förderrichtlinie (ML 2007b) geregelt. Weitere Informationen zur Förderung forstlicher Maßnahmen sind für Niedersachsen auf den Internetseiten der Landwirtschaftskammer erhältlich (www.lwk-niedersachsen.de).

GAK-Fördermittel sind im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel für den Privat-, Kommunal- und Genossenschaftswald flächendeckend verfügbar. Die Antragstellung erfolgt in Niedersachsen bei den Außenstellen der Landwirtschaftskammer.

Gefördert werden verschiedene Maßnahmen im Rahmen der Erstaufforstung und des Waldumbaus. Dabei gelten für die Pflanzung folgende Fördersatzte:

- bis zu 70 % bei einem Laubholzanteil v. mind. 30 %
- bis zu 85 % bei einem Laubholzanteil v. mind. 70 %

Zusätzlich werden weitere Maßnahmen wie die Kompensationskalkung gefördert. Die GAK-Förderung sollte bei grundwasserschutzorientierten waldbaulichen Maßnahmen in Anspruch genommen werden. Mittel aus der Wasserentnahmegebühr können dann hauptsächlich dazu genutzt werden, einen höheren

Laubbaumanteil einzubringen. Hierzu, wie auch zur möglichst effizienten und standortgerechten Umsetzung waldbaulicher Maßnahmen, ist die Zusammenarbeit mit dem forstfachlichen Betreuer zu empfehlen.

Grundwasserneubildung unter Wald

Unter Wald wird weniger Sickerwasser gebildet als unter waldfreien Landnutzungsformen (s. Abb. 128). Die Höhe der Sickerwasserspende variiert in Abhängigkeit von Bestockung, Unterwuchs und Standorteigenschaften. Generell wird unter Laubwald mehr Sickerwasser gebildet, als unter Nadelwald (KREUTZER et al. 1986, KREUTZER 1989). Dabei wird die Sickerwassermenge durch Interzeptionsverluste (unproduktive Verdunstung von aufgefangenem Niederschlagswasser) und Transpiration von Baumbestand und Unterwuchs beeinflusst.

Der Interzeptionsverlust ist im immergrünen Nadelwald am höchsten und bei glattrindigen Laubbäumen wie Buche und Roteiche am geringsten (BRECHTEL 1971, 1973). Für mittelniedersächsische Klimaverhältnisse stellten RENGER & STREBEL (1980) z. B. unter Fichte Sickerwasserspenden von ca. 50 mm/Jahr und unter Buche von 200 mm/Jahr fest. Die STADTWERKE HANNOVER (1999) geben für das Wasserschutzgebiet Fuhrberger Feld 172 mm Sickerwasser unter Mischwald, 112 mm unter Kiefernwald und 230 mm unter landwirtschaftlicher Nutzfläche an. BRECHTEL & SCHEELE (1982) fanden bei alten Kiefernbeständen mit Grasunterwuchs eine negative Wasserbilanz (-27 mm/Jahr), bei gleichalten Beständen mit Buchenunterwuchs dagegen eine Sickerwasserspende von 66 mm/Jahr.

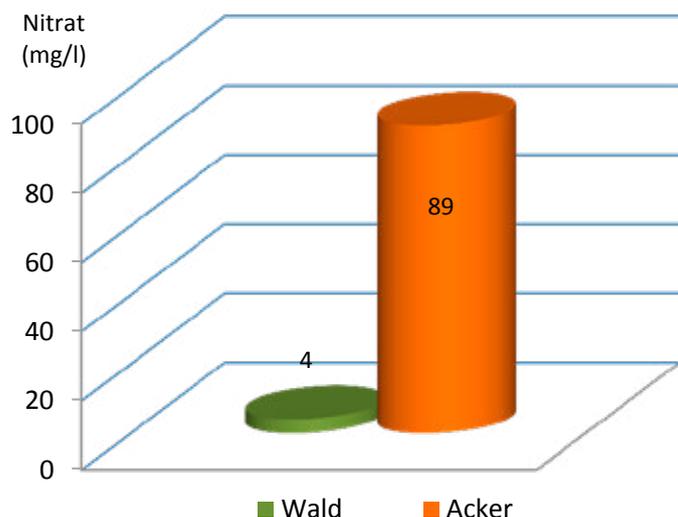


Abb. 128: Mittelwerte für die Sickerwasserbildung unter Acker im Vergleich zu Kiefern- und Mischwald im Wasserschutzgebiet Fuhrberger Feld (STADTWERKE HANNOVER 1999, geändert IGLU).

Die Auflichtung eines Nadelholztaltbestands in Verbindung mit Buchenunterpflanzung kann somit eine geeignete Maßnahme sein, um die Grundwasserneubildung zu erhöhen.

Stoffeinträge und Sickerwasserqualität

Sickerwasser aus Waldböden weist generell niedrigere Stoffgehalte auf als Sickerwasser von Ackerflächen (s. Abb. 129). Die Nitratwerte liegen in der Regel unter dem Richtwert der Trinkwasserverordnung (BMG 2013). Die Aluminiumkonzentrationen können im Sickerwasser in Folge der Bodenversauerung hohe Werte annehmen.

Wälder werden allenfalls gekalkt, aber nicht gedüngt. Atmosphärische Stoffeinträge (gasförmig, durch Niederschlag und durch Staub) sind auf Waldflächen allerdings wesentlich höher als im Freiland. Seit Beginn der 80er Jahre ist zwar der Schwefeleintrag deutlich zurückgegangen, der N-Eintrag, für den NH_3 - und NO_x -Emissionen aus der Landwirtschaft und aus Verbrennungsprozessen verantwortlich sind, hat sich aber kaum verändert. Für das Jahr 2000 werden im Bundesdurchschnitt Einträge von mehr als 32 kg N und 11 kg S pro Hektar Wald angegeben (BMELV 2009b). Für niedersächsische Wälder wird für 2010 eine N-Deposition von 37 bis 42 kg N/ha genannt (MU 2013). In Ostniedersachsen belaufen sich die jährlichen Einträge auf 10-30 kg N/ha, in viehstarken Regionen sind Werte von 50-60 kg N/ha realistisch (WIENHAUS et al. 2008, NLWKN 2010c), was weit über dem Bedarf der Bäume liegt (DAMMANN et al. 2011). Gleichzeitig übersteigt die Säurewirksamkeit der Einträge das Puffervermögen der Böden, so dass es ohne Kalkung zu einer fortschreitenden Versauerung der Böden kommt (DAMMANN et al. 2011).

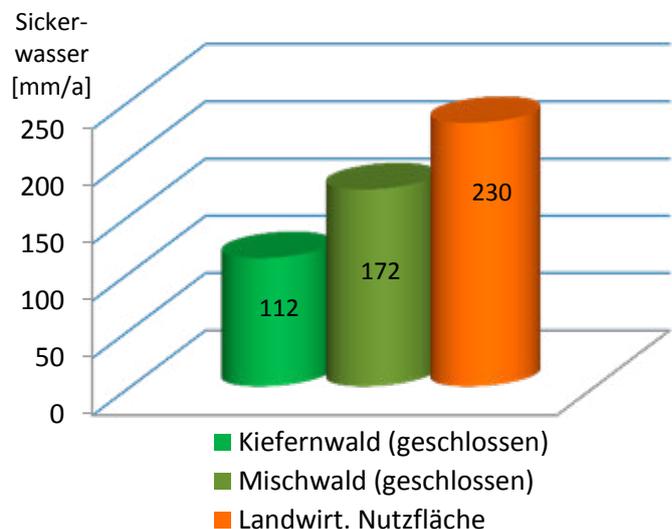


Abb. 129: Nitratkonzentrationen unter Acker im Vergleich zu Wald (Mittelwerte), nach RINGE et al. (1999) (Wald) und IGLU (1999) (Acker).

Die atmosphärischen Stoffeinträge (insbesondere Stickstoff und Säurebildner) sind bei Nadelwäldern wegen der ganzjährigen Benadelung tendenziell höher als bei Laubwäldern. Infolge der Bodenversauerung werden unter Nadelwald zum Teil hohe Aluminiumkonzentrationen gemessen.

Im Raum Cloppenburg wurde baumartübergreifend eine enge Beziehung zwischen Bestandeshöhe und luftbürtigen N-Einträgen festgestellt, was sich auch in den Nitratkonzentrationen im Sickerwasser widerspiegelt (NLWKN 2010c). Da vorzeitiger Hieb keine realistische Möglichkeit zur Verminderung der N-Immissionen in Waldflächen darstellt, kommt der Begrenzung gasförmiger N-Emissionen aus der Viehhaltung die entscheidende Rolle zu.

Günstig für die Sickerwasserqualität ist neben geringeren Stoffeinträgen vor allem die Erhöhung der Sickerwasserspense (Verdünnungseffekt) durch den laubholzbetonten Umbau von Nadelwäldern.

Vermeidung von Bodenversauerung

Durch die Säureeinträge in den Wald kommt es zu Bodenversauerung, verbunden mit der Auswaschung basischer Kationen und bei pH-Werten $< 4,2$ zur Aluminium- und Schwermetallfreisetzung in das Sicker- und Grundwasser. Besonders gefährdet sind Sandstandorte mit geringer Pufferkapazität. Als Gegenmaßnahme können Kalkungen durchgeführt werden. Diese müssen rechtzeitig erfolgen, da ein einmal versauerter Standort kaum noch zu meliorieren ist. In diesem Fall ist eine individuelle Abwägung notwendig, da Kalkung die Mineralisation anregt, was den Nitrataustrag steigern kann. Eine Möglichkeit zur Risikominimierung besteht in der mehrfachen Gabe kleinerer Mengen statt einer einmaligen Kalkung, was aber mit erheblichen Mehrkosten verbunden ist.

Weiterer Nutzen des Waldumbaus

Die Umnutzung von Nadelwaldbeständen in die in Niedersachsen als standortangepasst geltende Form des buchendominierten Mischwalds ist somit mit den Zielen des Grundwasserschutzes konform. Durch die systemstabilisierende Wirkung wird zudem negativen Erscheinungen wie Sturmschäden vorgebeugt, in deren Folge Humusabbau und erhöhte Nitratfreisetzungen auftreten können. Durch den Aufbau stabiler Misch- oder Laubwaldbestände können zudem Massenvermehrungen von Schaderregern reduziert werden. Der Waldumbau wird darüber hinaus, z. B. für bisherige Fichten-Reinkulturen, auch als wichtige Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel angesehen.

Anwendungsbereich und Durchführung

Acker-Erstaufforstung

Die Aufforstung von Ackerflächen kann eine höchst wirkungsvolle Grundwasserschutzmaßnahme darstellen. Die genaue Baumarten- und Herkunftswahl erfolgt in Abstimmung mit dem Eigentümer bzw. seinem forstfachlichen Betreuer, der in der Regel auch der Ansprechpartner für die Beantragung von GAK-Fördermitteln ist. In Niedersachsen ist die Förderung von Freiwilligen Vereinbarungen für die Erstaufforstung von landwirtschaftlichen Nutzflächen derzeit nicht vorgesehen. Möglich ist aber der Waldumbau in TGG.

Wasserwirtschaftlich besonders wichtige Zielflächen werden zum Teil durch das Wasserversorgungsunternehmen selbst aufgeforstet. Dies erfordert einen hohen Kapitaleinsatz und ist in der Regel mit dem Kauf der Zielflächen verbunden. Wegen der verschärften Flächenkonkurrenz (Pacht- und Kaufpreisanstieg für Ackerflächen, geringe Akzeptanz in der Landwirtschaft) ist für die Zukunft eine geringere Bedeutung dieses Vorgehens zu erwarten (OOWV 2008).

Bei der Vorbereitung und Durchführung der Aufforstung sollten möglichst folgende Punkte Beachtung finden:

- Aushagerung vormals intensiv genutzter Ackerflächen, insbesondere nach Anwendung von Wirtschaftsdünger (z. B. durch Feldgraseinsaat mit mehrjähriger Schnittnutzung)
- Bodenbearbeitung je nach Standort (mineralisationsstarke Böden möglichst wenig bearbeiten)
- Auflauf von Ausfallgetreide, eventuell ergänzt durch Untersaat von Roggen/Waldstauden-Roggen, um die Mineralisation im ersten und zweiten Standjahr aufzufangen.

Die Erstaufforstung von Ackerflächen ist als dauerhafte Maßnahme anzusehen, bei der die Fläche ihren Ackerstatus verliert. Insofern ist sie nicht mit der Anlage von Kurzumtriebsplantagen zu verwechseln (s. Kap. 2.4.14).



Abb. 130: Umbau von Acker zu Wald im WSG Liethgrund (IGLU).

Waldumbau

Eine Umwandlung bestehender Nadelholzbestände in Laub- oder Mischwald erfolgt normalerweise im Rahmen der Dauerwaldbewirtschaftung. In den ausgelichteten Nadelwald werden Laubbäume als zweite Bestandsschicht eingebracht. In den darauffolgenden 20 bis 60 Jahren wird der Nadelholzbestand gefällt, so dass schließlich die Laubbäume den Hauptbestand bilden. Kahlschläge mit Neuanpflanzungen sind wegen der damit einhergehenden Mobilisierung von Nitrat aus dem Abbau des Humusvorrats zu vermeiden, kleinflächig aber zur Etablierung von Lichtbaumarten wie der Eiche forstliche Praxis (ML 2004a) und bis ein Hektar Größe genehmigungsfrei zulässig (ML 2002).

Die Umsetzung der Maßnahme ist Aufgabe des Vertragspartners der FV (i. d. R. der Eigentümer), der sich hierbei seiner üblichen forstlichen Betreuungseinrichtung/-organisation bedient, sofern er nicht selbst fachkundig ist oder eigenes Fachpersonal beschäftigt. Im Folgenden werden die Grundlagen einer solchen Maßnahme beschrieben.

Naturverjüngung

Eine Bestandsumwandlung kann durch Naturverjüngung erfolgen. Diese kommt nur bei einer hohen Zahl samentragender Bäume im Umfeld in Frage und erfordert dann eine gezielte Regulierung des sonstigen Unterwuchses. Die Naturverjüngung hat zu Wasserschutz Zwecken untergeordnete Bedeutung, da günstige Verhältnisse für eine zuverlässige Bestandsumwandlung wegen des angestrebten Baumartenwechsels und daher fehlender Samenbäume nur selten gegeben sind.

Pflanzung von Laubbäumen

Die Pflanzung von Laubbäumen ist derzeit die verbreitetste Art der Bestandsbegründung. Die Wahl der Baumarten, die Größe des Pflanzguts, die Pflanzanzahlen je Hektar und der Pflanzverband sind im Rahmen der Vorgaben der GAK-Förderung und auf Grundlage der örtlichen Verhältnisse zu wählen. Eine mögliche Alternative zum Kauf von Pflanzen bietet die Wildlingswerbung, sofern geeignete Werbungsflächen vorhanden sind. Neben dem Kostenvorteil werden die bessere Anpassung der Pflanzen an die Wuchsverhältnisse im Bestand und erfahrungsgemäß geringere Verbisschäden als Vorteile gegenüber Pflanzgut aus der Baumschule gesehen. Die Entscheidung über die Art der Pflanzgutbeschaffung muss mit dem Forstamt abgestimmt werden.

Bei der Pflanzung ist es wichtig, den Pflanzen einen ausreichenden Pflanzplatz ohne Konkurrenzvegetation zu geben, um eine hohe Anwuchsrate zu erzielen und

dem Auftreten von Mäusefraßschäden vorzubeugen. Bei geringen Niederschlägen, dichtem Bewuchs oder mächtigen Humusdecken ist daher eine Freilegung des Mineralbodens für die Jungpflanzen in den Pflanzreihen erforderlich. Gängige Verfahren hierzu sind das Kulla- und das LoBo-Verfahren sowie der Einsatz der Pflanzhacke. Gegebenenfalls erfolgt eine kleinflächige Kalkgabe im Pflanzloch-Bereich (ENERCITY 2000). Auf vergrasteten Freiflächen kann der Anbau eines Vorwalds oder das gleichzeitige Pflanzen von Füll- und Treibhölzern sinnvoll sein.

Das Pflanzverfahren wird abhängig von Flächengröße und -zustand sowie Baumart, Größe der Pflanzen und Pflanzverband gewählt. In unwegsamem Gelände sowie bei kleinflächigen Pflanzungen kommen meist Handpflanzverfahren oder motormanuelle Erdbohrer (z. B. der Pflanzfuchs) zum Einsatz.



Abb. 131: Unterpflanzung mit Buchensetzlingen (oben), zweijähriger Buchenunterbau (unten) (IGLU).

Schutz der Kulturen vor Verbiss und Fegen

Bei der Maßnahmenplanung muss über den Schutz der Kulturen entschieden werden. Da Laubbäume gerne von Reh- und Rotwild verbissen und gefegt werden, ist in der Regel ein Verbiss- und Fegeschutz erforderlich.

Für größere zusammenhängende Umbauflächen bietet sich die Zäunung an (s. Abb. 132). Einzelschutzmaßnahmen kommen aus Kostengründen nur für kleinere Flächen in Frage. Verwendet werden hierfür z. B. Tubex-Hüllen (s. Abb. 133), die zusätzlich zum Verbiss und Fegeschutz ein wachstumsförderndes Kleinklima um die Pflanze herum bilden.



Abb. 132: Zäunung einer neuangelegten Waldumbaufläche (IGLU).

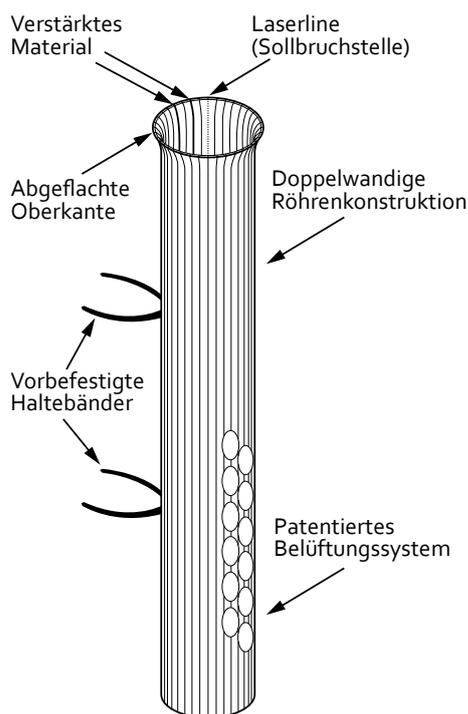


Abb. 133: Tubex-Hülle (Beck und Böder, Paderborn).

Weitere Sicherungsmaßnahmen

Nach erfolgter Pflanzung ist das Anwachsen der Kulturen und das ausreichende Überleben und Wachstum der Pflanzen zu sichern. Zu den Pflegemaßnahmen gehören das Sichern und Kontrollieren der Zäunung oder des Einzelschutzes, das Freistellen der Pflanzen bei zu starkem Konkurrenzewuchs, das Nachpflanzen bei übermäßigem Ausfall von Jungpflanzen sowie die Bekämpfung von übermäßigem Schädlingsauftreten, z. B. Mäusen. Zu

beachten ist, dass nur biologische und technische Maßnahmen durch die GAK-Förderung bezuschusst werden können.

Der Rückbau und die Entsorgung der Zäunung sowie der Einzelschutzmaßnahmen nach Sicherung der Kultur sind ebenfalls mit einzuplanen.

Praktischer Ablauf einer Ackeraufforstung oder einer Waldumbaumaßnahme

Beteiligte

- Eigentümer u. zuständiger forstfachlicher Betreuer
- zuständiges WVU
- Wasserwirtschaftsverwaltung
- Wasserschutzzusatzberatungsinstitution

Bestandsbewertung und Umbauplanung

- Flächendaten: Gemarkung, Flur, Flurstück, Abteilung, Flurstücksgröße (ha), Teilstück (ha), Eigentumsverhältnisse, forstliche Standortkartierung
- Ist-Zustandserhebung (durch den zuständigen Förster): Bewertung der aktuellen Bestockung in Anlehnung an Waldbewertungsrichtlinien (ML 2009b), optimales Jahr für die Durchforstungsmaßnahme
- Zielzustandsbeschreibung (Förster, Eigentümer, Wasserschutzzusatzberater): laubholzreichster Waldentwicklungstyp / Betriebszieltyp. Im Rahmen der Vorgaben der GAK-Förderung (mit der Zielvorgabe Wasserschutz) ist eine Absenkung der auf armen Standorten zwingenden Nadelholzanteile unter die Standardvorgabe möglich.

Kostenermittlung (LWK Niedersachsen 2014a)

- Dokumentation der Unterschiede zwischen Grundwasserschutzvariante und forstwirtschaftlichem Standard
- Ermittlung der für beide Varianten verfügbaren GAK-Fördermittel
- Ableitung der Mehrkosten f. d. Grundwasserschutz

Gesamtbewertung und Bewilligung

- Abschätzung des Maßnahmennutzens nach Grundwasserschutzpriorität der Fläche und Mehrwert hinsichtlich Sickerwassermenge und -qualität
- Gegenüberstellung der Kosten und der verfügbaren Finanzmittel
- Bewilligung / Ablehnung der Maßnahme für das aktuelle Jahr bzw. Ranking der Umbaupriorität im aktuellen Jahr und in den Folgejahren im Rahmen eines gesamtgebietlichen Waldumbaukonzepts

Maßnahmen-Umsetzung

- Beantragung der GAK-Fördermittel
- eventuell Durchforstung des Altbestands
- Beginn der Umsetzung nach Bewilligung der GAK-Mittel
- Bodenbearbeitung und Bestandsbegründung durch Pflanzung
- Prüfung und Abnahme der Maßnahmenfläche durch die Bewilligungsstelle der GAK-Förderung

Bewertung

Der Umbau von Nadelwäldern zu Laub- oder Mischwäldern sowie die Aufforstung von Ackerflächen bieten die Möglichkeit zur nachhaltigen Verbesserung der Sickerwassergüte und zur Erhöhung der Sickerwasserspende (gilt nur für Umbau). Zahlenmäßige Angaben sind wegen der Unterschiedlichkeit der Standorte und Waldbestände schwer verallgemeinerbar. Eine direkte Messung der Sickerwassermengen unter Wald ist kaum möglich und ihre rechnerische Ermittlung erfordert gute Modelle und umfangreiche Eingangsdaten inklusive einer Beschreibung der Bestandsstruktur.

Bei der Erstaufforstung von Ackerflächen ist eine schnelle Verminderung der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Werte deutlich unter 50 mg NO₃/l zu erwarten.

Im Falle des Waldumbaus sollte eine Erfolgsbewertung längerfristig angelegt sein, da sich Änderungen im Nitrathaushalt nur sukzessive einstellen. Alternativ können Vergleiche verschiedener Waldflächen angestellt werden, die den Ausgangs- und Zielzustand repräsentieren. Dabei muss die Vergleichbarkeit der Standorteigenschaften sorgfältig geprüft werden. Im Rahmen der WZB können die gängigen Untersuchungsverfahren N_{min}, Nitrat-Tiefenprofile, Beprobungen der Grundwasseroberfläche und zusätzlich C/N-Analysen angewendet werden, um stoffliche Erfolge qualitativ sichtbar zu machen. Bei N_{min}-Untersuchungen und Tiefenprofilen lassen sich die gemessenen Wassergehalte zum Teil auch zur Bewertung des Wasserhaushalts heranziehen (INGUS 2001).

Untersuchungen im Raum Cloppenburg (NLWKN 2010c) haben gezeigt, dass bei hohen luftbürtigen N-Einträgen in die Wälder häufig bereits mehr als 50 mg NO₃/l im Sickerwasser auftreten und gleichzeitig pro Jahr über 20 kg N/ha im Auflagehumus gespeichert werden, was ein wachsendes Gefährdungspotenzial darstellt. Diese Ergebnisse zeigen, dass hohe gasförmige N-Emissionen aus der Viehhaltung durch waldbauliche Maßnahmen nicht dauerhaft abgepuffert werden können.

Ergebnisse

Vorteile des Waldumbaus von Nadel- zu Laubwald

- Minderung der atmosphärischen Stoffeinträge (insbesondere Stickstoff und Säurebildner)
- Erhöhung der Grundwasserneubildung
- Minderung von Windwurf und Krankheiten durch standortangepasste Bestände

Vorteile der Acker-Erstaufforstung

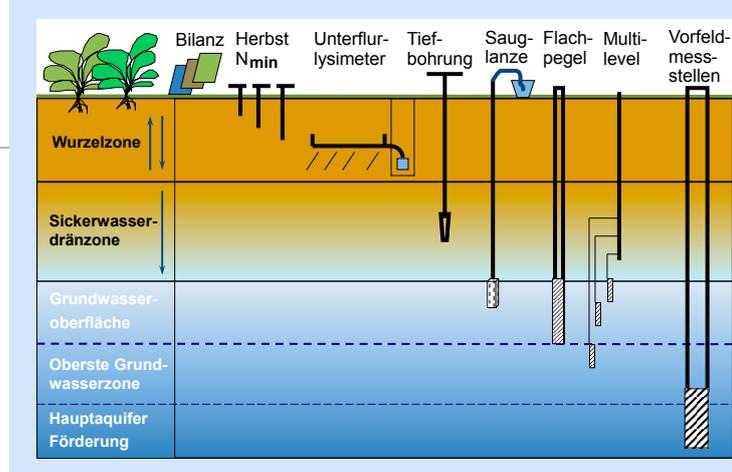
- Längerfristig deutliche Verringerung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser.

Bewertung von Waldumbau und Erstaufforstung

	Waldumbau	Erstaufforstung
Düngungsminderung	- entfällt	100%
Saldominderung	- entfällt	auf 0 kg N/ha
	Hinweis: Der Saldo im landwirtschaftlichen Sinne ist im stehenden Wald 0, im Jahr der Holzentnahme negativ. Wald weist aber höhere atmosphärische Stoffeinträge auf (in viehhaltenden Regionen bis zu 60 kg N/ha*a-1). Diese sind bei Laubwald geringer als bei Nadelwald.	
Herbst-N _{min} -Minderung	- tendenzielle Minderung	deutliche Minderung
Sickerwasserentlastung	- tendenzielle Minderung	auf unter 20 mg NO ₃ /l

Weitere Vorteile des Waldumbaus und der Acker-Erstaufforstung

- Standortangepasste Laubwaldbestände zeichnen sich durch geringere Krankheitsanfälligkeit aus.
- Mischbestände gelten als widerstandsfähiger gegen Sommertrockenheit und andere Witterungsextreme (Anpassung an den Klimawandel).
- Die Erholungsfunktion der Wälder wird erhöht.



2.7 Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen

Zielsetzung

Die Erfolgskontrolle ist ein wichtiger Bestandteil der Schutzkonzepte. Mit diesem Instrument kann der Weg zur Zielerreichung beobachtet und bewertet werden. Die Erfolgskontrolle ermöglicht es, Kenntnisse zum Erfolg der eingesetzten Beratungs- und Flächenmaßnahmen in den TGG zu erhalten. Mit dem Beschluss zum Schutzkonzept legt sich die Trinkwasserschutzkooperation auf die zu erreichenden Ziele und geeignete Erfolgsindikatoren in den TGG fest. Entscheidend für eine gezielte Erfolgskontrolle und -bewertung ist die Auswahl gebiets- und problembezogener Indikatoren, die beispielsweise die Entwicklung der N-Überschüsse, der Nitratkonzentration oder anderer stofflicher Belastungen wiedergeben.

Nur mit einem gebietsspezifisch angepassten Monitoring ist eine lückenlose und repräsentative Trendbetrachtung und eine gezielte Maßnahmenplanung möglich. Die zeitliche Verzögerung zwischen der Maßnahmenumset-

zung auf der Fläche und den messbaren Wirkungseffekten im Grund- und Rohwasser muss bei der Erfolgsbewertung berücksichtigt werden.

Zu Beginn der Wasserschutzzusatzberatung erfolgt eine Gebietserfassung und eine Ist-Zustandsanalyse mit dem Ziel, innergebietliche, räumliche und betriebsbezogene Prioritäten festzulegen. Damit bestehen die fachlichen Voraussetzungen, ein effizientes Konzept zur Erfolgskontrolle möglichst für alle Ebenen des Zonenmodells zu entwickeln (s. Kap. 2.7.2, Tab. 55).

Grundlagen

Die Eignung von Methoden zur Erfolgskontrolle wurde in verschiedenen Modell- und Pilotprojekten des Landes Niedersachsen für den Fest- und Lockergesteinsbereich untersucht und Vorschläge zur Bemessung der zeitlichen und räumlichen Verwendung der einzelnen Parameter erarbeitet (z. B. Konzept zum Schutzgebietsmanagement Großenwieden (NLÖ 2004)).

Landesweite Arbeitsgrundlagen wie das „Pflichtenheft zur Datenerfassung im DIWA-Shuttle“ (NLWKN 2012a), die „Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-N_{min}-Methode“ (NLWKN 2012d), die Auswertungen in der Broschüre Grundwasser, Band 19 (NLWKN 2014d) sowie die „Anforderungen an Erfolgsparameter in Schutzkonzepten“ (NLWKN 2014a) sind hilfreich bei der Auswahl geeigneter Erfolgsindikatoren.

Dokumentation

Die Dokumentation der Ergebnisse der Erfolgskontrolle soll übersichtlich, fortlaufend und digital erfolgen. Eine mindestens jährliche Auswertung der Ergebnisse ist sinnvoll. Im Schutzkonzept müssen mindestens drei Erfolgsparameter mit Ausgangs- und Zielwert genannt werden (NLWKN 2014a). Spätestens am Ende der Laufzeit des Schutzkonzepts (in der Regel fünf Jahre) wird überprüft, ob die angestrebten Zielwerte erreicht wurden. Spätestens nach diesem Zeitraum sollte auch die Wirksamkeit der ausgewählten Methoden zur Erfolgskontrolle und die Eignung der ausgewählten Erfolgsindikatoren überprüft werden. Ein methodisches Nachsteuern kann sinnvoll

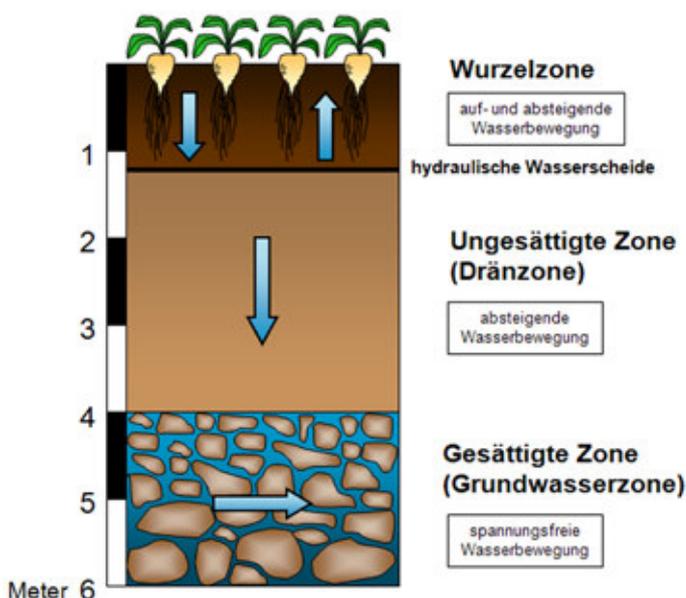


Abb. 134: Fließrichtung des Wassers in der Wurzel-, Drän- und Grundwasserzone (GERIES INGENIEURE GmbH 2007)

sein, wenn bestimmte Erkenntnisse, z. B. keine klaren Ergebnisse oder zu niedrige oder zu hohe Zielwerte, dies erfordern.

Durchführung

Zur Erfolgskontrolle werden direkte Erfolgsindikatoren wie stofflich-kalkulatorische, stofflich-analytische und indirekte Erfolgsindikatoren zur Akzeptanz unterschieden. Grundsätzlich sollten Indikatoren verwendet werden, die eine verbindliche zahlenmäßige Aussage, z. B. zur Reduzierung des N-Überschusses, zulassen.

In der nachfolgenden Tabelle 54 sind die in den Schutzkonzepten bis 2010 verwendeten Erfolgsindikatoren zusammengestellt.

Tab. 54: Erfolgsparameter in Schutzkonzepten (Anzahl Nennungen als Erfolgsindikator in 53 Schutzkonzepten, NLWKN 2012a)

Erfolgsindikator	Anzahl
Zonenmodell	151
Hoftorbilanzüberschuss	29
Zukauf stickstoffhaltiger Mineraldünger	11
Zufuhr organischer und mineralischer N-Dünger	2
Wirkungsgrad des Stickstoffs aus Wirtschaftsdüngern	1
Schlagbilanzüberschuss	8
Herbst-N _{min}	27
Nitratkonzentration in der Dränzone	34
Nitratkonzentration im Grundwasser	19
Nitratkonzentration im Rohwasser	20
Maßnahmenumsetzung	69
Allgemein (z. B. Anteil der LF mit FV, N-Minderung aller FV)	25
Deckungsgrad Brachebegrünung, Red. N-Düngung	13
Deckungsgrad Mulchsaat- und Zwischenfruchtanbau	10
Deckungsgrad Grünlandextensivierung	10
Deckungsgrad Red. Bodenbearbeitung nach Raps	9
Deckungsgrad Begrünung Ausfallraps	2
Flächennutzung	2
Akzeptanz	16
Beratung	13
Gruppenberatungen und Informationsveranstaltungen	2
Anzahl an Einverständniserklärungen zur GFN- Datenlieferung	1

Stofflich-kalkulatorische Erfolgskontrolle

Die Erfolgskontrolle erfolgt anhand von rechnerisch aus den landwirtschaftlichen Grunddaten ermittelten Erfolgsindikatoren (s. Kap. 2.7.3). Die Düngeverordnung (DüV, BMELV 2007) schreibt eine gesamtbetriebliche Dokumentation der Nährstoffströme vor. Die Feld-Stall-Bilanz (FSB) wird deshalb von den meisten Betrieben erstellt, eine zuverlässige Verwendung für die Erfolgskontrolle ist bei viehhaltenden Betrieben nicht möglich. Bei Betrieben ohne Viehhaltung sind FSB- und HTB-Saldo gleich. In diesem Fall kann der FSB-Saldo auch für die Erfolgskontrolle genutzt werden.

HTB werden auf Grundlage der Buchführungsdaten ermittelt. Sie sind ein geeigneter Erfolgsindikator, wenn mindestens 20 % der Betriebsfläche im TGG liegen (NLWKN 2014a). Gleichzeitig dienen sie als Beratungsinstrument und zur Plausibilisierung der Schlagbilanzen.

Zur flächenbezogenen Erfolgskontrolle der Trinkwasserschutzmaßnahmen können die auf der Grundlage der Schlagkartei erstellten Schlagbilanzen verwendet werden. Der berechnete N-Saldo für den Einzelschlag dient als Erfolgsindikator für die Düngeberatung und die Bewertung des flächenbezogenen potenziellen N-Eintrags. Neben den Bilanzsalden werden folgende Indikatoren für die Erfolgskontrolle und die Ist-Zustandserfassung genutzt:

- Zukauf stickstoffhaltiger Mineraldünger
- Zufuhr organischer N-Dünger
- Wirkungsgrad des Stickstoffs aus Wirtschaftsdüngern
- Effizienz der N-Verwertung

Stofflich-analytische Erfolgskontrolle

Die Erfolgskontrolle erfolgt anhand gemessener Daten, die geeignet sind, die gebietsbezogene Entwicklung der Erfolge der Grundwasserschutzarbeit darzustellen (s. Kap. 2.7.4 bis 2.7.9). Die stofflich-analytische Erfolgskontrolle trägt zu einem differenzierten Monitoring auf allen Ebenen des Zonenmodells sowie zur Darstellung der Ist/Soll-Zustandsänderung bei. Bei der Auswahl geeigneter Methoden sollten standörtliche (z. B. Boden, Hydrogeologie, Morphologie) und landwirtschaftliche Kriterien (z. B. Tierhaltung, Anbauverhältnisse, ortsübliche Fruchtfolge) berücksichtigt werden. Die Auswahl der Untersuchungsstandorte sollte repräsentativ erfolgen. Eine Festlegung der Probenahmehäufigkeit, des Probenahmezeitpunkts und der Untersuchungsmethodik im Schutzkonzept ist sinnvoll.

Akzeptanzbezogene Erfolgskontrolle

Darunter werden Indikatoren zusammengefasst, die einen Gradmesser für die Akzeptanz von Beratungs- und Flächenmaßnahmen darstellen. Im Vordergrund stehen Bewusstseins- und Verhaltensänderungen zum Thema Grundwasserschutz (s. Kap. 2.7.1). Über die Bewertung der Akzeptanz von Maßnahmen zum Grundwasserschutz vor Ort und die Maßnahmenbeurteilung lassen sich frühzeitig Möglichkeiten der Maßnahmenetablierung und Erfolgsaussichten eines Schutzkonzepts abwägen.

Effizienzkontrolle

Bei der Umsetzung von Maßnahmen sollte auch immer eine Kosten-Nutzen-Betrachtung erfolgen. Die Effizienz von Grundwasserschutzmaßnahmen lässt sich als das Verhältnis von Kosten zur N-Emissionsminderung beziffern. Grundlage hierfür sind die Ausgangsdaten zum N-Saldo bzw. der N-Konzentration im Grundwasser zu

Beginn des Schutzkonzepts sowie die im Rahmen des Schutzkonzepts geplanten Freiwilligen Vereinbarungen (FV). Für die FV wird in den Schutzkonzepten die erwartete N-Emissionsminderung (z. B. auf der Grundlage des N-Saldos oder des Herbst-N_{min}-Werts) als Kenngröße angegeben. Hierfür können eigene Untersuchungsergebnisse oder Literaturwerte genutzt werden (z. B. OSTERBURG et al. 2007). Sie werden in Beziehung zu den Kosten der FV gesetzt. Durch den Bezug zur Maßnahmenfläche können die Kosten pro kg N-Minderung je ha ermittelt werden (s. Tab. 55). Gesamtgebietlich kann der Maßnahmen Erfolg als Summe der N-Emissionsminderung im Verhältnis zu den eingesetzten Finanzmitteln bewertet werden.

Eine Überprüfung ist am Ende des Schutzkonzeptzeitraums sinnvoll. Die Effizienzkontrolle sollte eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die TWS-Kooperation zur Umsetzung des Schutzkonzepts sein.

Maßnahmen-Typ		Maßnahmen- fläche 2012 [ha]	Kosten der Maßnahme €/ha	Minderung Herbst- Nmin kg N/ha	Kosten Herbst-Nmin- Minderung €/kg N
A. Flächendeckende Maßnahme					
1.1a	Zwischenfrucht Standard	559	116	30	3,9
1.1b	Auflaufraps/Zweitfrucht	40	77	30	2,6
1.1c	Zwischenfrucht winterhart	166	131	40	3,3
1.2	Untersaat	5	132	30	4,4
1.3	Maisengsaat	218	30	10	3,0
1.4	Brache 1-jährig	28	107	30	3,6
1.6	Gülfeschleppschlauch	2.347	18		
1.8	Bodenbearb.verzicht nach Mais	173	28	10	2,8
1.9	Sommergetreide nach Raps	29	290	60	4,8
1.10	Zwischenfr. vor Wintergetreide	131	119	30	4,0
1.11	Wi-Dü-Untersuchung	22	40 €/Probe		
1.12	Reduz. Bodenbearb. nach Raps	248	60	20	3,0
1.13	Zeitlich eingeschränkte Wi-Ausbringung	2.709	15,52		
1.14	WiDü-Ausbringverbot Zone II	86	51,13		
1.16	Reduz. Bodenbearb. nach Getr. und vor W. Getr.-Aussaart	20	60		
1.17	Verzicht auf org. Düngung zu Mais	5	210		
1.18	keine N.Düngung zur ZF	87	50		
2.4	Grünlandextensivierung	65	77	10	7,7
2.5	Ausbringverzicht aller org. Dünger in Zone II	47	62		
B. Prioritäre Flächen					
1	Umwandlung Acker in Grünland	6	250	60	4,2
2	Fruchtfolgeumstellung	13	154-185	40	4,2
3	Brache (4-jährig)	16	150-250	60	3,3
4	Erhalt Grünland	12	200	80	2,5

Tab. 55: Beispiel zum Verfahren der Ermittlung der N-Auswaschungsmin- derung und Kosten- Nutzen-Effizienz von Grundwasserschutz- maßnahmen (INGUS 2012b)

Bewertung

Ein umfassendes gebietsbezogenes und effizientes Erfolgsmonitoring ist ein wichtiger Bestandteil der Schutzkonzepte. Von großer Bedeutung ist die Auswahl geeigneter Erfolgsindikatoren, die die Maßnahmenwirkung erfassen. Außerdem sollten die methodische Vorgehensweise, die erforderliche Datendichte und Auswertungsroutinen festgelegt werden.

Nur mit einer kontinuierlichen gebietsrepräsentativen Datenerfassung lassen sich lückenlose Trendbetrachtungen anstellen, die einen Überblick über den Erfolg der umgesetzten Maßnahmenkonzepte geben und Grundlagen zur fortlaufenden Maßnahmenoptimierung liefern.

2.7.1 Akzeptanz von Grundwasserschutzmaßnahmen

Einleitung

Ein erfolgreicher kooperativer Grundwasserschutz basiert auf der konstruktiven Zusammenarbeit aller Akteure. Dies erfordert Akzeptanz, also die Bereitschaft zum Annehmen und Mitwirken. Die Akzeptanz von Beratungs- und Flächenmaßnahmen hängt von den allgemeinen Rahmenbedingungen, den Möglichkeiten zur Mitgestaltung, dem persönlichen Aufwand und den finanziellen Anreizen ab. Darüber hinaus sind aber auch eine offene Haltung und ein Grundverständnis für die Belange des Grundwasserschutzes von Bedeutung.

Grundlagen

Bewusstseins- und Verhaltensänderungen

Das Interesse an Umweltthemen, speziell am Grundwasserschutz, ist eine grundlegende Voraussetzung bei allen Akteuren. Durch den konstruktiven Dialog zwischen Wasserwirtschaft, Beratung, Landwirten und anderen Akteuren vor Ort kann eine Bewusstseins- und Verhaltensänderung initiiert werden, die sich zu einem für den Wasserschutz relevanten Handeln etabliert.

Auf diese Weise soll nicht nur die Akzeptanz zur Teilnahme an FV und Agrarumweltmaßnahmen (AUM) erhöht, sondern auch die Bereitschaft zur Ausnutzung aufgezeigter Einsparpotenziale bei der Düngung und bei Pflanzenschutzmaßnahmen verbessert werden.

Die intensive Kommunikation zwischen der Wasserwirtschaft und der Landwirtschaft, die sich in den Trinkwasserschutzkooperationen über die Jahre entwickelt hat, ist die Basis, um vor Ort Lösungskonzepte zu erarbeiten und Maßnahmen zu diskutieren und umzusetzen.

Durchführung

Akzeptanz der Beratung

Eine kompetente Wasserschutzzusatzberatung (WZB) ist aus organisatorischen und fachlichen Gründen zur

Sensibilisierung der Akteure vor Ort für die Belange des Grundwasserschutzes erforderlich. Aufgabe der WZB ist es, die Landwirte über eine grundwasserschonende Bewirtschaftung und die Flächenmaßnahmen (FV/AUM) zu informieren, sie bei ihrem Düng- und Pflanzenschutzmanagement zu beraten, gemeinsam standortangepasste Konzepte zu entwickeln und die Maßnahmenumsetzung zu begleiten. Durch die konkrete Mitwirkung der Akteure kann die Akzeptanz der Grundwasserschutzmaßnahmen verbessert werden. Dies erfordert eine hohe Kompetenz und Praxisnähe des Beraters, aber auch eine kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit der Trinkwasserschutzkooperation (z. B. durch Veranstaltungen, Presseartikel, Internetauftritte).

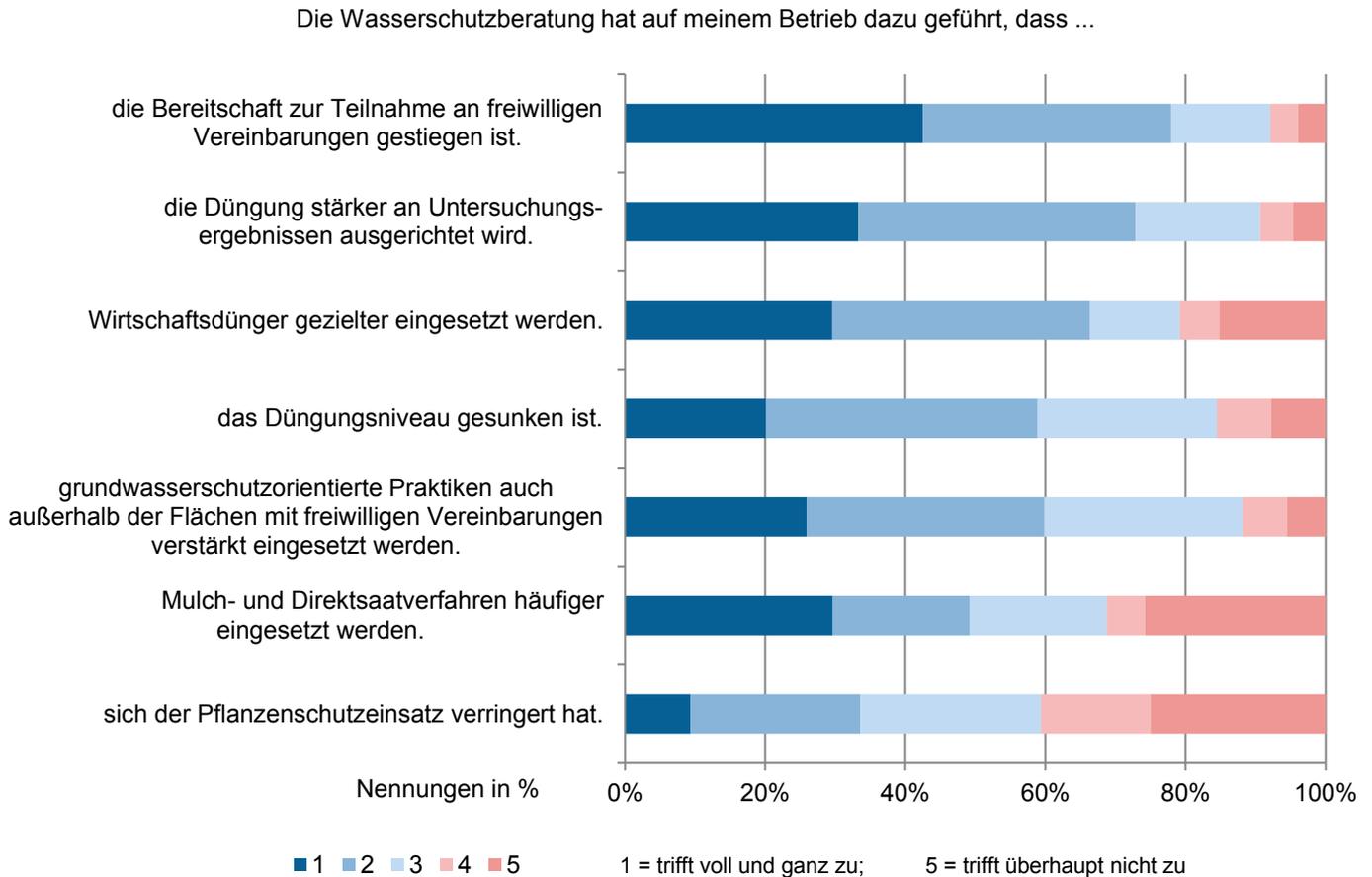
Beispiele für quantitative Erfolgsindikatoren zur Akzeptanz sind:

- die Annahme von Beratungsangeboten, z. B. Düngplanung Teilnahme prioritärer Betriebe
- die Anzahl der Teilnehmer an Gruppenberatungen/ Informationsveranstaltungen
- der Abschluss von FV.

Für die Bewertung der Akzeptanz können die Ergebnisse für die oben genannten Indikatoren der Anzahl der Bewirtschafter gegenüber gestellt werden.

Qualitative Aussagen zur Akzeptanz ergeben sich z. B. aus Diskussionsbeiträgen, Fragen und Rückmeldungen zu Rundschreiben.

Eine Befragung zur Akzeptanz der Wasserschutzzusatzberatung wurde 2010 im Rahmen der Halbzeitbewertung des PROFIL-Programms in Niedersachsen durchgeführt (s. Abb. 135).



Etwa 60 % der Betriebsleiter stimmten der Aussage zu, dass das Düngungsniveau auf dem Betrieb gesunken sei. Die Wirkungen auf den Pflanzenschutzmitteleinsatz scheinen dagegen eher gering zu sein. Etwa 50 % der Betriebe wählten bei der vorformulierten Aussage 7d: „Die Bereitschaft zur Teilnahme an freiwilligen Vereinbarungen hat sich durch die Arbeit der Wasserschutzberater deutlich verbessert“ die Antwortkategorie „trifft voll und ganz zu“. Etwa 80 % der Betriebe stimmen tendenziell eher zu (Kategorien 1 und 2).

Abb. 135: Auswirkungen der WZB auf die Bewirtschaftungspraxis (BATHKE 2010)

Akzeptanz von Flächenmaßnahmen

Die Akzeptanz des Maßnahmenangebots wird durch die wirtschaftlichen und organisatorischen Bedingungen zur Maßnahmenumsetzung, durch den Kenntnisstand des Landwirts und seine Aufgeschlossenheit den Belangen des Grundwasserschutzes gegenüber bestimmt. Der MU-Maßnahmenkatalog sollte in der Trinkwasserschutzkooperation abgestimmt und an die standörtlichen Gegebenheiten und die beschlossenen Grundwasserschutzziele angepasst werden. Agrarstrukturelle Entwicklungen (Pachtpreise, Marktpreise, Befallsdruck) und lokale strategische Aspekte (z. B. Aufforstung, Umwandlung Acker in Grünland) beeinflussen die Akzeptanz ebenfalls.

Die Wasserschutzzusatzberatung kann durch eine fundierte Beratung und Vermittlung der Maßnahmen nicht nur den Maßnahmenenerfolg sondern auch die langfristige Akzeptanz sichern.

Die Akzeptanz des Maßnahmenangebots ist am Flächenumfang der abgeschlossenen FV ersichtlich. Der Deckungsgrad drückt das Verhältnis der Maßnahmenfläche zur potenziell möglichen Fläche aus, die für die meisten FV auf der Grundlage der Flächennutzungskartierung ermittelt werden kann.

Das Kriterium „Deckungsgrad“ ist oft in TGG mit einer hohen Grundwasserschutzpriorität und einer festgelegten Zielkulisse eine wichtige Größe. Abbildung 136 zeigt den Zusammenhang des Indikators „Akzeptanz“ im Verhältnis zum Deckungsgrad am Beispiel der möglichst flächendeckenden Umsetzung der Maßnahme „Reduzierung N-Düngung auf Zielflächen“.

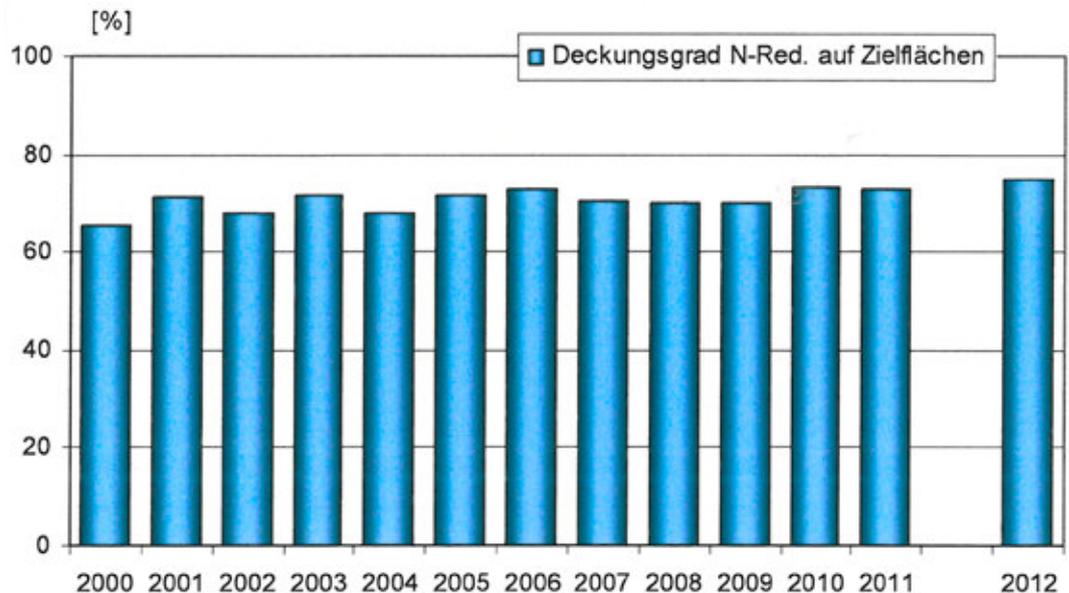


Abb. 136:
Entwicklung des Deckungsgrads einer FV auf Zielflächen. Erreichte Fläche: 1.154 ha, IST: 74 %, SOLL: 75 %.
(GERIES INGENIEURE GMBH 2012)

Eignung

Akzeptanzindikatoren haben keine direkt messbare Wirkung auf das Grundwasser. Als indirekte Indikatoren (oder „weiche Indikatoren“), dokumentieren sie die Grundvoraussetzungen für die Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen. Sinnvoll kann eine Bewertung für die prioritären Betriebe oder die Umsetzung von Maßnahmen auf potentiellen Zielflächen sein.

In den Schutzkonzepten wird bei der Erfolgskontrolle (NLWKN 2014a) der Fokus auf die Indikatoren des Zonenmodells und der Maßnahmenumsetzung gelegt, weil für sie konkrete zahlenmäßige Anfangs- und Zielwerte den Erfolg der Maßnahmenumsetzung beschreiben. Erfolgsindikatoren zur Akzeptanz sind von untergeordneter Bedeutung.

Die Bedeutung der Akzeptanz der WZB und der Grundwasserschutzmaßnahmen ist für einen erfolgreichen kooperativen Grundwasserschutz trotz der nicht zahlenmäßig zu beziffernden Erfolge unbestritten. Es ist erwiesen, dass die Akzeptanz in einem Wirkungszusammenhang mit der Verminderung von Grundwasserbelastungen steht.

Ergebnisse

Die Akzeptanz der Wasserschutzzusatzberatung und der Flächenmaßnahmen sind für den Grundwasserschutz Erfolg von entscheidender Bedeutung.

Indikatoren für die Akzeptanz und die Wirksamkeit des Beratungs- und Maßnahmenangebots sind

- die Beteiligung an Beratungsangeboten
- der Deckungsgrad der Flächenmaßnahmen und
- grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsänderungen.

Aufbauend auf diesen Effekten können mittelfristig auch über stofflich-kalkulatorische und -analytische Indikatoren messbare Erfolge festgestellt werden.

Die Etablierung einer Wasserschutzzusatzberatung ist die entscheidende Basis für die Zusammenarbeit von Wasserwirtschaft und Landwirtschaft bei der Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen. Die WZB ist maßgeblich an der Entwicklung des indirekten Erfolgs beteiligt auf dem der Erfolg im Grundwasser beruht.

Die Wirkungsweise der indirekten Indikatoren kann auch auf die Maßnahmenkulisse Nitratreduktion der EG-WRRL übertragen werden. Auch dort sind die Bewusstseinsänderung und die Akzeptanz aufgrund der Zielvorgaben der EU wichtige Voraussetzungen.

2.7.2 Das Zonenmodell als Grundlage für die Methoden der Erfolgskontrolle

Einleitung

Das Zonenmodell nach DRECHSLER (1992) beschreibt den Weg des Wassers von der Bodenoberfläche bis zum oberen Grundwasserleiter (Aquifer). Im Zonenmodell wird schematisch davon ausgegangen, dass der Stofftransport im Wesentlichen in vertikaler Richtung verläuft. Das Rückhaltevermögen des Bodens wird nicht berücksichtigt. In der Praxis kann man nicht davon ausgehen, dass die Fließwege des Wassers homogen dem Zonenmodell entsprechen.

Das Zonenmodell ist dennoch eine gute fachliche Grundlage für die systematische Beschreibung der zur Erfassung des Stoffzustands eingesetzten Methoden. Das Konzept zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen sollte möglichst alle Ebenen des Zonenmodells erfassen, um eine möglichst lückenlose Erfolgsbewertung des Fließwegs in den folgenden Ebenen zu erhalten:

- Betrieb / Bodenoberfläche
- Wurzelzone
- Sickerwasser-Dränzone
- Grundwasseroberfläche
- obere Grundwasserzone
- Dränagen und Oberflächengewässer.

Die Ebenen des Zonenmodells werden nachfolgend erläutert. Im dem Kapitel folgenden Schema (s. Tab. 56) sind die methodischen Anforderungen zur Erfassung des Stoffzustands, die der Wassertropfen auf dem Weg zum Grundwasserleiter passiert, zusammengefasst.

Ebenen des Zonenmodells

Betrieb / Bodenoberfläche

Die Bodenoberfläche kann als Schnittstelle zwischen der Flächennutzung und dem Stoffhaushalt des Bodens bezeichnet werden. Der Nährstoffaustrag aus landwirtschaftlich genutzten Böden ist abhängig von der Intensität der Bodennutzung sowie der Nährstoffzu- und -abfuhr. Als methodische Ansätze zur Bewertung der Nährstoffströme aus der Landwirtschaft werden betriebliche und flächenbezogene Bilanzen verwendet. Die Methoden zur Nährstoffbilanzierung sind im Kapitel 2.7.3 beschrieben.

Der Bereich von der Bodenzone bis zur Grundwasseroberfläche ist nicht vollständig mit Wasser gesättigt, man spricht auch von der ungesättigten Zone. Diese wird in Wurzelzone und Sickerwasser-Dränzone unterteilt.

Wurzelzone

Als Wurzelzone wird der Bereich von der Bodenoberfläche bis zur tiefsten Lage der Bodenwasserscheide bezeichnet. In diesem Tiefenbereich kommt es im Sommer aufgrund des Wasserentzugs der Pflanzen und durch Verdunstung zu einer Aufwärtsbewegung des Wassers. Im Winter ist die Wasserbewegung überwiegend abwärts gerichtet. Zur Untersuchung des Stickstoffs in der Wurzelzone eignet sich die N_{\min} -Untersuchung besonders. Der Herbst- N_{\min} -Wert gibt die verlagerbare N-Menge vor Beginn der winterlichen Auswaschung an (s. Kap. 2.7.4).

Sickerwasser-Dränzone

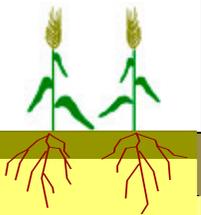
Unterhalb der Wurzelzone schließt sich die Sickerwasser-Dränzone an, in der die Wasserbewegung tendenziell ganzjährig abwärts erfolgt. Sie reicht bis zur Grundwasseroberfläche. Das Sickerwasser ist in der Regel nicht mehr pflanzenverfügbar. Das im Sickerwasser enthaltene Nitrat fließt dem Grundwasser zu, sofern es nicht durch biochemische Vorgänge (z. B. Denitrifikation) abgebaut wird. Das Sickerwasser ist damit der Teil des Bodenwassers, der zur Grundwasserneubildung führt und für den noch ein Bezug zur untersuchten landwirtschaftlichen Fläche besteht. Die stoffliche Belastung des Sickerwassers ist ein wichtiges Kriterium für die Abschätzung der Grundwasserschutzpriorität nach dem niedersächsischen Prioritätenprogramm (MU 2007b). Als Methoden zur Ermittlung der Sickerwasserbelastung in der Dränzone werden vor allem Nitrat-Tiefenprofile (s. Kap. 2.7.5.2) verwendet. Teilweise werden Lysimeter und Saugkerzen (s. Kap. 2.7.5.1) genutzt.

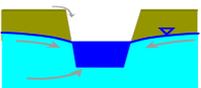
Grundwasseroberfläche (GWOF)

Die Grundwasseroberfläche wird als eigenständige Zone betrachtet, weil in diesem Bereich noch ein Bezug des Grundwassers zum Entnahmeort möglich ist, der innerhalb des Grundwasserleiters aufgrund der Strömung nicht mehr gegeben ist. Mit dem Erreichen der GWOF spricht man von der gesättigten Zone. Die Beprobung der GWOF (Tiefenbereich bis ca. 30 cm des Grundwassers) erfolgt oft mit Sauglanzen (s. Kap. 2.7.6.1). Eine Beprobung ist aber auch mit dem Direct-Push-Verfahren möglich.

Tab. 56:
Zonenmodell mit Methoden zur Erfassung des Stoffzustands für den Grundwasserschutz

Zonenmodell mit Methoden zur Erfassung des Stoffzustands für den Grundwasserschutz

Zonen	Nutzungsbezug und Potenzial für Erfolgskontrolle	Methoden	Ergebnis und Aussagewert	Zeitliche Zuordnung	Anforderungen und Einsatzbereiche in der Praxis
Betrieb/Bodenoberfläche  Wurzelzone Sickerwasser-Dränzone Grundwasser-oberfläche		Nährstoffbilanzen - Schlagbilanzen - Hoftorbilanzen - Feld-Stall-Bilanzen	- Nährstoffüberschuss - Betriebs-/Schlagebene - nach Anbaufrüchten - Nährstoffeffizienz (Abgleich Ist-Sollwert) - potenzielle Auswaschung, Frucht	- Frucht - Jahr - Mehrjahreszeitraum/ Fruchtfolge	- Alle landwirtschaftlich genutzten Standorte - Vor allem für prioritäre Betriebe/Modellbetriebe - Wichtig: Plausibilitätsprüfung der Datenbasis - Zur Bewertung der Salden Vorfruchteffekte und Witterungsverlauf berücksichtigen
		Herbst-N _{min}	- Mineralstickstoff bis 90 cm - auswaschungsgefährdeter Stickstoff	- Mehrjahreszeitraum/ Fruchtfolge - Aktuelles Anbaujahr	- Lockergestein, aber nicht bei leichten Böden - Beprobung abhängig vom Erreichen der Feldkapazität des Bodens (Sättigung) und dem Witterungsverlauf - Bei frühzeitiger Versickerung nur eingeschränkt nutzbar - Maßnahmen- und Gebietsmonitoring
		Tiefenprofile mit schichtweiser Probenahme	Vertikaler Tiefenverlauf der Stoffgehalte, z. B. Nitratkonzentration im Sickerwasser	- -mehrere zurückliegende Anbaujahre	- Lockergestein - Insbesondere auf repräsentativen Standorten - GW-Flurabstand > 1,5 m - Vertiefendes gebietsbezogenes (Maßnahmen)monitoring (aufwändig) - Standortbezogene Sonderfragen
		Saugkerzen und Unterflur-Lysimeter	Qualitätskontrolle der jüngsten GW-Neubildung	- -mehrere Termine in der Auswaschungsperiode	- Flachgründige, möglichst homogene (Versuchs-) Standorte - Bei Lysimetern keine ungestörte Probenahme möglich - sehr aufwendig
		Sauglanze	Qualitätskontrolle der jüngsten GW-Neubildung, z. B. ausgewaschene Nitratkonzentration	GW-Neubildung eines Jahres bis mehrerer Jahre	- Lockergestein (sandige bis schluffige Schichten) - GW-Flurabstand < 4 m

Grundwasserzone	Teilgebietsbezogener und standörtlicher Nutzungseinfluss ↓	Teilgebietsbezogene Erfolgskontrolle X	GW-Messstellenuntersuchung (bei Multilevel-Messstellen tiefenabgestuft)	<ul style="list-style-type: none"> - Qualitätskontrolle des Grundwassers unter Beachtung von Stoffumsetzungsprozessen (z. B. Nitratabbau) - Vorfeldkontrolle des Grundwassers im Anstrom zur Förderung 	<ul style="list-style-type: none"> - Mehrere Untersuchungen/Jahr bis mehrjährig für Zeitreihen/Trendermittlung - Verzögerung zwischen Maßnahme und Wirkungseintritt im Grundwasser berücksichtigen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kenntnis der Filterlage - Zur Auswertung Kenntnis der GW-Strömungsverhältnisse - Nutzung repräsentativer GW-Messstellen zur Bewertung des Maßnahmen Erfolgs teil- und gesamtgebietlich - Für Auswertung ist Kenntnis der GW-Strömungsverhältnisse erforderlich
			Altersbestimmung des Grundwassers (z. B. Helium/Tritium-Methode)	<ul style="list-style-type: none"> - Tiefenabhängige Mischprobe des GW-Leiters (=Grundwasseralter des Mischwassers) 	<ul style="list-style-type: none"> - Alter des Grundwassers (mittlere Verweilzeit) - Kenntnis über Verzögerung zwischen Maßnahmenumsetzung und -erfolg 	<ul style="list-style-type: none"> - Messstellen im GW-Zu- und abstrom des Zielgebiets auswählen - Kenntnis des Einzugsgebiets und der Verweilzeit des Sickerwassers in der Dränzone als zusätzliche Information zur Erfolgsbewertung
			-GW-Untersuchung zur Ermittlung des N ₂ -Überschusses (z. B. N ₂ /Ar-Methode) Ggf. tiefenabgestufte Probenahme	<ul style="list-style-type: none"> - Rückschluss auf ursprüngliche Nitratkonzentration im Grundwasser - N₂-Überschuss im Grundwasser bei nitratreduzierenden Verhältnissen (Denitrifikation) 	<ul style="list-style-type: none"> - Einzeljahre - Mehrere Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> - In Gebieten mit Stickstoff reduzierenden Verhältnissen
			Rohwasseruntersuchung	Qualitätskontrolle der Wasserförderung	<ul style="list-style-type: none"> - Gemäß wasserrechtlicher Vorgabe (mehrere Untersuchungen/Jahr bis mehrjährig) - Trendermittlung 	<ul style="list-style-type: none"> - Beachtung der Bedingungen bei Förderung aus mehreren Brunnen bzw. mehreren GW-Stockwerken - Bewertung von gebietsbezogenen Maßnahmeneffekten mittel- bis langfristig
Gesamtaquifer		↓	GW-Strömungsmodelle zum Stofftransport	<ul style="list-style-type: none"> - Abbildung der Grundwasser- und Stoffströme im Aquifer - Maßnahmen szenarien - Trendermittlung und -prognose 	<ul style="list-style-type: none"> - Festgelegte (definierte) Zeiträume 	<ul style="list-style-type: none"> - Planungsinstrument zur Prioritätensetzung in Betrachtungsräumen und zur Erfolgs- und Effizienzkontrolle - Abhängig von der Qualität der Datengrundlage
Dränagen+ Oberflächen-gewässer 	Flächen- und teilgebietsbezogene Erfolgskontrolle		Dränagen- und Oberflächengewässer (OW)-Beprobung	<ul style="list-style-type: none"> - Anhaltspunkt für Qualität der GW-Neubildung - N-Austrag ins Grundwasser über Abschwemmung oder Infiltration 	<ul style="list-style-type: none"> - Mehrere Proben/Jahr - Gemäß Witterungsverlauf über mehrerer Sickerwasserperioden 	<ul style="list-style-type: none"> - Kenntnis des Dränagen-/ Vorflutersystems bzw. der Infiltrationsbereiche im Oberflächengewässer - P-Einträge in Oberflächengewässer von Bedeutung bei Abschwemmung/ Erosion

Obere Grundwasserzone

Durch die Strömungsverhältnisse innerhalb des Grundwasserleiters sowie mit zunehmender Tiefe ist eine flächenscharfe Zuordnung von stofflichen Belastungen nicht mehr möglich. Ein entscheidender Einflussfaktor auf den stofflichen Zustand des Grundwassers kann auch hier der Nitratabbau (Denitrifikation) sein. Aufgrund hydrochemischer Abbauvorgänge kann die Nitratkonzentration im Grundwasser nicht mit dem üblichen Untersuchungsverfahren ermittelt werden. Ein in den letzten Jahren erprobtes Verfahren zur Ermittlung der Nitratkonzentration im Grundwasserleiter ist die N_2/Ar -Methode. Sie wird in Kapitel 2.7.9 beschrieben. Die zeitliche Verzögerung zwischen der Durchführung von Grundwasserschutzmaßnahmen und der Wirkung im Grundwasser ist abhängig von den hydraulischen Verhältnissen (z. B. Grundwasserstand, Strömungsverhältnisse). Da in der gesättigten Zone nur eine geringe vertikale Durchmischung des Grundwassers stattfindet, nimmt mit der Tiefe das Grundwasseralter (s. Kap. 2.7.6.3) zu. Kenntnisse über das Grundwasseralter erleichtern die Bewertung der Untersuchungsergebnisse.

Die Beprobung der Grundwasseroberfläche bzw. der oberen Grundwasserzone ist besonders geeignet für die Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen. Bei der landesweiten Datenerfassung im niedersächsischen DIWA-Shuttle werden Messstellen mit Verfilterung bis max. fünf Meter unter GWOF und solche mit einer Verfilterung von fünf bis 20 Metern unter GWOF differenziert, während tiefer verfilterte nicht berücksichtigt werden (NLWKN 2012c).

Meistens werden für die Untersuchung der oberen Grundwasserzone flach verfilterte Einzelmessstellen verwendet. Zur Beprobung werden auch Mehrfach- (Multilevel)-Messstellen genutzt.

Unerlässlich für die Nutzung von Grundwassermessstellen für die Erfolgskontrolle ist die Kenntnis der Ausbaudaten. Für die räumliche Zuordnung der Untersuchungsergebnisse zur Flächenbewirtschaftung und den Grundwasserschutzmaßnahmen ist eine möglichst genaue Kenntnis des Anstrombereichs der Messstelle erforderlich. Wechselnde Strömungsverhältnisse sollten durch Grundwassergleichenpläne für verschiedene Stichtage (Hoch- und Niedrigstand) dokumentiert werden.

In Gebieten, in denen keine repräsentativen Grundwassermessstellen zur Verfügung stehen, werden zunehmend Grundwassersondierungen im Direct-Push-Verfahren angewendet. Mit diesem Verfahren können ähnlich wie bei Tiefenprofilen direkte flächen- und tiefenbezogene Grundwasserproben entnommen werden (s. Kap. 2.7.6.2).

Grundwasserleiter

Die Untersuchung des Rohwassers aus den Förderbrunnen ist der Zielpunkt der Erfolgskontrolle. Für das abgegrenzte Trinkwassergewinnungsgebiet (TGG) soll auf die im Rahmen eines Schutzkonzepts durch die Maßnahmenumsetzung erzielten Erfolge rückgeschlossen bzw. die Entwicklung z. B. der Nitratkonzentration beobachtet werden. Meist ist eine Verbesserung der Rohwasserqualität aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse und der Fließzeit des Grundwassers erst mittel- bis langfristig zu erwarten, so dass eine hohe Kontinuität bei der Durchführung von Grundwasserschutzmaßnahmen erforderlich ist.

Wird aus mehreren Brunnen im TGG Rohwasser gefördert, kann es zu einer Durchmischung des Rohwassers kommen, das die direkte Zuordnung zu einzelnen Brunnen-Zuflussbereichen erschwert. Wird zur Förderung von Rohwasser der zweite oder dritte Grundwasserleiter genutzt, ist eine Erfolgsbewertung von Grundwasserschutzmaßnahmen ebenfalls schwierig. Hier können Informationen zum Grundwasseralter und zu den hydraulischen Verhältnissen im TGG hilfreich sein.

Dränagen und Oberflächengewässer

Dränagen und Oberflächengewässer können nicht direkt dem Fließschema des Zonenmodells zugeordnet werden. Dränagen führen neugebildetes Grundwasser (gegebenfalls auch Stauwasser) ab und können ergänzend zur Sickerwasser-Dränzone beprobt werden. Durch die Kenntnis des Dränagesystems ist gegebenenfalls für Einzelflächen eine Aussage zum Stoffeintrag in das Oberflächengewässer möglich. Oberflächengewässer nehmen das Dränagewasser auf. Untersuchungen zur Erfolgskontrolle können von Bedeutung sein, wenn bestimmte Bereiche in das Grundwasser infiltrieren (s. Kap. 2.7.8).

Die stofflichen Belastungen der Dränagen und Oberflächengewässer können auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung und den Boden- und Stoffabtrag von erosionsgefährdeten Flächen hinweisen.

Dränage- und Oberflächenwasser-Analysewerte sind sehr vom jährlichen Witterungsverlauf abhängig. Deshalb sollten die Ergebnisse erst nach mehrjährigen Untersuchungen zur Bewertung des Stofftransports im TGG mit Bezug zur Maßnahmenumsetzung verwendet werden.

2.7.3 Nährstoffbilanzierung

Ein wichtiges Instrument zur Beurteilung einer grundwasserschonenden Landbewirtschaftung ist die Nährstoffbilanzierung. Dabei werden die zu- und abgeführten Nährstoffmengen einer definierten Bezugsebene (gesamter landwirtschaftliche Betrieb, Einzelschlag) meist für ein Jahr oder einen Mehrjahreszeitraum gegenüber gestellt:

$$\begin{array}{r} \text{Nährstoffzufuhr} \\ - \text{Nährstoffabfuhr} \\ \hline = \text{Nährstoffsaldo} \end{array}$$

Nährstoffbilanzen können für unterschiedlichste Betrachtungsebenen berechnet werden. Auf Grundlage von Daten der Agrarstatistik, InVeKoS-Daten und anderen Quellen werden Bilanzen auf Gemeinde- bis Bundesebene oder auch für Flussgebiete aufgestellt (FREDE et al. 1995, BACH et al. 1998, NIEDER et al. 2007, OSTERBURG & SCHMIDT 2008). Überregionale Nährstoffbilanzen bilden auch die Basis zur Emissionserkundung im Rahmen der Bestandsaufnahme zur EG-WRRRL in Niedersachsen (SCHÄFER et al. 2007). Sie sind Grundlage der Ermittlung der Nitratkonzentration im Sickerwasser im Rahmen des niedersächsischen Prioritätenprogramms Trinkwasserschutz (MU 2007b).

Durch die aktuelle Düngeverordnung (DüV, BMELV 2007) wird ein jährlicher betrieblicher Nährstoffvergleich (Synonym: Nährstoff-Flächenbilanz) für Stickstoff und Phosphor gefordert, der wahlweise als Feld-Stall-Bilanz oder als aggregierte Flächenbilanz ausgeführt werden kann. Als weiterer Grundnährstoff wird häufig auch Kalium in der Nährstoffbilanz dargestellt.

In der WZB werden Nährstoffbilanzen auf Einzelschlag- oder Betriebsebene erstellt und je nach Fragestellung gegebenenfalls aggregiert. Die atmosphärische N-Deposition und die Denitrifikation werden (im Unterschied zu vielen überregionalen Bilanzierungsverfahren) nicht berücksichtigt, da sie nicht vom Landwirt beeinflussbar sind.

In der Feld-Stall-Bilanz ist entsprechend den Vorgaben der DüV der Abzug gasförmiger N-Verluste bei Tierhaltung vorgesehen. Auch bei den Hoftorbilanzen werden gasförmige Verluste meist noch abgezogen, man spricht von einer Netto-Bilanz. Auch wenn durch die WZB bereits umfangreiche Zeitreihen zu den Hoftor-Nettobilanzen vorliegen, sollte zukünftig entsprechend den Empfehlungen des VDLUFA (2010) die Erstellung von Bruttobilanzen im

Rahmen der WZB angestrebt werden. Es ist zu berücksichtigen, dass die Ammoniak-Ausgasung zu Belastungen angrenzender Ökosysteme führt und deshalb nicht als überschussmindernd bewertet werden sollte.

Das Ergebnis der Nährstoffbilanzierung ist der Nährstoffsaldo, der in kg Nährstoff je Hektar angegeben wird. Dieser dokumentiert den nach Abfuhr der Erzeugnisse verbleibenden Nährstoffeintrag in die Umweltmedien Wasser, Boden und Luft. Nährstoffbilanzen dienen sowohl als Grundlage zur Optimierung des betrieblichen Nährstoffmanagements, als auch zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen (WZB und FV//landwirtschaftliche Agrarumweltmaßnahmen).

Biogasanlagen sollten immer als eigenständige Betriebe betrachtet werden. Sie werden meist ohne Anbaufläche geführt und sollten eine ausgeglichene Bilanz haben. Beim Zulieferer erscheint die Substratabgabe an die Biogasanlage als Erntegut- und gegebenenfalls Wirtschaftsdüngerexport. Beim Abnehmer werden die Gärreste als Wirtschaftsdüngerimport angerechnet.

Die Qualität der Eingangsdaten von Nährstoffbilanzen bestimmt die Zuverlässigkeit der Ergebnisse. Die Belegbarkeit der Eingangsdaten kann folgendermaßen kategorisiert werden:

belegt	= Kauf- und Verkaufsbelege, Naturalregister der Buchführung
berechnet	= feststehende nachvollziehbare Berechnungsverfahren oder amtliche Faustzahlen und Richtwerte der Nährstoffgehalte
aufgezeichnet	= eigene Datenerfassung des Landwirts (z. B. Ackerschlagkartei)
geschätzt	= z. B. Futtererträge, Einsatzmengen von Wirtschaftsdüngern

(nach KOLBE & KÖHLER (2008))

In den folgenden Kapiteln 2.7.3.1 bis 2.7.3.3 wird die Anwendung der Bilanzierungsformen Hoftorbilanz, Feld-Stall-Bilanz und Schlagbilanz in Bezug auf den für den Grundwasserschutz besonders relevanten Nährstoff „Stickstoff“ erläutert.

2.7.3.1 Hoftorbilanz

Kurzcharakteristik

Bei der HTB wird die gesamte Nährstoffzufuhr zu einem Betrieb der Nährstoffabfuhr aus dem Betrieb gegenübergestellt. Innerbetriebliche Nährstoffströme, wie der Futterbau zur Eigenverwertung oder die Ausbringung betriebs-eigener Wirtschaftsdünger, werden nicht berücksichtigt.

Die Aufstellung der HTB stützt sich auf den Naturalbericht der betriebswirtschaftlichen Buchführung bzw. bei steuerlichen Schätzungslandwirten auf die Kontoführung mit dem Landhandel. HTB weisen damit von allen Bilanztypen die größte Prüffähigkeit auf.

Abbildung 137 zeigt die Zu- und Abfuhr-Parameter der HTB. Die belegbaren Nährstoffströme sind grün hinterlegt. Nur die symbiotische N-Bindung (bei Leguminosen) wird auf Basis von Faustzahlen berechnet.

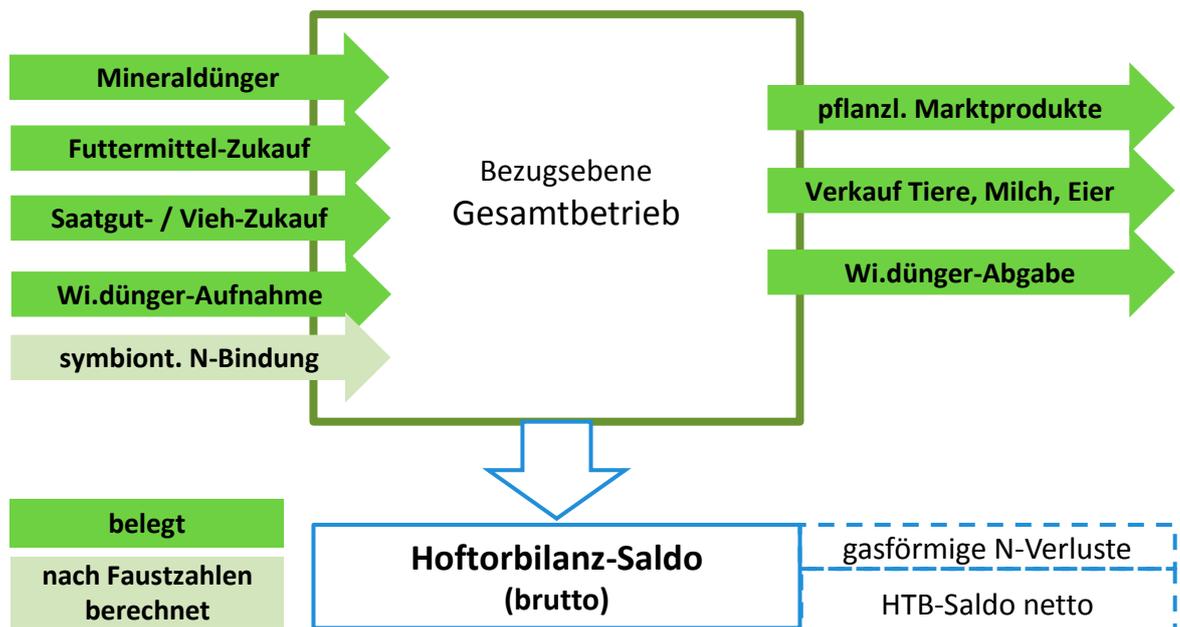


Abb. 137:
Schema der
Hoftorbilanz
(IGLU)

Brutto- und Nettobilanz

Bei viehhaltenden Betrieben werden in der FSB gemäß DüV in Abhängigkeit von Viehzahlen und Stall- sowie Weidetagen gasförmige Stickstoffverluste angerechnet (BMELV 2007).

Werden diese Verluste in der HTB angerechnet, spricht man von einer Hoftor-Nettobilanz. Ein Vergleich mit der FSB ist somit möglich. Die Hoftor-Nettobilanz gibt den Saldo an, der theoretisch mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden kann.

Bei der Nettobilanz bleibt unberücksichtigt, dass die Ammoniakverluste an anderer Stelle (z. B. in Wäldern) durch trockene und nasse Deposition wieder den Boden erreichen und umweltschädigend wirken. Nachteilig auf eine Zeitreihenbewertung wirken sich die Anpassungen der Berechnungsmethoden nach DüV aus. Bei der Bilanzierung sollten auch die erhöhten

Anstrengungen zur Minderung der NH_3 -Emissionen aus der Landwirtschaft beachtet werden. Zum Teil liegen die gasförmigen Verluste deutlich unter den Pauschalwerten.

Wird in der WZB mit Netto-N-Bilanzsalden gerechnet, sollten zusätzlich die angerechneten gasförmigen Verluste angegeben werden, damit der Brutto-N-Saldo daraus abgeleitet werden kann.

Die Ausweisung der Brutto-N-Salden wird in gängigen Publikationen empfohlen (VDLUFA 2010) oder als Standard beschrieben (BAUMGÄRTEL et al. 2007, DVGW 2004). Der Verzicht auf die Berechnung gasförmiger Verluste vereinfacht die Bilanzberechnung, da außer dem Zu- und Verkauf von Vieh keine Viehhaltungsdaten erfasst werden müssen. Da Stall- und Weidetage schwer überprüfbar sind, ist die Hoftor-Bruttobilanz prüffähiger, als die Hoftor-Nettobilanz.

Durchführung

Datenquellen

Die HTB kann weitestgehend auf der Basis von Buchführungsdaten erstellt werden. Details zu den Datengrundlagen der einzelnen Bilanzglieder sind in Tabelle 57 dargestellt.

Wirtschaftsjahr – Anbaujahr – Zuordnung

Zur Erstellung von HTB werden die Unterlagen der landwirtschaftlichen Buchführung herangezogen. Da das landwirtschaftliche Buchführungsjahr in der Regel vom 01.07. bis zum 30.06. des Folgejahres geht, beziehen sich die darin verbuchten Düngemittel-Zukäufe auf das Anbaujahr, dessen Ernteprodukte erst im folgenden Buchabschluss erscheinen. Deshalb ist eine wirtschaftsjahrbezogene HTB nur eingeschränkt aussagekräftig.

Für eine anbaujahrbezogene HTB müssen die Buchabschlüsse von zwei aufeinanderfolgenden Wirtschaftsjahren berücksichtigt werden (z. B. für das Anbaujahr 2014 der Abschluss 01.07.2013 bis 30.06.2014 und der Abschluss 01.07.2014 bis 30.06.2015). In der Anbaujahrbilanz werden dann die Zufuhrmengen des ersten Wirtschaftsjahres den Ernteabfuhr zugeordnet, die im zweiten Wirtschaftsjahr verbucht wurden. Wegen der jahresübergreifenden Buchführungsdatenübernahme ist die Bilanzierung für Einzeljahre deutlich aufwändiger, als für zusammenhängende Zeitreihen.

Lagerhaltung im Naturalbericht

Die Unterlagen der Buchführung beinhalten Belege über Zu- und Verkäufe. Mit Hilfe des Naturalregisters lassen

sich Veränderungen bei den Tierbeständen und Hofvorräten erkennen. Hierdurch wird es möglich, die Nährstoffimporte und -exporte erst mit dem Zeitpunkt ihres Gebrauchs (Düngung oder Verfütterung) oder bereits mit der Ernte anzurechnen.

Zuordnung der Nährstoffgehalte

Wenn Düngemittel und Futtermittelbuchungen keine eindeutige Zuordnung der Nährstoffgehalte zulassen (ungenau Bezeichnungen, Sammelbuchungen), müssen Einzelnachweise des Landhandels oder auch Angaben des Landwirts hinzugezogen werden.

Bezüglich der Nährstoffgehalte von Erntegut und Wirtschaftsdünger sind eigene Analysen des Landwirts bzw. Analysen, die im Rahmen der Beratung durchgeführt wurden, vorrangig vor Faustzahlen zu verwenden. Analyseergebnisse von Lieferanten und Abnehmern können ebenfalls einbezogen werden.

Faustzahlen zu den Nährstoffgehalten von Düngemitteln, Futter sowie Haupt- und Nebenernteprodukten sind den aktuellen Tabellen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zu entnehmen.

Flächenbezug

Der Bilanzsaldo wird in kg N/ha angegeben. Dabei ist die Bilanzfläche des Betriebs die tatsächlich genutzte landwirtschaftliche Fläche. Flächen, die nicht der Erzeugung dienen (Brachen, Stilllegungs-, Hof-, Wegeflächen), werden nicht berücksichtigt.

Tab. 57: Datengrundlage der Hoftor-Bruttobilanz

Bilanzglieder	Datengrundlage zur Erfassung der ...	
	Gesamtmenge	Nährstoffgehalte
Nährstoffzufuhr durch ...		
Mineraldünger	Naturalbericht der Buchführung ersatzweise: Kontoführung mit Lieferanten	Düngemittelverordnung / Herstellerangaben
Zukauf von Futtermitteln		Angaben des Lieferanten / Faustzahlen
Import von organischen Düngern		eigene Analysen oder Faustzahlen Angaben des Lieferanten
Zukauf von Saatgut		Faustzahlen
N-Bindung durch Leguminosen	eingesäte Flächen: Schlagkataster oder anhand Saatgutzukauf, N-Bindungsleistung: über Faustzahlen	
Nährstoffabfuhr durch ...		
pflanzliche Marktfrüchte	Naturalbericht und sonstige Aufzeichnungen	Analysen durch Abnehmer oder Faustzahlen
Nebenerntegut		Faustzahlen
tierische Produkte		Analysen durch Abnehmer (Milch) oder Faustzahlen (Fleisch, Eier)
Export von organischen Düngern		eigene Analysen oder Faustzahlen

Mögliche Fehlerquellen

Beispielhaft sind nachfolgend einzelne Fehlerquellen bei der Erstellung der HTB aufgeführt.

- Überprüfung der korrekten Datenübernahme: Es kann vorkommen, dass im Naturalbericht nicht zwischen Piamon (33 % N und 12 % S) und Piagran (46 % N) unterschieden wird.
- Überprüfung der Mengeneinheiten: In den unterschiedlichen Buchführungssystemen können Mengen in unterschiedlichen Einheiten angegeben werden (Angaben Tonne, Kubikmeter oder Dezitonne).
- Angabe Tieranzahl: Die Anzahl an Geflügel wird zum Teil einzeln oder in 100er angegeben. So kann die Nennung von 80 tatsächlich 80 Tieren oder 8.000 Tieren entsprechen.
- Berücksichtigung von Wirtschaftsdüngerzukaufen und -abgaben: Sie sind in der Regel nicht im Naturalbericht enthalten. Quittungen und Analysen sind gesondert heranzuziehen.

Plausibilitätsprüfung

Bei der Übernahme von Buchführungsdaten kann die Datenqualität zum Teil durch einfache Plausibilitätskriterien geprüft werden. Beispiele sind:

- Futtermittelzukäufe sind mit dem tatsächlichen Viehbestand abzugleichen. Im Naturalbericht kann ein Viehfutter angegeben sein, obwohl der Betrieb die dazugehörigen Tiere nicht hält. Hierbei handelt es sich in der Regel um Fehlbuchungen, die bereinigt werden müssen.
- Die Größenordnung der laut Naturalbericht verkauften Eier kann mit der Anzahl an Legehennen abgeglichen werden. Analog lässt sich die Größenordnung der Milch- und Futtermenge abschätzen.

Anwendungsbereiche

Aufgrund ihrer hohen Aussagekraft wird die HTB im Rahmen der WZB intensiv eingesetzt. Die Senkung der N-Überschüsse bietet auch für die landwirtschaftlichen Betriebe ein wirtschaftliches Verbesserungspotenzial und damit die Chance zu nachhaltigen Beratungserfolgen. Die HTB ist ein wichtiges Werkzeug dafür.

Prioritätensetzung der WZB

Für den Gewässerschutz ist die Erstellung von HTB vorrangig für prioritäre Betriebe mit einem hohen Flächenanteil im Beratungsgebiet sinnvoll. Für diese Betriebe gibt der HTB-Saldo einen Hinweis zum betriebspezifischen Beratungsbedarf. Dabei wird das im Sinne des Grund-

Tab. 58: Beispiel einer Auswertung der mittleren N-Salden aus Hoftorbilanzen, flächengewichtet aggregiert nach Betriebstypen für ein Kalenderjahr

Betriebstyp	Anzahl Betriebe	Flächenanteil (%)	N-Zufuhr [kg/ha]			N-Abfuhr [kg/ha]			N-Saldo (kg/ha)
			Min. Dünger	Futter + Tiere	Import org. N-Dünger	Pflanzliche Produkte	Tierische Produkte	Export N-Dünger	
Ackerbau <= 40 kg/ha N-Import	5	14	133		20	112			41
Ackerbau >= 40 kg/ha N-Import	4	16	100		55	109			46
Ackerbau-Futterbau	2	25	105	38	20	75	35		53
Ackerbau-Veredelung	3	24	82	60	17	49	53		57
Futterbau-Ackerbau	4	12	42	118		36	65	9	50
Futterbau-Veredelung	1	7	72	66			58		80
Futterbau	1	2	95	50			62		83
Gesamt	20	100 %	92	44	21	67	35	1	53

wasserschutzes erreichbare Niveau des Saldos teilweise durch den Betriebstyp (Veredelung, Futterbau, Marktfucht) vorbestimmt.

Erfolgskontrolle

Nährstoff-Bilanzsalden stellen ein Maß für die potenziellen Nährstoffeinträge in die Umwelt dar. Die HTB-Salden für Stickstoff und Phosphor werden als Belastungs- und Erfolgsindikatoren für landwirtschaftliche Emissionen und ihre Verminderung erfasst (NLWKN 2012c und 2014a).

Im Rahmen der Erfolgskontrolle im Trinkwasserschutz werden Betriebe berücksichtigt, deren landwirtschaftliche Nutzflächen zu mindestens 20 % im Trinkwassergewinnungsgebiet liegen (NLWKN 2014b). In der Regel werden für ein TGG dauerhaft Referenzbetriebe mit einem möglichst hohen Flächenanteil zugrunde gelegt, die die Bewirtschaftungsverhältnisse im Gebiet widerspiegeln (NLWKN 2012a). Dazu sollten die Betriebe nach Betriebstypen oder idealerweise nach dem Wirtschaftsdünger-Stickstoffeinsatz (pflanzlich + tierisch) gruppiert werden, da der erreichbare N-Saldo maßgeblich durch den Einsatz organischer Düngemittel beeinflusst wird. Für das Gebietsmonitoring werden die HTB-Ergebnisse zunächst innerhalb der festgelegten Gruppen aggregiert. Die Gruppen-Mittelwerte werden danach flächengewichtet zusammengefasst (s. Tab. 58).

Der Gesamterfolg der WZB in Kombination mit den Flächenmaßnahmen zeigt sich in der zeitlichen Entwicklung der HTB-Salden. Die Erfolgskontrolle von Einzelmaßnahmen ist dagegen durch HTB nur selten möglich.

Neben dem HTB-Saldo ist eine Betrachtung der einzelnen Bilanzglieder lohnend. Die Entwicklung des Minereraldünger-Stickstoffeinsatzes kann als Erfolgsindikator

für die Düngeberatung herangezogen werden (NLWKN 2011c). Dabei erfolgt die Auswertung in Abhängigkeit vom Viehbesatz oder dem Wirtschaftsdünger-Stickstoffeinsatz.

Eignungsbewertung

Die Hoftorbilanz liefert belastbare Aussagen zum Nährstoffmanagement landwirtschaftlicher Betriebe. Werden Netto-Hoftorbilanzen erstellt, sollten die gasförmigen Verluste aus der Tierhaltung separat ausgewiesen werden, um eine Bruttobilanz zu ermöglichen.

Die Hoftorbilanz wird aufgrund ihrer hohen Aussagekraft im Rahmen der Wasserschutzzusatzberatung vorzugsweise genutzt für:

- die objektive Darstellung von Nährstoffüberschüssen,
- eine zielgerichtete betriebliche Prioritätensetzung für Beratungsmaßnahmen,
- eine prüffähige Erfolgskontrolle landwirtschaftlicher Agrarumweltmaßnahmen und der Wasserschutzzusatzberatung (im Mehrjahresvergleich).

Neben den Hoftorbilanz-Salden bieten auch die darin verrechneten Eingangswerte, z. B. des Minereraldüngerzukaufs, wertvolle Möglichkeiten für Auswertungen zur Zustandsbeschreibung und Erfolgskontrolle.

Neben Stickstoff werden Hoftorbilanzen auch für den Parameter Phosphor ausgewertet (NLWKN 2014a).

2.7.3.2 Feld-Stall-Bilanz

Kurzcharakteristik

Die FSB oder Flächenbilanz für den Gesamtbetrieb ist eine Bilanzierungsmethode, die den Vorgaben der aktuellen Düngeverordnung (DüV, BMELV 2007) zur Erstellung des Nährstoffvergleichs entspricht. Die Bezugsebene ist die Anbaufläche des landwirtschaftlichen Betriebs. Der Nährstofffluss zu und von der Anbaufläche wird bilanziert.

Bei der FSB werden neben den buchmäßig belegten Daten gegenüber der HTB mehr berechnete Werte und Schätzwerte verwendet (s. Abb. 138). Damit sind größere Fehleinschätzungen als bei der HTB bezüglich der Bewertung der betrieblichen Nährstoffflüsse möglich.

Durchführung

Umsetzung der Düngeverordnung (DüV)

Gemäß DüV § 5 sind alle landwirtschaftlichen Betriebe ab 10 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche zur jährlichen Erstellung eines Nährstoffvergleichs als FSB oder aggregierte Schlagbilanz verpflichtet. Die Nährstoffvergleiche müssen zu einem mehrjährigen Nährstoffvergleich zusammengefasst werden, der für Stickstoff das dreijährige Mittel und für Phosphat das sechsjährige Mittel der Vorjahre ausweist.

Eingangsparameter

Die Eingangsparameter sind in Abbildung 138 entsprechend der Konzeption der FSB als Nährstoffbilanz für die betriebliche Anbaufläche dargestellt. Die Wirtschaftsdün-

gerabgabe und gasförmige (NH₃) Verluste der Tierhaltung reduzieren die Nährstoffmengen, die auf die Fläche gelangen. Sie sind deshalb der Zufuhrseite zugeordnet und nicht der Abfuhrseite.

Datengrundlage

In Tabelle 59 sind die Bilanzglieder der N-Zu- und Abfuhrn gruppiert und mit Angaben zur Datengrundlage versehen. Die Qualität/ Herkunft der Eingangsdaten ist mit entsprechender Farbgebung in Abbildung 138 dargestellt.

Plausibilitätsprüfung

Die Plausibilitätsprüfung der Zufuhr-Daten, die der Buchführung entnommen werden können, erfolgt anhand der gleichen Kriterien wie bei der Hoftorbilanz. In Kapitel 2.7.3.1 (Hoftorbilanzen) sind Beispiele zur Plausibilitätsprüfung beschrieben.

Die Schätzung der Futter- und Grünlanderträge als Abfuhrdaten gilt als größte Unsicherheit der Feld-Stall-Bilanz. Eine Plausibilitätsprüfung ist hierbei nach dem Grundsatz „die Tiere können nicht mehr fressen, als sie ausscheiden“ möglich. Hierzu wird die Summe aus Futter-Zukauf und den geschätzten Futterbau- und Grünlanderträgen den nach Faustzahlen ermittelten Ausscheidungen gegenübergestellt. Sind die Ausscheidungen deutlich geringer, wurden die Erträge zu hoch geschätzt oder die Futterverwertung des Betriebs ist ineffizienter, als sie den Faustzahlen zugrunde liegt.

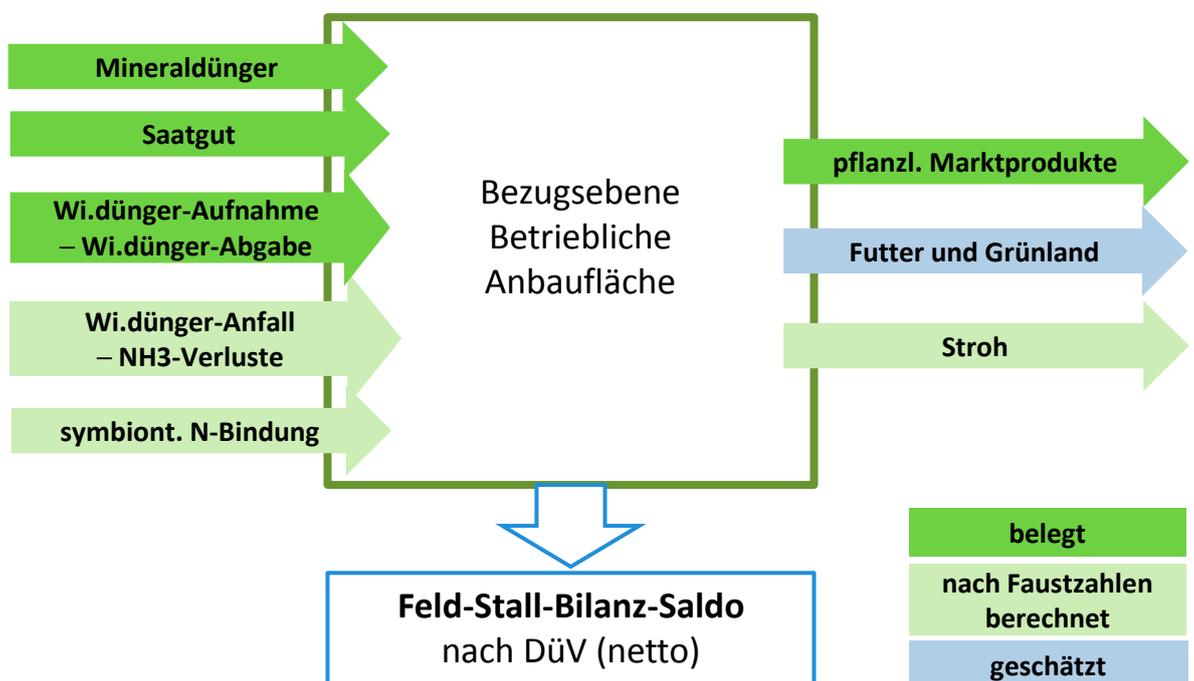


Abb. 138: Schema der Feld-Stall-Bilanz (IGLU)

Tab. 59: Datengrundlage der Bilanzglieder in der Feld-Stall-Bilanz (IGLU)

Bilanzglieder	Datengrundlage zu Erfassung der ...	
	Gesamtmenge	Nährstoffgehalte
Nährstoffzufuhr (+)		
Mineraldünger	Naturalbericht der Buchführung ersatzweise: Kontoführung mit Lieferanten	Düngemittelverordnung/Herstellerangaben
Zukauf Saatgut		Faustzahlen
Import von organischem Dünger		eigene Analysen oder Faustzahlen, Angaben des Lieferanten
Nährstoffausscheidungen betriebseigener Tiere	Faustzahlen multipliziert mit der Anzahl der Stallplätze und Stall- und/oder Weidetage	
N-Bindung durch Leguminosen	eingesäte Flächen: Schlagkataster oder Saatgutzukauf, N-Bindungsleistung: Faustzahlen	
Abzug von der Zufuhr (-)		
Export von organischen Düngern	Lieferschein gemäß Verbringungsverordnung (BMELV 2010c)	Faustzahlen, eigene Analysen oder Analysen des Abnehmers
NH ₃ -Verluste Wirtschaftsdünger	Pauschalwerte nach DüV 2007 (BMELV 2007)	Pauschalwerte nach DüV 2007 (BMELV 2007)
Nährstoffabfuhr (-) von der Anbaufläche		
pflanzliche Marktprodukte	Naturalbericht und sonstige Aufzeichnungen	Analysen durch Abnehmer oder Faustzahlen
Futter bzw. Grünlandertrag	Eigene Wiegung, geschätzt	Faustzahlen, eigene Analysen
Stroh, sonstiges	Faustzahlen	Faustzahlen, eigene Analysen

Anwendungsbereiche

Beratung

Im Unterschied zur HTB werden in der FSB die Nährstoffmengen beim Wirtschaftsdüngeranfall ausgewiesen. Durch den Überblick über die innerbetrieblichen Nährstoffströme ist die FSB ein geeignetes Hilfsmittel für die Optimierung der Nährstoffverwertung im landwirtschaftlichen Betrieb.

Erfolgskontrolle

Da FSB gemäß DüV von den meisten Betrieben aufgestellt werden müssen und somit in großem Umfang vorhanden sind, werden sie auch für Zwecke der Erfolgskontrolle erfasst und ausgewertet (NLWKN 2012c & 2014a), obwohl ihre Zuverlässigkeit bei viehhaltenden Betrieben deutlich geringer ist, als die der HTB.

Bei Betrieben ohne Viehhaltung sind FSB- und HTB-Saldo gleich, der FSB-Saldo kann dann ebenso für die Erfolgskontrolle genutzt werden. Die Mineral-N-Zufuhr als Teil der FSB kann generell analog zur HTB ausgewertet werden.

Eignungsbewertung

Da fast alle landwirtschaftlichen Betriebe durch die DüV zur Aufstellung von Feld-Stall-Bilanzen verpflichtet sind, sind weitergehende Auswertungen z. B. zur Bewertung des Mineraldüngereinsatzes möglich, wenn die Daten von den Betrieben zur Verfügung gestellt werden.

Zur Erfolgskontrolle und beim Gebietsmonitoring kann die FSB nicht so universell wie die Hoftorbilanz eingesetzt werden. Bei viehhaltenden Betrieben ist die Zuverlässigkeit gegenüber der Hoftorbilanz deutlich geringer. Informationen über die innerbetrieblichen Nährstoffströme viehhaltender Betriebe werden durch den nach Faustzahlen ermittelten Wirtschaftsdüngeranfall gegeben.

2.7.3.3 Schlagbilanz

Kurzcharakteristik

Schlagbilanzen werden für die kleinste Bezugsebene, den Schlag, erstellt. Wenn mehrere Schläge mit gleicher Standortsituation, Anbaufrucht und Vorfrucht zusammenhängend bewirtschaftet werden, kann die Schlagbilanz auch auf eine solche Bewirtschaftungseinheit bezogen werden. Grundsätzlich sollte die Einzelschlagbetrachtung immer vorgezogen werden, da sie die Grundlage für die Düngeplanung (s. Kap. 2.3.1.1) und Ackerschlagkarteiführung (s. Kap. 2.4.12) bildet.

Gemäß der aktuellen Düngeverordnung (DüV, BMELV 2007) können Landwirte den geforderten jährlichen Nährstoffvergleich für das abgelaufene Düngejahr alternativ zur Feld-Stall-Bilanz auch in Form einer aggregierten Schlagbilanz erstellen.

Die Schlagbilanz zeigt an, ob die vorangegangene Düngeplanung (s. Kap. 2.3.1.1) entsprechend den standörtlichen Verhältnissen realistisch geplant wurde.

Abbildung 139 zeigt die Bestandteile der Schlagbilanz mit Angaben zur Datenqualität.

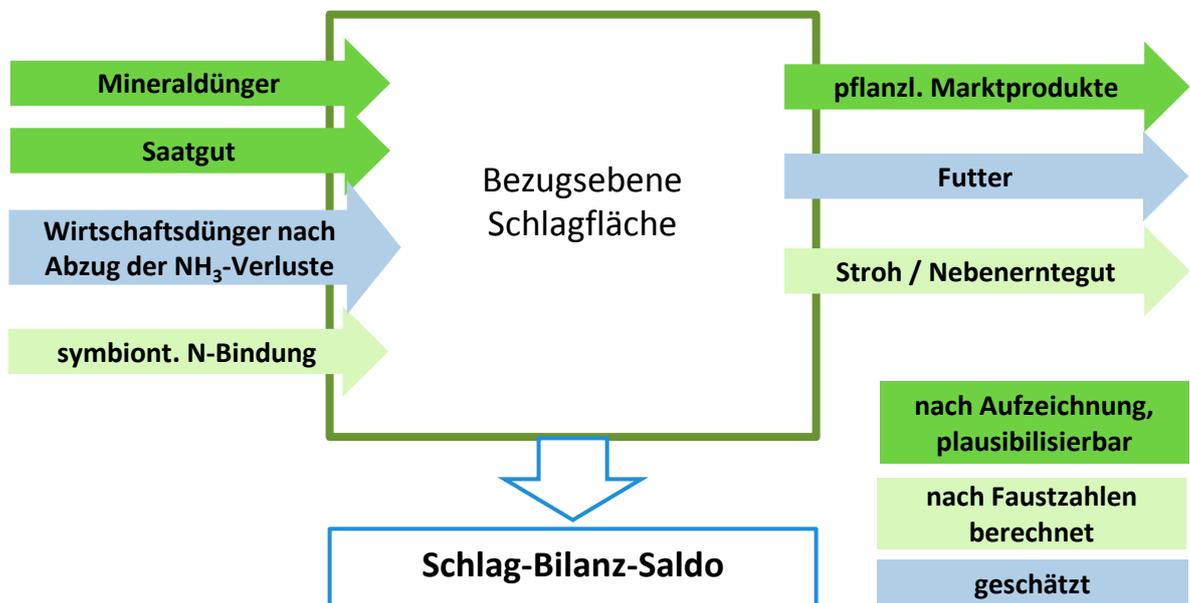


Abb. 139:
Schema der Nährstoffbilanzierung auf Schlagebene (IGLU)

Durchführung

Schlagkartei als Grundlage

Grundlage der Schlagbilanz sind die Schlagaufzeichnungen des Landwirts (s. Kap. 2.4.12). In der Regel werden Schlagkarteien geführt, in denen alle auf dem Schlag durchgeführten Tätigkeiten (z. B. Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Ernteerträge) detailliert und termingegenau dokumentiert werden.

Ganzjahresbezug

Die Schlagbilanz sollte für vollständige Anbaujahre erstellt werden. Eine mögliche Andüngung und Mahd/Beweidung von Zwischenfrüchten wird in der Bilanz der Folgefrucht berücksichtigt.

Bestimmungen der SchuVO

Für landwirtschaftliche Betriebe, die in Wasserschutzgebieten Flächen bewirtschaften, besteht nach der niedersächsischen Schutzgebietsverordnung (SchuVo, MU 2009) eine Aufzeichnungspflicht. Eine schlagbezogene Nährstoffbilanzierung ist jedoch nicht erforderlich. Neben der Aufzeichnung der tatsächlich durchgeführten Nährstoffzufuhr an Stickstoff und Phosphor sind der Nährstoffgehalt des Bodens (ermittelt gem. § 3 Abs. 3 DüV) und die Ertragserwartung der angebauten Kulturen schlagbezogen einzutragen (§ 3 SchuVO). Die Erfassung der tatsächlichen Erträge, die für die Bilanz benötigt werden, ist nicht verpflichtend.

Berechnungen nach Faustzahlen

Die symbiontische N-Bindung wird nach Faustzahlen für die verschiedenen Leguminosen und gegebenenfalls den Leguminosenanteil ermittelt.

Die Nebenerntegutabfuhr (Stroh, Rübenblatt) wird anhand von Faustzahlen zum Haupt-/Nebenerntegutverhältnis aus dem Ertrag der Hauptfrucht abgeleitet.

Die Nährstoffzu- und abfuhr durch Saatgut (unbedeutend) und Marktfrüchte lässt sich anhand der relativ gut erfassten Mengen und der geringen Schwankungsbreite der Nährstoffgehalte relativ genau bestimmen und gilt deshalb als belegbar.

Schätzwerte

Die Nährstoffzufuhr durch Wirtschaftsdünger ist meist nur ungenau bekannt (Ungenauigkeit der Mengenangaben und Nährstoffgehalte nach Faustzahlen). Das gilt auch für die darauf basierende Abschätzung gasförmiger N-Ausbringungsverluste.

Auch die Abfuhr durch Futtermittel/Beweidung ($\text{Menge} \times \text{Trockensubstanzgehalt} \times \text{Nährstoffgehalt in der TS}$) kann meist nur annähernd ermittelt werden.

Da es immer wieder vorkommt, dass für Eingangsdaten der Schlagbilanz keine schlagspezifisch belegten Daten vorliegen, ist die Berechnung der Schlagbilanz über die aus der Buchführung hergeleiteten und die Schätzdaten qualitativ deutlich beeinträchtigt.

Plausibilitätsprüfung auf Betriebsebene

Eine Plausibilitätskontrolle von Schlagbilanzen ist anhand gesamtbetrieblicher Bilanzdaten möglich, wenn die Berechnung für alle Schläge des Betriebs oder einen repräsentativen Anteil der einzelbetrieblichen landwirtschaftlichen Fläche erfolgte. Die Plausibilität kann aber nur zusammenfassend für alle Schlagbilanzen und nicht für die einzelne Bilanz geprüft werden.

Hierzu werden die Summen der Mineraldünger-, Wirtschaftsdünger- und Erntegutmengen der Schlagbilanzen mit den Werten der gesamtbetrieblichen Bilanz abgeglichen. Für die Plausibilitätsprüfung einzelner Bilanzglieder bietet die (plausibilisierte) Feld-Stall-Bilanz den Vorteil, dass auch betriebseigene Wirtschaftsdünger und Futtermittel darin erfasst sind. Für die zusammenfassende Prüfung der Salden bietet die Hoftorbilanz eine bessere Vergleichsgrundlage.

Größere Abweichungen zwischen den Werten der gesamtbetrieblichen Bilanz und den Aggregierungsergebnissen der Schlagbilanzen zeigen die Ungenauigkeiten der Datengrundlage der Schlagbilanzen. Gegebenenfalls müssen die Datengrundlagen beider Bilanzformen geprüft und angepasst werden.

Anwendungsbereiche

Düngungsoptimierung

Obwohl die Schlagbilanz aufgrund ihrer Datenqualität nur eingeschränkt im Rahmen der Wasserschutzzusatzberatung geeignet ist, wird sie bei der Düngeberatung mit dem Landwirt verwendet. Sie dient innerhalb des landwirtschaftlichen Betriebs zur Optimierung der Düngung. Vor allem in viehlosen Betrieben ist die Schlagbilanz ein zuverlässiges Instrument.

Zur weitergehenden Anbau- und Düngungsoptimierung ist die zusammenfassende Bewertung der Schlagbilanzen einer Fruchtfolge sinnvoll.

Bei viehhaltenden Betrieben ist die Schlagbilanz aufgrund der Schätzgrößen für die Wirtschaftsdüngeraufbringung, die Futter- und Strohabfuhr sowie die Grünlanderträge für die Beurteilung des Nährstoffeinsatzes nicht gut geeignet.

Bei der Interpretation von Bilanzsalden muss die Vorfruchtwirkung berücksichtigt werden. So kann z. B. die Bilanz von Winterweizen nach Winterraps nicht mit derjenigen von Stoppelweizen verglichen werden.

Versuchswesen

Im Versuchswesen spielen Schlagbilanzen eine wichtige Rolle. Die oben beschriebenen Ungenauigkeiten und Unsicherheiten werden durch die höheren Anforderungen an die Datengenauigkeit u. a. auch der Ermittlung der Eingangsdaten minimiert.

Anbaufrucht-Monitoring

Im Rahmen der landesweiten DIWA-Datenerhebung in Trinkwassergewinnungsgebieten werden mittlere Bilanzsalden der wichtigsten Hauptkulturen differenziert nach Flächen mit und ohne stickstoffmindernde Maßnahmen jährlich erfasst (NLWKN 2012c). Somit kann die langfristige Entwicklung der Bilanzüberschüsse kulturbezogen beobachtet werden.

Gebietsmonitoring

Die Schlagbilanzen können aggregiert je nach Fragestellung (z. B. Anbaufrucht, Flächenpriorität) für das Gebietsmonitoring verwendet werden (NLWKN 2012a). Die Daten des Anbaufrucht-Monitorings werden bei ausreichendem Deckungsgrad zu Gebietsmittelwerten (Acker/Grünland/Gesamt-LF) verrechnet (NLWKN 2012c).

Sickerwassergüteprognose

Auf Gebietsebene wird der Bilanzsaldo im Rahmen der Ist-Zustandsanalyse (s. Kap. 2.1.2) zur Ermittlung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser für Standorte im Humusgleichgewicht herangezogen. Bei

humusreichen N-Quellenstandorten ist diese Vorgehensweise nicht sinnvoll, da sie zu einer Unterschätzung der Sickerwasserbelastung führen würde.

Grundsätzlich ist diese Vorgehensweise nur bei langfristigen Betrachtungen zulässig, da der Boden über eine hohe Pufferfähigkeit für Nitratüberschüsse verfügt. Die Rechenformel lautet:

$$\text{potenzielle Nitratkonzentration} = \frac{\text{N - Saldo (kg N/ha)} \cdot 443}{\text{Sickerwasserrate (mm/a)}}$$

Maßnahmen-Monitoring

Schlagbilanzen können zur Erfolgskontrolle flächenbezogener Grundwasserschutzmaßnahmen genutzt werden. Tabelle 60 gibt einen Überblick über die nach Expertenbefragungen realistisch zu erwartende Saldenminderung von Freiwilligen Vereinbarungen.

Tab. 60: Mittlere Minderung des N-Überschusses von Schlagbilanzen durch Freiwillige Vereinbarungen (nach Expertenbefragung in OSTERBURG et al. 2007, zusammengefasst in NLWKN 2012a)

Maßnahme	Saldo-minderung (kg N/ha)
Umwandlung von Acker in Grünland	50
Brachebegrünung	50
Ökolandbau+ (Gewässerschutz)	60
Grünlandextensivierung	30
Begrünung ZF, Untersaaten u. Ä.	15
Grünlanderneuerung	10
Wirtschaftsdünger-Aufbringzeiten	20
Wirtschaftsdünger-Aufbringverzicht	20
Optimierte Fruchtfolgegestaltung	15
Reduzierte N-Düngung	30
Reduzierte Bodenbearbeitung	10
Unterfußdüngung	10
Einsatz stabilerer N-Dünger	10
Wirtschaftsdünger-Verteiltechnik	15
Maisengsaat	10
Schlagbilanzen	0
Reduzierter Herbizideinsatz	0

Eignungsbewertung

Schlagbilanzen basieren auf dem gemäß DüV geforderten Nährstoffvergleich und sind als Nachweis der ordnungsgemäßen Landwirtschaft anerkannt. Sie sind vergleichsweise einfach zu erstellen und vielseitig auswertbar. Die mangelnde Prüffähigkeit der Datengrundlagen muss jedoch beachtet werden. Eine Plausibilisierung mit betrieblichen Bilanzen ist sinnvoll, aber nur für die Gesamtheit der Schlagbilanzen des Betriebs, nicht für die einzelne Bilanz.

Für die im Rahmen der Wasserschutzzusatzberatung durchgeführte einzelbetriebliche Beratung ist die Schlagbilanz ein wertvolles Instrument zur Düngeoptimierung.

Die gebietsbezogene Auswertung der N-Salden aus den Schlagbilanzen eignet sich für:

- die Ermittlung der Maßnahmenwirkung von flächenbezogenen Grundwasserschutzmaßnahmen
- die Ist-Zustandsanalyse und die Erfolgsbewertung der grundwasserschonenden Bewirtschaftung auf der Grundlage der Ermittlung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser.

Auch im Versuchswesen sind Schlagbilanzen für die Auswertung von Bedeutung.

2.7.4 Untersuchung der Wurzelzone – Herbst-N_{min}

Kurzcharakteristik

Herbst-N_{min}-Untersuchungen werden durchgeführt, um winterliche N-Auswaschungsverluste mit dem Sickerwasser abzuschätzen. Der Herbst-N_{min}-Wert gibt den Mineralstickstoffgehalt in der Wurzelzone vor Beginn der winterlichen Sickerwasserspense an. Der Mineralstickstoff besteht unter Acker größtenteils aus Nitrat (NO₃⁻). Der Rest ist Ammonium (NH₄⁺), das in Ackerböden bei Temperaturen über 10°C ebenfalls zu Nitrat umgewandelt wird. Da Nitrat nicht im Boden zurückgehalten wird, verlagert es sich mit dem Sickerwasser in das Grundwasser.

Der N_{min}-Wert im Herbst resultiert aus dem Mineralstickstoffrest nach der Ernte (= Ernte-N_{min}-Wert), der Mineralisation im Sommer/Herbst und gegebenenfalls der herbstlichen N-Düngung. Gegenzurechnen ist die N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht oder Winterung (s. Tab. 61).

Tab. 61: Bestimmungsgrößen des Herbst- N_{min}-Werts (nach NLWKN 2012c)

Mineral-N-Gehalt nach der Ernte (Ernte-N _{min})	↑↑ (Basis)
+ Mineralisation im Herbst	↑↑
+ ggf. herbstliche Düngung	↑↑
- N-Aufnahme durch Zwischenfrucht / Winterung	↓↓

Neben der Bewirtschaftung beeinflussen die Standorteigenschaften und der Witterungsverlauf den Herbst-N_{min}-Wert. Das muss bei der Beprobungsplanung und bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigt werden. Weitergehende Informationen zur Verwendung der Herbst-N_{min}-Methode zur Erfolgskontrolle sind in der Broschüre „Untersuchungen des mineralischen Stickstoffs im Boden“ (NLWKN 2012c) enthalten.

Weitere N_{min}-Untersuchungstermine

Die **Frühjahrs-N_{min}-Beprobung** dient der gezielten Düngplanung, z. B. nach der SOLLWERT-Methode (s. Kap. 2.3.1.2). Die Probenahme erfolgt zu Getreide im Februar/März. Zu Hackfrüchten im Mai ist eine

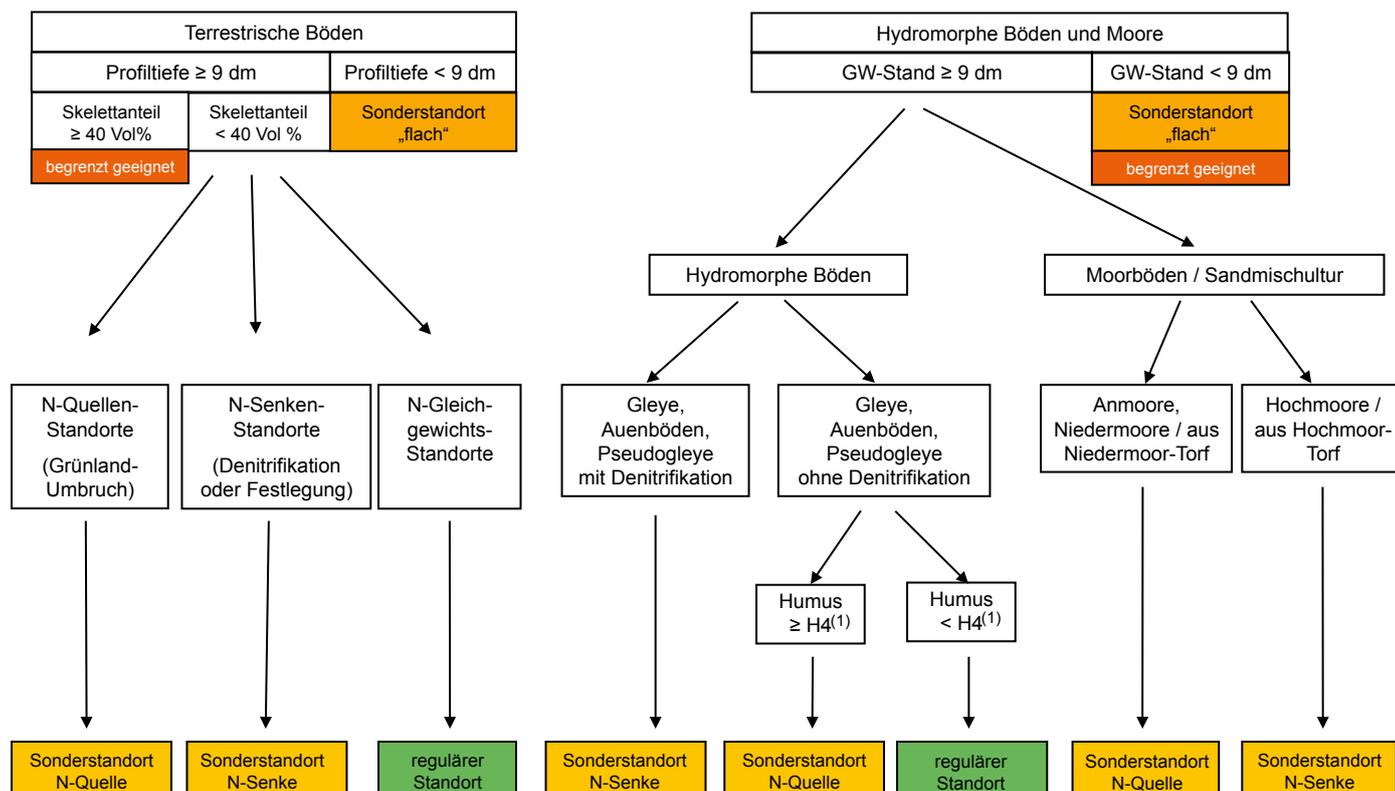
„**Spätfrühjahrs-N_{min}-Beprobung**“ (s. Kap. 2.3.1.3) sinnvoll.

Die **Ernte-N_{min}-Beprobung** erfasst den N-Status unmittelbar nach der Ernte der Hauptfrucht und gibt Hinweise, ob im Herbst noch ein N-Düngebedarf besteht. Sie verbessert die Interpretierbarkeit des Herbst-N_{min}-Werts.

Im Versuchswesen werden weitere N_{min}-Beprobungen während der Hauptwachstumsphase durchgeführt, um den zeitlichen Verlauf der pflanzenverfügbaren N-Mengen im Boden zu verfolgen.

Durchführung

Die Auswahl des geeigneten Untersuchungsstandorts ist ein entscheidendes Kriterium. Für das Maßnahmenmonitoring sind N-Gleichgewichtsstandorte am besten geeignet (Standorte mit gleichbleibendem Humus-N-Gehalt). In das Gebietsmonitoring sollten jedoch auch N-Quellenstandorte und N-Senkenstandorte je nach ihrem Flächenanteil im Gebiet einbezogen werden. Die ausgewählten Flächen sollten eine Gründigkeit von 90 cm aufweisen sowie einen mittleren Grundwasserflurabstand von mindestens 90 cm haben. Zusätzlich sollte der



(1) H4 laut Bodenkundlicher Kartieranleitung = 4 bis 8 % Humusgehalt

Abb. 140: Standortkriterien für die Anwendbarkeit der Herbst-N_{min}-Methode (NLWKN 2012c)

Skelettanteil (Kies/Steine) kleiner als 40 Vol.-% sein. Auf flachgründigen Standorten, bei denen die Standardbeprobungstiefe von 90 cm nicht erreicht werden kann, können Herbst- N_{\min} -Untersuchungen nur eingeschränkt bewertet werden. Bei Flächen mit Dränagen sollten andere Verfahren geprüft werden, da diese beschädigt werden können. Abbildung 140 gibt einen Überblick über Standortkriterien, die bei der Auswahl der Herbst- N_{\min} -Probenahme zu berücksichtigen sind.

Festlegung von Repräsentativparzellen

Durch die gebietsrepräsentative Flächenauswahl soll der Einfluss heterogener Standortverhältnisse ausgeglichen werden. Bei homogenen Flächen größer ein Hektar werden Repräsentativparzellen mit einer Größe von ca. 40–60 x 80–100 m festgelegt, auf die sich die N_{\min} -Beprobung beschränkt (s. Abb. 141). Bei jeder Herbst- N_{\min} -Beprobung wird derselbe Schlagbereich beprobt. Damit ist die Vergleichbarkeit von mehrjährigen Herbst- N_{\min} -Werten eines Schlags gewährleistet.

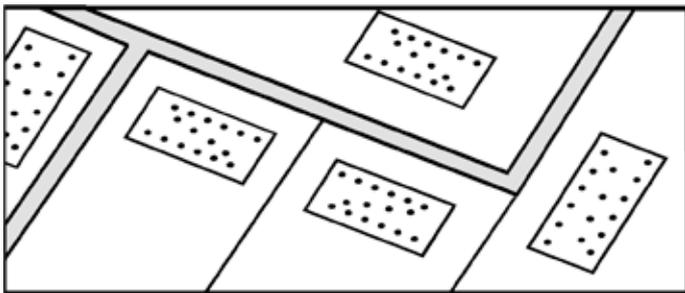


Abb. 141: Repräsentativparzellen für die N_{\min} -Beprobung (NLWKN 2012c)

Festlegung der Probenahme-Tiefe

Die Probenahme sollte nach Abschluss der herbstlichen Mineralisierungsphase und vor Beginn der winterlichen Auswaschung erfolgen. In der Regel erfolgt die Probenahme bis in 90 cm Tiefe. Bei früh einsetzender Sickerwasserbildung kann je nach Bodenart ein Teil des Herbst- N_{\min} -Gehalts mit dem Sickerwasser bereits vor der Probenahme in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Um dennoch die gesamte herbstliche Mineralstickstofffreisetzung zu erfassen, ist auf leichten Böden eine tiefererweiterte Beprobung sinnvoll. Die N_{\min} -Beprobung ist bis maximal 150 cm realisierbar.

Probenahmezeitraum

Der Probenahmezeitpunkt sollte unmittelbar vor Beginn der Sickerwasserbildung im Herbst gewählt werden. Die optimale Zeit liegt zwischen Mitte Oktober und Ende November (s. Abb. 142), kann aber witterungsbedingt davon abweichen. Für die Ermittlung des Beginns der Sickerwasserbildung stellt das LBEG das internetgestützte „Fachprogramm Bodenwasserhaushalt“ zur Verfügung, das gleichzeitig für die Beregnungssteuerung in der Vegetationsperiode eingesetzt werden kann.

Probenahme

Die Beprobung erfolgt standardmäßig mit 16 Einstichen pro Fläche. Dabei werden Proben in 30 cm-Abschnitten entnommen. Auf eine verschleppungsfreie Probenahme, also keine Mischung von Material verschiedener Tiefenschichten, muss geachtet werden. Für jeden Tiefenbe-

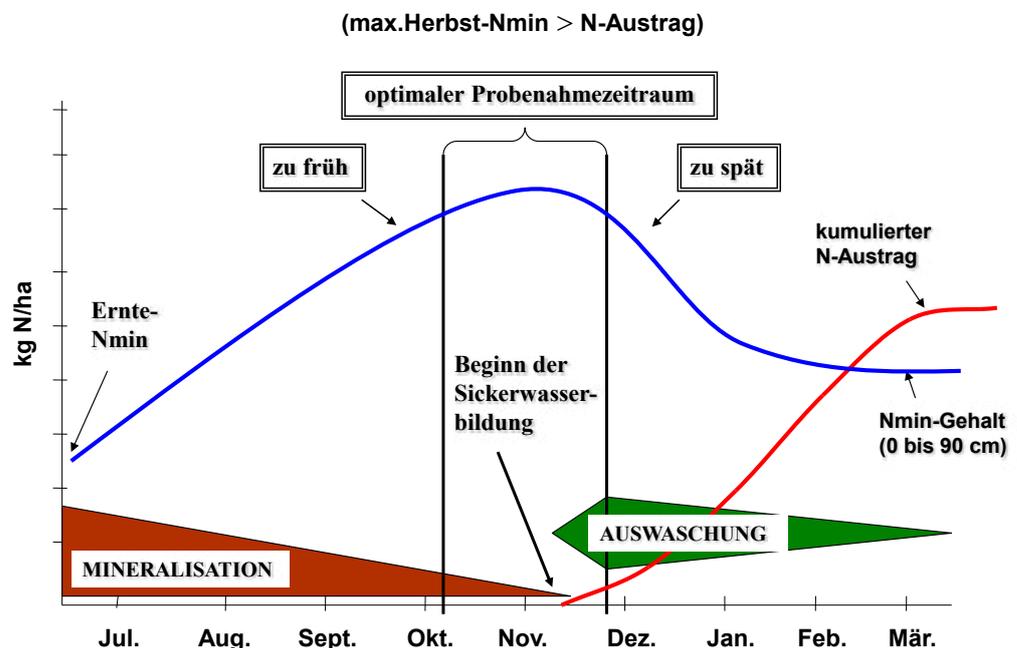


Abb. 142: Bestimmung des optimalen Probenahmezeitraums für die Herbst- N_{\min} -Beprobung (HILLEBRAND 2002)

reich wird eine Mischprobe erstellt. Die Proben werden vollständig eingetütet. Eine Probenteilung (Reduzierung der Probenmenge) ist aus Qualitätsgründen erst nach der Homogenisierung im Labor möglich.

Das Probenahmeprotokoll muss Beprobungsdatum, Schlagnummer und Anbaufrucht, sowie Hinweise auf mögliche Düngungsmaßnahmen, Beweidung von Zwischenfrüchten etc. enthalten. Die Proben werden in Kühlboxen verpackt und bis zur Analyse gekühlt (ununterbrochene Kühlkette).

Neben der Probenahme „von Hand“ stehen verschiedene maschinelle selbstfahrende Beprobungsgeräte zur Verfügung. Für die manuelle Beprobung werden überwiegend folgende Probenahmegeräte eingesetzt.

Mit dem **Göttinger Bohrstock** wird für jeden Tiefenabschnitt im Bohrloch ein eigener Bohrstock verwendet (s. Abb. 143). Dadurch wird die Verschleppung von Bodenmaterial zwischen den einzelnen Tiefen nahezu ausgeschlossen. Die relativ dünnen Bohrstöcke können im Idealfall ohne Hammer in den Boden gedrückt werden. Für gefrorene, verdichtete, steinige oder trockene Böden ist der Göttinger Bohrstock nicht geeignet.



Abb. 143: Göttinger Bohrstock (IGLU)

Der **Pürckhauer-Bohrstock** (s. Abb. 144) wird bis 30 cm Tiefe eingeschlagen, entleert und erneut in das Bohrloch eingesetzt, dann bis 60 cm eingeschlagen und entleert, auf diese Weise wird fortgefahren bis die gewünschte Tiefe erreicht ist. Beim Entleeren werden jeweils die oberen drei bis fünf cm des Bohrstock-Inhalts verworfen. Wegen des hohen Zeit- und Kraftaufwands und der möglichen Verschleppung von Bodenmaterial zwischen den Einzeltiefen wird der Pürckhauer-Bohrstock in der Herbst-N_{min}-Beprobung nur dann eingesetzt, wenn wegen der Bodenverhältnisse andere Beprobungsverfahren nicht praktikabel sind.



Abb. 144: Pürckhauer-Bohrstock (IGLU)

Analyse

Die N_{min}-Analyse erfolgt durch ein hierfür akkreditiertes Labor. Untersucht werden die Parameter Nitrat, Ammonium und der Wassergehalt. Die Werte werden für die einzelnen Schichten durch das Labor auf kg NO₃-N und NH₄-N pro Hektar umgerechnet. Die Wassergehalte (in Gewichts-%) sollten von den Laboren grundsätzlich mit angegeben werden, damit die Ergebnisse auf Plausibilität geprüft werden können.

Darstellung und Auswertung

N_{min}-Werte werden häufig in Säulendiagrammen dargestellt, beispielsweise als Säulenpaare „mit/ohne“ Maßnahme, als Säulengruppen von Fruchtmitteiwerten oder als Einzelwertdarstellung in aufsteigender Reihenfolge zur Darstellung des Verteilungsmusters der Herbst-N_{min}-Werte.

Die grafische Darstellung der Ergebnisse sollte neben der Summe auch die Tiefenverteilung des Mineralstickstoffs beinhalten (gestapelte Säulen). Beispielsweise können vergleichsweise hohe N_{min}-Werte der untersten Tiefe auf mögliche Vorab-Verluste von Nitrat hinweisen. Eine Überprüfung ist anhand der Wassergehalte und der standörtlichen Feldkapazität möglich.

Die Aggregation von N_{min}-Werten erfolgt meist durch arithmetische Mittelwert-Berechnung. Da Mittelwerte durch einzelne hohe Werte stark beeinflusst werden und N_{min}-Werte nicht normal verteilt sind, ist für Vergleichsuntersuchungen (z. B. Maßnahmenmonitoring) die Medianberechnung besser geeignet. Der Median ist meistens kleiner als der arithmetische Mittelwert. Medianwerte dürfen nicht mit Mittelwerten verglichen werden.

Landesweite Auswertung

Für das landesweite TGG- und WRRL-Monitoring werden Herbst-N_{min}-Werte aller Beratungsträger jährlich mit dem Datenerfassungsprogramm DIWA-Shuttle zusammengeführt (NLWKN 2012a).

Für TGG werden die N_{min}-Werte vor der Weitergabe nach Auswertungsräumen, Früchten und Grundwasserschutzmaßnahmen gemittelt. Anhand der zugeordneten Flächenanteile und der mittleren Sickerwasserraten und Feldkapazitäten wird bei ausreichendem Untersuchungsumfang neben dem Gesamtgebietsmittelwert auch die prognostizierte Nitratkonzentration im Sickerwasser ausgewiesen.

Für die WRRL-Maßnahmenräume werden statt aggregierter Daten die Einzelwerte (ohne Bewirtschafterzuordnung) zusammen geführt, um weitergehende Auswertungsmöglichkeiten auf Landesebene zu erhalten.

Anwendungsbereiche

Die Herbst-N_{min}-Methode kann für die Ersterfassung und das fortlaufende Gebiets- und Maßnahmenmonitoring eingesetzt werden:

Stoffliche Ist-Zustandsanalyse

Ziel der Erstuntersuchung ist es, einen Überblick über betriebs- und fruchtspezifische Schwachstellen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zu erhalten und daraus Schwerpunkte für die zukünftige Beratungstätigkeit abzuleiten. Je nach dem möglichen Untersuchungsumfang wird die Herbst-N_{min}-Untersuchung gebietsrepräsentativ oder für einzelne Schwerpunktfragestellungen eingesetzt.

Gebietsmonitoring

Im Rahmen des Gebietsmonitorings wird die Methode auf Referenzflächen genutzt, um Aussagen für die gebietsbezogenen Standort- und Bewirtschaftungsverhältnisse und die Wirkung von Grundwasserschutzmaßnahmen zu erhalten. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt flächengewichtet nach den Flächenanteilen der Anbaufrüchte und differenziert nach Flächen „mit Maßnahmen“ und „ohne Maßnahmen“.

Maßnahmenmonitoring

Zum Maßnahmenmonitoring sind die Herbst-N_{min}-Untersuchungen für die Maßnahmen besonders geeignet, von denen eine direkte Verminderung der winterlichen Nitratausträge zu erwarten ist.

Zum Vergleich von Flächen „mit“ und „ohne“ Maßnahme wird der Medianvergleich empfohlen. Tabelle 62 ist zu entnehmen, für welche Maßnahmen sich die Herbst-N_{min}-Untersuchung eignet.

Prognose der Sickerwassergüte und Nitratfracht

Unter der Annahme einer gleichförmig abwärts gerichteten Sickerwasserbewegung nach Auffüllung der Feldkapazität kann der Herbst-N_{min}-Wert für die Prognose der Nitratkonzentration im Sickerwasser ausgewertet werden. Als weitere Eingangswerte werden hierbei die Feldkapazität bis 90 cm Tiefe (FK90 in mm) und die Sickerwasserrate (SWR in mm/Jahr) benötigt. Die Berechnung der SWR erfolgt nach der Methodenbank des NIBIS (MÜLLER 2011).

Die folgende Berechnungsformel für die Sickerwassergüte-Prognose ist auch EDV-technisch leicht umsetzbar. Der Faktor 443 ergibt sich aus dem Mol-Massenverhältnis NO₃/N und den verwendeten Einheiten. Im Nenner wird entweder die FK90 oder die SWR berücksichtigt, je nachdem welcher Wert größer ist.

Tab. 62: Eignung der Herbst-N_{min}-Methode zur Bewertung einzelner, schlagbezogener Grundwasserschutzmaßnahmen (NLWKN 2012d)

Grundwasserschutzmaßnahmen	Eignung der Herbst-N _{min} -Untersuchung		
	gut	bedingt	ungeeignet
Zeitliche Beschränkung der Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger (A) Spätsommer/Herbst (B) Frühjahr	X (A)		X (B)
Verzicht auf den Einsatz tierischer Wirtschaftsdünger		X	
Gewässerschonende Aufbringung von Wirtschaftsdüngern		X	
Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen			X
Aktive Begrünung (Zwischenfrucht, Untersaat, Brache)	X		
Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung	X		
Extensive Bewirtschaftung von Grünland		X	
Umbruchlose Grünlanderneuerung	X		
Reduzierte N-Düngung			X
Reduzierte Bodenbearbeitung (im Herbst)	X		
Maisengsaat		X	
Unterfußdüngung			X
Einsatz stabilisierter N-Dünger			X
Reduzierter Herbizideinsatz			X
Umwandlung von Acker in extensives Grünland / extensives Feldgras	X		
Erosionsschutz Forst			X
Waldumbau			X

$$\frac{\text{Herbst-N}_{\min} \times 443}{\max(\text{FK90}, \text{SWR})} = \text{mg NO}_3/\text{l im Sickerwasser}$$

Die Nitrat-N-Fracht im Sickerwasser ergibt sich nach der folgenden Formel:

$$\frac{\text{Herbst-N}_{\min} \times \text{SWR}}{\max(\text{FK90}, \text{SWR})} = \text{kgNO}_3\text{-N/ha}$$

Maximal tolerierbarer Herbst-N_{min}-Wert

Je nach Bodenart und Sickerwassermenge lässt sich bei Vorgabe eines Grenzwerts für die Nitratkonzentration im Sickerwasser ein maximal tolerierbarer Herbst-N_{min}-Wert ableiten:

$$\max(\text{FK90}, \text{SWR}) \times \frac{\text{max. zulässige NO}_3 \text{ Konz. im SW}}{433} = \text{max. tolerierbarer Herbst-N}_{\min}\text{-Wert}$$

Wenn der Nitrat-Grenzwert der Trinkwasserverordnung (BMG 2013) als kurzfristig anzustrebendes Ziel für die Sickerwasserqualität eingesetzt wird, ergibt sich die folgende vereinfachte Rechenformel:

$$\max(\text{FK90}, \text{SWR}) \times 0,113 = \text{max. tolerierbarer Herbst-N}_{\min}\text{-Wert zur Einhaltung von 50 mg NO}_3\text{/l Sickerwasser}$$

Eignungsbewertung

Die Herbst-N_{min}-Untersuchung erlaubt die unmittelbare Bewertung der zu erwartenden Auswaschungsfrachten des aktuellen Anbaujahrs. Von den stofflich-analytischen Verfahren der Erfolgskontrolle ist die Herbst-N_{min}-Beprobung zeitlich gesehen der Maßnahmen-Durchführung am nächsten. Sie ist daher gut geeignet für die jährliche Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen.

Grundvoraussetzungen für aussagekräftige Ergebnisse sind

- geeignete Standortverhältnisse
- mindestens 16 Einstiche pro Fläche
- Probenahme ab Oktober, unmittelbar vor Beginn der Sickerwasserperiode
- bei hohen Herbstniederschlägen Tiefenanpassung der Beprobung

Bei der Auswertung von N_{min}-Daten muss generell der Probenahmetermin und der Witterungsverlauf im Herbst berücksichtigt werden.

	aktuelles Anbaujahr
Ist-Zustand für die innergebietliche Prioritätensetzung	+
Erfolgskontrolle von Einzelschlag-Maßnahmen	++
Erfolgskontrolle auf Repräsentativflächen	+

Ausblick: Herbst-N_{min}-Wert-abhängige Honorierungsverfahren

In einigen Trinkwasserschutzkooperationen Niedersachsens wird eine Herbst-N_{min} ergebnisabhängige Honorierung von Grundwasserschutzmaßnahmen der Bewirtschafter mit gutem Erfolg praktiziert und weiter entwickelt. Zusätzlich zu den Honorierungssätzen müssen die Kosten für die N_{min}-Probenahme berücksichtigt werden. Bisher erfolgt die Bewertung auf der Basis gestaffelter Hektarsätze nach festen N_{min}-Klassen. Gegebenenfalls ist auch eine Honorierung mit variablen Klassengrenzen möglich.

2.7.5 Untersuchung der Sickerwasser-Dränzone

Untersuchungen der Sickerwasser-Dränzone zum Stofftransport bzw. zur Verweildauer werden in der ungesättigten Zone, das heißt im Bereich vom Ende der Wurzelzone bis zur Grundwasseroberfläche, durchgeführt. Im Vergleich zu Grundwasseruntersuchungen ist eine eindeutige Zuordnung der Ergebnisse zur Herkunftsfläche möglich.

Im Kapitel 2.7.5.1 werden Saugsonden und Lysimeter als stationäre Messverfahren beschrieben. Der Haupteinsatzbereich sind Dauerbeobachtungs- und Demonstrationsflächen. Da das Sickerwasser direkt aufgefangen wird, sind die Verfahren auch für weitere Fragestellungen, z. B. den Nachweis von Pflanzenschutzmittelrückständen im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone geeignet. Beide Verfahren bieten eine standortfestgelegte Probenahme, die vor allem zur Erhebung flächenrepräsentativer Daten vorteilhaft ist. Im Gegensatz zur N_{\min} -Methode können Zeitreihen zur Sickerwasserqualität erstellt werden.

Als standortunabhängige Untersuchungsmethode in der Sickerwasserzone werden im Kapitel 2.7.5.2 bodenkundliche Tiefenprofile beschrieben. Sie werden im Rahmen der WZB häufig verwendet. Durch die Entnahme von tiefenabgestuften Bodenproben, kann die Verlagerung des Nitrats im Sickerwasser zuverlässig für repräsentative Flächen, einen festgelegten Zielbereich oder spezifische Fragestellungen ermittelt werden.

2.7.5.1 Saugsonden und Lysimeter

Zur Bestimmung der Qualität des Sickerwassers können Saugsonden und Lysimeter als stationäre Verfahren zur Bestimmung der Qualität des Sickerwassers eingesetzt werden. Im Rahmen der WZB werden diese Verfahren bisher selten genutzt. Meist wird auf flexible, nicht räumlich festgelegte Methoden der Sickerwasseruntersuchungen zurückgegriffen.

Seit mehr als 20 Jahren werden in Niedersachsen Bodendauerbeobachtungsprogramme zur Beobachtung der Umweltmedien durchgeführt. Zur langjährigen Sickerwasseruntersuchung wurden Saugsonden auf Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) installiert. Ergebnisse dieser Untersuchungen, die auch im Rahmen von Exaktversuchen der LWK auf den BDF-Flächen genutzt werden, dienen als Datengrundlage für die WZB.

Kurzcharakteristik Saugsonden

Saugsonden sind Röhren aus keramischen oder polymeren Werkstoffen mit einer Länge von ca. 20–120 cm, an deren Ende sich die Saugkerze befindet. Die Saugkerze besteht aus porösem Material, dessen Poren in der Regel ständig mit Wasser gefüllt sind (DVWK 1990) und die in Kontakt mit dem bodenkapillaren Wasser, aber keine Luft, einlassen. Die Sickerwasserproben werden mittels eines Unterdrucks, der Sicker- und Kapillarwasser ansaugt, gewonnen. Das angesaugte Sickerwasser wird in einem separaten Behälter gesammelt (s. Abb. 145). Zur Untersuchung der Nitratkonzentration sollten die Saugsonden in mehrfacher Wiederholung installiert werden. Bei geringen Grundwasserflurabständen ist die Methodik nicht geeignet.

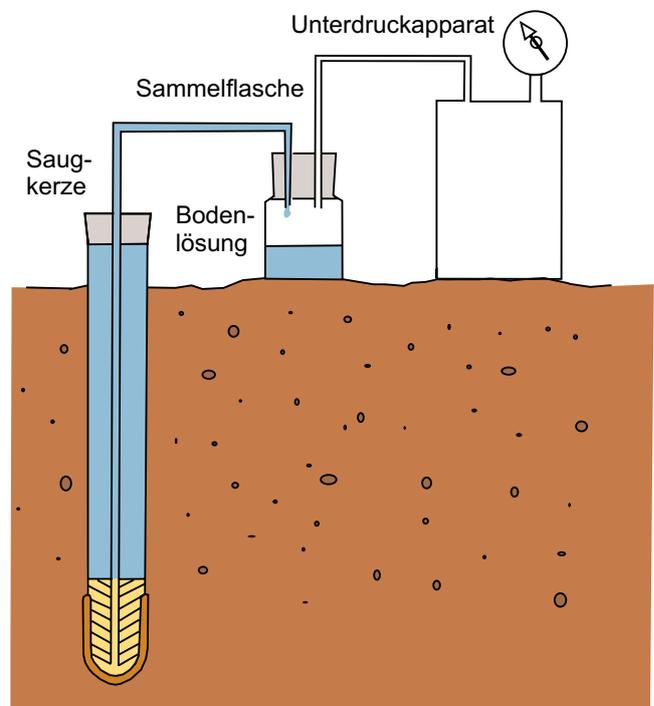


Abb. 145: Einbaumöglichkeiten von Saugkerzen (IGLU)

Durchführung

Einbau

Der Einbau der Saugsonden kann horizontal oder vertikal erfolgen (s. Abb. 145). Dabei muss der hydraulische Kontakt zur Bodenmatrix hergestellt werden. Auch bei tiefenabgestuften Untersuchungen sollte das Fließfeld im Bereich der Saugkerzen durch einen möglichst großen Einbauabstand zur Grube nicht gestört werden. Bei einer Beprobung in der Frostperiode ist ein frostsicherer Einbau erforderlich, bei tiefengestuften Untersuchungen sollte eine Beheizung der Grube erfolgen.

Probenahme

Die Probenahmeflässe müssen temperatur- und lichtgeschützt aufgestellt werden (s. Abb. 146). Jede Saugson-



Abb. 146: Beispiel Saugkerzenuntersuchung auf einer Ackerfläche (NLWKN)

de ist mit einem Probenahmegefäß verbunden, auf das ein Unterdruck ausgeübt wird. Eine konstante Probenahme mit einer gleichmäßigen Beprobung erfordert eine dauerhaft anliegende Saugspannung (ähnlich wie bei einem Unterdrucklysimeter). Sie ermöglicht eine vollständige Erfassung der Sickerfronten. Bei der intervallbezogenen Probenahme wird nur zu einzelnen Probenahmeterminen eine Saugspannung angelegt. Das Anlegen der richtigen Saugspannung erfolgt in der Regel mit Tensiometern. Die natürliche Sickerwasserbewegung soll durch die Saugkerze nicht wesentlich gestört werden. Deshalb muss sich der angelegte Unterdruck an der Saugspannung des Substrats orientieren, die mit dem Tensiometer gemessen werden kann. Das Beprobungssystem ist relativ störanfällig. Die Probenahme kann unter Umständen mit einem hohen technischen Aufwand verbunden sein. Die Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe von Saugkerzen ist im DVWK-Merkblatt 217 detailliert beschrieben (DVWK 1990).

Anwendungsbereich

Mit der Untersuchung wird die Sickerwasserkonzentration im Tiefenverlauf direkt erfasst. Im Unterschied zu bodenkundlichen Tiefenprofilen (s. Kap. 2.7.5.2) erfolgt keine Extraktion von Substratproben, so dass die Ergebnisse mit hoher Zuverlässigkeit auch für Frachtenberechnungen verwendet werden können, da Totwasser nicht erfasst wird und keine Desorption erfolgt.

Die Ergebnisse werden für einzelne Untersuchungstermine als Konzentrations-Tiefenprofil oder für einen Untersuchungszeitraum als Zeitreihe der Stoffkonzentrationen dargestellt.

Die Anwendung der Saugsonden-Untersuchung im Rahmen der WZB erfolgt aufgrund des baulichen und technischen Aufwands nur in wenigen Fällen. Der Schwerpunkt liegt auf langfristigen Untersuchungen auf Dauerbeobachtungs- und Versuchsflächen.

Eignungsbewertung

Mithilfe von Saugsonden kann die Tiefenverlagerung des Nitrats mit dem Sickerwasser verfolgt werden. Wegen des Aufwands ist der Einsatz von Saugsonden auf Dauerbeobachtungs- und Versuchsflächen begrenzt.

Ein Vorteil des Verfahrens ist die geringe Störung des Bodenprofils. Aufgrund der stationären Einrichtung erfolgt die Probenahme punktscharf.

Der Vorteil von Lysimetern besteht im einfacheren Einbau und dem nur gering gestörten Bodenprofil.

Ist-Zustand für Prioritätensetzung	O
Erfolgskontrolle von Einzelschlag-Maßnahmen	-
Erfolgskontrolle auf Repräsentativflächen	+
Erfolgskontrolle großflächiger GW-Schutzmaßnahmen	-

Kurzcharakteristik Lysimeter

Lysimeter ermöglichen eine quantitative und qualitative Untersuchung des Sickerwassers in der zeitlichen Entwicklung. Man unterscheidet baulich festangelegte, zum Teil wägbare Unterdrucklysimeter, die für wissenschaftliche Projekte meist dauerhaft genutzt werden und Kleinlysimeter (auch Feldlysimeter genannt), mit denen schlagbezogene Fragestellungen zum Stofftransport untersucht werden können. Unterdrucklysimeter simulieren die hydraulischen Verhältnisse des natürlichen Bodenprofils und sind deshalb besonders geeignet für die Kalibrierung von Wasserhaushaltsmodellen. Kleinlysimeter werden schwerpunktmäßig in Versuchsprojekten oder in flachgründigen Bereichen eingebaut, bei denen keine anderen Untersuchungen zur Ermittlung der Sickerwasserkonzentration möglich sind. Es gibt verschiedene Lysimetervarianten. Im Rahmen der WZB wird das Wannenslysimeter eingesetzt.

Das Wannenslysimeter fängt das Sickerwasser einer definierten Fläche unterhalb der Wurzelzone am unteren Rand des Lysimeters auf (DWA 2012). Das gesammelte Sickerwasser wird regelmäßig abgepumpt. Auf flachgründigen Böden, die sich durch kurze Sickerstrecken auszeichnen, kann das Sickerwasser erfasst werden, bevor es dem Grundwasser zufließt.

Durchführung

Einbau

Einzelheiten zum Bau und Betrieb von Lysimeteranlagen sind in den DVWK-Empfehlungen (DVWK 1980) beschrieben. Der Einbau einer Lysimeteereinrichtung ist sehr aufwändig. Ein Grundproblem beim Einbau ist die Störung des Bodenprofils. Der Einbau und Einsatz sollte wegen der Vegetationsruhe im Winterhalbjahr erfolgen.

Das Wannensystem ist ein mit Bodenmaterial gefüllter wannenartiger Behälter. Zwei Wannens aus Kunststoff, die nach unten leicht verjüngt sind, werden ineinander gestellt (s. Abb. 147). Ein Abstandshalter in der unteren Wanne schafft einen Hohlraum, in dem sich das Sickerwasser sammeln kann. In der oberen Wanne sind Löcher im Boden, die mit einem Flies abgedeckt werden. Durch eines der Löcher wird vorher ein Schlauch geführt, mit dem später das Sickerwasser abgepumpt werden kann (s. Abb. 148). Das Umhüllen der beiden Wannens mit einer wasserdichten Folie stellt sicher, dass nur Wasser gesammelt wird, das vorher durch die innere Wanne gelaufen ist. In die obere Wanne wird abschließend der Boden eingefüllt. Es wird darauf geachtet, die Lagerungsdichte des ungestörten Bodens und eine Durchmischung weitestgehend zu minimieren. Es wird davon ausgegangen, dass durch die regelmäßige Bearbeitung der Ackerkrume das Bodenmaterial im gepflügten Ackerbau so homogenisiert wurde, dass der Einbau des Bodens

in das Wannensystem ohne gravierende Fehler, wie z. B. bevorzugte Fließkanäle, erfolgt. Zur Absicherung der Untersuchungsergebnisse sollte aber mit zwei bis vier Wiederholungen gearbeitet werden (IGLU 2004).



Abb. 148: Bau eines Wannensystems (IGLU 2004)

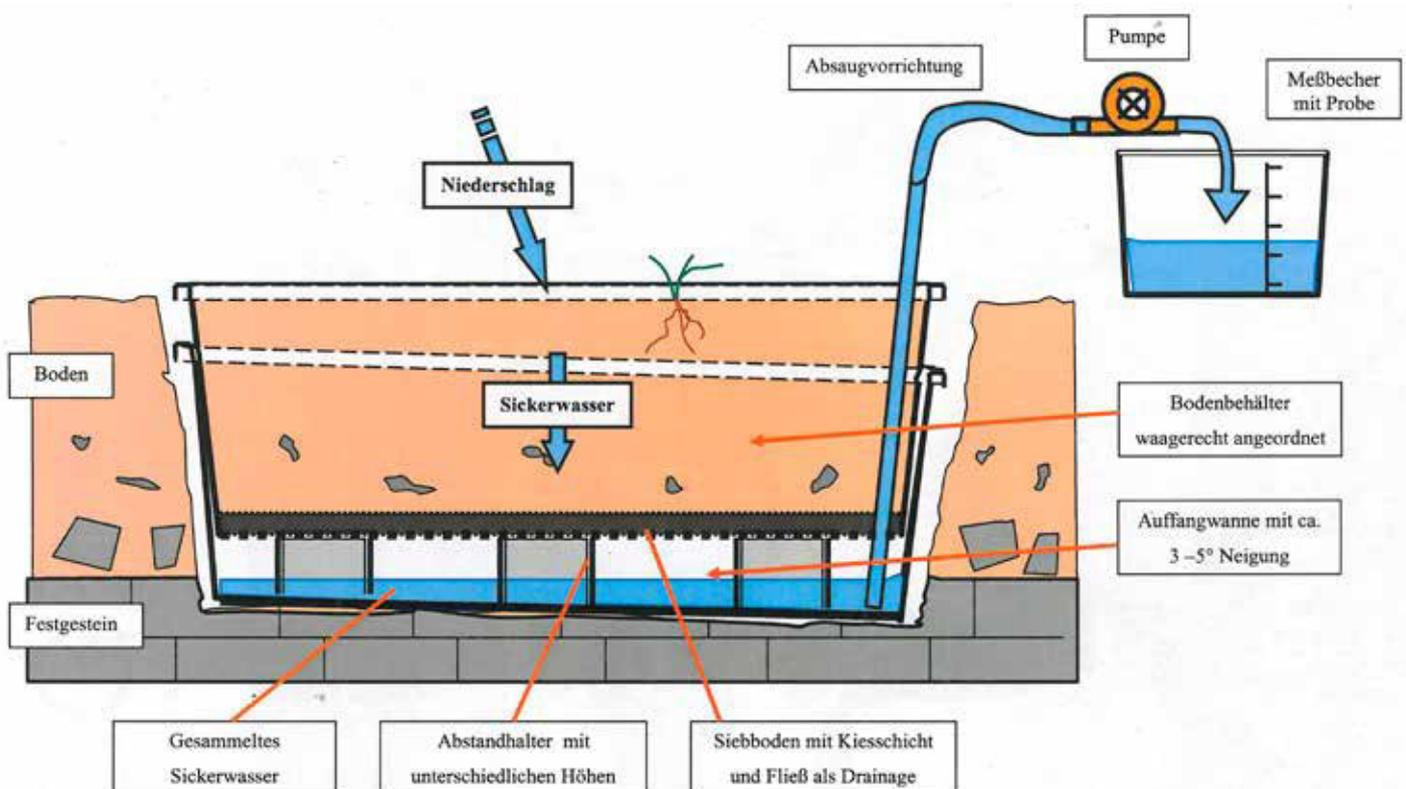


Abb. 147: Schematische Skizze zum Aufbau eines Wannensystems auf einem flachgründigen Festgesteinstandort (IGLU 2004)

Probenahme

Die Häufigkeit der Leerung des Sickerwasserbehälters richtet sich nach der Höhe der Niederschläge. Ohne intensive Niederschläge sollte ein ein- bis zweiwöchiger Beprobungssturnus zur Gewinnung einer Zeitreihe eingehalten werden. In der Sickerwasserperiode ist bei einem gesättigten Bodenkörper die Reaktionszeit des Lysimeters sehr kurz. Nach stärkeren Niederschlägen sollte am Folgetag eine Probe entnommen werden.

Auswertung

Aus der unterhalb der Wurzelzone aufgefangenen Sickerwassermenge kann für den definierten Bilanzraum des Behälters (Auffangfläche) annähernd die tatsächliche Grundwasserneubildung abgeleitet werden. Beachtet werden muss, dass die auf einer relativ kleinen Fläche gewonnenen Sickerwassermengen eine hohe Varianz aufweisen können. Die Ursache dafür sind bevorzugte Fließbahnen im Untergrund, die örtlich eine schnellere Verlagerung von Sickerwasser ermöglichen. Vor allem bei den ersten Messungen kann es zu überhöhten Werten kommen, wenn der Boden beim Einbau zu stark gelockert wurde. Mit dem Wannensystem ist auch eine Frachtenberechnung möglich (s. Abb. 149). Ihre Aussagekraft ist abhängig von der Genauigkeit der erfassten Sickerwassermenge. Daten aus einem Lysimeterversuch können auf größere Flächen ähnlicher Bodenart, des Bodentyps und der Bodenbedeckung hochgerechnet werden.

Anwendungsbereich

Lysimeter gelten als vergleichsweise kostenintensive Anlagen, die aufwändige Vor- und Nacharbeiten erfordern, um eine dem Standort gerechte realistische Auswertung zu erreichen. Deshalb werden sie insbesondere im Versuchswesen verwendet. Für exakte Untersuchungen zum Wasserhaushalt (z. B. begleitende Lysimeteruntersuchungen des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie zu den Exaktversuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen) werden Lysimeter mit hohem technischen Standard verwendet. Zur Untersuchung der regionalen Auswirkungen der Landnutzung können Feldlysimeter verwendet werden. Der Einbau von Wannensystemen zur Untersuchung des Sickerwassers ist für folgende Anwendungsbereiche sinnvoll:

- zur fortlaufenden Erfassung der Sickerwasserqualität und N-Dynamik in enger zeitlicher Auflösung für repräsentative Standorte
- zum Nachweis von Auswaschungsereignissen auf Demonstrations- oder Dauerbeobachtungsflächen
- zur Erfolgskontrolle langfristiger Extensivierungsmaßnahmen (z. B. Umwandlung von Ackerland in Grünland).

Um möglichst die gesamte Wurzelzone mit dem Wannensystem zu erfassen, ist diese Methode der Erfolgskontrolle weitgehend auf flachgründige, grundwasserferne Standorte beschränkt. Auf tiefgründigen, tonhaltigen Böden ist der technische Aufwand für die erforderliche Einbautiefe zu groß.

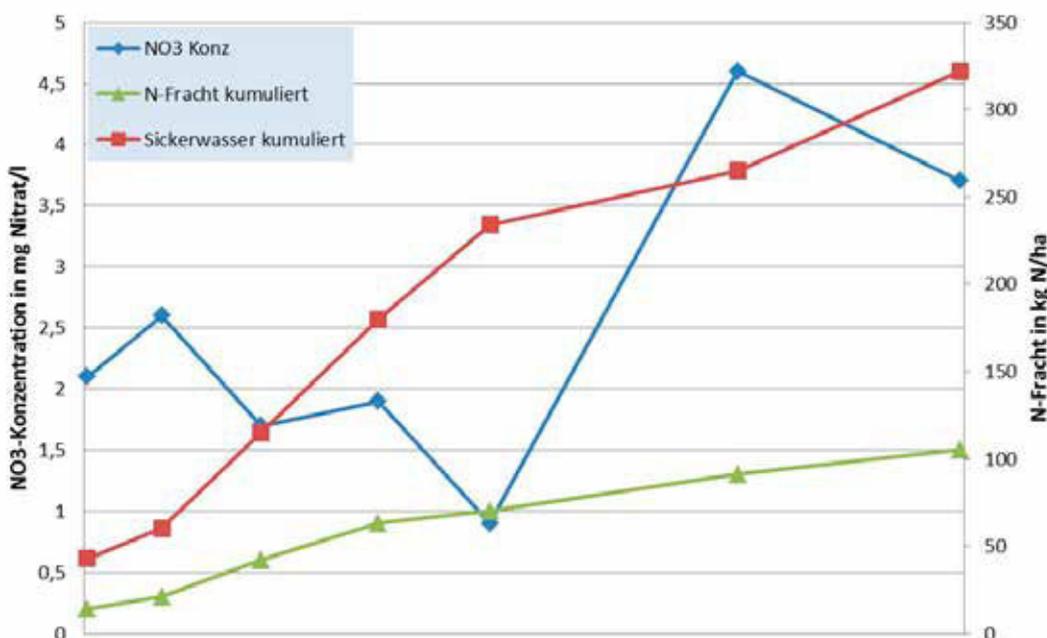


Abb. 149: Beispiel einer Darstellung von Messwerten aus Wannensystemen, Frachtenberechnung des Stickstoffs (IGLU 2004, verändert).

Eignungsbewertung

Der Einbau von Lysimetern eignet sich zur Erfolgskontrolle von Maßnahmen sowie zum Nachweis von Prozessen, insbesondere:

- Maßnahmen, die direkt zu einer Reduzierung der Nitratkonzentration im Sickerwasser führen sollen (vor allem Zwischenfruchtanbau und reduzierte Bodenbearbeitung im Herbst)
- direkter Nachweis des Auswaschungsverhaltens in Abhängigkeit vom Sickerwasseranfall und der Witterung
- Nachweis des zeitlichen Verlaufs von Mineralisierungsprozessen auf Dauerbeobachtungsflächen.

Zur statistischen Absicherung sind mehrere Wiederholungen und somit ein großer Beprobungsaufwand notwendig. Der Einsatz von Lysimetern zur Erfolgskontrolle ist weitgehend auf **flachgründige, grundwasserferne Standorte** und den Einbau im Winter beschränkt.

	1-jährige Maßnahmen	mehrfährige Maßnahmen
Ist-Zustand für innergebietliche Prioritätensetzung	–	–
Erfolgskontrolle von Einzelschlagmaßnahmen	0	–
Erfolgskontrolle auf Repräsentativflächen	0	+

2.7.5.2 Nitrat-Tiefenprofile

Kurzcharakteristik

Tiefenabgestufte Beprobungen der ungesättigten Zone (kurz: Tiefenprofile) ermöglichen auf geeigneten Standorten die Ermittlung von Stoffkonzentrations-Tiefenprofilen bis zur Grundwasseroberfläche (s. Abb. 150). Meist werden in Tiefschritten von z. B. 30 cm Substratproben entnommen und im Labor analysiert.

In der Sickerwasser-Dränzone, unterhalb der hydraulischen Wasserscheide des Bodens ist die Wasserbewegung bis zur Grundwasseroberfläche ausschließlich abwärts gerichtet. Die Stoffkonzentration wird nicht mehr durch die Nährstoffaufnahme der Pflanzen beeinflusst. Wenn Nitratabbau durch Denitrifikation ausgeschlossen werden kann, entspricht die mittlere Nitratkonzentration in der Sickerwasser-Dränzone der mittleren Konzentration in der Grundwasserneubildung. In der Prinzipskizze Abbildung 150 sind das $87 \text{ mg NO}_3/\text{l}$. In Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Dränzone, der jährlichen Sickerwassermenge und der Feldkapazität des Substrats kann das Nitrat-Tiefenprofil mehrere Sickerwasserjahrgänge abbilden. Zum Teil können die Auswirkungen von Bewirtschaftungsänderungen anhand der zeitlichen Zuordnung der Tiefenbereiche eines Nitrat-Tiefenprofils identifiziert werden (s. Abb. 153). Häufiger aber wird der Mittelwert der Nitratkonzentration in der Dränzone zur Bewertung eines Mehrjahreszeitraums (beispielsweise einer Fruchtfolge) herangezogen und durch Vergleich wiederholter Beprobungen im Mehrjahresabstand für die Erfolgskontrolle genutzt.

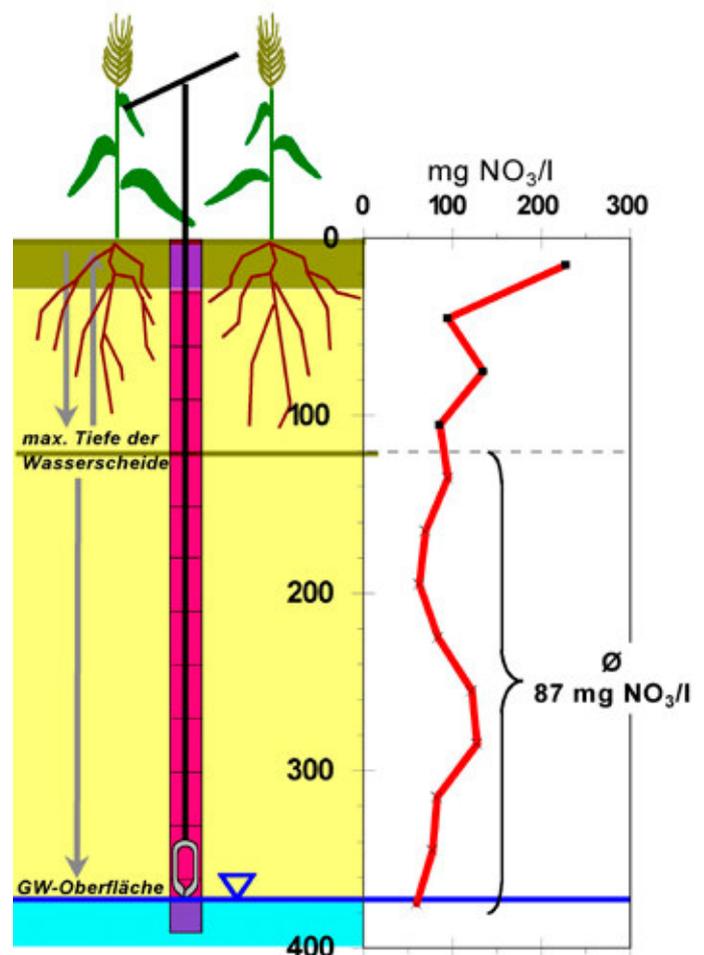


Abb. 150: Prinzipskizze zur Durchführung und Ergebnisauswertung von Tiefenprofilen

Eine deutliche Abnahme der Nitratkonzentration mit der Tiefe bei gleichzeitiger Zunahme der Sulfatkonzentration ist ein Indiz für Denitrifikation bereits in der ungesättigten Zone (z. B. bei sehr dichtgelagerten Lockersedimenten mit Sauerstoffarmut), deren Umfang und Verbreitung durch Tiefenprofile nachgewiesen werden kann (s. Abb.151).

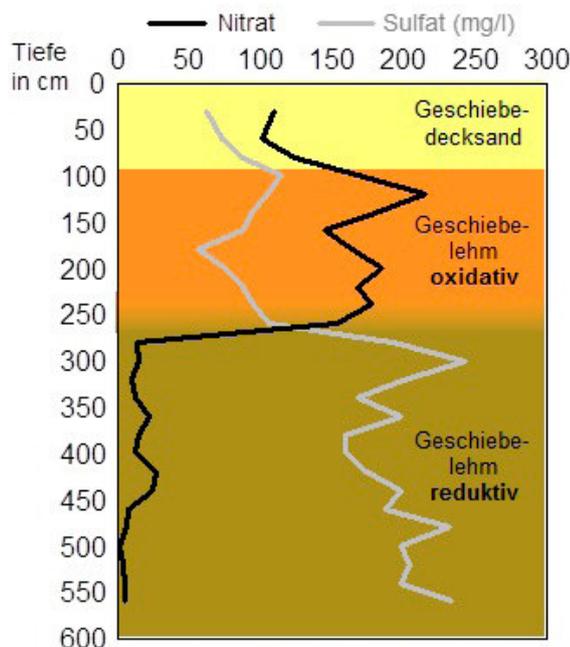


Abb. 151: Tiefenprofil mit Denitrifikation in der Sickerwasser-Dränzone im pyrihaltigen, reduktiven Geschiebelehm

Durchführung

Untersuchungsumfang

Der fachlich erforderliche Untersuchungsumfang richtet sich nach der Fragestellung und den Anforderungen an die statistische Absicherung der Ergebnisse. Angestrebt werden sollte eine mindestens dreifache Wiederholung der Bohrungen je Fläche. Bei nur einer Bohrung je Fläche sollten die Ergebnisse flächenübergreifend ausgewertet werden.

Für die Erfolgskontrolle werden häufig Tiefenintervalle von 20 bis 40 cm (meistens 30 cm) gewählt. Tiefenschritte unter 20 cm werden z. B. bei Sonderuntersuchungen zur Niedermoordegradierung im kritischen Tiefenbereich gewählt. Große Tiefenintervalle sind für Überblicksuntersuchungen bei homogenen Substraten und großen jährlichen Sickerwasserverlagerungsstrecken geeignet.

Standortauswahl und -dokumentation

Die Flächenauswahl richtet sich nach der Fragestellung, der Bewirtschaftung (z. B. Fruchtfolge, Düngepraxis, Grundwasserschutzmaßnahmen) und den Standort-eigenschaften. Die Bohrpunkte werden im Büro nach

bodenkundlich-geologischen Kartengrundlagen festgelegt und vor Ort mit den Bewirtschaftern abgesprochen. Eine Anpassung im Gelände kann erforderlich sein, wenn „unplanmäßig“ Stauwasser auftritt, Steine das Bohren behindern oder die angestrebte Mindestbohrtiefe aus anderen Gründen nicht erreicht werden kann. Die tatsächlichen Bohrpunkte werden vor Ort eingemessen oder per GPS erfasst um mehrjährige Vergleichsuntersuchungen zu ermöglichen.

Probenahmegeräte

Für die Probenahme bis etwa fünf Meter werden Handbohrer (s. Abb. 152) verwendet, die bei geringem Geräteaufwand eine tiefengenaue Beprobung ermöglichen. Bei größeren Tiefen und/oder steinigem oder sehr bindigem Substrat werden Rammkernsondierungen eingesetzt.

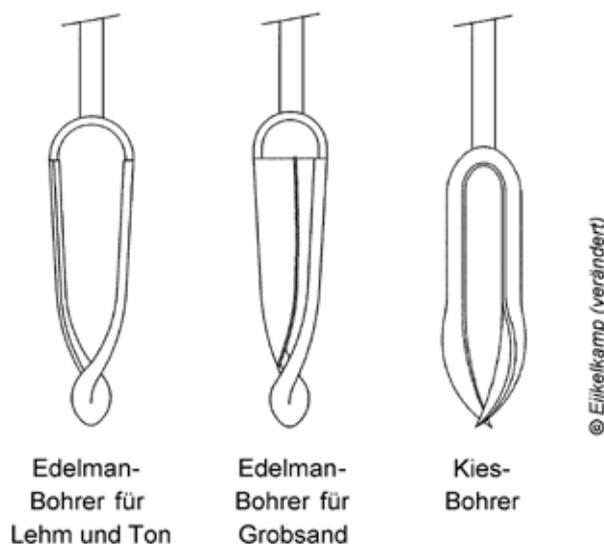


Abb. 152: Handbohrer für verschiedene Substrate

Probenahme

Zur Ermittlung der Nitratkonzentration in der Sickerwasser-Dränzone erfolgt die Probenahme meist ab einer Tiefe von 1,20 m. Für jede Bohrung wird ein Probenahmeprotokoll mit einer geologisch-bodenkundlichen Substratansprache gefertigt. Bei der Probenahme ist darauf zu achten, dass keine Materialvermischung über verschiedene Horizonte erfolgt. Die gewonnenen Bodenproben werden deshalb im Gelände oben und seitlich mindestens soweit beschnitten und gesäubert, dass eine Kontamination durch herabgefallenes Bodenmaterial ausgeschlossen ist. Im Gelände erfolgt keine Homogenisierung und Teilung der Proben. Die Bodenproben werden für jede Profiltiefe getrennt und vollständig zum Labor transportiert. Die Kühlkette darf beim Transport nicht unterbrochen werden.

Laboranalyse

Die Bodenproben werden im Labor standardmäßig auf Nitrat-, Ammonium- und Sulfatkonzentrationen sowie den Wassergehalt in der Bodenlösung untersucht. Die Extraktion erfolgt nach dem VDLUFA-Methodenbuch Band I mit 0,01 M Calciumchloridlösung.

Ergebnisauswertung

Die tiefenbezogenen Analyseergebnisse werden in der Regel in Form von Konzentrations-Tiefenprofilen dargestellt. Im Idealfall (homogene Sickerwasser-Dränzone, kurze jährliche Verlagerungstrecken) können zeitliche Variabilitäten z. B. als Folge von Grundwasserschutzmaßnahmen aus einem Profil abgeleitet werden.

In Abbildung 153 ist ein solcher Idealfall für ein Tiefenprofil aus dem Löss-Bergland dargestellt. Das Profil erfasst ca. sieben Anbaujahre. In der Abbildung entspricht ein Sickerwasserjahrgang bei einer jährlichen Sickerwasserrate von 150 mm und einer Feldkapazität von 30 % einem Tiefenbereich von 0,5 m. Die Zuordnung der Zeitachse zeigt eine deutliche Verbesserung der Bewirtschaftung an.

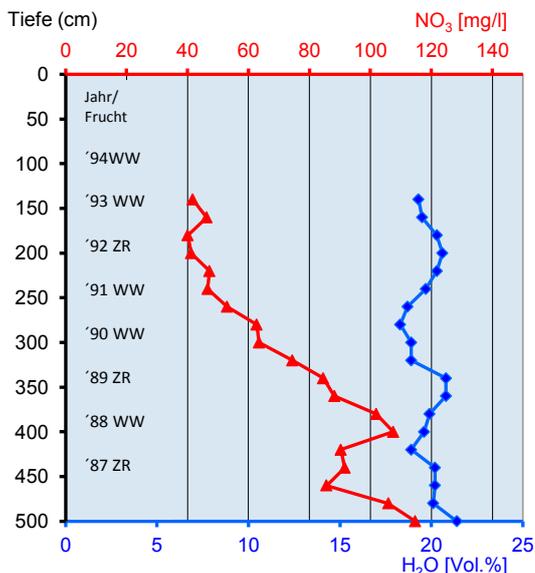


Abb. 153: Tiefenprofil aus dem Löss-Bergland mit geringen jährlichen Sickerwasser-Verlagerungstrecken (IGLU)

Bei der Interpretation von Tiefenprofilergebnissen muss der präferenzielle Fluss als Einflussgröße berücksichtigt werden. In der ungesättigten Zone ist der präferenzielle Fluss die Regel (LENNARTZ 2003).

Beeinflussungen durch Stoffumsetzungsprozesse (z. B. Denitrifikation: Nitratabbau/Sulfatbildung) können identifiziert werden, wenn eine parameterübergreifende Auswertung unter Berücksichtigung der stöchiometrischen Mengenverhältnisse und gegebenenfalls der bodenkundlichen und hydrologischen Informationen erfolgt.

Präferenzieller Fluss

Die Berechnung der jährlichen Sickerwasser-Verlagerungstrecke nach DIN 19732 geht von einer gleichmäßigen Tiefenverlagerung des Sickerwassers aus. Tatsächlich kann das Wasser aber in Teilbereichen des Bodens schneller als im übrigen Boden fließen, z. B. in Regenwurmgingen, Rissen und Wurzelgingen und bei einer Übersättigung des Bodens. Der Sickerwasseranteil, der diesen bevorzugten Fließwegen folgt, wird bei der Gewinnung von Bodenproben nur ungenügend erfasst. Unmittelbar nach einer Düngungsmaßnahme kann dieses Wasser eine höhere Stoffkonzentration als das übrige Bodenwasser enthalten.

Die mengenmäßige Bedeutung des präferenziellen Flusses ist bisher kaum bekannt. Tendenziell ist sie auf Sand- und Tonstandorten höher als im Löss und bei Grünland größer als unter Ackerflächen. Wenn der präferenzielle Fluss einen wesentlichen Teil des Sickerwassers ausmacht, erfolgt die Tiefenverlagerung des übrigen Sickerwassers in der Bodenmatrix langsamer als nach DIN 19732 berechnet (DIN 2011).

Anwendungsbereich

Tiefenprofile werden im Rahmen der Wasserschutzsatzberatung zur Zustandserfassung und Erfolgskontrolle sowie für Sonderfragestellungen eingesetzt.

Sie können auf tiefgründigen Lockergesteinsstandorten mit nicht zu großem Steinanteil durchgeführt werden. Das Verfahren ist gegenüber den kalkulatorischen Verfahren zur Erfolgskontrolle bzw. zur Herbst-N_{min}-Untersuchung aufwändiger, liefert aber zuverlässigere Aussagen zur tatsächlichen Sickerwasserqualität.

Zustandserfassung und Gebietsmonitoring

Nitrat-Tiefenprofile dokumentieren die mehrjährige Sickerwasserqualität. Im Unterschied zur Ableitung aus dem Herbst-N_{min}-Wert wird die Nitratkonzentration im Sickerwasser unmittelbar gemessen, das bedeutet Ungenauigkeiten z. B. durch die Ermittlung der Sickerwasserrate und der Sickerwasserbildung vor der N_{min}-Beprobung entfallen.

Durch eine tiefenbezogene Auswertung der Nitrat- (und Sulfat-)konzentrationen kann die Bedeutung eines möglichen Nitratabbaus durch Denitrifikation in der Dränzone eingeschätzt werden.

Tiefenprofile sind zur Erfassung der tatsächlichen Sickerwasserqualität auf Schlagebene besonders geeignet.

Bewirtschaftungs- und standortrepräsentative Bohrprogramme ermöglichen eine zuverlässige Ermittlung der tatsächlichen Sickerwasserqualität auf Gebietsebene. Diese kann mit der abgeleiteten Nitratkonzentration nach Herbst- N_{\min} oder mit der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser nach Bilanzsalden abgeglichen werden.

Erfolgskontrolle

Durch den Vergleich von Tiefenprofilen z. B. im zeitlichen Verlauf einer Fruchtfolge ist die Wirkungskontrolle mehrjähriger Grundwasserschutzmaßnahmen auf Ebene des Sickerwassers möglich. Eine Ergänzung der Tiefenprofile durch jährliche Herbst- N_{\min} -Untersuchungen ist sinnvoll. (s. Abb. 154).

Unter günstigen Voraussetzungen (keine Denitrifikation, geringe Sickerwasser-Verlagerungsgeschwindigkeit, unbedeutender Makroporenfluss) wird der Effekt von Bewirtschaftungsänderungen bereits innerhalb des Tiefenprofils sichtbar (s. Abb. 153).

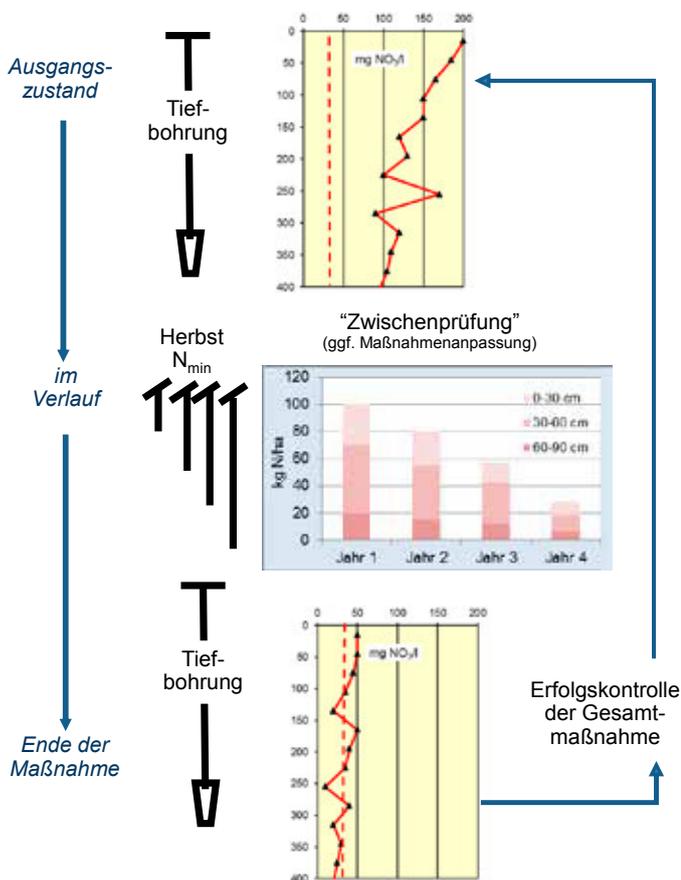


Abb. 154: Erfolgskontrolle einer mehrjährigen Grundwasserschutzmaßnahme durch Kombination von jährlichen Tiefenprofilen und Herbst- N_{\min} (IGLU)

Sonderfragestellungen

Unter Einbeziehung der bodenkundlichen Profilaufnahme können bei der Auswertung des Konzentrationstiefenverlaufs (z. B. von Nitrat und Sulfat) Stofffreisetzungs-, Umwandlungs- und Festlegungsprozessen in der Wurzelzone und der Sickerwasser-Dränzone erkannt werden. Damit kann die Schutzfunktion der Sickerwasser-Dränzone für das Grundwasser abgeschätzt werden (Beispiel: Denitrifikation durch reduktiven Geschiebelehm, s. Abb. 151).

Außerdem ist eine Bewertung des Erhaltungszustands stark humoser bis organischer Böden möglich. Abbildung 155 zeigt:

- einen Niedermoorstandort mit vollständiger Denitrifikation durch ausreichenden Grundwassereinstau,
- den gleichen Standort bei abgesenktem Grundwasserstand mit Nitratfreisetzung im oberen Bereich, aber noch weitgehender Denitrifikation im unteren Bereich,
- einen Niedermoorstandort mit einem Torfkörper ohne Grundwasseranschluss. Das Nitrat-Tiefenprofil zeigt einen deutlichen Nitratdurchbruch bis zum Grundwasser.

Beispiel Niedermoor-Degradierung:

Niedermoor torf enthält in einer 10 cm-Schicht bis zu 10.000 kg Stickstoff je Hektar in organisch gebundener Form. Bei der Torfzersetzung (durch Niedermooerentwässerung) wird dieser größtenteils über Ammonium zu Nitrat umgewandelt. Unter günstigen Umständen wird Nitrat in den unteren Torfschichten durch Denitrifikation wieder abgebaut, ansonsten kann es zu einem Nitratdurchbruch in das Grundwasser kommen (Nitrat-Tiefenprofil (c) in Abb. 6).

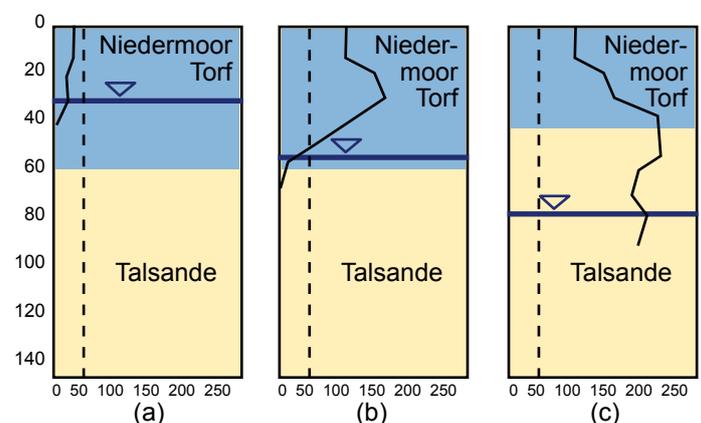


Abb. 155: Nitratkonzentrations-Tiefenprofile von Niedermoorstandorten mit unterschiedlichem Erhaltungszustand (NLÖ 2001)

Eignungsbewertung

Nitrat-Tiefenprofile in der ungesättigten Zone sind geeignet:

- zur schlagbezogenen Erfolgskontrolle
- zur Erfolgskontrolle mehrjähriger Grundwasserschutzmaßnahmen
- durch bewirtschaftungs- und standortrepräsentative Bohrprogramme zum turnunsmäßigen Gebietsmonitoring des Sickerwassers
- zur Erkennung von Stoffumsatzprozessen in der Sickerwasser-Dränzone
- zur Abschätzung des Schutzpotenzials der Böden.

Vorteile gegenüber der Herbst-N_{min}-Beprobung:

- Die Bewertbarkeit der Ergebnisse ist unabhängig von der Sickerrate.
- Die Erfassung eines Mehrjahreszeitraums ist nur durch eine Untersuchung möglich.

- Reaktionsprozesse in der ungesättigten Zone können identifiziert und bewertet werden.

Vorteile gegenüber der Beprobung des oberflächennahen Grundwassers:

- eindeutiger räumlicher Bezug zur Flächennutzung
- Möglichkeit frühzeitiger Aussagen zur Qualität der zukünftigen Grundwasserneubildung
- Erfassung der Auswirkungen eines mehrjährigen Bewirtschaftungszeitraums.

	1-jährige Maßnahme	mehrjährige Maßnahme
Ist-Zustandserfassung für innergebietliche Prioritätensetzung	++	++
Erfolgskontrolle von Einzelschlagmaßn.	–	++
gebietsrepräsentative Erfolgskontrolle	–	++

2.7.6 Untersuchung des Grundwassers

Die Untersuchung des Grundwassers spielt für die Kenntnis der hydrochemischen Zusammenhänge in einem TGG eine wichtige Rolle.

Im Rahmen der WZB steht die Untersuchung der stofflichen Belastung (z. B. der Nitratkonzentration) des Grundwassers im Vordergrund. Die Untersuchungen werden zur Betrachtung des Teil- oder Gesamteinzugsgebiets durchgeführt. Mit zunehmender Tiefe des beprobten Grundwassers nimmt der Bezug zum Probenahmestandort ab.

Mit der Kenntnis der Belastungssituation kann die Intensität der Grundwasserschutzmaßnahmen festgelegt, eine zielgerichtete Erfolgskontrolle etabliert und Rückschlüsse zur Erreichung des Maßnahmenenerfolgs gezogen werden.

Da in den Förderbrunnen eines TGG meist das Mischwasser des Einzugsgebiets erfasst wird, bieten Grundwasseruntersuchungen an den Grundwassermessstellen die Möglichkeit, räumlich und zeitlich differenziert aus den Zustrombereichen Ergebnisse zur Nitratkonzentration zu erhalten. In den nachfolgenden Kapiteln werden die im Rahmen der WZB eingesetzten Grundwasseruntersuchungen beschrieben.

Untersuchungen der Grundwasseroberfläche zeigen, dem Zonenmodell folgend, die Eingangsbelastung des neu gebildeten Grundwassers an. Die Untersuchung kann mit Saugglanzen durchgeführt werden. Im Kapitel 2.7.6.1 wird die Vorgehensweise beschrieben.

Die Beprobung des Grundwassers wird im Kapitel 2.7.6.2 erläutert. Dabei sind die technischen Regelungen und Vorgaben in den Arbeitsblättern W 101 und W112 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs (DVGW 2006 & 2011) zu berücksichtigen. Insbesondere in Porenwasserleitern können Grundwassermessstellen im Anstrom- und Abstrombereich der Förderbrunnen in ein Konzept zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen einbezogen werden. Stoffumwandlungsprozesse, insbesondere der Nitratabbau, sind zu beachten.

In TGG, in denen keine oder nicht geeignete Grundwassermessstellen zur Verfügung stehen, kann mit dem Direct-Push-Verfahren gearbeitet werden. Im Gegensatz zu den stationären Grundwassermessstellen kann ortsungebunden mit dem Direct-Push-Verfahren auch eine flächenspezifische Grundwasseruntersuchung vorgenommen werden. Über die Grundwassermessstellen sowie das Direct-Push-Verfahren sind tiefenabgestufte Grundwasseruntersuchungen möglich. Das Verfahren wird ebenfalls im Kapitel 2.7.6.2 erläutert.

Ziel der Grundwasserschutzmaßnahmen ist die Verringerung der stofflichen Belastung im Grundwasser und letztlich im Rohwasser. Deshalb sind neben der Kenntnis des stofflichen Zustands auch die hydraulischen Verhältnisse (Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit) von großer Bedeutung. Auf dieser Grundlage kann abgeschätzt werden, wann ein Erfolg der umgesetzten Grundwasserschutzmaßnahmen im Rohwasser der Förderbrunnen messbar sein wird. Eine wichtige Zusatzinformation für die Etablierung und die Zielerreichung von Maßnahmenkonzepten kann die Kenntnis des Grundwasseralters sein. Im Kapitel 2.7.6.3 wird auf die Altersbestimmung des Grundwassers eingegangen.

2.7.6.1 Beprobung der Grundwasseroberfläche

Kurzbeschreibung

Die Beprobung der Grundwasseroberfläche (GWO) ermöglicht eine Aussage zur stofflichen Qualität des neu gebildeten Grundwassers. Eine wichtige Planungsgrundlage für Untersuchungen der GWO sind dabei Kenntnisse der standörtlichen bodenkundlichen und hydrogeologischen Verhältnisse.

Da im Grundwasser meist nur eine geringe Durchmischung stattfindet, ermöglicht die Untersuchung der GWO räumlich und zeitlich differenzierte Aussagen zu Stoffkonzentrationen, z. B. Nitrat. Somit können Rückschlüsse zur Wirksamkeit von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf das Grundwasser gezogen werden.

Die Probenahme an der GWO wird mit einer Sauglanze durchgeführt. Mit diesem mobilen Verfahren ist auf geeigneten Standorten eine relativ einfache und kostengünstige, flächenhafte Untersuchung möglich.

Anwendungsbereich

Gemäß DWA-Merkblatt M911 (DWA 2013) soll die Grundwasserentnahme über Sauglanzen wegen der fehlenden Filtrierung nicht bei anmoorigen Standorten und Standorten mit hohem Feinsedimentanteil erfolgen. Die Proben müssten dann vor der Analyse filtriert werden, was zu Fehlern bei der Analytik führen kann.

Die mobile Entnahme von Grundwasser an der GWO mittels Sauglanzen ist bis zu einem Grundwasserstand von sechs Meter unter Gelände relativ einfach durchzuführen. Bei mehr als sechs Meter Flurabstand reicht der Unterdruck bei der Probenahme nicht mehr aus, um eine qualitativ und mengenmäßig ausreichende Wasserprobe zu fördern. Das Beprobungsverfahren

ermöglicht im Unterschied zu stationären Messstellen auch bei schwankenden Grundwasserständen die Probenahme von der GWO. Die hohe zeitliche und räumliche Variabilität der Stoffkonzentration an der Grundwasseroberfläche muss aber berücksichtigt werden. Deshalb ist ein enger räumlicher und zeitlicher Probenahmeabstand sinnvoll. Eine schlagbezogene Bewertung ist nur bei ausreichender Schlaglänge in Strömungsrichtung und präziser Erfassung der Grundwasseroberfläche möglich.

Im Trinkwasserschutz wird die Untersuchung im Rahmen der WZB selten durchgeführt, da sie genaue Kenntnisse der Grundwasserströmungsverhältnisse erfordert.

Die GWO-Untersuchung kann zur Ist-Zustandserfassung der Grundwasserneubildungsqualität und somit als Grundlage für die Festlegung räumlicher Prioritäten für Grundwasserschutzmaßnahmen verwendet werden. Durch Wiederholung des GWO-Beprobungsprogramms ist eine teilgebietsbezogene Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen möglich. Für Stoffe wie Nitrat, Kalium, Schwermetalle und Pflanzenschutzmittel, deren Konzentration im Sickerwasser durch die Analyse von Bodenproben nicht sicher bestimmt werden kann, stellt die GWO-Beprobung eine zweckmäßige Ergänzung zur Ermittlung der herkunftsbezogenen Belastung dar.

Durchführung

Mit der Sauglanze ist die gezielte Beprobung bis maximal 20 cm unterhalb der GWO (DWA 2013) möglich. Sauglanzen bestehen aus einem Führungsrohr mit Saugschlauch und einer aufgeschraubten Schlitzsonde aus Plexiglas oder Teflon.

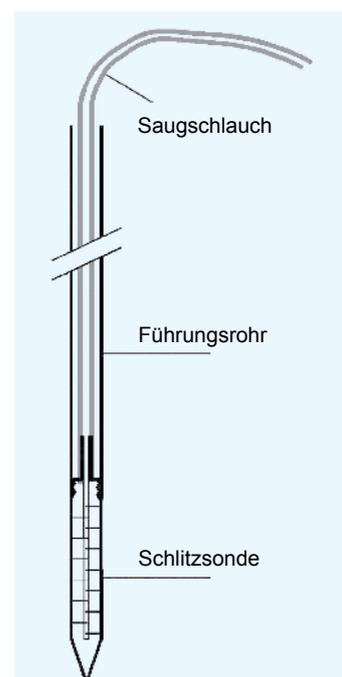


Abb. 156: Sauglanze (nicht maßstabsgerecht)

Für jede Untersuchungsfläche werden pro Beprobungstermin mindestens fünf Probenahmepunkte empfohlen. Ein ausreichender Sicherheitsabstand zu Störeinflüssen (abweichende Flächennutzung etc.) muss gewahrt werden, da die Fließrichtung und -geschwindigkeit des Grundwassers meist nicht flächengenau bekannt sind.

Die Probenahmepunkte werden in Form von Transsekten oder als Raster mit gleichmäßigen Rasterpunkt-Abständen positioniert. Für die Untersuchung der landschaftsräumlichen Variabilität werden die Bohrpunkt-abstände in besonders kritischen Bereichen (z. B. Niedermoor - Rand) verringert. In Abhängigkeit von der Zielsetzung sollte eine mehrfache Beprobung im Verlauf der Versickerungsperiode erfolgen (z. B. bei einsetzendem Anstieg des oberflächennahen Grundwassers, nach Erreichen von 50% und nach 75% der mittleren Winter-niederschlagssumme).

Probenahme

Mit dem Pürckhauer- oder Linnemann-Bohrer wird die Sickerwasser-Dränzone bis an die GWOF durchbohrt. Die Grundwasseroberfläche ist an der Sättigung erkennbar. Die Sauglanze wird in das Bohrloch eingebracht. Durch das Anlegen eines Unterdrucks wird eine Wasserprobe von der GWOF angesaugt. Dabei wird die Sauglanze auf und ab bewegt, um ein Verstopfen der Schlitzze zu vermeiden und den kompletten Tiefenbereich zu erfassen. Der Absaugvorgang muss so lange wiederholt werden, bis eine klare Probe gewonnen wurde, die im Labor untersucht wird.

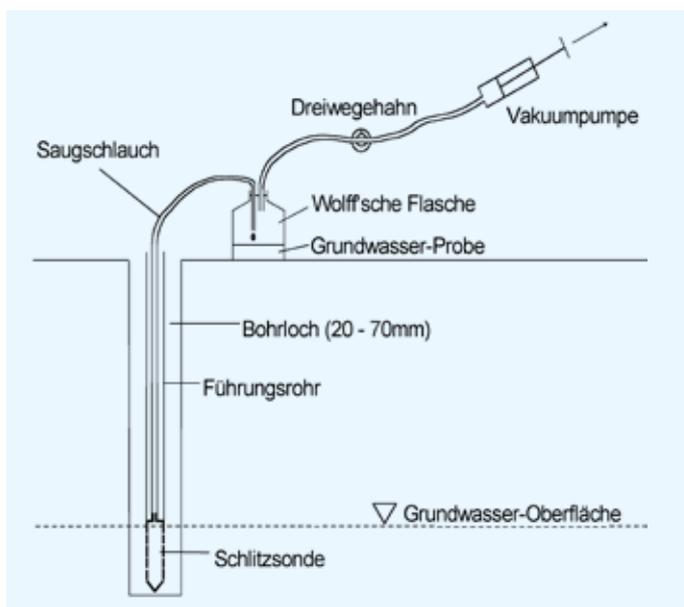


Abb. 157: Probenahme mit der Sauglanze (Prinzipskizze)

Auswertung

Die Proben werden einzeln und nicht als Mischproben untersucht. Für die Bewertung der Grundwasserneubildungsqualität abgegrenzter Teilgebiete werden Mittelwerte der Stoffkonzentration berechnet.

Flächenrepräsentative Mittelwertbildung

Bei gleichen Abständen zwischen den Probenahmepunkten ergibt sich die mittlere Stoffkonzentration der Grundwasserneubildung als arithmetisches Mittel der Einzelwerte. Bei unterschiedlichen Abständen zwischen den Beprobungspunkten oder bei unterschiedlichen Grundwasserneubildungsraten müssen die Einzelwerte bezogen auf eine repräsentative Fläche flächengewichtet werden (s. Abb. 158).

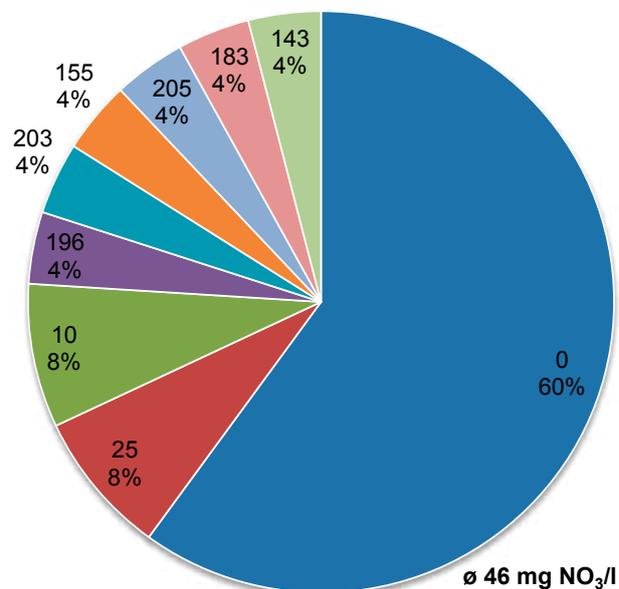


Abb. 158: Beispiel für die Ermittlung der flächengewichteten NO₃-Konzentration

Die Erstellung von Auswertungskarten (Isolinien gleicher Stoffkonzentration) kann für den gebietsbezogenen Überblick sinnvoll sein. Die Kartenerstellung erfordert eine hohe räumliche Datendichte (DVWK 1982).

Eignungsbewertung

Die GWOF-Untersuchung ist für den gebietsbezogenen Überblick der stofflichen Ist-Zustandserfassung des neugebildeten Grundwassers

- als Grundlage der räumlichen Prioritätensetzung und
- zur Prüfung der räumlich differenzierten Wirksamkeit von Maßnahmen der WZB geeignet.

Vorteile gegenüber bodenanalytischen Verfahren sind

- die Berücksichtigung der Schutzfunktion des Bodens und des präferenziellen Flusses
- der relativ geringere Analyseaufwand der Wasserproben
- die Probenahme mit der Sauglanze garantiert eine geringe Störung des Substrats

Ein Vorteil gegenüber der Beprobung des tieferen Grundwassers ist die größere räumliche und zeitliche Nähe zur Durchführung von Grundwasserschutzmaßnahmen.

Ein Nachteil ist der relativ hohe Beprobungsaufwand und die zeitliche und räumliche Variabilität der Grundwasserneubildungsqualität.

Ist-Zustand für Prioritätensetzung	+
Erfolgskontrolle von Einzelschlag-Maßnahmen	0
Erfolgskontrolle auf Repräsentativflächen	+
Erfolgskontrolle großflächiger GW-Schutzmaßnahmen	+

2.7.6.2 Beprobung des Grundwassers

Grundwasseruntersuchungen im Rahmen der WZB sind ein wichtiges Instrument der Erfolgskontrolle zur Bewertung stofflicher Veränderungen z. B. durch Grundwasserschutzmaßnahmen.

Im Rahmen des Schutzkonzepts (s. Kap. 2.2) in TGG wird in Abstimmung mit dem WVU, der WZB und gegebenenfalls dem Hydrogeologen ein Konzept zur Erfolgskontrolle der Grundwasserschutzmaßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen) entsprechend den standörtlichen Gegebenheiten erstellt. Die zuständigen Fachbehörden (UWB, NLWKN) sollten beteiligt werden. In das Konzept zur Erfolgskontrolle werden geeignete Grundwassermessstellen (GWM) des WVU, aber auch gegebenenfalls weitere Grundwassermessstellen (z. B. des NLWKN) einbezogen. Dabei sollte auch geprüft werden, ob das Messnetz den Anforderungen an eine zielgerichtete Erfolgskontrolle im oberflächennahen Grundwasserbereich genügt oder eventuell verdichtet werden muss. Im Einzelfall erfolgt auch ein Messstellenneubau im Rahmen der WZB.

Entscheidend für die Auswahl der GWM zur Erfolgskontrolle ist die Kenntnis der hydrogeologischen und hydraulischen Standortbedingungen (z. B. Strömungsver-

hältnisse, Grundwasserfließrichtung, Fließgeschwindigkeit) sowie der Kenndaten der GWM (z. B. Rechts- und Hochwert, Ausbautiefe, Filterlage). In Gebieten mit unzureichendem GWM-Netz werden in den letzten Jahren zunehmend Grundwasserbeprobungen mit dem Direct-Push-Verfahren durchgeführt.

In den meisten TGG werden geeignete Vorfeldmessstellen zur Erfolgskontrolle genutzt. Die Unternehmen der öffentlichen Trinkwasserversorgung sind gemäß Nds. Wassergesetz (NWG, Nds. LANDTAG 2010) verpflichtet, Vorfeldmessstellen zu errichten und zu betreiben. Die Vorfeldmessstellen werden gebaut, um frühzeitig Stoffbelastungen im Zuflussbereich von Grundwasserentnahmen zu erfassen. Sie sind so platziert, dass eine Vorwarnung bei flächenhaft ausgedehnten Einträgen und somit eine Qualitätsüberwachung möglich ist. Außerdem gelten landesweit weitere Vorgaben zu Rohwasseruntersuchungen und Untersuchungen an Vorfeldmessstellen der öffentlichen Wasserversorgung (MU 2012). Die Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Grundwassermessstellen sind in den DVGW-Arbeitsblättern W108 und W121 geregelt (DVGW 2003a & b).

Anwendung verschiedener Messstellentypen zur Erfolgskontrolle

Die Anforderungen zur Verwendung von GWM zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen sind im Pflichtenheft zum Digitalen Informationssystem Wasserschutz zur landesweiten Datenerfassung für den Trinkwasserschutz festgelegt.

Für die Grundwasserüberwachung können je nach standörtlichen Bedingungen und fachlicher Fragestellung unterschiedliche Messstellentypen genutzt werden (s. Abb. 159). Die einzelnen Messstellentypen werden nachfolgend erläutert und die Anwendung im Rahmen der Erfolgskontrolle beschrieben.

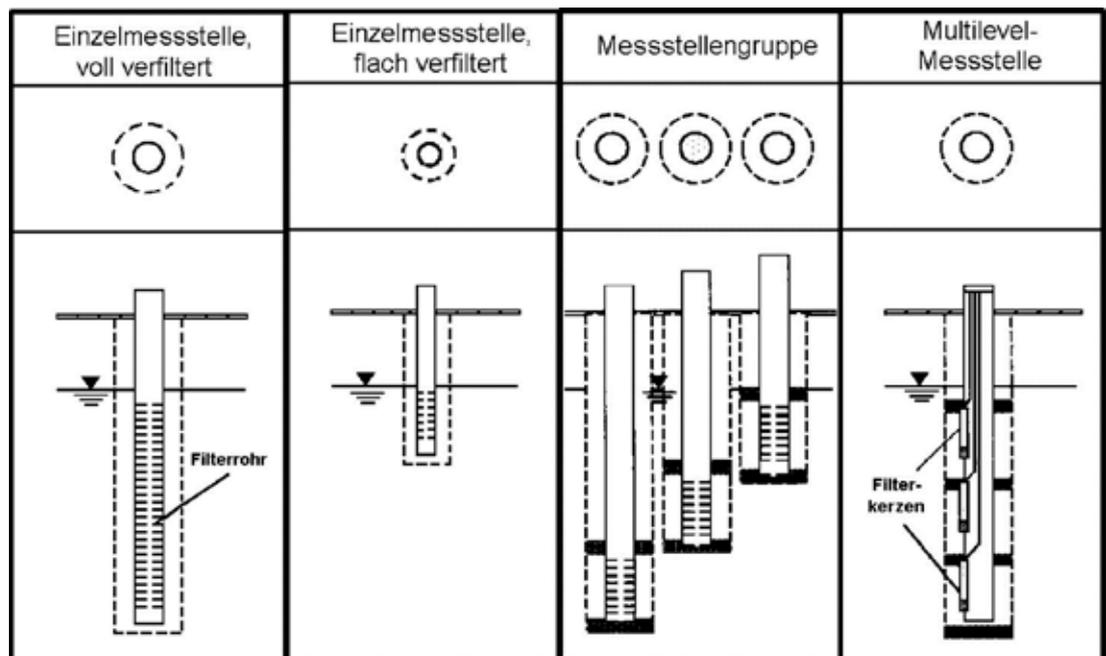


Abb. 159: geeignete Messstellentypen für die Überwachung der WZB in TGG (DVWK 1997, verändert)

Voll verfilterte Einzelmessstelle

Sie wird vor allem im Absenkungsbereich der Förderbrunnen gebaut. Aufgrund der Beeinflussung im brunnen nahen förderbedingten Absenkungsbereich ist sie für die Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen nicht geeignet.

Flach verfilterte Grundwassermessstellen

Flach verfilterte GWM sind nur im Bereich des Grundwasserleiters mit einem Filterrohr ausgebaut. Sie erfassen den Stoffzustand des neu gebildeten Grundwassers im oberflächennahen Bereich. Flach verfilterte Grundwassermessstellen werden zur Verdichtung des bestehenden Vorfeldmessnetzes gebaut, zur Ermittlung der Grundwasserfließrichtung oder zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit.

Für die Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen sind sie besonders geeignet, weil sie relativ frühzeitig den Effekt von Grundwasserschutzmaßnahmen aufzeigen. Grundwassermessstellen, die weniger als fünf Meter unter der Grundwasseroberfläche verfiltert sind, werden zur Beobachtung des jüngsten neu gebildeten

Grundwassers herangezogen. Durch die geringe Filtertiefe wird die Untersuchung kaum durch Stoffumsetzungsprozesse (Denitrifikation) im Grundwasserleiter beeinflusst, wie es bei tiefer liegenden Grundwasserleitern möglich ist. Aber es werden auch GWM, die im Bereich von 5 bis 20 m unter der Grundwasseroberfläche verfiltert sind, in die Erfolgskontrolle einbezogen, wenn sie nicht oder nur wenig durch Denitrifikation beeinflusst sind. Tiefer verfilterte Messstellen erfassen oft aufgrund des größeren Grundwasseranstrombereichs im Unterschied zur Beprobung an der Grundwasseroberfläche ein größeres Teileinzugsgebiet. Durch Denitrifikation beeinflusste Messstellen (gekennzeichnet durch sehr geringe bis keine Nitratkonzentration) sind nicht zur Erfolgskontrolle der Nitratsituation im Grundwasser geeignet bzw. nur in Verbindung mit zusätzlichen Untersuchungen zur Denitrifikation (z. B. mit der N_2/Ar -Methode (s. Kap. 2.7.9)).

Die Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen werden für folgende Auswertungen verwendet:

- zusätzliche hydrogeologische und hydraulische Kenntnisse zum oberflächennahen Bereich des Grundwasserleiters

- stofflich-analytische Überwachung der Qualität des oberflächennahen Grundwassers (Zeitreihe, Trendbetrachtung), Ist-Zustandserfassung der Nitratkonzentration eines Teileinzugsgebiets
- Erfolgskontrolle von grundwasserschutzorientierten Flächenmaßnahmen
- Monitoring von großflächigen Grundwasserschutzmaßnahmen (z. B. in prioritären Teilgebieten).

Messstellengruppen

Messstellengruppen (auch Mehrfachmessstellen genannt) bestehen aus mehreren, in geringer räumlicher Entfernung (wenige Meter) voneinander errichteten GWM mit unterschiedlichen Filtertiefen (s. Abb. 160). Bei Messstellengruppen wird beim Ausbau jeder Einzelmessstelle besonders auf die standörtlichen geologischen Schichten und die Strömungsverhältnisse geachtet. Da die Messstellen für die gewählten Tiefen einzeln abgeteuft werden, ist eine tiefenabgestufte Untersuchung der Stoffkonzentration im Grundwasser möglich. Bei entsprechendem Ausbau und Positionierung im Einzugsgebiet können sie als Vorfeldmessstellen genutzt werden und zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen in Teileinzugsgebieten eingesetzt werden zur:

- tiefenabgestuften Untersuchung der Grundwasserqualität in Bezug auf die Wirksamkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen
- Ermittlung der Qualität der Grundwasserneubildung in den Teileinzugsgebieten bzw. Zustrombereichen zum Förderbrunnen



Abb. 160: Messstellengruppe (NLWKN)

- Ermittlung der Beeinflussung der Grundwasserqualität durch Denitrifikation im Grundwasserleiter.

Multilevel-Messstellen

Im Unterschied zu Mehrfachmessstellen werden Multilevel-Messstellen in einem Bohrloch errichtet. Die Multilevel-Messstelle besteht in der Regel aus mehreren je nach Fragestellung tiefenabgestuft verfilterten Messstellen. Die kompakte Bauweise der Multilevel-Messstellen erleichtert die Beprobung gegenüber Mehrfachmessstellen. Optimal ist die zeitgleiche Beprobung aller Filterbereiche durch eine entsprechende multiple Pumpenvorrichtung. Für die zeitnahe Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen ist vor allem der oberste Grundwasserbereich (bis fünf Meter unter der Grundwasseroberfläche) von Interesse. Multilevel-Messstellen eignen sich zur:

- tiefenabgestuften, fortlaufenden Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen
- Untersuchung von Stoffumsetzungsprozessen, z. B. zur Beurteilung der Denitrifikationsleistung des Grundwasserleiters durch die genau festgelegte tiefenabgestufte Untersuchung.

Direct-Push-Verfahren

Das Verfahren gehört zu den Sondierungsverfahren und ist vor allem durch die Altlastenerkundung bekannt geworden. Es wird zunehmend in TGG angewendet, in denen keine ausreichenden oder nutzbaren GWM zur Verfügung stehen (DWA-M911 2013). Es ermöglicht eine ortsungebundene Grundwasserprobenahme. Mit dem Verfahren können auch tiefenabgestuft Beprobungen durchgeführt werden. Das Verfahren kann auch bei größeren Flurabständen genutzt werden. Die hydrogeologischen Standortbedingungen sollten bekannt sein, um eine fachlich fundierte Auswertung sicher zu stellen.

Die Beprobung erfolgt mit einer Rammkernsonde (Grundwassersonde mit nachlaufendem Rohrgestänge). Nach Erreichen der Beprobungstiefe wird der Filter aus Edelstahl, PVC/HDPE oder Keramik gezogen, der in der Regel eine Länge von zehn Zentimeter bis ein Meter besitzt. Bei mächtigen Grundwasserleitern kann auch ein offenes Filtersystem verwendet werden. Zur Untersuchung wird die Grundwasseroberfläche innerhalb des Gestänges mit einem Lichtlot ermittelt. Die Beprobung erfolgt je nach Grundwasserstand durch Abpumpen über das Gestänge von unten nach oben. Der Aufbau der Rammkernsonde ist in Abbildung 161 als Prinzipskizze dargestellt. Abbildung 162 zeigt ein Direct-Push-Gerät vor dem Einsatz.

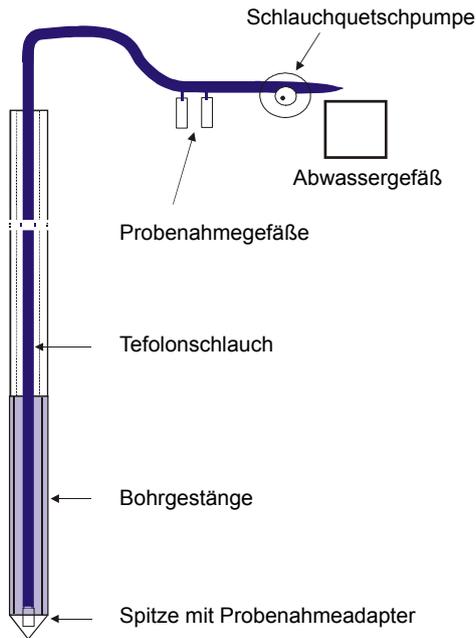


Abb. 161: Prinzipskizze B&K Hanse (www.ufz.de/export/data/1/19873_6_Buntin_BK_Hanse.pdf)



Abb. 162: Beispiel Direct-Push-Gerät (<http://baermannundpartner.jimdo.com/kurzbeschreibung>)

Standortwahl für Grundwassermessstellen zur Erfolgskontrolle

Bei der Erstellung eines Konzepts zur Erfolgskontrolle sollten die hydrogeologischen und hydraulischen Gegebenheiten und der Ausbau der GWM bekannt sein. Bei der Auswahl des Messnetzes sind die Regeln des DVGW (z. B. Arbeitsblatt W108, DVGW 2003b) zu beachten. Die Standortauswahl der Erfolgskontrollmessstellen erfolgt in enger Abstimmung des Wasserschutzzusatzberaters mit dem WVU, dem zuständigen Hydrogeologen und den Fachbehörden (Untere Wasserbehörde, NLWKN). Bei der Auswahl von GWM zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen) muss auch die Lage der landwirtschaftlichen Flächen berücksichtigt werden. Die Standorte sollten so gewählt

werden, dass der gesamte Maßnahmenbereich räumlich und zeitlich erfasst werden kann, um später die Maßnahmenwirkung abzuleiten.

Folgende Anforderungen sollten bei der Standortwahl berücksichtigt werden:

- Die Auswahl sollte anhand der hydraulischen Erkenntnisse (Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit) erfolgen.
- Optimal für die Auswahl zur Erfolgskontrolle ist eine homogene geologische Schichtenfolge im Einzugsbereich.
- Zur Bewertung von Nitratbelastungen sollten die Standorte möglichst wenig durch Denitrifikation gekennzeichnet sein.
- Messstellen im Grundwasseranstrom des Einzugsgebiets als „Eingangskontrolle“ und im Grundwasserabstrom als „Ausgangskontrolle“ sollten einbezogen werden (s. Abb. 163). Die Messstellen sollten möglichst wenig durch die Rohwasserförderung (Absenkung) beeinflusst sein.
- Vor dem Bau neuer Messstellen sollte eine Bestandsanalyse des bestehenden Messnetzes erfolgen und die Zielsetzungen der bestehenden GWM überprüft werden.

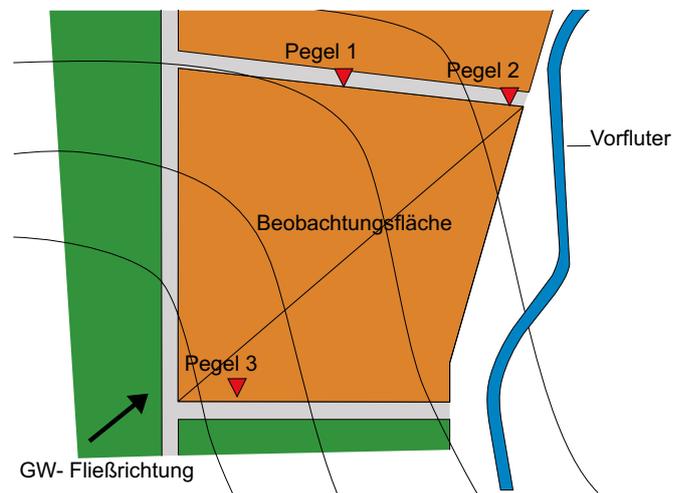


Abb. 163: Schematische Darstellung der Lage der Messstellen zur Beobachtungsfläche mit den Messstellen P1 und P2 im Abstrom und P3 als Referenzmessstelle im Anstrom (IGLU).

Beprobung von Grundwassermessstellen

Für die öffentliche Wasserversorgung gelten in Niedersachsen landesweit für die Probenahme, den Parameterumfang sowie die Beprobungshäufigkeit einheitliche Vorgaben für Rohwasseruntersuchungen und Untersuchungen an Vorfeldmessstellen. Vorfeldmessstellen müssen jährlich untersucht werden. Die an Vorfeldmess-

stellen gewonnenen Daten (Grundwassergüte- und Grundwasserstandsdaten) werden vom Gewässerkundlichen Landesdienst (GLD) erfasst, ausgewertet und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. In Tabelle 63 ist der Basisuntersuchungsumfang für Vorfeldmessstellen dargestellt.

Tab. 63: Basismessprogramm f. Vorfeldmessstellen (MU 2012)

Beobachtungen und Messungen vor Ort	
Kenngroße	Einheit
Wasserstand	m
Geruch (qualitativ)	SZ
Färbung (qualitativ)	SZ
Trübung (qualitativ)	SZ
Bodensatz	SZ
Wassertemperatur	°C
pH-Wert	-
Sauerstoffgehalt	mg/l
Elektrische Leitfähigkeit (25°C)	µS/cm
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/l
Basekapazität bis pH 8,2	mmol/l

SZ - Schlüsselzahl

Basismessprogramm	
Kenngroße	Einheit
spektraler Absorptionskoeffizient bei 254nm und 43,6 nm	1/m
Gesamthärte	mmol/l
Calcium	mg/l
Magnesium	mg/l
Natrium	mg/l
Kalium	mg/l
Eisen	mg/l
Mangan	mg/l
Aluminium, gelöst	mg/l
Ammonium	mg/l
Nitrit	mg/l
Nitrat	mg/l
Chlorid	mg/l
Sulfat	mg/l
o-Phosphat	mg/l
DOC	mg/l
AOX	mg/l

Bezüglich der Probenahme, des Beprobungszeitpunkts und des Parameterumfangs sind die Vorgaben des DVGW (Arbeitsblatt W254, DVGW 1988a & b) zu berücksichtigen. Dort sind die Funktionsprüfung, Entnahme, Vorbereitung, der Transport und die Konservierung von Proben aus Grundwasserleitern geregelt, um die Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse sicherzustellen. Das Beprobungskonzept zur Erfolgskontrolle baut auf den aufgeführten Vorgaben auf. Oft werden zusätzliche Untersuchungstermine festgelegt um die Datendichte zu verbessern.

Mit Ausnahme der Beprobung mit dem Direct-Push-Verfahren wird das Abpumpen meist mit Unterwasserpumpen durchgeführt, da bei Saugpumpen der Sauerstoffgehalt und das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht verfälscht werden können (s. Abb. 164).



Abb. 164: Grundwasserbeprobung mit Unterwasserpumpe (NLWKN)

Auswertung zur Erfolgskontrolle

Grundwasseruntersuchungen sind ein wichtiger Bestandteil der Erfolgskontrolle der Grundwasserschutzmaßnahmen. Für einen umfassenden Überblick zur Wirksamkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen ist es optimal, wenn dem Zonenmodell folgend (s. Kap. 2.7.2) ein Monitoring von der Wurzelzone, über die Dränzone, den Grundwasserleiter bis zum Förderbrunnen möglich ist. Die Veränderung der Nitratkonzentration von der Wurzelzone, über den gesättigten Bereich bis zum Grundwasserleiter kann zeitlich und räumlich optimal bewertet und plausibilisiert werden. Deshalb ist eine zusammenhängende ganzheitliche Betrachtung sinnvoll.

Die Untersuchung der GWM zur Erfolgskontrolle wird, wenn sich das Messstellenkonzept bewährt hat, meist langjährig im Rahmen der WZB weitergeführt. Somit stehen oft Zeitreihen zur Trendbetrachtung der Ergebnisse im TGG zur Verfügung. Die Visualisierung der Untersuchungsergebnisse erfolgt über die grafische Darstellung als:

- Ganglinie zum zeitlichen Verlauf (s. Abb. 165)
- Häufigkeitsverteilung (s. Abb. 167) und
- Konzentrationskarte/-diagramm (s. Abb. 166 und 168)
- hydrochemischer Isolinienplan (s. Abb. 169).

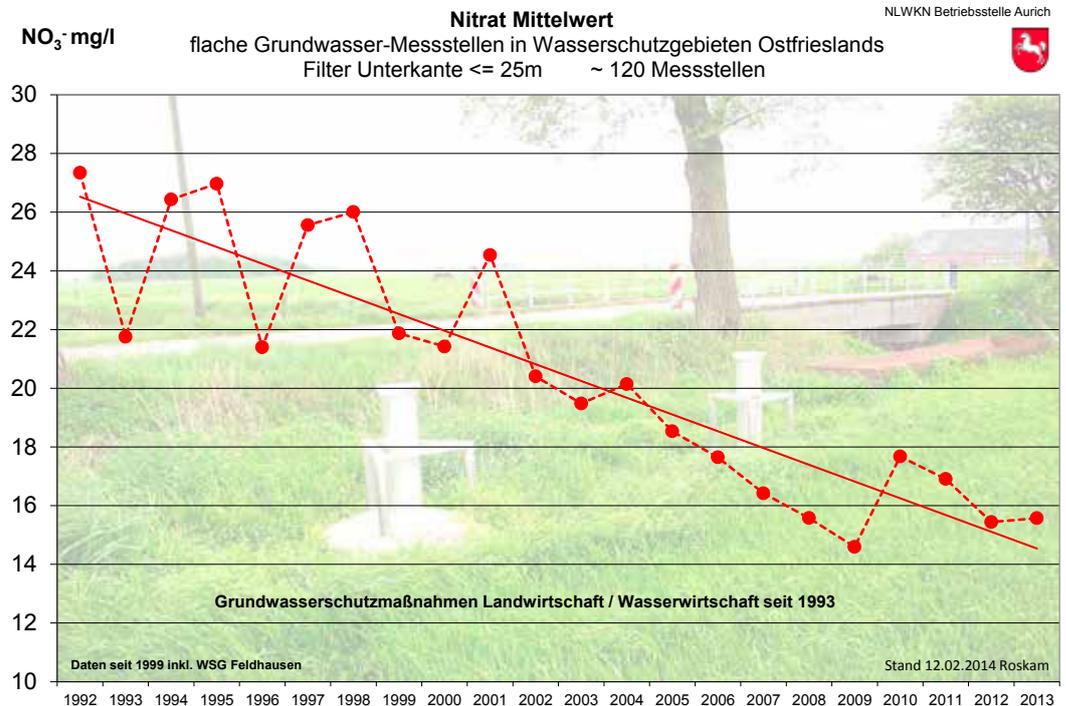


Abb. 165:
 Ganglinie Nitratmittelwerte
 in flachen GWM der TGG
 Ostfrieslands (NLWKN)

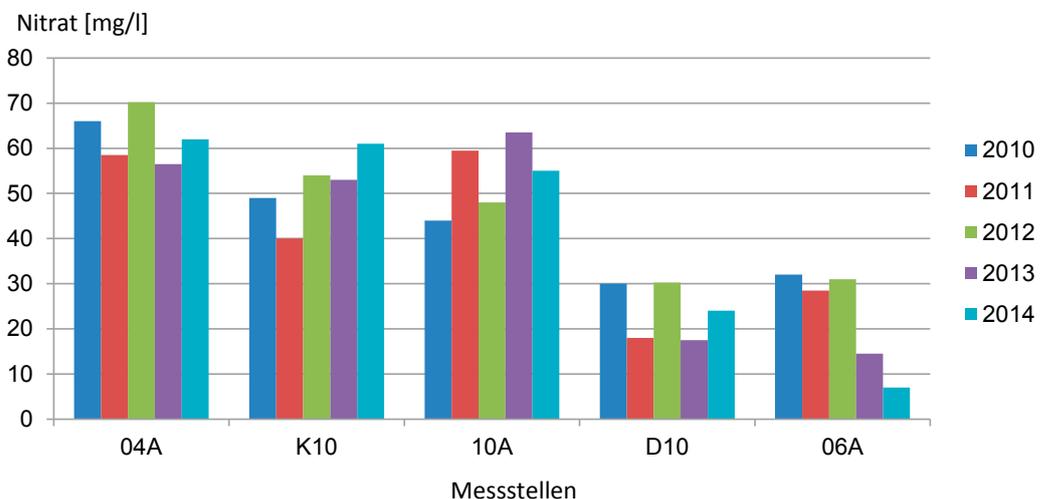


Abb. 166:
 Darstellung der mittleren jährlichen
 Nitratkonzentration des
 Grundwassers (IGLU)

Isolinienpläne

Sie sind ein wichtiges Instrument für die Auswertung der Grundwasserverhältnisse im Einzugsgebiet zu einem bestimmten Zeitpunkt. Isolinien sind Linien der gleichen großräumigen Verteilung des Parameters (z. B. des Grundwasserstands oder der Grundwassergüte z. B. der Sulfatkonzentration, s. Abb.169). Für die Erstellung von Isolinienplänen ist eine räumliche Interpolation der Messwerte erforderlich. Hierfür können spezielle EDV-Programme, die unterschiedliche Interpolationsverfahren

und Einstellmöglichkeiten anbieten, genutzt werden. Als Eingangsdaten sollten nur Daten des gleichen Grundwasserleiters, bei stofflichen Parametern Eingangsdaten aus dem gleichen Tiefenbereich herangezogen werden. Im Ergebnis wird mit dem Isolinienplan eine Momentaufnahme gezeigt, die das Beprobungsergebnis am Stichtag wiedergibt. Sie ermöglicht eine visuelle Darstellung der räumlichen Verteilung und eine Bewertung des Parameters.

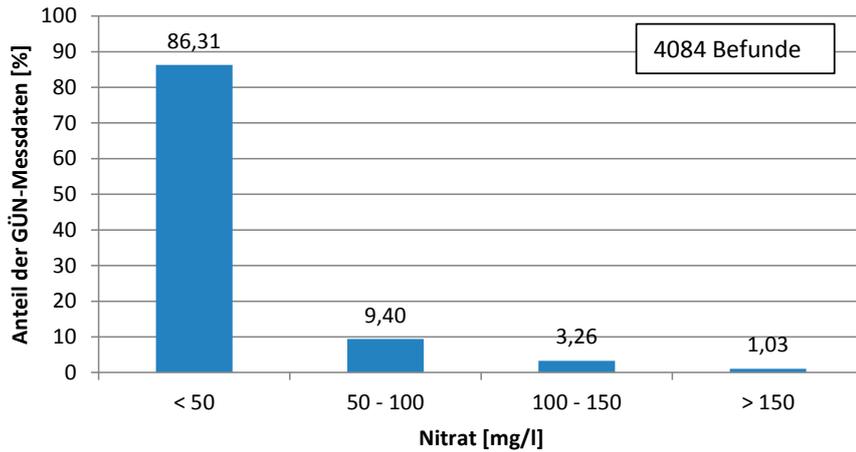


Abb. 167:
Darstellung der Häufigkeitsverteilung der nitratbelasteten GÜN-Messstellen (NLWKN, Stand 2013b)

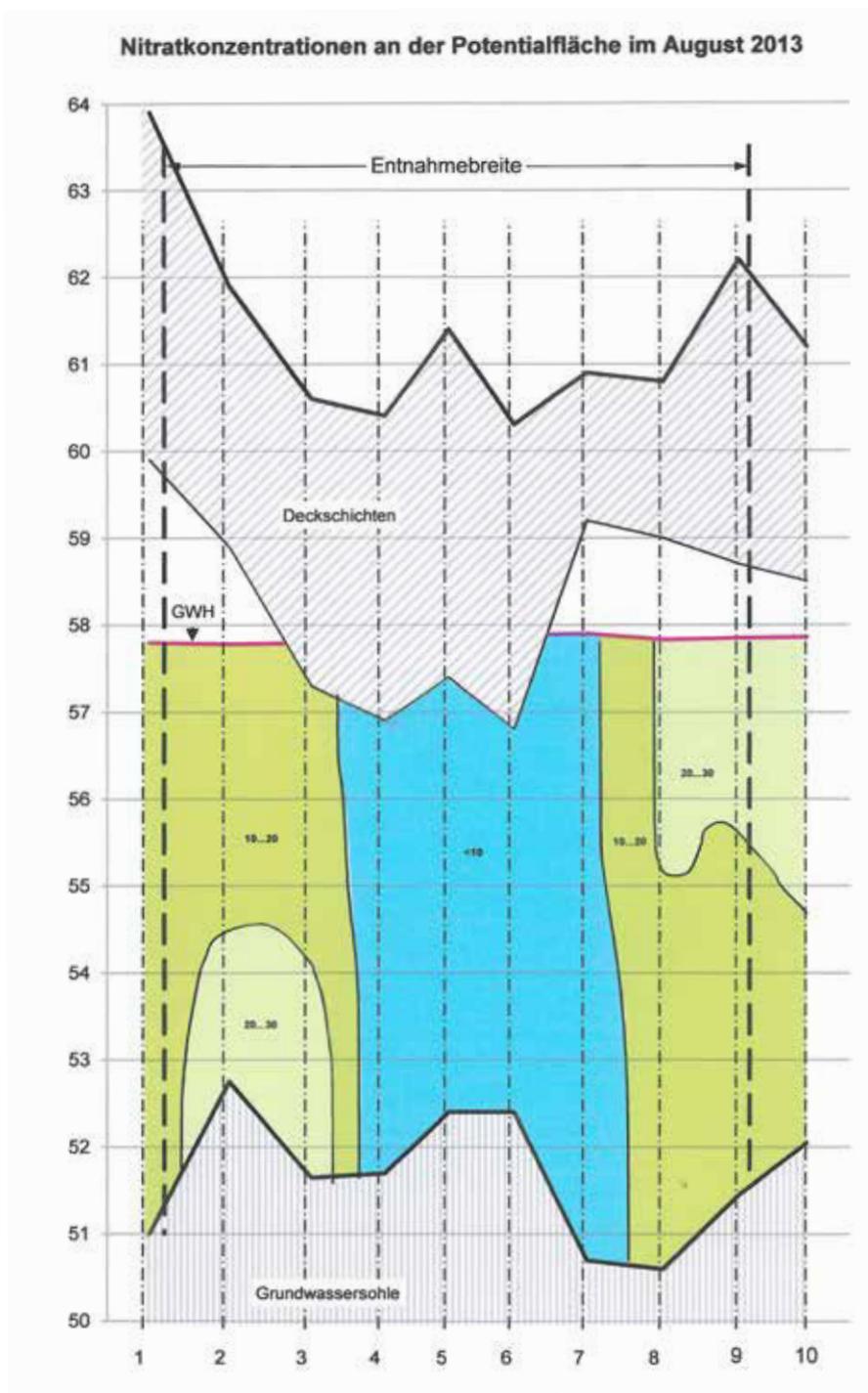


Abb. 168:
Flächenbezogene Nitratkonzentration an GWM im WSG Herrenteich (LÜBKE 2012): y-Achse mNN; x-Achse Nitratkonzentration im Grundwasserleiter für die einzelnen Zustrombereiche 1 bis 10; blau $\text{NO}_3 < 10 \text{ mg/l}$; grün $10\text{-}20 \text{ mg/l } \text{NO}_3$; hellgrün $\text{NO}_3 20\text{-}30 \text{ mg/l}$

Grundwassergleichenpläne zur Auswertung der Grundwasserstände sind für die konzeptionelle Vorbereitung des Erfolgskontrollmessnetzes von Bedeutung, da sie die Strömungsverhältnisse (die Fließrichtung des Grundwassers) aufzeigen. Auf dieser Basis können die an den GWM ermittelten Stoffkonzentrationen in Abhängigkeit von den Strömungsverhältnissen dargestellt werden.

Eine Ist-Zustandsanalyse zur räumlichen Verteilung der stofflichen Belastung im Einzugsgebiet kann erstellt werden. In der folgenden Abbildung 169 wird aufbauend auf den Grundwasserströmungsverhältnissen, die im Rahmen des Grundwassergleichenplans ermittelt wurden, die Sulfatkonzentration des Grundwassers dargestellt.

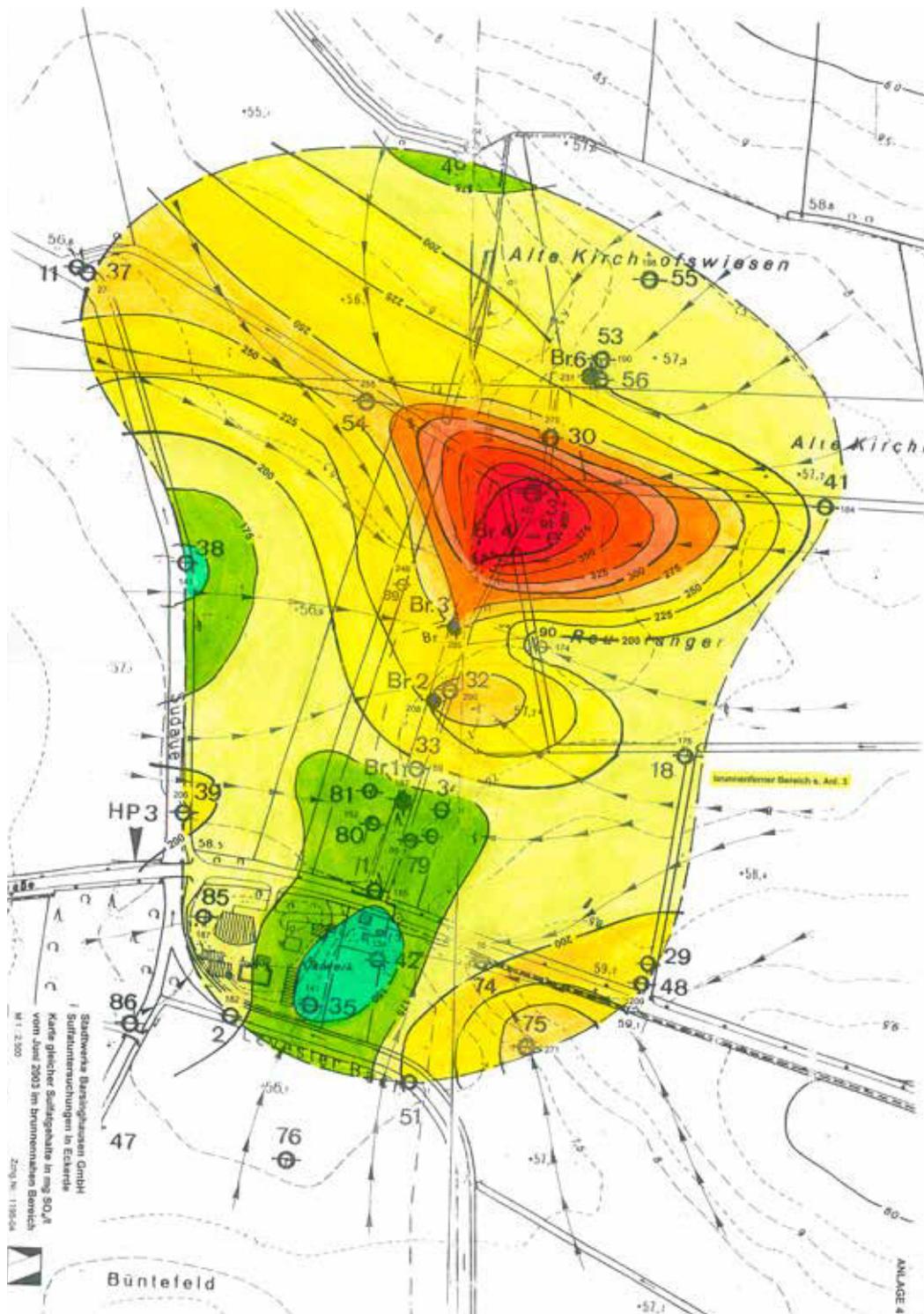


Abb. 169: Isolinienplan der Sulfatkonzentration des Grundwassers unter Berücksichtigung der Grundwasserströmungsverhältnisse im WSG Eckerde (LÜBKE 2003); dunkelrot >325 mg/l; orange >275 mg/l; gelb >175 mg/l; grün >150 mg/l; dunkelgrün < 150 mg/l

Tiefenkonzentrationsprofile

Die Untersuchungsergebnisse der tiefenabgestuften Beprobungen bei Mehrfachmessstellen, Multilevel-Messstellen oder aus dem Direct-Push-Verfahren werden für die einzelnen Beprobungstermine als Stoffkonzentrations-Tiefenprofil dargestellt (s. Abb. 170). In die Auswertung der tiefenabgestuften Analysewerte werden Nutzungseinflüsse, geogene Faktoren und mögliche Stoffumsatzprozesse einbezogen. Bei der Auswertung der Konzentrations-Tiefenprofile im Anstrombereich zur GWM werden

die Grundwasserneubildungsrate, die Abstandsgeschwindigkeit und die nutzbare Porosität des Grundwasserleiters berücksichtigt. Bei homogenen Standort- und Nutzungsverhältnissen im Anstrombereich der Messstelle können mit Stoffkonzentrations-Tiefenprofilen der Parameter Nitrat (NO_3^-), Sauerstoff (O_2), gegebenenfalls Sulfat (SO_4^{2-}) und Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) auch Rückschlüsse auf Stoffumsatzprozesse im Grundwasserleiter gezogen werden.

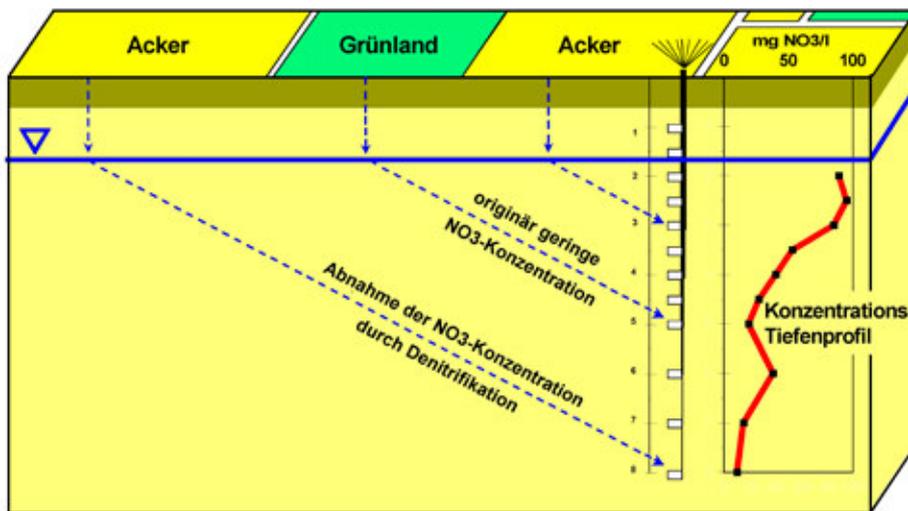


Abb. 170: Schematische Darstellung des Grundwasseranstroms einer Multilevel-Messstelle mit tiefenabgestuftem Nitratkonzentrationsprofil. Ein Nitratabbau durch Denitrifikation ist erkennbar.

Eignungsbewertung

Grundwasseruntersuchungen zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen sind geeignet wenn:

- die hydrogeologischen und hydraulischen Standortverhältnisse bekannt sind und
- eine oberflächennahe Grundwasserbeprobung möglich ist.

Das Untersuchungskonzept sollte Grundwassermessstellen im Anstrom- und Abstrombereich von Belastungen einbeziehen, um die Auswertung zum Erfolg der

Grundwasserschutzmaßnahmen und die Überprüfung der räumlichen Prioritätensetzung der WZB zu gewährleisten.

Die tiefenabgestufte Beprobung bei Mehrfachmessstellen, Multilevel-Messstellen oder durch das Direct-Push-Verfahren ermöglicht eine räumlich differenzierte Bewertung.

In Verbindung mit der Altersbestimmung des Grundwassers kann abgeschätzt werden, wann die umgesetzten Grundwasserschutzmaßnahmen zu einer Verringerung der Nitratbelastung im Rohwasser führen.

	Flach verfiltrierte Messstellen	Mehrfach-Messstellen	Multilevel-Messstellen	Direct-Push
Ist-Zustand für die innergebietliche Prioritätensetzung	+	+	+	+
Erfolgskontrolle von Einzelschlag-Maßnahmen	+	+	O	+
Erfolgskontrolle auf Repräsentativflächen	O	O	+	+
Erfolgskontrolle großflächiger GW-Schutzmaßnahmen	+	+	+	+

2.7.6.3 Altersbestimmung des Grundwassers

Kurzcharakteristik

Zusätzliche hydrogeologische Erkenntnisse in den TGG können die Bewertung stofflicher Belastungen in der gesättigten Zone ergänzen sowie die Aussagefähigkeit zur Zielerreichung von Grundwasserschutzmaßnahmen deutlich verbessern. Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang die Verweilzeit des Grundwassers und die Bestimmung des Grundwasseralters. Zunehmend werden Untersuchungen zur Altersbestimmung des Grundwassers auch im Rahmen der WZB von Wasserversorgungsunternehmen in Zusammenarbeit mit Hydrogeologen und der WZB durchgeführt.

Anwendung

Die Ermittlung der Verweilzeit des Grundwassers ist vor allem im obersten, für die WZB wichtigen, Grundwasserleiter interessant, wenn es darum geht, den Effekt von Grundwasserschutzmaßnahmen abzuschätzen. Grundlegende Parameter zur Altersbestimmung sind die Fließgeschwindigkeit bzw. Abstandsgeschwindigkeit sowie die Verweilzeit im Grundwasser. Mit zunehmender Entfernung vom Standort der Grundwasserneubildung erfolgt durch den vertikalen Zufluss meist eine Mischung unterschiedlich alten Wassers im Einzugsgebiet. Da eine zuverlässige altersmäßige vertikale Zuordnung des beprobten Grundwasserbereichs kaum möglich ist, bezieht sich die Altersbestimmung auf die mittlere Verweilzeit im Grundwasser. Die Definitionen der wichtigsten Parameter

zur Altersbestimmung sind in Tabelle 64 zusammengestellt.

Bei der Auswahl geeigneter GWM sollte die Lage im Einzugsgebiet/des Grundwasserzustroms, die Filterlage der GWM (kurze Filterstrecken zeigen meist keine starke Durchmischung) und die stoffliche Situation berücksichtigt werden. Außerdem sollten für die Fragestellung „Erfolgsbewertung von landwirtschaftlichen Maßnahmen“ die GWM im ersten Grundwasserleiter verfiltert sein. Eine tiefenabhängige Probenahme von der Grundwasseroberfläche und dem Grundwasserleiter ermöglichen eine vertikale Zuordnung der beprobten Grundwasserabschnitte (GEODIENSTE 2012).

Methodenbeschreibung

Es gibt verschiedene Methoden, das Alter des Grundwassers zu ermitteln. Sie basieren auf der Ermittlung der Infiltrationszeit unter den regionalen klimatischen Bedingungen. Dazu werden bevorzugt radiometrische Methoden eingesetzt. Als Isotopen werden vor allem Kohlenstoff, Tritium und Krypton-85 verwendet, aber auch z. B. anthropogen in die Umwelt eingetragenes FCKW. Welches Verfahren sinnvoll ist, hängt von den hydrogeologischen Rahmenbedingungen ab. Die Krypton-85-Untersuchung ist die am besten geeignete Methode für eine exakte Altersbestimmung, weil Krypton kaum chemische Reaktionsprozesse eingeht und nur geringfügig an Austausch- und Sorptionsprozessen beteiligt ist. Zur Altersbestimmung von relativ jungem Grundwasser (Zeitintervall bis etwa 50 Jahre) wird meist die Helium(He)-Tritium(T)-Methode eingesetzt. Tabelle 65 gibt einen Überblick über Methoden zur Altersdatierung.

Tab. 64: Definitionen der Parameter zur Altersbestimmung des Grundwassers (UBA GmbH Wien 2009)

Begriff	Definition	Abhängig von	Bemerkungen
Mittlere Verweilzeit (MVZ)	Mittlere Aufenthaltsdauer des Wassers im Untergrund vom Zeitpunkt der Infiltration im Boden bis zum Abfluss in einer Quelle oder der Förderung in einem Brunnen	den physikalischen Eigenschaften des Untergrunds und der Grundwasserneubildung	Berechnet o. geschätzt in Jahren. Wegen der heterogenen Natur des Bodens, der ungesättigten Zone und des Aquifers bzw. der Mischung von Wässern mit unterschiedlicher Verweildauer handelt es sich meist um eine Altersverteilung
Verweildauer in der gesättigten Zone	Zeitspanne vom Eintritt des Wassers in den Grundwasserleiter (Aquifer) und seinem Austritt aus diesem	den physikalischen Eigenschaften des Grundwasserleiters und der Grundwasserneubildung	Berechnet o. geschätzt in Jahren
Abstandsgeschwindigkeit	Geschwindigkeit, mit der Wasser oder eine in diesem gelöste Verunreinigung die Verbindungsstrecke zwischen zwei Punkten in der Zeit t durchfließt	den physikalischen Eigenschaften und dem Rückhaltevermögen des durchflossenen Untergrunds	Berechnet od. geschätzt in Metern/Jahr. Wegen der Heterogenität des Untergrunds und der hydrodynamischen Dispersion handelt es sich meist um eine Verteilung von Geschwindigkeiten

Tab. 65: Methoden zur Datierung <50 Jahre u. Charakterisierung v. Infiltrationsbedingungen in Grundwässern (UBA GMBH WIEN 2009)

Nuklide/Methode	T _{1/2}	Typische Werte	Interpretation
Sauerstoff -18 ($\delta^{18}\text{O}$)		-8 bis -11 ($\delta^{18}\text{O}$)	T und Höhe Einzugsgebiet
Deuterium ($\delta^2\text{H}$)		-40 bis -80 ($\delta^2\text{H}$)	Verdunstungseffekte und Herkunft Niederschläge
Tritium (^3H)	12,43	0 bis 30 TE	Datierung Infiltration (< 40 a)
Tritium/Helium-($^3\text{H}/^3\text{He}$)			Datierung Infiltration (< 40 a)
Chlorfluorkohlenstoffe (CFCs)		1996: F11: 273 pptv; F12: 538 pptv	Datierung Infiltration (< 50 a)
Schwefelhexafluoride (SF_6)		1996; F6: ca. 4 pptv	Datierung Infiltration (< 30 a)
Krypton-85 (^{85}Kr)	10,76	1,4 Bq/m ³	Datierung Infiltration (einige Dekaden)

Legende: T_{1/2}...Halbwertszeit in Jahren, TE...Tritiumeinheiten, pptv...parts per trillion by volume

Aufgrund der Erfahrungen der Wasserversorgungsunternehmen in den TGG zur Anwendung der Helium/Tritium-Methode zur Altersdatierung und der Nutzung der Untersuchungsergebnisse zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle wird nachfolgend nur auf diese Methode eingegangen.

Zusatzinformation zur Altersbestimmung mit der Helium/Tritium-Methode

In den 50er und 60er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden durch oberirdische Wasserstoffbombentests große Mengen an Tritium oder radioaktivem Wasserstoff emittiert (^3H oder T). 1962 lagen die Konzentrationen im Niederschlag bis zu dreimal über den natürlichen Tritiumkonzentrationen. Tritium zerfällt mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren zu dem Helium-Isotop ^3He , sodass man durch Messung von Tritium und Helium die Zeit ableiten kann, die seit der Infiltration des Wassers vergangen ist. Die Messung erfolgt mit einem Massenspektrometer im Labor. Nach Angaben der Universität Bremen ist die Genauigkeit der Altersdatierung mit der ^3He -T-Methode mit einer Fehlerquote von < 10 % möglich (www.noblegas.uni-bremen.de).

Laboranalyse:

Die Wasserproben werden im Labor massenspektrometrisch untersucht. Dabei wird Tritium über die Messung seines Zerfallsproduktes ^3He nachgewiesen. Die Wasserproben werden vollständig entgast und in heliumdichten Glaskolben mehrere Monate gelagert. Dann werden die Glaskolben an die Probeneinlasseinheit angeschlossen und unter Hochvakuum-Bedingungen aufgebrochen. Die während der Zeit gestiegene ^3He -Konzentration wird

vom Wasser getrennt. Über die massenspektrometrische Messung werden ^3He und ^4He analysiert. Die Analyse der Helium-Konzentration erfolgt ohne Lagerungszeit (GERIES 2005).

Auswertung

Im Zuge der Auswertung werden im ersten Schritt die Tritium-Konzentration (Summe aus ^3H und ^3He) der Grundwasserproben und das ermittelte Grundwasseralter der Tritium-Konzentration den regionalen Niederschlagsdaten des rückwärtigen Zeitraums gegenübergestellt. Werden keine wesentlichen Konzentrationsunterschiede festgestellt, erfolgt über die Erfassung des Tritium-Zerfallsproduktes ^3He die Berechnung des Grundwasseralters. Um mit der Helium/Tritium-Methode das Gesamtalter (nicht nur die zeitliche Differenz von der Grundwasserneubildung zum Beprobungszeitpunkt) zu erfassen, muss auch die Verweilzeit des Sickerwassers in der Dränzone berücksichtigt werden.

Eignung

Durch die Altersbestimmung besteht die Möglichkeit, die Kenntnisse zum Weg-Zeit-Verhalten des Grundwassers zu verbessern. Die Bestimmung des Grundwasseralters kann als zeitlicher Indikator betrachtet werden, um Effekte von Grundwasserschutzmaßnahmen zu bewerten und die Prioritätensetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen zu überprüfen.

Die Altersdatierung wird zur Bewertung des Maßnahmeneffekts im oberen genutzten Grundwasserleiter eingesetzt und ergänzt bereits vorliegende hydrogeologische (z. B. zum Fließverhalten) und hydrochemische Ergebnisse.

In heterogenen Gebieten besteht für die WZB oft nur die Möglichkeit über die kalkulatorischen landwirtschaftli-

chen Erfolgsindikatoren (NLWKN 2012a) zur Erfolgskontrolle den Maßnahmenerfolg ausschließlich in der Bodenzone zu bewerten. In diesen Gebieten ist es besonders wertvoll, durch Erkenntnisse zur Verweilzeit des Grundwassers auf das Weg-Zeit-Verhalten z. B. der Nitratfracht zu schließen und Erkenntnisse zur zeitlichen Erwartung von Maßnahmeneffekten abzuleiten.

In Verbindung mit N₂/Ar-Untersuchungen (s. Kap. 2.7.9) kann in TGG mit reduzierenden Grundwasserverhältnissen (Denitrifikation) über eine Altersbestimmung der zeitliche Verlauf des Nitratabbaus ermittelt werden.

In den nachfolgenden Abbildungen werden Beispiele zur Anwendung der Altersbestimmung zur Erfolgskontrolle dargestellt. Abbildung 171 zeigt, dass auch mit Hilfe langer Zeitreihen lokaler Niederschlagsdaten in Verbindung mit der Tritiumkonzentration das Grundwasseralter nicht immer eindeutig ermittelt werden kann. Im Beispiel ist zu erkennen, dass vor allem die relativ gleichförmigen Niederschlagsverhältnisse in den 80er Jahren eine differenzierte Festlegung zum Grundwasseralter kaum ermöglichen.

Abb. 171:
Zeitreihe der Tritiumkonzentration im Niederschlag der Station Salzuflen sowie das Grundwasseralter ausgewählter GWM im WSG Hameln-Süd (GERIES INGENIEURE GMBH 2005)

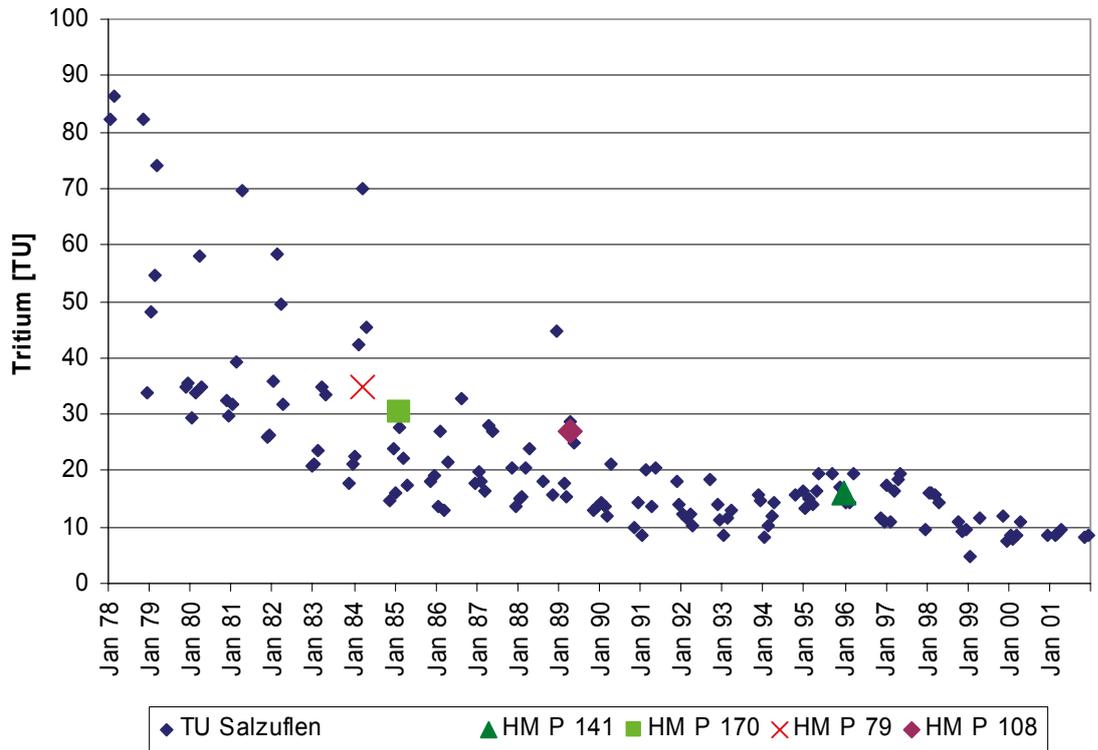
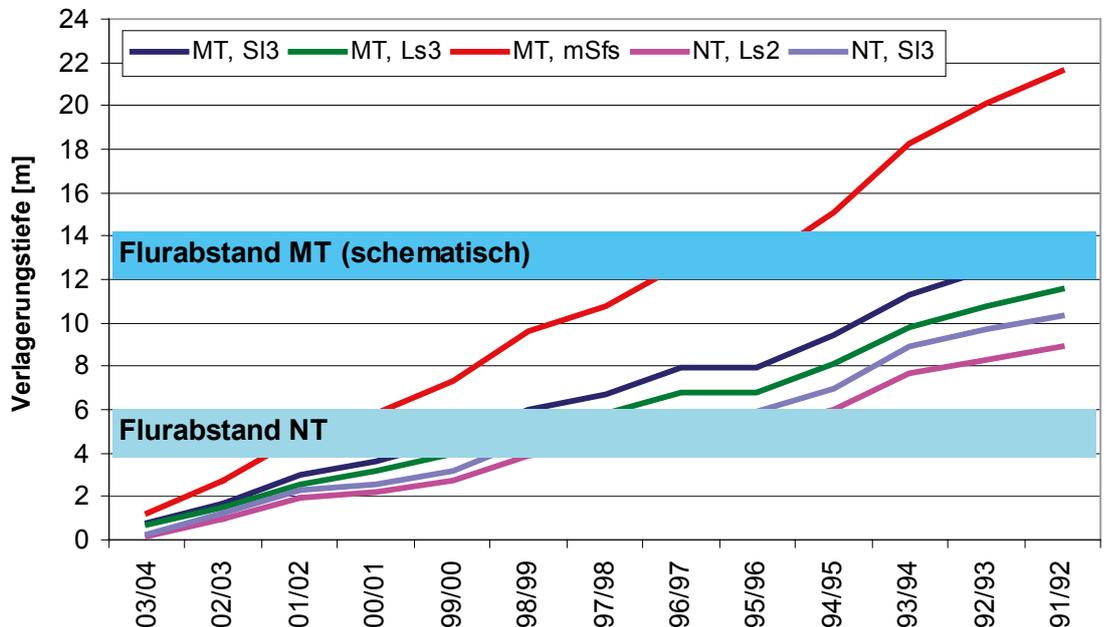


Abb. 172:
Rückwirkend kumulierte Verlagerungstiefen (Sickerwasserperiode 2003/04) bei unterschiedlichen Bodensubstraten in der Mittelterasse (MT) und Niederterasse (NT) im WSG Hameln-Süd (GERIES INGENIEURE GMBH 2005).



Da mit der Helium-Tritium-Methode die zeitliche Differenz zwischen dem Probenahmezeitpunkt und der Grundwasserneubildung (dem Infiltrationsjahr als Zeitpunkt des Übertritts von der ungesättigten in die gesättigte Zone) ermittelt wird, kann unter Berücksichtigung der Verweilzeit des Sickerwassers das Alter des Grundwassers genauer abgeschätzt werden. Dieser Auswertungsschritt, die rückwirkende Ermittlung der Verlagerungstiefen, ist in Abbildung 172 dargestellt.

In dem nachfolgenden Nitrat-Gleichenplan in Abbildung 173 sind die Ergebnisse der hydrochemischen Untersuchung und das ermittelte Grundwasseralter aufgrund der Tritium-Helium-Methode für einen Teilbereich im WSG Hameln-Süd dargestellt. Die Auswertung zeigt, dass trotz Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen seit 1993 weiterhin hohe Nitratgehalte in Teilberei-

chen der Mittelterrasse im WSG Hameln-Süd gemessen werden. Dagegen wird im Bereich der Niederterrasse relativ junges Grundwasser angetroffen. Durch zusätzliche Untersuchungen zur Denitrifikation (s. Kap. 2.7.9) können die Umsetzungsprozesse in der Niederterrasse und der Weseraue in die Bewertung einbezogen werden. Es wird deutlich, dass in bestimmten Bereichen des WSG Hameln-Süd weiterhin eine hohe Maßnahmenintensität erforderlich ist, um mittelfristig eine Verringerung der Nitratgehalte im Grundwasser zu erreichen.

Demzufolge kann durch die zusätzliche Altersbestimmung die innergebietliche Prioritätensetzung zur Maßnahmenumsetzung, insbesondere die Maßnahmenintensität festgelegt werden. Die Zielerreichung von umgesetzten Maßnahmen kann insgesamt genauer abgeschätzt werden.

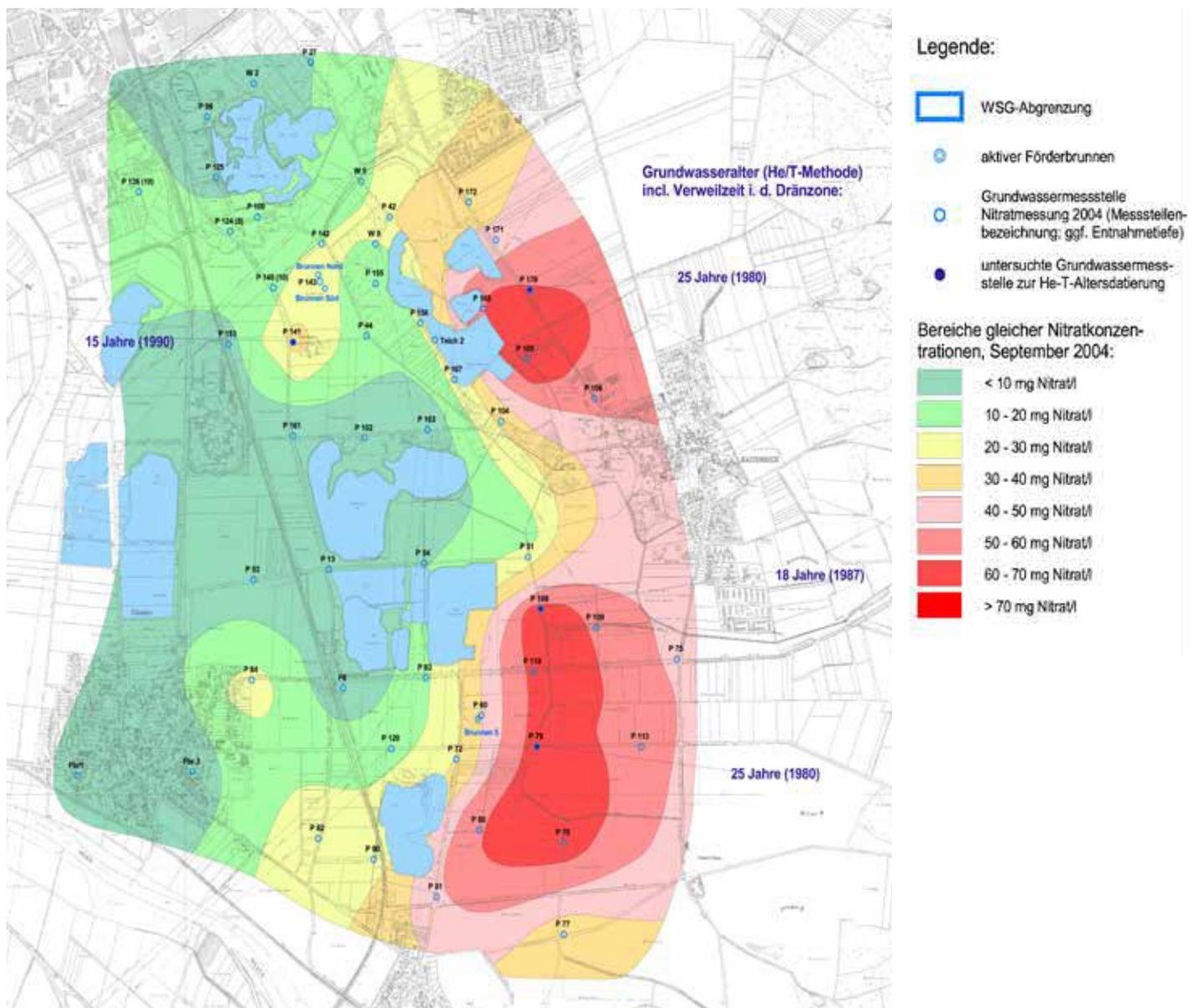


Abb. 173: Gleichenplan zur Nitratkonzentration u. Grundwasseralter im WSG Hameln-Süd (Ausschnitt) (GERIES INGENIEURE GMBH 2005)

2.7.7 Untersuchung des Rohwassers

Kurzcharakteristik

Als Rohwasser bezeichnet man das zur Trinkwasserversorgung gewonnene Wasser vor der Aufbereitung (DIN 1983). Mit dem Rohwasser eines TGG wird das gesamte zufließende Grundwasser in einem oder mehreren Förderbrunnen erfasst. Die Qualität des Rohwassers kann also als qualitative Eingangskontrolle für das Reinwasser (Trinkwasser) angesehen werden. Anhand der Rohwasserqualität kann der erforderliche Aufwand für die Aufbereitung des Rohwassers festgelegt werden. Deshalb muss bei der Untersuchung und Auswertung berücksichtigt werden, dass ein stoffliches und zeitliches Mischwasser des Einzugsgebiets bewertet wird. Außerdem ist das Wasserfördermanagement des Wasserversorgungsunternehmens von Bedeutung. Veränderungen der Fördermengen können die Qualität des Rohwassers beeinflussen.

Die Analyseergebnisse ermöglichen einen Überblick der durchschnittlichen Grundwasserqualität im Einzugsgebiet der Messstelle. Sie geben Hinweise auf erforderliche Maßnahmen in der Trinkwasseraufbereitung und belegen langfristig Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit im Einzugsgebiet.

Kleinräumige Veränderungen in der Grundwasserbeschaffenheit sind meist nicht zu erkennen, da sich das Grundwasser auf seinem Fließweg mit zuströmendem Grundwasser anderer Schichten vermischen kann. Somit sind Ursache - Wirkungsbeziehungen zu Grundwasserbelastungen oder zu den Wirkungen von Grundwasserschutzmaßnahmen durch Rohwasseruntersuchungen nur zu identifizieren, wenn sie das Haupteinzugsgebiet des betrachteten Förderbrunnens betreffen.

Anwendungsbereich

Für die Förderung von Rohwasser zu Trinkwasserzwecken sind umfassende Regelungen vorgegeben (z. B. des DVGW 1988a). Die Untersuchung des Rohwassers ist hinsichtlich der Beschaffenheit und des Untersuchungsturnus in Niedersachsen landeseinheitlich geregelt (gem. RdErl. d. MU v. 12. 12. 2012 (MU 2012)) und zielt auf die langjährige Dokumentation der zeitlichen Entwicklung der Rohwasserqualität ab. Im Prioritätenprogramm Trinkwasserschutz des Landes Niedersachsen (MU 2007b) ist der Nitratgehalt des Rohwassers eines der entscheidenden Kriterien für die Einstufung der TGG in Handlungsprioritäten und die transparente Vergabe von Fördermitteln (s. Kap. 2). So basiert die Einteilung in die C-Gebiete (Gebiete mit der höchsten Handlungspriorität) überwiegend auf der Grundlage der Rohwasserdaten. Der Grenzwert

für diese Einstufung liegt fördermengengewichtet bei einem durchschnittlichen Jahresgehalt von größer 25 mg/l Nitrat oder einem Trend, der die Überschreitung in naher Zukunft erwarten lässt.

Rohwasserdaten werden hauptsächlich zur langfristigen Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen z. B. im Rahmen von Schutzkonzepten verwendet. Es ist mit einem zeitverzögerten Rückgang der Nitratgehalte nach der Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen zu rechnen.

Im Rahmen der WZB werden die Rohwasserdaten (Rohwasserfördermenge und mittlere Nitratkonzentration) dem NLWKN jährlich zur Verfügung gestellt. Auf dieser Grundlage kann landesweit der Erhalt bzw. die Verbesserung der Rohwasserqualität als Hauptziel der Grundwasserschutzmaßnahmen dokumentiert werden.

Durchführung

Beprobung

Gemäß den niedersächsischen Vorgaben für Rohwasseruntersuchungen sind der Parameterumfang und die Probenahmehäufigkeit vorgeschrieben. Die Rohwasseruntersuchung sollte in der Regel für die einzelnen Förderbrunnen durchgeführt werden. In TGG mit mehreren Förderbrunnen werden häufig Mischproben untersucht.

Die chemische Zuordnung zu den einzelnen Förderbrunnen ist in diesen Fällen aufgrund der Durchmischung oder von Verdünnungs- und Maskierungseffekten kaum möglich.

Veränderungen in der Rohwasserqualität sind nur nachweisbar, wenn Analysen in Zeitintervallen vorliegen. Deshalb sollte nach einer Bestandsaufnahme zur Rohwasserqualität der Förderbrunnen regelmäßig, mindestens jährlich, eine Untersuchung erfolgen.

Werden Rohwasseruntersuchungen im Rahmen der Erfolgskontrolle der WZB eingesetzt oder als stofflicher Erfolgsindikator in TGG ohne Grundwassermessstellen herangezogen, kann eine Verdichtung der Probenahmehäufigkeit (z. B. Abstimmung der Untersuchungstermine auf Vegetations- bzw. Fruchtfolgezyklen sinnvoll sein. Der Untersuchungsumfang (Parameter, Probenahmeterminen) wird im Rahmen des Schutzkonzepts bzw. in den jährlichen Arbeitsprogrammen der WZB festgelegt. Bei zusätzlichen Untersuchungen sollte der Parameterumfang an die standörtlichen Bedingungen bzw. die konkrete Fragestellung angepasst werden. Für die WZB sind neben Nitrat vor allem die Stoffkonzentrationen von Ammonium (NH_4), Kalium (K), Sulfat (SO_4), Hydrogencarbonat (HCO_3), einige Spurenstoffe (z. B. Eisen (Fe^{3+} ,

Fe²⁺), Cadmium (Cd), Nickel (Ni)) sowie Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und deren Metabolite und gegebenenfalls Keimbelastungen von Bedeutung. Rohwasser, das durch Denitrifikation gekennzeichnet ist, sollte zur Erfolgskontrolle nur herangezogen werden, wenn die N-Konzentration im Grundwasserleiter durch die N₂/Ar-Methode ermittelt wurde oder als chemisches Äquivalent Sulfat in die Trendbetrachtung einbezogen wird (s. Kap. 2.7.9)

Ergebnisauswertung

Bei der Auswertung von Rohwasserdaten sollten folgende Aspekte beachtet werden:

- Kenntnis der Stammdaten, Prüfung der Verlässlichkeit und Plausibilität der Daten, Zeitreihenanalyse
- Bestandsaufnahme struktureller Veränderungen und möglicher Belastungsquellen im Einzugsgebiet
- Datenabgleich mit Fördermengen und Klimadaten (Grundwasserneubildung)

- Datenabgleich mit Grundwasseruntersuchungen an Vorfeldmessstellen (Typ, Trend, Periodizität).

Die spezielle Auswertung von Rohwasserdaten im Rahmen der Erfolgskontrolle sollte Folgendes berücksichtigen:

- Zeitreihenanalyse einschließlich Trendbetrachtungen für ausgewählte Parameter
- Abgleich mit Daten der Vorfeldmessstellen insbesondere im Hinblick auf Rückschlüsse zu den Grundwasserherkunftsbereichen (Teileinzugsgebieten bei mehreren Brunnen)
- Nutzung zusätzlicher hydrogeologischer Erkenntnisse zu den Grundwasser-Strömungsverhältnissen, zu den Fließzeiten und zu den Stoffumsetzungsprozessen im Grundwasserleiter.

Eignungsbewertung

- Rohwasseruntersuchungen eignen sich zur langfristigen Erfolgskontrolle der gesamtgebietlichen Grundwasserschutzmaßnahmen und für die Prioritätensetzung.
- Die Rohwasseruntersuchung weist von allen Methoden zur Erfolgskontrolle die längste zeitliche Verzögerung zwischen Maßnahmendurchführung und Erfolgsnachweis sowie die geringste räumliche Zuordnung auf.
- Für die kurzfristige Erfolgskontrolle und Erfolgsbewertung einzelner, räumlich begrenzter Grundwasserschutzmaßnahmen ist sie daher kaum geeignet.
- In Wassergewinnungsgebieten mit homogenen hydrogeologischen Verhältnissen und relativ kurzen

Reaktionszeiten kann die Rohwasseruntersuchung bedingt zur Erfolgskontrolle großflächiger Maßnahmen dienen.

- In Trinkwassergewinnungsgebieten im Festgestein, in denen keine Grundwassermessstellen zur Verfügung stehen, erfolgt auf dieser Grundlage die Entscheidung über die Maßnahmenintensität.

Ist-Zustand für die innergebietliche Prioritätensetzung	+
Erfolgskontrolle von Einzelschlagmaßnahmen	-
Erfolgskontrolle auf Repräsentativflächen	-
Erfolgskontrolle gesamtgebietlicher Grundwasserschutzmaßnahmen	+

2.7.8 Beprobung der Dränausläufe und Oberflächengewässer

Kurzcharakteristik

Untersuchungen von Dränausläufen und Oberflächengewässern können im Rahmen der WZB genutzt werden zur

- orientierenden Ist-Zustandsbeschreibung der stofflichen Belastung im Einzugsgebiet
- innergebietlichen Prioritätensetzung
- Abschätzung von Effekten der schlagbezogenen Grundwasserschutzmaßnahmen

Die Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse zum Grundwasserschutz ist von vielen Faktoren abhängig

- von der Größe und Heterogenität des Einzugsgebiets der beprobten Dränausläufe und Vorfluter
- den bodenkundlichen, hydrologischen und hydrogeologischen Gebietseigenschaften
- den Nutzungseinflüssen sowie
- den Stoffumsatzprozessen.

Es muss berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse durch die verschiedenen Einflüsse starken Schwankungen unterliegen. Deshalb sind gesicherte Aussagen nur durch ein umfassendes und mehrjähriges Untersuchungsprogramm möglich.

Anwendungsbereich

Ackerbaulich genutzte und dranierte sowie erosionsanfällige Flächen können Quellen für Stoffeinträge in Oberflächengewässer (OW) sein (s. Kap. 3.3). Im Rahmen der Erfolgskontrolle der WZB werden Untersuchungen der Dränausläufe und OW-Untersuchungen oft miteinander verknüpft. Durch OW-Untersuchungen erhält man einen Überblick über die Gewässerbelastung im Einzugsgebiet (Gewässernetz). Durch Dränuntersuchungen können für bestimmte Bereiche Stoffeinträge flächen- und nutzungsbezogen konkretisiert werden. Auf dieser Grundlage können Stoffeinträge gezielter verringert werden.

Unter bestimmten hydrogeologischen Bedingungen kann durch Infiltration ein direkter Abfluss von Oberflächenwasser ins Grundwasser erfolgen, so dass Stoffeinträge in OW auch unmittelbar zu Einträgen ins Grundwasser führen können. Meist kann erst nach mehrjährigen Untersuchungen ein Zusammenhang zur Grundwasserbelastung festgestellt werden.

Neben Nährstoffen werden auch Pflanzenschutzmittel und ihre Abbauprodukte untersucht.

Durchführung

Die Wahl der Probenahmestellen ist entscheidend für die Aussagekraft der gewonnenen Daten.

Oberflächengewässer

Gebietliche Voraussetzungen

Soll von den Stoffkonzentrationen bzw. -frachten auf die stoffliche Situation im Einzugsgebiet geschlossen werden, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein:

- Abgrenzung des Gewässernetzes im Einzugsgebiet zur Festlegung der OW-Beprobungsstellen

- Kenntnisse der hydraulischen Wechselwirkungen zwischen dem OW und dem Grundwasserkörper (In- bzw. Exfiltration)
- Beachtung von Punktquellen (z. B. Straßenabfluss, Einleitungen).

Auswahl der Probenahmestellen

Die Auswahl der Beprobungsstellen ist abhängig von der Dichte des Gewässernetzes eines Einzugsgebiets und der standörtlichen Gewässerbelastung im einzelnen OW.

Probenahmehäufigkeit

Aufgrund der starken Variabilität von Abfluss und Stoffkonzentrationen im Gewässernetz sollten für die OW-Untersuchungen angepasste Probenahmeintervalle (monatlich, vierteljährlich) festgelegt werden.

Parameterumfang

Die physikalisch-chemischen Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und Sauerstoffgehalt sollten während der Probenahme aufgenommen werden. Weitere zentrale Parameter sind Gesamt-N und $\text{NO}_3\text{-N}$. Wünschenswert sind ergänzende Untersuchungen von Gesamt-P, Orthophosphat-P, SO_4 , Fe, K, Ca, Mg, NO_2 und NH_4 sowie, bei entsprechender Fragestellung, auch von Pflanzenschutzmitteln und deren Abbauprodukten.

Auswertung

Die Bewertung der OW-Untersuchungsergebnisse kann schwierig sein, da die Ergebnisse oft durch mehrere Nutzungen am Gewässerlauf beeinflusst sind. Somit ist grundsätzlich eine flächen- oder betriebsbezogene Erfolgsbetrachtung nicht möglich.

Eine Beurteilung der Oberflächengewässerqualität kann in Anlehnung an die chemische Gewässergüteklassifikation nach LAWA (1998) erfolgen.

Dränuntersuchungen

Gebietliche Voraussetzungen

- Grundlegende Voraussetzung für die Auswahl der Dräne ist ein Dränageplan
- die Funktionsfähigkeit und Lage des Dräns
- Kenntnis der standörtlichen Eigenschaften (z. B. Bodentyp, Bewirtschaftung der Flächen)
- Beachtung von Punktquellen (z. B. Straßenabfluss, Einleitungen)

Auswahl der Probenahmestellen

Unter Berücksichtigung des Dränplans sollte die Auswahl der zu beprobenden Dränausläufe an möglichst homo-

genen Ackerflächen erfolgen. Folgende Punkte sollten bei der Standortauswahl beachtet werden:

- bodenkundliche Daten
- die Höhenlage, Niederschlag, Temperaturverlauf, Neigung
- N_{\min} -Gehalte
- die Bewirtschaftung, Fruchtfolge sowie Art Menge und Zeitpunkte des Düngemittleinsatzes
- Rechts- und Hochwert.

Meist ist durch eine entsprechende Auswahl der Dräne eine flächenbezogene Zuordnung des untersuchten Wassers möglich.

Probenahmehäufigkeit

Bei Dränen ist mit hohen Schwankungen der Stoffkonzentrationen insbesondere zu Beginn der Sickerwasserperiode zu rechnen. Berücksichtigt werden muss der Verlauf der Sickerwasserperiode (Beginn und Ende der Sickerwasserperiode), der Witterungsverlauf (z. B. bei Stark- oder Dauerregen) und oft das Trockenfallen in den Sommermonaten. Deshalb sollten zusätzliche ereignisbezogene Probenahmen eingeplant werden. Die starken Schwankungen können durch möglichst enge Probenahmeintervalle, insbesondere zu Beginn der Sickerwasserperiode, festgehalten werden. Gute Erfahrungen wurden mit wöchentlichen Untersuchungen zu Beginn der Sickerwasserperiode und im weiteren Verlauf mit einem zweiwöchigen Beprobungsturnus gemacht. Aufgrund der Abhängigkeit der Untersuchungsergebnisse von den Witterungsbedingungen sind Dränuntersuchungen mit einem hohen organisatorischen Aufwand verbunden.

Parameterumfang

Je nach Fragestellung werden z. B. die Stoffkonzentrationen Nitrat, Ammonium, Sulfat oder auch Pflanzenschutzmitteln und deren Abbauprodukte untersucht.

Probenahme

Die Beprobung erfolgt bei OW und Dränen meist als Schöpfprobe. Bei OW sollte möglichst gleichzeitig eine Abflussmessung durchgeführt werden. Die Proben müssen zur Analyse zeitnah und gekühlt in ein zertifiziertes Labor transportiert werden. Die einschlägigen Qualitätsstandards und Normen (z. B. DIN, CEN) sind genauestens zu beachten.

Auswertung

Bei Aussagen zur Sickerwasserqualität muss beachtet werden, dass im Unterboden der Dräne keine Stoffumsetzungsprozesse stattfinden.

Eine wichtige Grundinformation für die Auswertungen zum Sickerwasser sind regionale Niederschlagsdaten. Sie geben einen Überblick über den Verlauf (Niederschlag, Temperatur) in der Sickerwasserperiode. Zur Berechnung von Sickerwasserraten bzw. zur Ermittlung der Sickerwasserspende kann das Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell nach GROSSMANN (1996) verwendet werden.

Kann den Dränen ein Einzugsgebiet zugeordnet werden, ist über die Fracht die Abschätzung des Stoffaustrages (kg/ha) möglich. Die Stofffrachten werden ermittelt aus der Stoffkonzentration mit dem zeitlich zugehörigen Abfluss. Da oft keine Abflussdaten in hoher zeitlicher Auflösung vorliegen, können hilfsweise die Stofffrachten über die Grundwasserneubildungsrate nach GROSSMANN (1996) kalkuliert werden.

Die Ergebnisse der Dränuntersuchungen können mit weiteren flächenbezogenen Ergebnissen der Erfolgskontrolle, z. B. den Ergebnissen der Herbst- N_{\min} -Untersuchungen, der Nitrat-Tiefenprofile sowie der Flächen- und Hoftorbilanz verknüpft werden.

Eignungsbewertung

Dränuntersuchungen können bei entsprechend hoher Beprobungsdichte flächen- und nutzungsbezogenen Erkenntnisse zur stofflichen Belastung des Zwischenabflusses aufzeigen. Bei mehrjährigen Untersuchungsprogrammen ist eine Erfolgskontrolle flächenbezogener Freiwilliger Vereinbarungen möglich. Der Aufwand ist hoch und erst durch mehrjährige Untersuchungen können abgesicherte Bewertungen zu den Stoffkonzentrationen und -frachten erfolgen.

Oberflächengewässer-Untersuchungen geben einen Überblick über die stoffliche Belastung im Gewässernetz an einzelnen Oberflächengewässern. Punktbelastungen sowie Eintragspfade für stoffliche Belastungen können lokalisiert werden.

Die Beprobung von Dränausläufen und Oberflächengewässern kann somit zur Klärung der stofflichen Belastungssituation im Einzugsgebiet beitragen. Die Methode eignet sich zur innergebietslichen Prioritätensetzung.

2.7.9 Untersuchung der Denitrifikation

Ermittlung des N_2 -Überschusses im Grundwasser mit der N_2/Ar -Methode

Kurzcharakteristik

Die Denitrifikation ist einer der wichtigsten Prozesse, Nitrat im Grundwasser abzubauen. In vielen TGG in Niedersachsen ist aufgrund dieses Nitratabbaus die Quantifizierung der Nitratreinträge durch die landwirtschaftliche Nutzung mit den üblichen hydrochemischen Untersuchungsparameter (Nitrat, Ammonium) nicht möglich. Dies erschwert auch eine Bewertung von Grundwasserschutzmaßnahmen (z. B. stofflich-analytische Erfolgskontrolle).

Bei der Denitrifikation sind vor allem zwei Formen des Nitratabbaus von Bedeutung: die heterotrophe und die autotrophe Denitrifikation.

Der Abbau von Nitrat beginnt in der Bodenzone. Der Boden ist ein wichtiger Filter für das Sickerwasser. Das Abbauverhalten hängt neben den klimatischen Bedingungen auch von den Bodeneigenschaften ab. Sandig-kieselige Böden haben keine Filterfunktion und weisen deshalb kaum Abbaupotenzial auf, wogegen tonig-schluffige Ablagerungen den Abbau fördern.

Bakterien im Boden nutzen beim Nitratabbau organische Bodenbestandteile. Diesen Vorgang bezeichnet man als heterotrophe Denitrifikation. Der Vorgang ist langfristig wirksam, wenn ausreichend organische Substanz zur Verfügung steht.

Ein Hinweis auf eine autotrophe Denitrifikation sind mit der Tiefe abnehmende Nitratgehalte, z. B. erkennbar im Tiefenverlauf von Nitrat-Tiefenprofilen. Oft sind gegenüber zum Nitrat steigende Sulfatgehalte zu beobachten. Der Nitratabbau findet bei dieser Form der Denitrifikation unter Sauerstoffmangel statt, wobei Eisensulfid (Pyrit) im Grundwasser gelöst wird. Aufgrund des Abbaus von Pyrit ist der Abbauvorgang endlich.

In TGG mit Denitrifikation im Grundwasser wird zur Festlegung von Handlungsbereichen und Prioritäten (s. Kap. 2.1.3) nach dem Prioritätenprogramm Trinkwasserschutz (MU 2007b) empfohlen, zur Abschätzung der Nitratkonzentration als Äquivalent Sulfat heranzuziehen. Das ist aber nur möglich, wenn die geogene Hintergrundbelastung bekannt ist. Zur Verbesserung der Aussagekraft in solchen TGG wurde in einem Pilotprojekt in verschiedenen TGG die Praxistauglichkeit der N_2/Ar -Methode untersucht. Die Beschreibung der Methodik, der Probenahme, des Messverfahrens, die Anwendungsmöglichkeiten im Grundwasserschutz sowie die Ergeb-

nisse der untersuchten TGG sind ausführlich im Bericht zum Pilotprojekt dargestellt (NLWKN 2012b). Die ersten Praxiserfahrungen bei der Anwendung der Methode, die Durchführung und die Eignung zur Erfolgskontrolle werden nachfolgend hier beschrieben.

Zusatzinformation Denitrifikation

Es wird in eine biologische und eine chemische Reduktion unterschieden:

Biologische Reduktion

Unter anaeroben Verhältnissen erfolgt die Reduktion von Nitrat (NO_3^-) über die Zwischenstufe Nitrit (NO_2^-), Stickstoffmonoxid (NO) und Lachgas (N_2O) zu molekularem Stickstoff (N_2). Lachgas tritt dabei nicht nur als Zwischenprodukt auf, sondern wird auch als Endprodukt in die Atmosphäre emittiert, wenn es in der obersten Bodenschicht gebildet wird.

Heterotrophe Denitrifikation

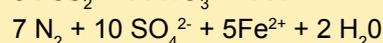
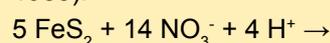
Wird beim Abbau von Stickstoff und organischem Kohlenstoff durch Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) im oberflächennahen Grundwasserleiter der Vorrat an organischer Substanz genutzt, spricht man von heterotropher Denitrifikation. Sie kann langfristig funktionieren, wenn im Boden ausreichend organische Substanz vorhanden ist.

Autotrophe Denitrifikation

Chemische Reduktion

Unter Sauerstoffmangel erfolgt durch Bakterien die Auflösung von Eisensulfid (Pyrit) im Grundwasser. N_2 als Endprodukt der Denitrifikation reichert sich im Grundwasser an und wird als gelöstes Gas mit dem Grundwasserstrom im Grundwasserleiter transportiert.

Chemische Gleichung zur Umsetzung (KÖLLE et al. 1985):

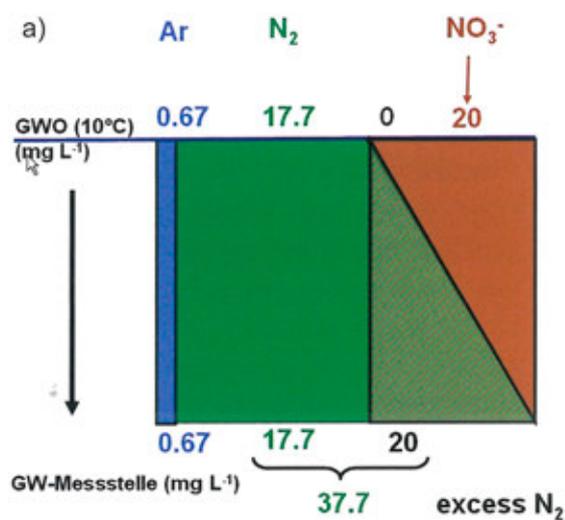


Stöchiometrisches Verhältnis von Nitrat zu Sulfat:

1 mg Nitrat/l \rightarrow 1,1 mg Sulfat/l Durch die chemischen Stoffumsetzungsprozesse kann es während der autotrophen Denitrifikation zu Konzentrationserhöhungen bei anderen Parametern (z. B. Sulfat, Eisen) kommen.

Anwendung

Durch die Denitrifikation im Grundwasserleiter ist eine Bestimmung der Nitratkonzentration mit den üblichen Grundwasser- und Rohwasseruntersuchungen nicht möglich. Charakteristisch sind niedrige Nitratkonzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze, die einen Nitratabbau in der gesättigten Zone bzw. im Grundwasserleiter vermuten lassen. Eine Quantifizierung ist nicht möglich. In Abbildung 174 wird am Beispiel der Ergebnisse an einer Multilevel-Messstelle der Tiefenverlauf der gemessenen Excess-N₂-Konzentration im Grundwasser dargestellt. Es wird deutlich, dass im Denitrifikationsbereich durch die Reduktion von Nitrat die Excess-N₂-Konzentration sprunghaft ansteigt.



$$\text{NO}_3\text{t0} = \text{Exzess-N}_2 + \text{NO}_3^- + (\text{N}_2\text{O})$$

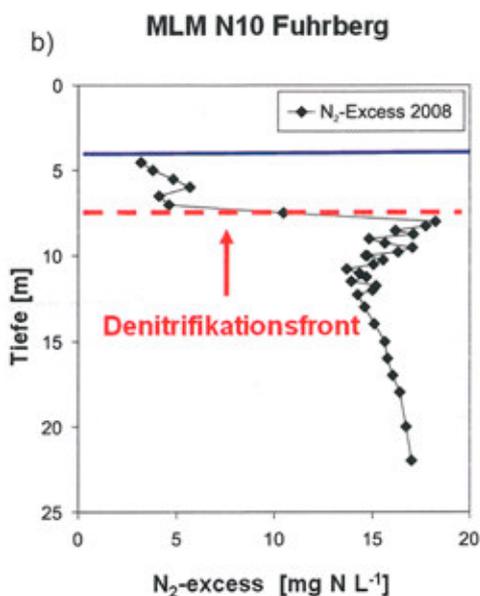


Abb. 174: Auswertung Multilevel-Messstelle, Beispiel WSG Fuhrberger Feld (NLWKN 2012b)

Die Messung der Stickstoff (N₂)- und Argon (Ar)-Konzentration im Grundwasser und die daraus folgende Ermittlung des N₂-Überschusses ist eine effektive Möglichkeit, die quantitative und räumliche Verteilung der Denitrifikation im Grundwasserleiter zu bestimmen. In Abbildung 175 sind die im Kasten „Zusatzinformation“ aufgeführten chemischen Umsetzungsprozesse bei der autotrophen Denitrifikation grafisch dargestellt.

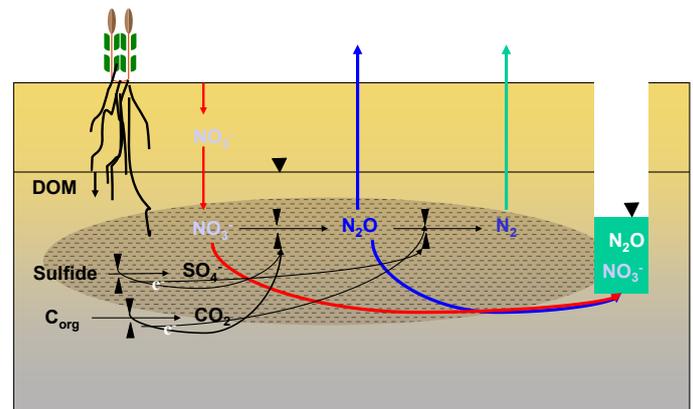


Abb. 175: Abbau von Nitrat und reduzierten Verbindungen im Grundwasser durch Denitrifikation, Grafik nach Well, Uni Göttingen (GERIES INGENIEURE GMBH 2007b); (Abkürzung: DOM-Grundwasserstand)

Durchführung

Die Methodik, den Nachweis des Nitratabbaus durch Denitrifikation im Grundwasser über die Ermittlung des N₂-Überschusses (Excess-N₂) zu führen, wurde bisher vor allem für wissenschaftliche Fragestellungen genutzt. Die Ermittlung der Denitrifikation im Grundwasser beruht auf der Verschiebung des N₂/Ar-Verhältnisses im Grundwasser gegenüber dem Gleichgewichtsverhältnis ohne Nitratabbau (NLWKN 2012b). Das Messverfahren ist geeignet, über die Stickstoff (N₂)- und Argon (Ar)-Konzentration im Grundwasser den N₂-Überschuss zu ermitteln. Die atmosphärischen Konzentrationen von Stickstoff und Argon sind weitgehend konstant.

Erfolgt im Grundwasser ein denitrifikativer Abbau von Nitrat, wird das Endprodukt „molekularer Stickstoff“ im Grundwasser angereichert. Die Anreicherung entsteht, weil der Gasaustausch zwischen dem Grundwasser und der Atmosphäre relativ langsam erfolgt. Im Gegensatz zum Stickstoff ist Argon als Edelgas nicht an den Umsetzungsprozessen beteiligt, so dass im Grundwasser keine Anreicherung oder eine Verringerung von Argon im Vergleich zur Gleichgewichtskonzentration der Atmosphäre erfolgt. Deshalb kann mit der N₂/Ar-Methode der aus der Denitrifikation stammende und im Grundwasser gelöste N-Überschuss (Excess-N₂) gemessen werden.

Die Grundwasserprobenahme erfolgt nach den Vorgaben des Arbeitsblattes DWA-A 909 (DWA 2011) für Grundwassermessstellen mit einer Tauchpumpe. Um Veränderungen der Gelöstgaskonzentrationen zu minimieren, muss beachtet werden, dass die Probe direkt aus dem Förderstrom entnommen wird. Vor Ort werden die Parameter Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und der Sauerstoffgehalt bestimmt.

Zur Laboranalyse des Excess-N₂ sind die Gaschromatografie (GC-Methode) oder die Membran-Einlass-Spektrometrie (MIMS-Methode) geeignet. Bei der Anwendung der GC-Methode ist eine umfassende Probenvorbereitung erforderlich. Die MIMS-Methode ist leichter handhabbar (NLWKN 2012b). Die Analytik des Excess-N₂ wird bisher nur von wenigen Laboren in Niedersachsen durchgeführt (z. B. Uni Göttingen, Thünen-Institut, Gesellschaft für Bioanalytik (GBA)).

Eignung

Bereits seit mehreren Jahren wird die Methodik von einzelnen Wasserversorgungsunternehmen in TGG zur Abschätzung der Nitratbelastung genutzt. Im Rahmen des Pilotprojekts hat sich bestätigt, dass die N₂/Ar-Methode für die Prioritätensetzung und die Erfolgskontrolle in TGG anwendbar ist. In denitrifikativen Grundwasserleitern kann die tatsächliche Nitrat-Immission über die gemessene Excess-N₂-Konzentration ermittelt werden. In Verbindung mit Untersuchungen zum Grundwasseralter (s. Kap. 2.7.6.3) können die Nitrat-Abbauraten für den Zustrombereich der Messstelle abgeschätzt oder Auswirkungen von Nutzungsänderungen (z. B. verändertes Stoffumsetzungsverhalten durch großflächige Grünlandumbrüche, Veränderungen der Grundwasserförderung) bewertet werden.

In Abbildung 176 wird an einem Beispiel die Nitrateintragskonzentration, die sich aus der Emission im Zustrombereich der Grundwassermessstelle oder des Förderbrunnens ergibt, dargestellt. Die Nitrateintragskonzentration ist die Summe aus dem Nitrat, das im Grundwasser analysiert wurde und der ermittelten Excess-N₂-Konzentration. Aufgrund der Denitrifikationsprozesse wird im Grundwasserleiter des Beispielgebiets nur in wenigen Messstellen bzw. nur in einem Förderbrunnen Nitrat gemessen (rot dargestellt). Über die Excess-N₂-Untersuchung wird der Umfang des denitrifikativen Nitrat-Abbaus ermittelt (grün dargestellt). Im Diagramm ist somit die vollständige Immission des Nitrats für jede Messstelle zu erkennen.

Eignungsbewertung

Die wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten der N₂/Ar-Methode im Grundwasserschutz sind:

- die Ermittlung von Nitrateintragskonzentrationen
- die Feststellung maskierter N-Belastungen in tieferen Grundwasserleitern
- die Abschätzung anthropogener Anteile erhöhter Sulfatkonzentrationen
- die Bewertung der tatsächlichen Nitratimmission unter Berücksichtigung der Denitrifikation im Rahmen der Erfolgskontrolle und
- die Verbesserung der innergebielichen Prioritätensetzung.

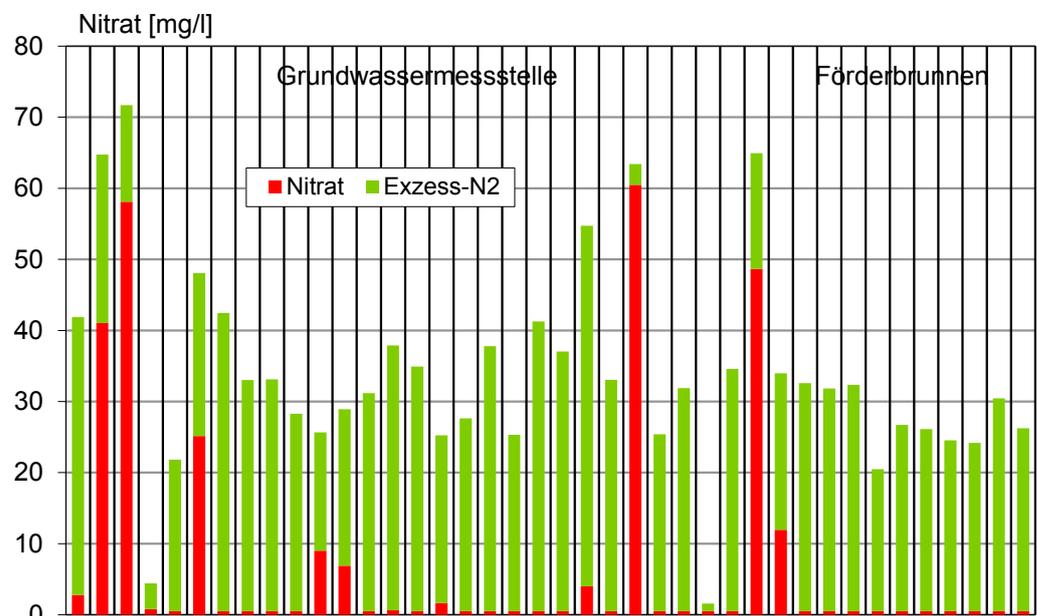


Abb. 176: Nitrateintragskonzentration (Summe aus Nitrat- und Excess-N₂-Konzentration) untersuchter Messstellen im WSG Forst Esloh (NLWKN 2012b)

2.7.10 Modellanwendung zur Erfolgskontrolle

Kurzcharakteristik

Ein umfassendes Systemverständnis der Stoffausträge aus dem Bereich Boden-Landwirtschaft (Emission) und der Einträge in das Grundwasser (Immision) sowie der Stoffumsetzungsprozesse im Grundwasserleiter ist erforderlich, um zielgerichtete Maßnahmenkonzepte für den Grundwasserschutz zu entwickeln und ihren Erfolg zuverlässig zu überprüfen.

Die Nutzung von Modellen bietet die Möglichkeit, die komplexen Wirkungszusammenhänge optimal darzustellen und erforderliche Ergebnisse abzuleiten. Die Visualisierung der Ergebnisse kann das Prozessverständnis der Wirkzusammenhänge verbessern und die Maßnahmenumsetzung effizienter gestalten. Modelle ermöglichen systematische flächendeckende Aussagen zu den Wirkungen von Grundwasserschutzmaßnahmen auf den Wasserhaushalt. Grundsätzlich sollten für praxisnahe Bewertungen bewährte benutzerfreundliche Modelle, zu den bereits Erfahrungen bei ähnlichen Fragestellungen vorliegen, ausgewählt werden. Zur Modellanwendung sind immer spezifische Fachkenntnisse erforderlich.

Das vorliegende Kapitel stellt die Möglichkeiten und Anforderungen an eine Modellanwendung bei der Erstellung und Umsetzung der Schutzkonzepte zum Trinkwasserschutz dar.

Exkurs Modelle

Ein Modell ist eine vereinfachte und formalisierte Beschreibung natürlicher Phänomene. Der Begriff Modellierung bezieht sich auf die empirische oder theoretische Entwicklung von Ergebnisansätzen zur Klärung bestimmter Fragen. Modelle eignen sich als Planungsinstrument sowie zur Überprüfung von Maßnahmen. Für die Betrachtungen im Bereich Boden, Landwirtschaft, Wasser und Klima eignen sich mathematische Modelle. Es werden empirische/statistische Modelle für eine zeitliche und räumliche Abschätzung (z. B. zur Verdunstung, Grundwasserneubildung), analytische Modelle (z. B. Niederschlags-Abfluss-Modell) und numerische Modelle für standortbezogene zeitliche und räumliche Zusammenhänge (z. B. Stofftransport) unterschieden.

Numerische Modelle sind mathematisch logische Modelle, die bei komplexen Prozessen verwendet werden. Mit Hilfe von mathematischen Funktionen werden alle im System ablaufenden Prozesse (phy-

sikalisch, chemisch, biologisch) möglichst zeitlich und räumlich so miteinander verknüpft, wie sie in der Natur ablaufen. Je nach Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens wird zwischen stationären (ohne zeitliche Dimensionierung) und instationären (Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung) Modellen unterschieden.

Häufig werden in Modellverbunden Anwendungen zu verschiedenen Fachthemen z. B. Landwirtschaft, Nährstoffe und Grundwasser zusammengefügt um eine regionale Differenzierung der komplexen Zusammenhänge darstellen zu können. Einige Beispiele werden nachfolgend aufgeführt:

Nährstoffemissionsmodelle dienen zur Berechnung und Darstellung von Nährstoffquellen und Eintragspfaden. Durch Verknüpfung mit landwirtschaftlichen Bodendaten können die Nährstoffströme bilanziert werden (Beispiel: MONERIS – Modelling Nutrient Emissions in River Systems).

Grundwassermodelle werden zur Berechnung des Wasserhaushalts und zur Prognose von Effekten wasserwirtschaftlicher Maßnahmen verwendet. Sie werden in Strömungs- und Stofftransportmodelle eingeteilt. (Bsp.: GROWA – Großräumiges Wasserhaushaltsmodell mit Separierung Abflusskomponenten)

- Eindimensionale Modelle: zur Interpretation von Säulenexperimenten (z. B. zur Sickerwasserprognose)
- 2-D-Modelle: Beschreibung der regionalen Grundwasserströmung und des Stofftransports
- 3-D-Modelle: Anwendung bei kleinräumigen Problemstellungen und hohem Detaillierungsgrad.

Strömungsmodelle sollen die Wasserbewegung in der ungesättigten oder gesättigten Zone beschreiben. Im Ergebnis kann z. B. ein Grundwassergleichenplan erstellt werden. Strömungsmodelle werden zur Bestimmung von Grundwasserbilanzen, zu Vorhersagen von Grundwasserabsenkungen, zur Festlegung von Schutzzonen für Trinkwassergewinnungsgebiete sowie zur Vorbereitung von Transportmodellen eingesetzt. Stofftransportmodelle beschreiben den räumlichen und zeitlichen Verlauf von Stoffkonzentrationen im Grundwasser. Sie werden eingesetzt, um stoffliche Bilanzierungen (Stoffkonzentrationen, Frachten) vorzunehmen und zur Planung und Entwicklung von mPlanungs- und Umsetzungsinstrumenten. (Beispiel: WEKU – Grundwassertransportmodell) (GEOLEXIKON).

Der Einsatz von Modellen zum Grundwasserschutz kann für folgende Einzelfragen sinnvoll sein (NLWKN 2013a):

- Erfassen und Bewerten von Stoffeinträgen aus landwirtschaftlichen Flächen (Zielflächen-Identifikation)
- Abschätzung von Wechselwirkungen mit grundwasserabhängigen Landökosystemen und Oberflächengewässern
- Planung von Maßnahmenkonzepten und deren Bewertung (Maßnahmenwirkung)
- Überprüfung und Optimierung der Erfolgskontrolle.

Anwendung

Aufgrund des erforderlichen Datenumfangs und Aufwands kann eine Einbindung von Modellbetrachtungen im Rahmen der Schutzkonzepte nur gemeinsam mit dem WVU erfolgen. Möglicherweise stehen aus Projekten des WVU (z. B. im Rahmen von Wasserrechtsverfahren) Modellergebnisse zur Verfügung, die sich als Grundlage für weitere Betrachtungen eignen. Außerdem ist eine umfangreiche hydrogeologische Datenbasis erforderlich, sodass es sinnvoll ist, auch einen Hydrogeologen einzubinden. Eine Kosten-Nutzen-Analyse zur Einbindung von Modellen im Rahmen des Schutzkonzepts zum Trinkwasserschutz sollte ebenfalls berücksichtigt werden.

Bei der Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen ist eine integrierte Bewertung von Einflüssen und Maßnahmen erforderlich. Dabei spielen die Wirkungszusammenhänge des Wasserkreislaufs, z. B. Niederschlag, Abfluss, Stofftransport, Bodenwasserhaushalt, Sickerwasser und Grundwasserneubildung eine Rolle. Ein Modell kann diese hydrologischen Zusammenhänge betrachten und modellhaft beschreiben. Ein wichtiges Ergebnis der Modellanwendung für den Grundwasserschutz sollte eine qualifizierte räumlich differenzierte Maßnahmen-Wirkungsanalyse (Prüfung der Maßnahmenintensität, standortspezifische Maßnahmenwirkung) sein. Dabei sind folgende Schwerpunkte zu betrachten:

- Abschätzung der Langzeitwirkung von Maßnahmen unter Berücksichtigung der Stoffumsetzungsprozesse im Boden
- Empfehlung von standörtlich differenzierten Maßnahmen (Einfluss der Standort- und Nutzungsbedingungen)
- Auswirkung der Maßnahmen- oder Maßnahmenkombination auf den Nitrataustrag.

Um die komplexen Wirkungszusammenhänge im Grundwasser abzubilden, können Strömungs- und Transportmodelle verwendet werden. Daneben werden integrierte Modellansätze (oder Modellverbunde) genutzt um Zusammenhänge abzubilden (NLWKN 2013a). Sie ermöglichen für einen festgelegten Einzugsbereich eine Betrachtung des Wasserhaushalts sowie der Transportpfade von diffusen und punktuellen Nährstoff- und PSM-Belastungen. Sie sind für eine gemeinsame Betrachtung der Grund- und Oberflächengewässer besonders geeignet. Dabei unterscheidet man empirisch orientierte Modelle, die eher für den fachlichen Überblick zu bestimmten Fragestellungen verwendet werden und prozessorientierte, die sich mit regionalisierten Fragestellungen beschäftigen. Beispiele sind:

- integrierte Stoffbilanzmodelle: GROWA-WEKU – DENUZ (Denitrifikation im Boden und im Grundwasser), LUH
- integrierte Stoffhaushaltsmodelle: MONERIS, SWAT (Soil and Water Assessment Tool), EPIC (Environmental Policy Integrated Calculator).

Anforderungen

Die wichtigste Voraussetzung für den Einsatz von Modellen ist die Datengrundlage für ein räumlich festgelegtes Gebiet oder einen Zielbereich. Bei heterogenen Standortverhältnissen sollten gegebenenfalls zusätzliche repräsentative Raster oder Zonen festgelegt werden.

Anforderungen an die Eingangsdaten

1. Festlegen von Datenstandards

Grundsätzlich ist die Aussagefähigkeit der Modellierungsergebnisse abhängig von der Eignung und dem Umfang (zeitlich und räumlich) der zur Verfügung stehenden Daten. Durch eine sorgfältige Auswahl der Eingangsdaten kann die Modellberechnung bzw. die Analyse aussagekräftiger und belastbarer werden. Bei der Bearbeitung einzelner Arbeitsschritte oder bestimmter Einzelfragen (z. B. Randbedingungen, Parameter, Daten) kann eine Überprüfung oder Anpassung der festgelegten Randbedingungen während der Modellierung sinnvoll sein, um dem Ziel, möglichst die natürlichen Verhältnisse abzubilden, nahe zu kommen. Werden mehrere Modelle verwendet, z. B. bei Modellverbunden, sollten einheitliche Datenstandards festgelegt werden. Die Modelle haben meist unterschiedliche Eingangsdatenformate aus denen sie gegebenenfalls unterschiedliche Informationen ableiten. Eine hohe Transparenz bei der Modellanwendung

erleichtert die Nachvollziehbarkeit und das Verständnis für die Ergebnisse der Modellierung.

2. Datenqualität

Die Datenqualität ist von großer Bedeutung für die Aufstellung, Kalibrierung und Validierung der Modelle. Vor Beginn der Modellanwendung sollte das vorhandene Messnetz auf Eignung und Aussagekraft überprüft werden. Beispiele für Fehlerquellen sind unplausible oder falsche Einzeldaten, große Datenlücken bei Zeitreihen sowie veraltetes Datenmaterial.

3. Dokumentation

Die Durchführung der Modellierung sollte von Beginn an dokumentiert werden. Dazu gehören die Beschreibung der technischen Voraussetzungen, der Datengrundlagen (z. B. Art und Umfang der Daten, Unsicherheiten, Verknüpfungen), die Beschreibung des Modells (z. B. Informationen zur Software, zum Modellaufbau, Eingangsdaten, zu den Modellschritten, Definition von Szenarien). Die Ergebnisauswertung sollte ebenfalls nachvollziehbar dargestellt werden.

Exkurs Unsicherheiten

Die Aussagefähigkeit der Modellierungsergebnisse hängt ab von

- der Qualität und dem Umfang der zur Verfügung stehenden Daten
- der Unsicherheit und der Schwankungsbreite der verwendeten Parameter (z. B. Sickerwasserrate, Denitrifikation)
- den ausgewählten Berechnungsansätzen
- der Auswahl und den Möglichkeiten bzw. der Komplexität der Modellanwendung.

Die Komplexität der Modellanwendungen verbessert nicht zwingend die Aussagekraft der Modellierungsergebnisse. Die Bedeutung einzelner Faktoren kann großen Einfluss auf die Genauigkeit des Ergebnisses haben.

Häufig sind die für die Modellanwendung benötigten Daten für den Bezugsraum nicht in ausreichender Dichte, Genauigkeit oder Aktualität verfügbar. Deshalb wird bei der Datenaufbereitung oft mit Näherungswerten und Algorithmen zur Schließung von Datenlücken gearbeitet.

Exkurs Darstellung/Visualisierung

Die Akzeptanz der Ergebnisse einer Modellierung hängt wesentlich von der Nachvollziehbarkeit ab. Für eine transparente Darstellung sind folgende Punkte bedeutsam:

- Überprüfung der Eingangsdaten auf Genauigkeit (z. B. Problematik Schätzdaten auf Kreisebene zur Verwendung von Berechnungen auf Schlagebene)
- Katalog der verwendeten Daten und Visualisierung/graphische Aufbereitung (z. B. im GIS)
- Überblick zu den Berechnungsmethoden, Parametern und (Zwischen-)ergebnissen (Beachtung z. B. DIN Normen, übliche Einheiten)
- Graphische Darstellung der Modellarbeitsweise (Fließschema)
- Genauigkeit der Ergebnisse, Aufzeigen kritischer (ggf. ungenauer) Größen im Modell (z. B. Durchflusszeit im Grundwasserleiter).

Mit Hilfe von Modellanwendungen kann das Systemverständnis für die regionalen Prozesse verbessert und der Weg zur Zielerreichung, die Verringerung der stofflichen Belastung (z. B. von Nitrat), fachlich differenziert begleitet und gegebenenfalls über bestimmte Maßnahmen szenarien prognostiziert werden. In Abbildung 177 sind die Anforderungen an Modellanwendungen zusammengestellt.

Fachliche Anforderungen

Wichtige Grunddaten, die für eine Modellanwendung im Rahmen des Grundwasserschutzes erforderlich sind, werden nachfolgend aufgeführt:

- Geografische Basisdaten: z. B. Topografische Karten, Gewässernetz, Bodendaten
- Morphologische Daten: z. B. Digitales Geländemodell
- Hydrologische/hydrogeologische Informationen: z. B. Grundwasserstand, Fließrichtung, Durchlässigkeit
- Klimatische Daten: z. B. Niederschlag, Verdunstung
- Landnutzungsdaten: z. B. Feldfrüchte, Grünland, Düngung, Viehdichte, Nutzungsänderungen beispielsweise Grünlandumbruch
- Chemische Daten: z. B. Nährstoff- oder PSM-Konzentration.

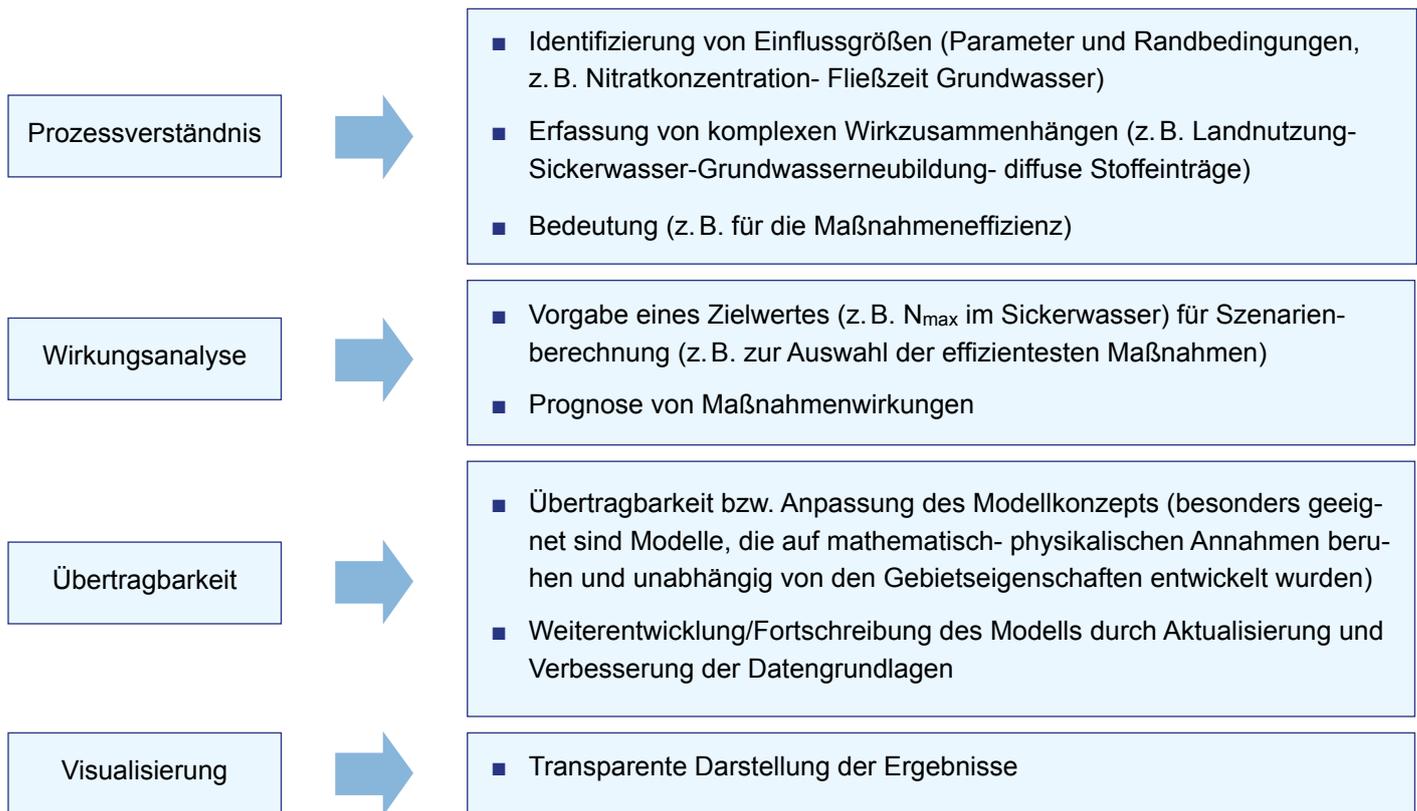


Abb. 177: Anforderungen an Modellanwendungen

Als geeignete Modelle zur Anwendung von Fragestellungen zum Grundwasserschutz in Niedersachsen werden die im NLWKN genutzten Modelle LUH und EPIC nachfolgend vorgestellt:

LUH-Modell

Es handelt sich um ein integriertes Stofftransportmodell zur Darstellung der Bilanzgrößen des Wasser- und Stoffhaushalts in räumlich hoher Auflösung. Das Modell dient zur Beschreibung der Belastungssituation durch Stoffeinträge in die Gewässer in einem Einzugsgebiet bis auf Schlagebene. Ziel des Modells ist eine Bewertung von Maßnahmenwirkung auf dieser Ebene. Mit dem Modell kann man gebietsspezifische Nährstoffeinträge bezogen auf die Eintragspfade (z. B. Direktabfluss, Zwischenabfluss, Infiltration, Erosion/ Abschwemmung, Punkteintrag, Drainage) berechnen. Das Modell wurde von der Leibniz-Universität Hannover (LUH) entwickelt und wird im NLWKN eingesetzt (NLWKN 2013a).

EPIC

Mit dem Modell können die Prozesse, die die Nährstoffdynamik im Boden und Grundwasser prägen (N-Haushalt, Bodenwasserhaushalt der Pflanzen, Erosion), abgebildet werden. Zur Darstellung des Grundwasserbereichs erfolgt eine Verknüpfung mit Grundwasserströmungs- und Grundwassertransportmodellen. Über die

Berechnung von beispielsweise N- und P-Überschüssen (aus Felddatenerhebungen, Agrarstatistik) kann das Modell zur Berechnung von Ernteentzügen und Stoffumsätzen verwendet werden und so auch zur Ableitung von Düngeempfehlungen genutzt werden. Das Modell kann für die regionale Wirkungsanalyse von Grundwasserschutzmaßnahmen eingesetzt werden. Es wird im NLWKN bisher in Einzugsgebieten der EG-WRRL-Kulisse genutzt (NLWKN 2013a).

Im Bereich des Trinkwasserschutzes liegen modellbezogene Erfahrungen aus einer Projekt-Studie vor:

Das Nicomat-Verfahren der Geo-Infometric GmbH Hildesheim wurde bezüglich einer gesamtgebietlichen modellhaften Bewertung und Visualisierung getestet. Es handelt sich bei dem Verfahren um eine prozessorientierte Verknüpfung von Informationen zur Flächendifferenzierung, z. B. Landnutzung, Bodenwasserhaushalt, Grundwasserneubildung mit Daten zum Stofftransport im Grundwasser. Die Visualisierung erfolgt über ein geografisches Informationssystem. Das Verfahren eignet sich zur Quantifizierung und Visualisierung von flächenbezogenen N-Emissionen und kann zur Defizitanalyse von bestehenden Erfolgskontrollkonzepten eingesetzt werden. Eine Einbindung des Verfahrens in die Erfolgskontrolle der WZB erfolgte bisher in der Praxis nicht (GEO-INFOMETRIC 2008).

Eignungsbewertung

Entscheidend für die direkte Rückkopplung zwischen Maßnahme und Erfolg beim Trinkwasserschutz sind

- Prioritätensetzung
- Etablierung und Platzierung von effizienten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen,
- angepasste Erfolgskontrolle.

In den fünfjährigen Schutzkonzepten erfolgen bereits bei der Erfolgskontrolle Festlegungen von erreichbaren Zielwerten für bestimmte Indikatoren des Zonenmodells. Eine Prognose zur Zielerreichung ist mit den bisher verwendeten Methoden nicht möglich.

Modelle bieten die Möglichkeit, schon zu Beginn des Schutzkonzepts die Wirksamkeit der geplanten Maßnahmen bezogen auf die räumlichen Verhältnisse und den Umsetzungszeitraum einzuschätzen bzw. zu modifizieren.

Für die Nutzung von Modellen ist das fachliche Engagement der Wasserversorgungsunternehmen erforderlich

- die standörtlichen Kenntnisse
- bereits vorliegende nutzbare Modellergebnisse
- der hydrogeologische Sachverstand und die Nutzung der vorliegenden Daten.

Entscheidend für die Nutzung von Modellen bei Trinkwasserschutzkonzepten ist die

- Zusammenarbeit aller Beteiligten
- technische Ausstattung, Praktikabilität des/der Modelle, Verfügbarkeit von Fachleuten für die Modellierung
- Datengrundlage
- Kosten-Nutzen-Betrachtung.

Um Modellanwendungen für die Fragestellungen der Wirkzusammenhänge im Bereich Landwirtschaft-Boden-Grundwasser und die Wirksamkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen einzusetzen, müssen verfügbare praxisnahe Modellanwendungen getestet und entsprechende Handlungsempfehlungen für eine landesweite Nutzungsmöglichkeit erstellt werden.

2.7.11 Praktische Durchführung der Erfolgskontrolle im Trinkwasserschutz

Die Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen hat sich in den Trinkwasserschutzkooperationen langjährig entwickelt. Im Rahmen des Kooperationsmodells Trinkwasserschutz wurden in Arbeitskreisen und Pilotprojekten methodische Ansätze geprüft, weiterentwickelt und neue Methoden erprobt. Wesentlich für die Erfolgskontrolle ist, dass eine den Zielen des Schutzkonzepts gerecht werdende sowie eine standort- und problembezogene Erfolgskontrolle eingesetzt wird. Sie sollte möglichst für alle Ebenen des Zonenmodells (s. Kap. 2.7.2) im TGG erfolgen und für einzelflächenbezogene, teil- und gesamtgebietliche Aussagen zur Maßnahmenwirkung herangezogen werden können.

Im Folgenden werden die wichtigsten Methoden der Erfolgskontrolle mit einem Auswertungsbeispiel dargestellt. Dabei wird vor allem auf die Parameter eingegangen, die im Arbeitspapier des NLWKN zur Zielerreichung der Schutzkonzepte zur Auswahl stehen (NLWKN 2014a). Für drei Parameter sind demnach durch Beschluss der Trinkwasserschutzkooperation verbindliche Ausgangs- und Zielwerte im Schutzkonzept festzulegen.

Erfolgsparemeter im Bereich des Zonenmodells

Zur kalkulatorischen Bewertung werden nur Betriebe herangezogen, die mehr als 20 % ihrer Betriebsfläche im Trinkwassergewinnungsgebiet bewirtschaften. Meist werden die prioritären Betriebe (s. Kap. 2.1.3) berücksichtigt.

Für Auswertungen der Schlagbilanzen und Herbst- N_{\min} -Untersuchungen sollte ein ausreichender Stichprobenumfang der im TGG angebauten Kulturarten berücksichtigt werden (z. B. vier Einzelwerte). Der flächengewichtete Gebietsmittelwert kann nur berechnet werden, wenn für alle Kulturarten größer als 5 % der TGG-Fläche ein Mittelwert berechnet wurde.

Freiwillige Vereinbarungen wirken häufig N-Saldo- oder Herbst- N_{\min} -mindernd. Bei Auswertungen zur Erfolgskontrolle sollten nur Maßnahmen berücksichtigt werden, die eine flächenbezogene Minderungswirkung erzielen. Brachebegrünungs- und Grünlandflächen werden grundsätzlich als Verdünnungsflächen betrachtet. Sie werden bei der Gebietsmittelwertberechnung von Bedeutung. Bei der Ermittlung von flächenbezogenen N-Salden sollten sie nicht berücksichtigt werden.

Hoftorbilanz-Überschuss (kg N/ha)

Die Hoftorbilanz stützt sich auf Daten der landwirtschaftlichen Buchführung und gilt als die am besten prüffähige Bilanzform (s. Kap. 2.7.3.1). Bisher wird in Niedersachsen die Nettobilanz berücksichtigt, Ziel ist aber, zukünftig den Hoftorbilanzsaldo als Brutto-Wert, also ohne Abzug gasförmiger Verluste, zu berechnen. Die Hoftorbilanz wird auch durch die agrarstrukturelle Entwicklung, vor allem die Entwicklung der Viehhaltung beeinflusst. Viehhaltende Betriebe weisen in der Regel höhere Salden auf, als viehlose Betriebe. Der N-Saldo aus der Hoftorbilanz ist ein Maß für den potentiellen N-Eintrag in die Umwelt. Er wird betriebsübergreifend als Indikator zur Gebietsbelastung herangezogen. In der zeitlichen Entwicklung ist der Hoftorbilanzsaldo ein Erfolgsindikator für die WZB.

Zukauf stickstoffhaltiger Mineraldünger (kg N/ha)

Die Entwicklung des Mineraldüngerzukaufs kann nur dann als Erfolgsindikator ausgewertet werden, wenn der Wirtschaftsdünger-Einsatz konstant ist. Bei der Auswahl des Betriebs für diese Auswertung ist dies zu beachten. Das Ergebnis wird auch zur Bewertung der gesamtgebietlichen N-Belastung herangezogen.

Einsatz organischer und mineralischer Stickstoffdünger (kg N/ha)

Die Berechnung erfolgt als Feld-Stall-Bilanz. Sie beinhaltet neben dem Import (abzüglich Export) auch den Wirtschaftsdüngeranfall innerhalb des Betriebs. Der Gesamt-N-Dünger-Einsatz spiegelt den N-Belastungsdruck im

TGG wieder. Der N-Einsatz wird meist für die prioritären Betriebe als Grundlage der WZB erhoben. Als Erfolgsparameter ist er nicht geeignet (s. Abb. 178).

Schlagbilanz-Überschuss (kg N/ha)

Der N-Saldo aus Schlagbilanzen wird als Indikator für den potenziellen N-Eintrag gewertet, aber auch als Erfolgsindikator von Freiwilligen Vereinbarungen die den N-Saldo reduzieren. Die Aussagekraft ist eingeschränkt, da die Schlagaufzeichnungen oft Schätzungen des Landwirts beinhalten (s. Abb. 179).

Herbst-N_{min} (kg N/ha)

Herbst-N_{min}-Untersuchungen geben die auswaschungsgefährdete Mineralstickstoffmenge vor Beginn der winterlichen Sickerwasserbildung wieder. Der durchschnittliche Herbst-N_{min}-Wert der Flächen mit Freiwilligen Vereinbarungen im Vergleich zu praxisüblicher Bewirtschaftung wird berechnet. Außerdem kann die gebietsbezogene Nitratkonzentration in der Dränzone aus dem mittleren Herbst-N_{min}, der Sickerwasserrate und der Feldkapazität bis 90 cm ermittelt werden. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage von Bodendaten (BÜK M 1 : 50.000) und regionalisierten Klimadaten mit einem empirischen Modell zum Bodenwasserhaushalt (GROWA) im Raster 50 x 50 m. In der Regel sollten jährlich die Ergebnisse der gleichen repräsentativen Flächen in die Bewertung verwendet werden. Zusätzlich können gesonderte Untersuchungen für die Beobachtung von Problemstandorten erfolgen (s. Abb. 180).

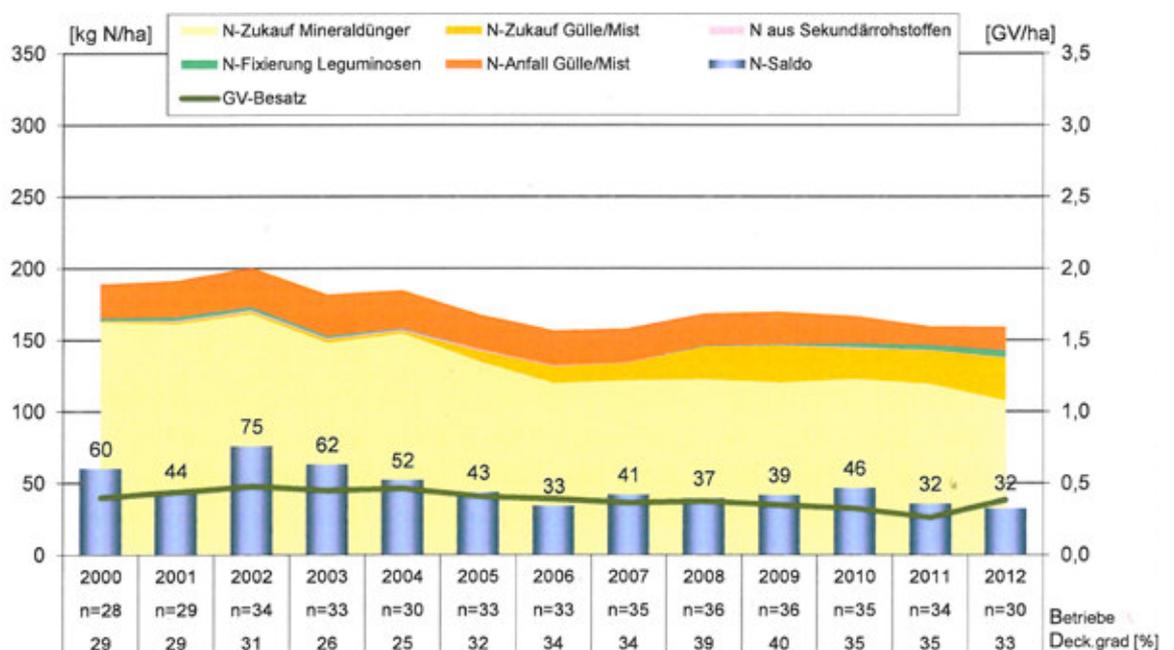


Abb. 178: Beispiel für die Entwicklung der flächengewichteten N-Zufuhr von hoch und mittel prioritären Betrieben (GERIES INGENIEURE GMBH 2013)

Frucht	FV	Ø-Fläche (ha)	Ø-Düngung (kg N/ha)	Ø-Ertrag (dt/ha)	Ø-N-Saldo (kg N/ha)
Winterweizen	Praxis	801	220	85	33
	FFV	513	145	76	8
Wintergerste	Praxis	219	180	75	56
	FFV	142	121	72	2
Zuckerrüben	Praxis	167	150	700	24
	FFV	117	97	625	-15
Winterraps	Praxis	247	190	45	39
	FFV	186	111	39	-20
Silomais	Praxis	147	160	500	-55
	FFV	101	131	450	-63
Flächengewichteter Mittelwert	Praxis	1.581			28
	FFV	1.059			-7

Abb. 179:
Beispiel für den N-Saldo von praxisüblich und mit Fruchtfolgevereinbarungen (FFV) bewirtschafteten Flächen (2008–2012) (GERIES INGENIEURE GMBH 2013)

Hauptfrucht 2005	ohne Nmin-reduzierende Maßnahme				mit Nmin-reduzierender Maßnahme			
	Anzahl	Ø Nmin (kg/ha)	Fläche (ha)	Nmin [kg]	Anzahl	Ø Nmin (kg/ha)	Fläche	Nmin [kg]
So-Getreide	8	72	240	17.280	3	22	38	836
Wi-Getreide	22	50	392	19.600	25	35	413	14.455
Mais	20	61	298	18.178	0		(12)	
Raps	5	72	62	4.464	3	22	66	1.452
sonstige	0		(78)					
Auswertungs-Grundlage	55		992	59.522	31		517	16.743
flächengew. Mittelwerte		60				32		

Verdünnungsflächen mit Nmin-reduzierender Wirkung	Anzahl	Ø Nmin (kg/ha)	Fläche	Nmin [kg]
Grünland	11	21	531	11.151
Feldgras	10	26	71	1.846
Brache	12	15	259	3.885
	33		861	16.882
flächengew. Mittelwert Verdünnungsflächen		20		
gesamtb. flächengew. Mittelwert		39 kg N/ha		

Abb. 180:
Beispiel für die flächengewichtete Herbst-N_{min}-Auswertung (NLWKN 2012c)

Nitratkonzentration im Sickerwasser (mg/l)

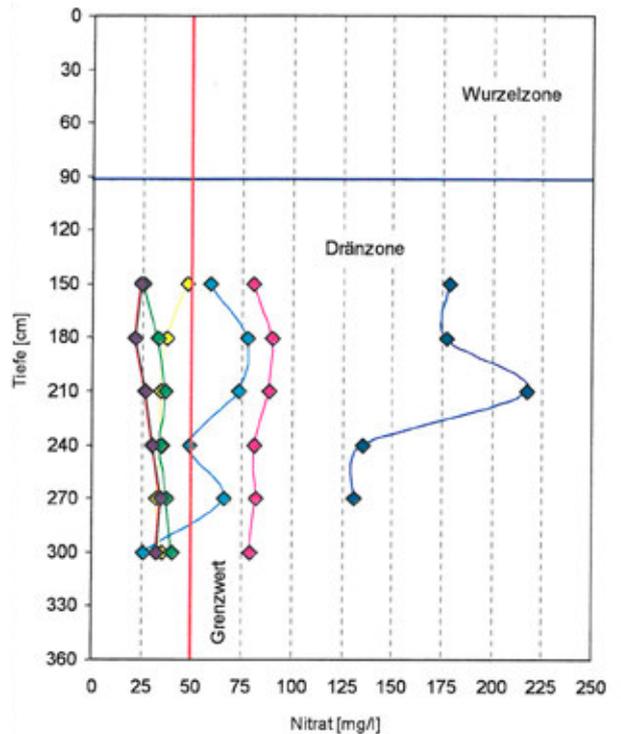
Die Ermittlung der Nitratkonzentration des Sickerwassers aus Tiefenprofilen ist zuverlässiger als die Berechnung aus dem Herbst-N_{min}, da die Untersuchung insgesamt unabhängiger von den Einflüssen in der Wurzelzone ist. Die Ermittlung aus Nitrat-Tiefenprofilen kann gebietsbezogen nur erfolgen, wenn ein gebietsrepräsentatives Untersuchungsprogramm festgelegt wurde. Aufgrund des relativ hohen Aufwands werden diese Untersuchungsprogramme oft nur in Gebieten mit hoher Handlungspriorität durchgeführt (s. Abb. 181).

Nitratkonzentration im Grundwasser (mg/l)

In die Bewertung werden nur flache Messstellen (GWM) mit überwiegend landwirtschaftlicher Beeinflussung einbezogen. Die Untersuchungen sollten jährlich im möglichst gleichen Zeitraum erfolgen. Für die Auswertung werden arithmetische Mittel gebildet. Die Ergebnisdarstellung erfolgt als Ganglinie bzw. als Säulendiagramm. Aufgrund wechselnder äußerer Bedingungen (z. B. Strömungsverhältnisse) kann es zu Schwankungen kommen. Deshalb sollte die Auswertung mehrjährig erfolgen (s. Abb. 182).

1993	181 mg NO ₃ /l	(n = 3)
1998	72 mg NO ₃ /l	(n = 4)
2000	84 mg NO ₃ /l	(n = 3)
2006	37 mg NO ₃ /l	(n = 6)
2009	33 mg NO ₃ /l	(n = 6)
2012	26 mg NO ₃ /l	(n = 8)

Abb. 181: Beispiel für die Entwicklung der mittleren Nitratkonzentration in der Dränzone (GERIES INGENIEURE GmbH 2013)



Nitrat [mg/l]

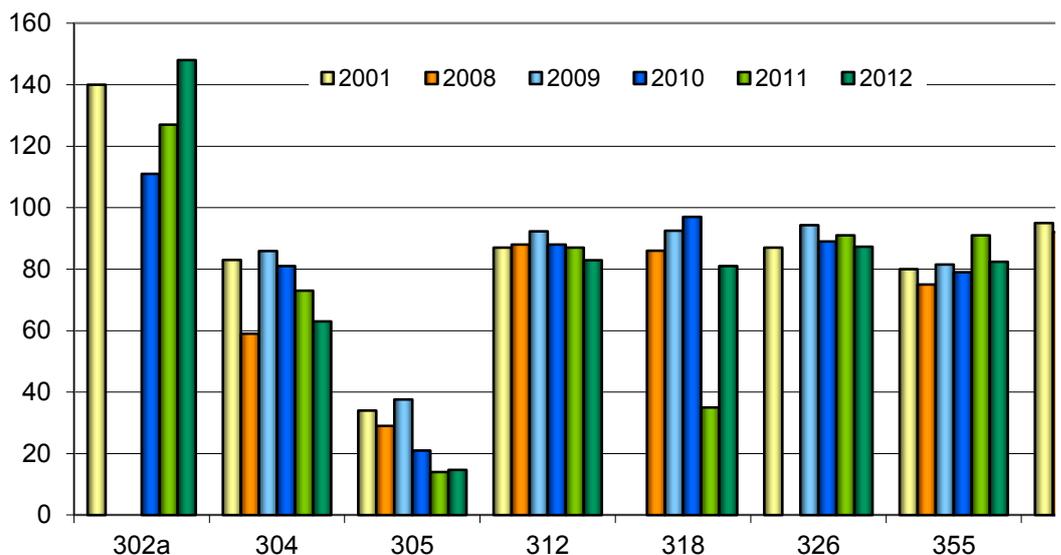


Abb. 182: Beispiel für die Entwicklung der Nitratkonzentration in GWM (GERIES INGENIEURE GmbH 2012a)

Ist die Stoffkonzentration des Grundwassers durch Denitrifikation beeinflusst, kann der Erfolgsindikator nur verwendet werden, wenn durch die N₂/Ar-Methode (s. Kap. 2.7.9) die Nitratkonzentration im Grundwasserleiter ermittelt wurde.

Bei der landesweiten Datenerfassung im DIWA werden die Ergebnisse der GWM mit Filterlage flacher als fünf Meter unter Grundwasseroberfläche (GWOF) und die GWM mit Filterlagen bis 20 m unter GWOF gesondert berücksichtigt (NLWKN 2012a).

Nitratkonzentration im Rohwasser (mg/l)

Brunnen, die durch Denitrifikation beeinflusst sind, können als Erfolgsindikator nur genutzt werden, wenn die

N-Konzentration im Grundwasserleiter durch die N₂/Ar-Methode ermittelt wurden. Die Auswertung erfolgt fördermengengetriggert für jeden Brunnen (s. Abb. 183).

Erfolgsparameter der Flächenmaßnahmen

Zur Ermittlung der Maßnahmenwirkung werden die Erfolgsparameter für praxisübliche und Flächen mit Freiwilligen Vereinbarungen gegenüber gestellt. Dazu werden die mittlere Minderung der Herbst-N_{min}-Gehalte und der N-Überschuss der Schlagbilanzen ermittelt.

Spezifische N-Minderungswerte sind der Zusammenstellung von SCHMIDT & OSTERBURG 2010 zu entnehmen. Gegebenenfalls können auch die von der WZB gebietsbezogen ermittelten Werte berücksichtigt werden.

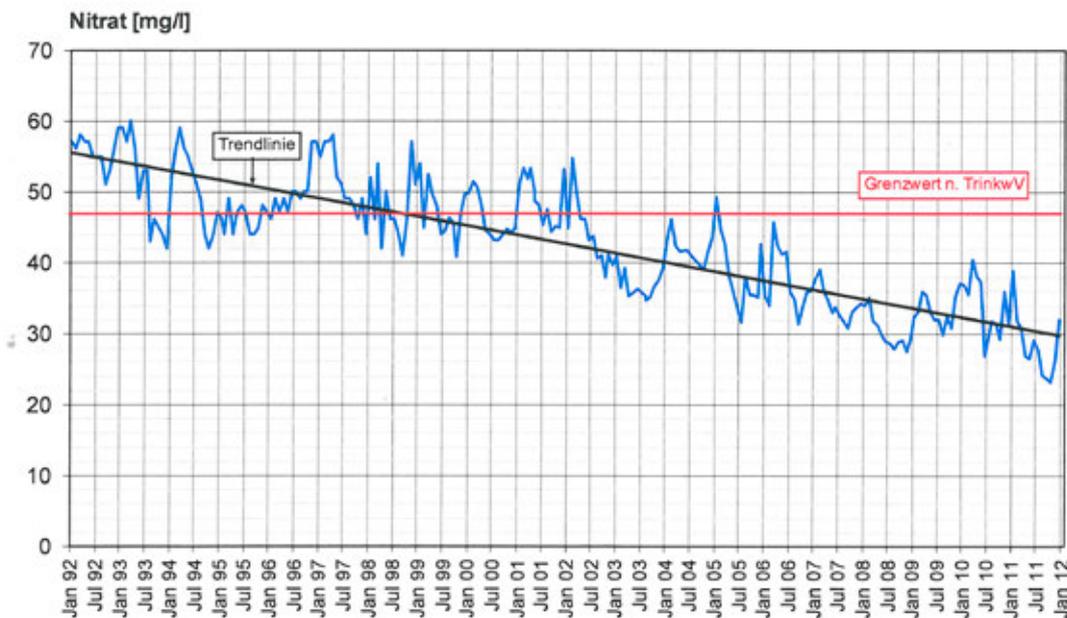


Abb. 183:
Beispiel Nitratganglinie
einer Rohwasserförderung
(GERIES INGENIEURE GMBH
2012a)

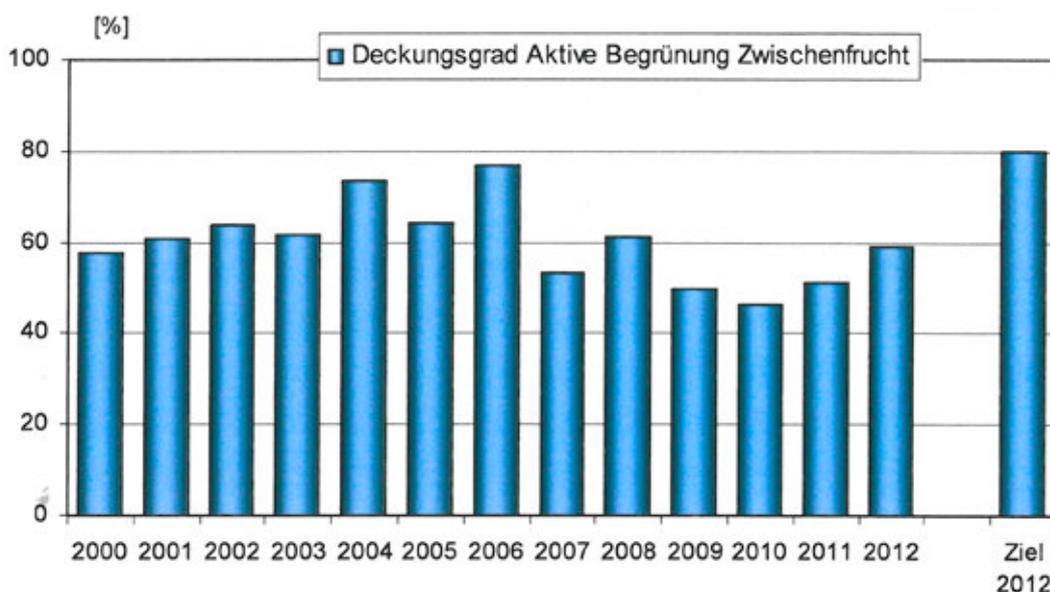


Abb. 184:
Beispiel Entwicklung des
Flächenumfangs einer FV
in einem TGG (GERIES
INGENIEURE GMBH 2013)

Durch Multiplikation der Flächensumme der jeweiligen Freiwilligen Vereinbarung (ha) mit der spezifischen N-Minderung (kg N/ha) kann die Minderungswirkung der Maßnahme gebietsbezogen ermittelt werden. Vereinfacht wird oft auch der Deckungsgrad von Freiwilligen Vereinbarungen z. B. auf Zielflächen als Erfolg für den Grundwasserschutz im Säulendiagramm dargestellt (s. Abb. 184).

Erfolgparameter der Akzeptanz

Parameter, die die Akzeptanz der WZB beschreiben, können unabhängig von der zahlenmäßigen Erfolgsbewertung im Trinkwasserschutz in die Erfolgsbetrachtung einbezogen werden. Bezugnehmend auf die im Kapitel

2.7.1 aufgeführten Parameter, sind sie die entscheidende Grundlage für den Beratungserfolg, der z. B. an einer veränderten Düngestrategie sowie an der Umsetzung von Freiwilligen Vereinbarungen deutlich wird.

Als wichtigster Parameter der Akzeptanz lässt sich die Beteiligung an der Grundwasserschutzarbeit der Trinkwasserschutzkooperation bei Informationsveranstaltungen, Feldbegehungen und Arbeitskreisen aber auch die Beteiligung an Beratungsgesprächen, der Anfrage von Untersuchungen und dem Interesse an Grundwasserschutzmaßnahmen allgemein und besonders den Freiwilligen Vereinbarungen feststellen.



2.8 Berichte und Dokumentationen

Das Berichtswesen und gegebenenfalls weitere Dokumentationen begleiten die Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen. Sie dienen der Transparenz, der Nachvollziehbarkeit und insbesondere der Erfolgskontrolle der Beratungsleistungen und Flächenmaßnahmen. Für die Akteure der Trinkwasserschutzkooperationen sind sie ein wichtiges Instrument, um eine Gesamtübersicht der Aktivitäten in der Kooperation zu erhalten und die Erreichung der vereinbarten Ziele nachzuvollziehen. Die Datenerhebung und -auswertung ist darüber hinaus von zentraler Bedeutung für die landesweite Bewertung (z. B. der Nitratkonzentration im Grundwasser in den TGG).

Die Grundlage für das Berichtswesen ist das von der Trinkwasserschutzkooperation verabschiedete Schutzkonzept. In den Berichten wird gemäß der im Schutzkonzept festgelegten Erfolgsparameter und Ziele der erreichte Fortschritt hinsichtlich der beabsichtigten Zielerreichung durch die umgesetzten Beratungs- und Flächenmaßnahmen dargestellt.

Niedersachsen hat die Förderung von Trinkwasserschutzmaßnahmen basierend auf der Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds (EU 2013) und der Verwendung der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen geregelt. Damit sind verschiedene Berichtspflichten gegenüber der EU verbunden. Im Kooperationsprogramm Trinkwasserschutz (MU 2014) sind in dem für die WZB geltenden Standardleistungsverzeichnis weitere Vorgaben zum Berichtswesen enthalten. Die formellen und inhaltlichen Anforderungen zur Datenlieferung und den Berichtspflichten der Trinkwasserschutzkooperationen werden in den Verträgen zur Umsetzung der Schutzkonzepte zwischen dem NLWKN und dem geschäftsführenden WVU sowie DIWA-Pflichtenheft in der jeweils aktuellen Fassung (NLWKN 2012c) geregelt. Für die Erstellung von Unterlagen und für Datenlieferungen gelten landesweit einheitlich verbindliche Fristen. Ergänzend stellt der NLWKN landesweit gültige Merk- und Hinweisblätter mit zusätzlichen Erläu-

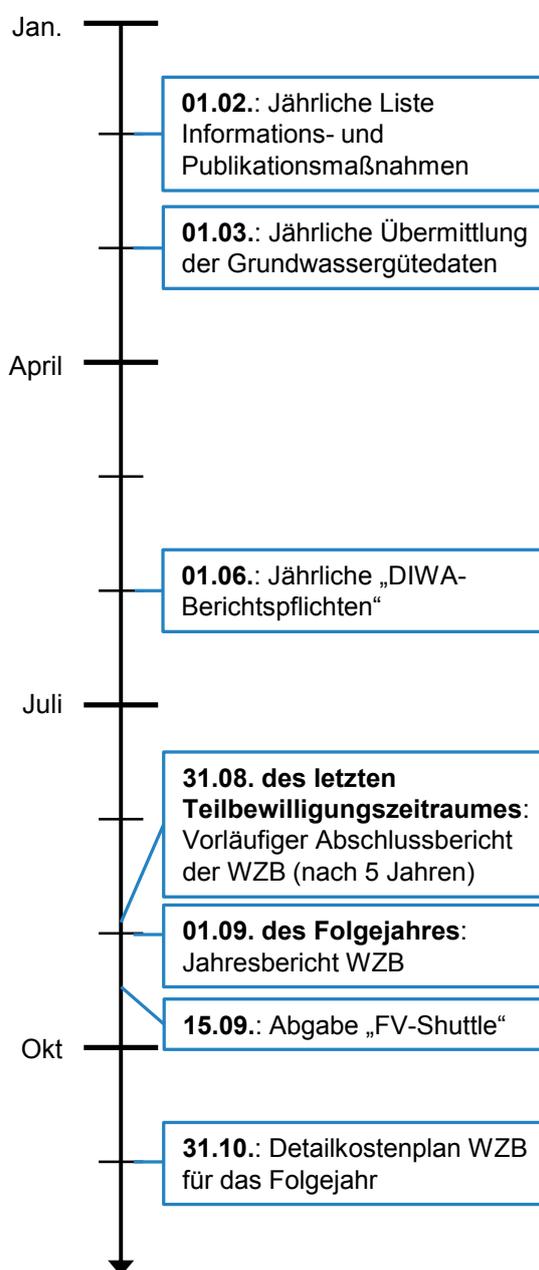


Abb. 185: Aktuelle Termine für Berichts- und Nachweispflichten

terungen zur Verfügung. Dazu gehören auch Muster und Vordrucke als Hilfestellung zur Erfüllung der Vorgaben des Landes und der EU (s. www.nlwkn.niedersachsen.de > Wasserwirtschaft > Grundwasser > Niedersächsisches Kooperationsmodell Trinkwasserschutz).

Grundsätzlich werden die Auswertungen zu den Grundwasserschutzmaßnahmen in Datenlieferungen, jährlichen Berichten und im abschließenden Erfolgsbericht zusammengestellt. Einen Überblick über die Berichts- und Nachweispflichten gibt die Abbildung 185.

Datenlieferung

Die Datenlieferungen dienen der Erstellung konsistenter Datenreihen zum fachlichen Sachstand und zu aktuellen Entwicklungen. Zur Datenpflege und Historienverwaltung ist eine sachgerechte und effektive Dokumentation unumgänglich. Hierzu werden landeseinheitliche digitale Datenhaltungssysteme eingesetzt. Folgende Berichtspflichten sind verbindlich geregelt:

Digitales Informationssystem Wasserschutz – DIWA

Mit dem Digitalen Informationssystem Wasserschutz werden jährlich wiederkehrend für jedes TGG Daten zur Erfolgskontrolle digital erhoben. Die WVU und die von der Trinkwasserschutzkooperation beauftragte WZB erfassen die Daten und übermitteln sie dem NLWKN. Hierfür steht ein Microsoft Access-basiertes Erfassungsprogramm, das DIWA-Shuttle, zur Verfügung. Die erfassten Daten werden für jedes TGG in drei Themenblöcke gegliedert:

- A = Grunddaten, Belastungs- und Erfolgsparameter, N-Monitoring
- B = Maßnahmenabschluss inklusive Umfang und Kosten abgeschlossener Freiwilliger Vereinbarungen (FV)
- C = Ausgaben für die WZB einschließlich der Kosten für die Erfolgskontrolle.

Im DIWA-Pflichtenheft sind die fachlichen und statistischen Anforderungen an die Datenerhebung sowie die Stichprobenumfänge verbindlich festgeschrieben. Auf diese Weise werden die Informationen und Kennzahlen für die TGG zentral und landesweit einheitlich im NLWKN erfasst. Dies ermöglicht nicht nur regionale, sondern auch landesweite Auswertungen zu bestimmten Fragestellungen hinsichtlich der Wirksamkeit und Effizienz der Grundwasserschutzmaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft (s. NLWKN 2011c). Gleichzeitig bietet die zentrale Datenhaltung die Möglichkeit zur komfortablen Erfüllung der Berichtspflichten gegenüber der EU. Zur langfristigen Archivierung werden die Daten in die zentrale Landesdatenbank übernommen.

FV-Shuttle

Die einheitliche digitale Datenerfassung der FV (s. Kap. 2.4) dient vor allem dem Abgleich auf unzulässige Doppelförderung mit Agrarumweltmaßnahmen anderer Förderprogramme. Hierfür wird der FV-Shuttle als Datenbank vom WVU zur Erfassung und Verwaltung aller Antragsdaten zu den FV genutzt. Er erleichtert dem WVU die Erfassung der Daten zu den abgeschlossenen FV und gibt einen Gesamtüberblick über die durchgeführten Flächenmaßnahmen im TGG. Die FV-Daten werden vom WVU über den NLWKN zentral an die zuständige Landesbehörde (Servicezentrum Landentwicklung und Agrarförderung – SLA) weitergegeben. Dort werden landesweit die Schlagdaten der FV und die Angaben der weiteren vom Bewirtschafter abgeschlossenen Agrarumweltmaßnahmen mit dem Antrag des Bewirtschafters auf Agrarförderung abgeglichen. Dieser Abgleich ist für die Berichtspflichten des Landes gegenüber der EU wichtig.

Informations- und Publicitätsmaßnahmen

Die jährlich im Rahmen der WZB durchgeführten Informations- und Publicitätsmaßnahmen müssen verbindlich von jeder Trinkwasserschutzkooperation gemeldet werden. Dabei handelt es sich um alle öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen, wie z. B. Rundschreiben, Flyer, Veranstaltungen oder Internetinformationen. Diese Maßnahmen werden mit Angabe des Datums, der Art, des Inhalts, der Zielgruppe sowie der Beteiligung an der durchgeführten Maßnahme in einer Liste zusammengestellt. Diese Angaben geben einen umfassenden Überblick über die öffentlichkeitswirksamen Aktivitäten der Kooperation. Sie sind gleichzeitig ein Bestandteil der Berichtspflichten des Landes gegenüber der EU.

Datenlieferung der WVU zu Rohwasseruntersuchungen und Untersuchungen an Vorfeldmessstellen

Unternehmen der öffentlichen Wasserversorgung sind grundsätzlich verpflichtet, die Beschaffenheit des zur Trinkwassergewinnung entnommenen Wassers untersuchen zu lassen, um nachteilige Veränderungen frühzeitig erkennen und rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten zu können. In Niedersachsen werden der konkrete Untersuchungsumfang, die Untersuchungsintervalle und der Datenaustausch durch den Erlass zu Rohwasseruntersuchungen und Untersuchungen an Vorfeldmessstellen (MU 2012) geregelt. Neben jährlichen Untersuchungsprogrammen müssen z. B. auch alle drei Jahre PSM untersucht werden.

Die Grund- und Rohwasseruntersuchungen geben einen Überblick, ob die im kooperativen Trinkwasserschutz umgesetzten Maßnahmen eine Verbesserung der

Grundwasserqualität, z. B. der Nitratkonzentration, bewirkt haben. Deshalb werden die Daten auch im Rahmen des Vertrags zur Umsetzung des Schutzkonzepts angefordert. Die WVU geben die Untersuchungsergebnisse in digitaler Form an den Gewässerkundlichen Landesdienst im NLWKN weiter. In der Praxis ist oftmals auch die WZB eingebunden. Als Ergänzung der Datengrundlage des landesweiten Grundwassergütemessnetzes werden die Daten zentral in der Landesdatenbank vorgehalten.

Detailkostenplan der WZB

Die Finanzierung von Leistungen der WZB erfolgt anteilig über die Verwendung der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen und die Förderung der ländlichen Entwicklung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds (EU 2013). Entsprechend den Vorgaben im Kooperationsprogramm Trinkwasserschutz ist das WVU verpflichtet, auf der Grundlage des in der Trinkwasserschutzkooperation beschlossenen fünfjährigen Schutzkonzepts jährliche detaillierte Kostenpläne für die Leistungen der WZB einzureichen. Der jährliche Detailkostenplan ermöglicht eine genaue und transparente Aussage zum fachinhaltlichen und finanziellen Leistungsumfang der WZB. Er wird vom NLWKN fachlich geprüft und die im Vertrag mit dem geschäftsführenden WVU festgelegte Fördersumme für die Leistungen der WZB bewilligt.

Jährliche Berichte

Jährliche Berichte geben einen kontinuierlichen Sachstand zur Umsetzung der Schutzkonzepte wieder. Wesentliche Inhalte sind die Darstellung, Erläuterung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse, der durchgeführten Beratungs- und Flächenmaßnahmen zum Grundwasserschutz sowie sonstiger Aktivitäten. Dazu gehören auch einmalige oder regelmäßige Ergebnisberichte der WZB, z. B. zu Drän- und Oberflächengewässeruntersuchungen, PSM-Untersuchungen oder Tiefenprofilen. Die jährlichen Berichte können einerseits zur kritischen Auseinandersetzung mit den jährlichen Erfolgen der WZB genutzt werden. Andererseits kann die weitere Vorgehensweise bei der Beratungs- und Maßnahmenumsetzung abgeleitet werden. Somit können frühzeitig unerwartete Entwicklungen vor Ort erkannt und gegebenenfalls Anpassungen bei der Umsetzung des Schutzkonzepts vorgenommen werden.

Die jährlichen Berichte zu den Aktivitäten und Leistungen der TWS-Kooperation bieten allen Akteuren einen gemeinsamen Wissensstand und ermöglichen, das Schutzkonzept angepasst an Entwicklungen und Erfor-

dernisse vor Ort umzusetzen. Eine Übersicht der Inhalte ist in Tabelle 66 abgebildet. Gleichzeitig wird mit den aufeinander aufbauenden Jahresberichten eine Grundlage für den abschließenden Erfolgsbericht geschaffen.

Abschließender Erfolgsbericht

Mit Ablauf des Vertrags zwischen dem NLWKN und dem geschäftsführenden WVU der Trinkwasserschutzkooperation werden die im Vertragszeitraum durchgeführten Maßnahmen im Hinblick auf die vorher festgelegten Ziele zusammenfassend dargestellt und bewertet. Die Bezugsgröße ist hierbei das Schutzkonzept der Trinkwasserschutzkooperation mit den darin festgelegten Erfolgsparametern (z. B. Verringerung der Nitratkonzentration) und Zielgrößen. Die grundlegenden Kenndaten (z. B. TGG-Größe, Flächennutzung, Anzahl der Betriebe sowie Grund- und Rohwassergüte) sind für jedes TGG separat darzustellen. Das wichtigste Element im Endbericht ist die Auswertung bezüglich der im Schutzkonzept festgelegten Zielgrößen für einzelne Erfolgsparameter. Dazu wird jeder Parameter graphisch und tabellarisch mit erläuterndem Text abgebildet. Die Nichterreichung von Zielen muss fachlich begründet werden. Auch weitere land- und wasserwirtschaftliche Erfolgsparameter können in die Bewertung einbezogen werden, wenn sie den Effekt der Grundwasserschutzmaßnahmen widerspiegeln. Beim Vergleich zwischen den Datenauswertungen im Erfolgsbericht und der jährlichen DIWA-Shuttle-Datenerfassung kann es aufgrund der statistischen Vorgaben (z. B. Anzahl der ausgewerteten Untersuchungsergebnisse) zu Unterschieden kommen, die im Erfolgsbericht erklärt werden müssen.

Die in Tabelle 66 enthaltene Gliederung und die skizzierten Inhalte können bei der Erstellung der jährlichen Berichte und des abschließenden Erfolgsberichts verwendet werden.

Die Datenauswertungen (z. B. DIWA-Daten), die jährlichen Berichte sowie der abschließende Erfolgsbericht werden für die Bewertung der Zielerreichung der fünfjährigen Schutzkonzeptphasen in der Trinkwasserschutzkooperation herangezogen. Sie dienen als wichtige Entscheidungsgrundlage, wie die Grundwasserschutzmaßnahmen vor Ort im nächsten fünfjährigen Schutzkonzept-Zeitraum ausgestaltet werden sollen.

Die Bereitstellung der Daten und Berichte in digitaler Form hat sich grundsätzlich bewährt. Eine Ergänzung durch analoge Exemplare ist vor allem dann hilfreich, wenn umfangreiches Kartenmaterial und Tabellen enthalten sind. Die digitale Datenbereitstellung ist aber auch mit Blick auf die Berichtsvorgaben der EU hilfreich. Für

Tab. 66: Gliederung und Inhalt eines Berichts

Gliederung	beispielhafte Inhalte
Kurzcharakteristik Gebiet	Beschreibung
Grundlagendaten	Daten zum Schutzgebiet (Größe, Lage, Prioritäteneinstufung)
	Erhebung Fördermengen
	Aktualisierung Nitratgehalte im Rohwasser
	Auswertung Landwirtschaftliche Flächennutzung (eindeutige Identifizierbarkeit über digitale Schlagnummern)
Umsetzung der Beratung	Konzepterstellung
	Koordinationstätigkeit
	Einzelbetriebliche Beratung (Basis- und Intensivberatung)
	Gruppenberatung (z. B. Feldbegehungen)
	Informationsveranstaltungen, Arbeitskreise, Kooperationssitzungen
	Rundschreiben
Begleitende Untersuchungen	z. B. Frühjahrs-N _{min} , Wirtschaftsdünger, Grundnährstoffe
Umsetzung der Flächenmaßnahmen	Freiwillige Vereinbarungen (Umfang und Kosten)
Monitoring	Untersuchungen zur Erfolgskontrolle, z. B. Herbst-N _{min} , Tiefenprofile, Drän- und Oberflächengewässeruntersuchungen
Erfolgskontrolle	Zielerreichung anhand der im Schutzkonzept festgelegten Parameter sowie ggf. weiterer Indikatoren, z. B. zur Erhöhung des Flächenanteils extensiver Flächen oder zur Akzeptanz
Gesamtbewertung des Beratungszeitraums und Ausblick	Rahmenbedingungen
	Künftige Schwerpunktsetzung

den Datenaustausch und die Übermittlung von Daten an andere Institutionen ist deren digitale und strukturierte Bereitstellung die Voraussetzung für eine effiziente Projektabwicklung und Verwaltung im Sinne aller Beteiligten.

Fazit

Die Dokumentation der Tätigkeiten und Leistungen der Trinkwasserschutzkooperation sowie das dazugehörige Berichtswesen spiegeln die Kontinuität der Grundwasserschutzarbeit vor Ort wider. Anhand von Dokumentationen und Berichten werden die durchgeführten Grundwasserschutzmaßnahmen für alle Beteiligten transparent dargestellt und bewertet. Damit stehen regelmäßig und verlässlich aktuelle Daten sowohl für die örtliche Kooperation als auch landesweit für die Ableitung von Handlungsempfehlungen im Grundwasserschutz zur Verfügung. Dieser Mehrwert relativiert den damit verbundenen Aufwand zum Vorteil aller Beteiligten an den Trinkwasserschutzkooperationen.

3

Anforderungen der EG-WRRL an den stofflichen Gewässerschutz

Die Europäische Union hat die „Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Rahmen der Wasserpolitik“, kurz EG-Wasser-rahmenrichtlinie (EG-WRRL) im Dezember 2000 in Kraft gesetzt (EG 2000). Auf dieser Grundlage wird ein flussgebietsbezogenes ganzheitliches Gewässerbewirtschaftungsmanagement geschaffen, das alle Gewässer – das Grundwasser, die Flüsse, die Seen und die Übergangs- und Küstengewässer – einbezieht. Die Richtlinie schreibt vor, dass alle Gewässer in der Europäischen Union bis zum Jahr 2015 in einen guten Zustand gebracht werden müssen. Wird dieses Ziel nicht erreicht, kann der Zeitraum unter bestimmten Bedingungen bis 2027 verlängert werden.

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme wurde der mengenmäßige und chemische Zustand der niedersächsischen Grundwasserkörper (GWK) festgestellt. Dies führte zu dem Ergebnis, dass viele GWK aufgrund diffuser Belastungen in einen schlechten chemischen Zustand einzustufen sind. Am problematischsten ist hierbei das Nitrat, für das der Grenzwert von 50 mg/l auf fast 60 % der Landesfläche Niedersachsens überschritten wird. Um den „guten Zustand“ zu erreichen, sind die Belastungen durch entsprechende Maßnahmen zu reduzieren.

Zusätzlich zur Umsetzung sogenannter grundlegender Maßnahmen (Umsetzung des landwirtschaftlichen Fachrechts: Nitrat-Richtlinie (EG 1991), Düngeverordnung (BMELV 2007), Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz (BMELV 2010a), Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung BMVEL 2004)) werden den Landwirten, die in der so genannten „Maßnahmenkulisse Nitratreduktion“ Flächen bewirtschaften, seit 2010 ergänzende Maßnahmen angeboten (s. Abb. 186). Es handelt sich hierbei

Wege zur Zielerreichung für das Grundwasser

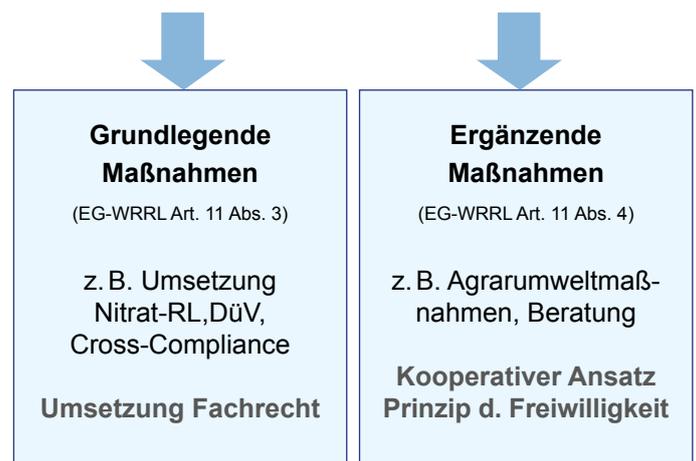


Abb. 186: Zielerreichung gemäß EG-WRRL

um Maßnahmen auf freiwilliger Basis, wie Beratung und Flächenmaßnahmen (s. Kap. 3.1), die durch ein entsprechendes Wirkungsmonitoring (s. Kap. 3.2) begleitet werden. Ziel ist es, die N-Einträge in das Grundwasser durch ein verbessertes Nährstoffmanagement und durch eine grundwasserschonende Bewirtschaftung zu reduzieren.

Herleitung der Zielkulisse EG-WRRL

Nach den Vorgaben der EG-WRRL bilden GWK die räumliche Basis für die Zustandsbewertung des Grundwassers. GWK sind abgegrenzte Grundwasservolumina innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter. Das Grundwasser wird in Niedersachsen zusätzlich in so genannte Typflächen mit vergleichbaren hydrogeologischen, hydrodynamischen, hydrochemischen und bodenkundlichen Eigenschaften unterteilt (DE VRIES et al. 2009).

Insgesamt gibt es in Niedersachsen 120 voneinander abgegrenzte GWK. Sie wurden im Rahmen einer Bestandsaufnahme nach den Vorgaben der EG-WRRL bis Ende 2004 auf ihren chemischen und mengenmäßigen Zustand hin untersucht.

Basierend auf der Richtlinie 2006/118/EG zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (EG 2006) enthält die Verordnung zum Schutz des Grundwassers (GrwV) (BMU 2010) alle wesentlichen Vorgaben zur Bewertung des chemischen Zustands eines Grundwasserkörpers oder einer Gruppe von Grundwasserkörpern. Folgende für den Grundwasserschutz relevanten Qualitätsnormen (QN) sind darin vorgegeben:

- Nitratkonzentration: 50 mg/l
- Pflanzenschutzmittel und Biozide: 0,1 µg/l für Einzelsubstanzen und 0,5 µg/l für die Summe aller Einzelsubstanzen.

Ein GWK ist in einem guten Zustand, wenn keine Überschreitungen von QN an den Gütemessstellen festgestellt wurden oder wenn Überschreitungen vorhanden sind, aber keine signifikante Umweltgefährdung vorliegt. Die Kriterien sind im Leitfaden für die Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper nach EG-WRRL in Niedersachsen und Bremen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (DE VRIES et al. 2009) definiert.

Den Typflächen sind Gütemessstellen des Überblicksmessnetzes des GLD zum Monitoring der Grundwassergüte zugeordnet. Auf dieser Grundlage kann die maximale Ausdehnung von Belastungen bezogen auf die QN ermittelt werden. Die Bewertung des chemischen Zustands der GWK erfolgte auf der Grundlage der Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (EG 2006) und zusätzlicher LAWA-Abstimmungen. Demnach befindet sich ein GWK in einem schlechten chemischen Zustand, wenn eine signifikante Belastung auf mindestens 25 km² oder einem Drittel der Fläche eines GWK vorliegt.

Als Ergebnis der Bestandsaufnahme für das Grundwasser in Niedersachsen im Jahr 2009 sind bezüglich des Parameters Nitrat 50 der 120 GWK im schlechten Zustand (s. Abb. 187). Berücksichtigt man zusätzlich die Pflanzenschutzmittel sowie den mit einem Schwellenwert versehenen Parameter Cadmium befinden sich insgesamt 53 GWK im schlechten Zustand (www.umwelt.niedersachsen.de).

Als Maßnahmenkulisse für den Grundwasserschutz mit dem Ziel der Nitratreduktion wurden unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse die Typflächen ermittelt, in denen ein effektiver Grundwasserschutz

sinnvoll ist. Deshalb wurden zur Herleitung der Maßnahmenkulisse Nitratreduktion die Typflächen mit einer signifikanten Gefährdung innerhalb der Grundwasserkörper mit schlechtem Zustand zugrunde gelegt. Signifikant gefährdete Typflächen innerhalb „gut“ bewerteter GWK wurden nicht berücksichtigt. In den Typflächen liegende Niederungsgebiete mit einer geringen Grundwasserneubildungsrate wurden ebenfalls nicht in die Zielkulisse Nitratreduktion aufgenommen, da der Direktabfluss etwa zwei Drittel des Gesamtabflusses ausmacht. In diesen Bereichen sind vor allem Maßnahmen zur Frachtreduzierung an Oberflächengewässern relevant.

Ableitung der Maßnahmenkulisse für Nitratreduktion

Signifikant belastete Typflächen in GWK mit schlechtem Zustand; ohne Niederungsgebiete

Fläche in schlechtem Zustand: 28173 km² (58,6%)
 Fläche der Maßnahmenkulisse: 12708 km² (26,5%)

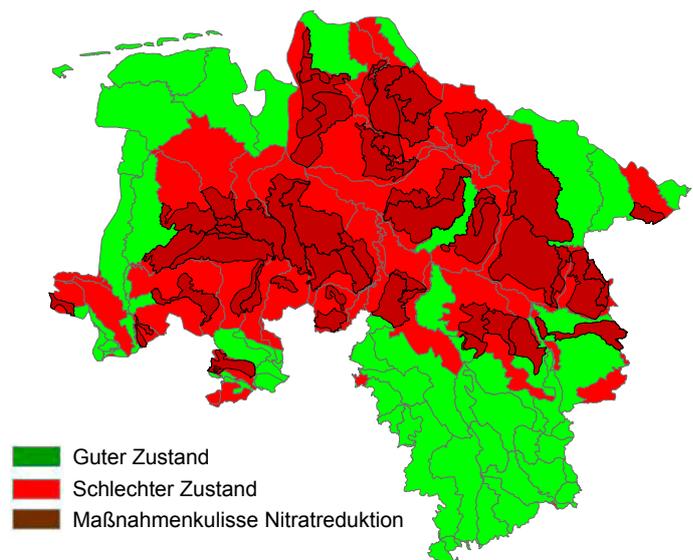


Abb. 187: Belastete Grundwasserkörper und signifikant belastete Typflächen, Bewertung 2009

Insgesamt umfasst die Maßnahmenkulisse Nitratreduktion eine Fläche von 12.708 km², was etwa 27 % der Landesfläche Niedersachsens entspricht. Etwa die Hälfte davon, ca. 6.500 km², wird landwirtschaftlich genutzt. Damit ist die landwirtschaftliche Nutzfläche in der Maßnahmenkulisse Nitratreduktion etwa doppelt so groß wie die landwirtschaftliche Nutzfläche in den niedersächsischen Trinkwassergewinnungsgebieten (3.038 km²) (NLWKN 2011c).

2014 wurden in die Beratungskulisse drei Gebiete mit besonderem Handlungsbedarf an Oberflächengewässern als „Pilotgebiete Oberflächengewässerberatung“ aufgenommen. Hier soll eine Beratung zur Reduzierung von

Nährstoffeinträgen – vor allem Phosphat – in Fließgewässern erfolgen.

Diese Pilotgebiete liegen in folgenden WRRL-Bearbeitungsgebieten:

- Fuhse/Wietze
- Große Aue
- Hase

Mit diesen drei Pilotgebieten umfasst die Zielkulisse 8.000 km² landwirtschaftliche Fläche.

Fazit

Das Grundwasser in Niedersachsen befindet sich in weiten Teilen des Lands aufgrund diffuser Belastungen in einem schlechten Zustand. Durch ergänzende Maßnahmen wie die Wasserschutzzusatzberatung und Flächenmaßnahmen sollen in die Zielkulisse zur Nitratreduktion die Stickstoffeinträge in das Grundwasser verringert werden. Die Umsetzung basiert wie im Trinkwasserschutz auf dem kooperativen Ansatz und dem Prinzip der Freiwilligkeit.



3.1 Beratung und Flächenmaßnahmen in der Maßnahmenkulisse zur Nitratreduktion

Beratung

In der „Maßnahmenkulisse Nitratreduktion“ werden seit 2010 sogenannte ergänzende Maßnahmen zur Verbesserung des Grundwasserschutzes auf den landwirtschaftlichen Flächen angeboten. Bei der Kulisse handelt es sich um Typflächen nitratbelasteter Grundwasserkörper, bei denen ein besonderer Handlungsbedarf besteht (s. Kap. 3). Die Maßnahmenkulisse umfasste bis 2013 eine Fläche von 12.708 km², von denen 6.500 km² von ca.

18.000 Betrieben landwirtschaftlich genutzt wurden. Zur Umsetzung der Beratung wurde die Maßnahmenkulisse Nitratreduktion in zehn Beratungsgebiete gegliedert.

Seit 2014 umfasst die Zielkulisse, durch die Erweiterung um drei Pilotgebiete (s. Kap. 3) insgesamt 8.000 km² landwirtschaftliche Nutzfläche außerhalb von Trinkwassergewinnungsgebieten. Zum Start der kombinierten Beratung zu OW und zum Grundwasser wurde die Kulisse in zehn Beratungsgebiete unterteilt. In sieben Beratungsgebieten wird eine reine Wasserschutzzusatzberatung angeboten, in drei Gebieten eine kombinierte Wasserschutzzusatzberatung (s. Abb. 188).

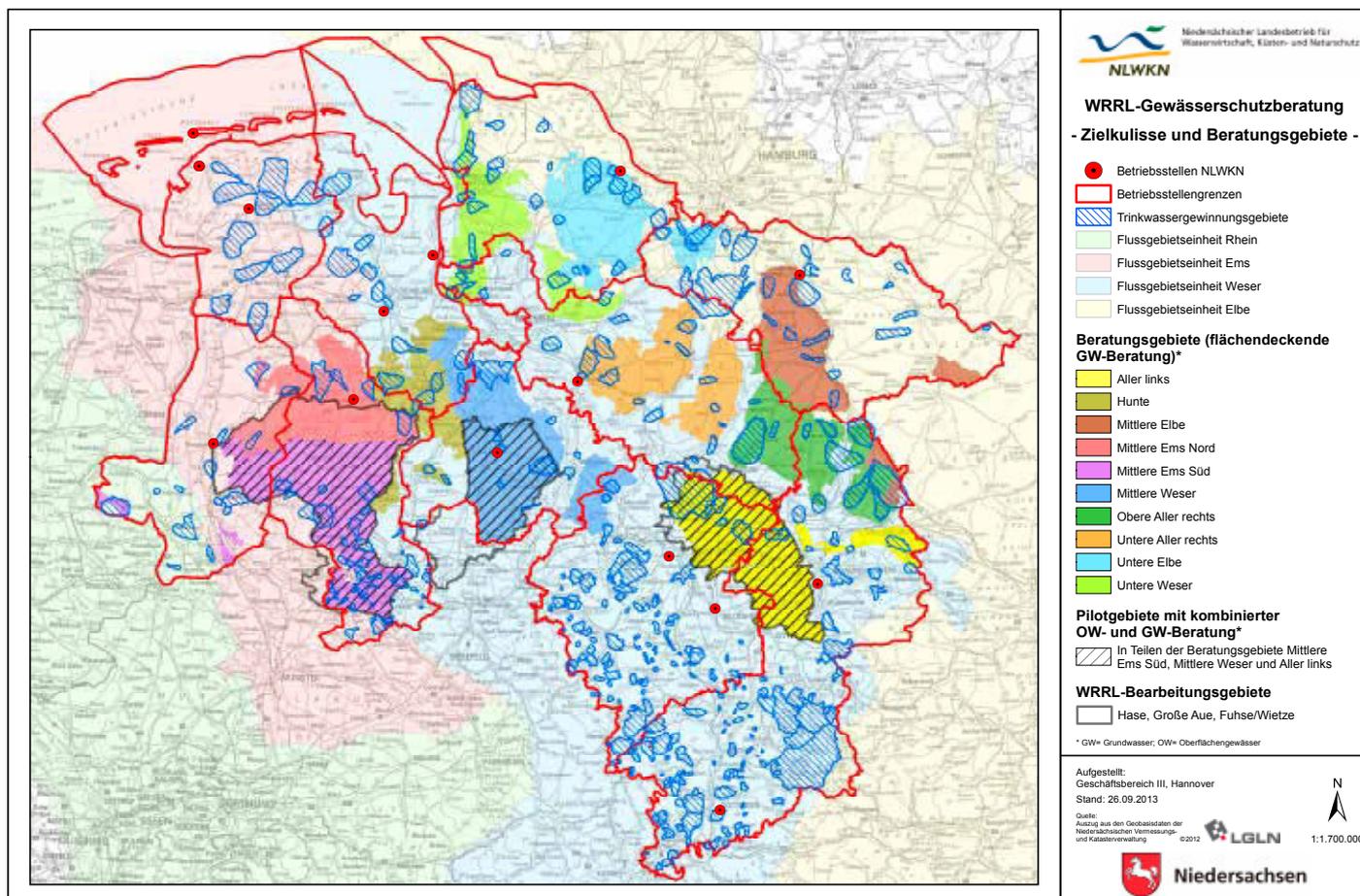


Abb. 188: Beratungsgebiete Maßnahmenkulisse Nitratreduktion nach EG-WRRL inklusive der Gebiete mit kombinierter Wasserschutzzusatzberatung

Landwirte, die mindestens 25 % ihrer in Niedersachsen befindlichen Flächen oder mindestens 10 ha in der Zielkulisse bewirtschaften, können eine einzelbetriebliche Wasserschutzzusatzberatung in Anspruch nehmen sowie spezielle Agrarumweltmaßnahmen abschließen.

Bei der Umsetzung der ergänzenden Maßnahmen wird auf den Erfahrungen des Kooperationsmodells Trinkwasserschutz aufgebaut. Ziel der Beratung zur Umsetzung der EG-WRRL ist genau wie dort die Verminderung der Nährstoffüberschüsse, vorrangig von Nitrat. Phosphor als Indikator der organischen Düngung und besonders kritischer Nährstoff für Oberflächengewässer sowie Pflanzenschutzmittel werden im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung thematisiert. In den Pilotgebieten zur Beratung an Oberflächengewässern wird eine integrative Beratung zu Stickstoff und Phosphor angeboten.

Der Aufbau von Kommunikationsstrukturen unter Einbindung bestehender örtlicher Gefüge und die Auswertung von Gebietsdaten stehen zu Beginn der Beratung im Vordergrund. Die erforderlichen Basisdaten wurden in großem Umfang vom NLWKN und vom LBEG geliefert. Aufgrund der Größe der Beratungsgebiete kann nicht für jeden Einzelbetrieb eine intensive Beratung angeboten werden. Auch deshalb ist die Schaffung eines Modellbetriebsnetzes von besonderer Bedeutung. Das Modellbetriebsnetz spiegelt die für das jeweilige Gebiet typische Bandbreite unterschiedlich strukturierter Betriebe in Bezug auf Tierhaltung und Anbaustruktur wider. Außerdem werden die im Rahmen der einzelbetrieblichen Beratung gewonnenen Daten anonymisiert zur Erfolgskontrolle verwendet.

In jedem Beratungsgebiet wurden „GrundWasserKreise“ eingerichtet (s. Abb. 189). Dort erfolgt mit den Modellbetrieben ein regelmäßiger Austausch zu den Arbeitsschwerpunkten sowie zur Anpassung und Entwicklung neuer Grundwasserschutzmaßnahmen. Die Modellbetriebe nehmen somit auch eine Multiplikatorenfunktion für alle im Beratungsgebiet wirtschaftenden Landwirte ein. In den Pilotgebieten zur OW-Beratung werden die GrundWasserKreise zu „GewässerSchutzKreisen“ erweitert. Wesentliches Merkmal ist die Beteiligung von Unterhaltungsverbänden sowie Wasser- und Bodenverbänden (WBV).



Abb. 189:
Logo des GrundWasserKreises
„Aller links“

Die Umsetzung der Beratungsleistungen erfolgt in der Maßnahmenkulisse Nitratreduktion nach einem zweistufigen Beratungsansatz.

1. Einzelbetriebliche Beratung für Modellbetriebe:

- Gesamtbetriebliche bzw. einzelschlagbezogene Düngelplanung und -beratung und begleitende Untersuchungen (N_{\min} , Nitratecheck etc.)
- Optimierungsempfehlungen zur N-Effizienz
- Erstellung von Nährstoffvergleichen nach DüV (BMELV 2007), Hoftorbilanzen
- Fachliche Begleitung und Unterstützung der Landwirte bei der Umsetzung der Agrarumweltmaßnahmen zum Gewässerschutz
- Angebote für alle Landwirte im Gebiet:
- Rundschreiben und Informationsveranstaltungen wie Schulungen, Vorträge, Feldtage und Rundfahrten zu gewässerschutzrelevanten Themen
- Gruppenberatungen, Feld- und Demonstrationsversuche
- Sprechtag zu gewässerschutzrelevanten Themen und Fragen der Landbewirtschaftung
- Vorträge (z. B. bei Winterveranstaltungen der LWK, Gewässerforum und Grundwasserworkshop des NLWKN)
- Artikel und Interviews in Lokalzeitungen und Fachzeitschriften (z. B. Land & Forst)
- Posterausstellungen
- Internetpräsenz.

Seit 2013 können auch sogenannte „Beratungsbetriebe“ eine einzelbetriebliche Beratung erhalten. Diese erfolgt aber weniger intensiv als in den Modellbetrieben. In diesen Beratungsbetrieben werden zwei Indikatoren für das Erfolgsmonitoring erhoben: der im Düngoptimierer der LWK Niedersachsen (www.lwk-niedersachsen.de, Webcode: 01011632) ermittelte Düngüberschuss und der Bilanzüberschuss nach Düngeverordnung (BMELV 2007).

Als viertes Element kommen Schulungen von Multiplikatoren wie Berufsschullehrern und Beratern (z. B. Fortbildung Berufsschullehrer, Schulung zur einzelbetrieblichen Beratung zu den „Neuen Herausforderungen“) hinzu.

Agrarumweltmaßnahmen

Neben den Beratungsangeboten können die Landwirte in der Maßnahmenkulisse Nitratreduktion auf freiwilliger Basis grundwasserschonende Flächenmaßnahmen abschließen. In der Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für Niedersächsische und Bremer Agrarumweltmaßnahmen (NiB-AUM) werden unter anderem Maßnahmen zum Schutz des Bodens vor Erosion und Nährstoffaustrag, zur Förderung der biologischen Aktivität und Struktur des Bodens sowie zum Schutz des Grundwassers angeboten. Nähere Angaben sowie sonstige Fördervoraussetzungen sind der aktuellen Richtlinie NiB-AUM (ML/MU 2014) zu entnehmen.

Weitere Förderprogramme

Förderung der einzelbetrieblichen Beratung im Hinblick auf den Klimawandel, die Wasserwirtschaft, die biologische Vielfalt und weitere Herausforderungen für die Landwirtschaft

Landwirte können bei Inanspruchnahme von innovativen, einzelbetrieblichen Beratungsleistungen Zuwendungen beantragen. Die Beratungsinstitutionen, die diese einzelbetriebliche Beratung ausüben möchten, müssen durch die Bewilligungsbehörde der LWK Niedersachsen anerkannt werden, wozu sie unter anderem die Teilnahme an Schulungen nachweisen müssen. Schulungen werden vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) und der LWK Niedersachsen angeboten. Nähere Informationen sind der Richtlinie zur Förderung der einzelbetrieblichen Beratung in Hinblick auf den Klimawandel, die Wasserwirtschaft, die biologische Vielfalt und weitere Herausforderungen für die Landwirtschaft (ML/MU 2014) zu entnehmen.

Wirkungsmonitoring

Um den Erfolg der umgesetzten Gewässerschutzmaßnahmen in Hinblick auf die Zielvorgaben der EG-WRRL darzustellen, erfolgt ein sogenanntes Wirkungsmonitoring. Das Ziel des Wirkungsmonitorings ist der Erhalt einer Aussage zur Trendentwicklung des stofflichen Zustands des Grundwasserkörpers, insbesondere zur Verringerung der Nitratkonzentration. Als Wirkungsindikatoren können stoffliche und kalkulatorische Methoden genutzt werden. Die einzelnen Methoden zur Erfolgskontrolle werden im Kapitel 2.7 erläutert. Die Wirkungsindikatoren und die Vorgehensweise zum Wirkungsmonitoring in der Maßnahmenkulisse Nitratreduktion werden in Kapitel 3.2 beschrieben. In den Beratungsgebieten liegt der Fokus bei der Erfassung kalkulatorischer Indikatoren (z. B. Schlagbilanzen, Hoftorbilanzen). Es ist Aufgabe der Wasserschutzzusatzberatung, die Umsetzung, die Wirksamkeit und den Erfolg der durchgeführten Beratungs- und Agrarumweltmaßnahmen anhand bestimmter Wirkungsindikatoren zu erfassen und darzulegen. Die Vorgaben für die Datenlieferung zum Wirkungsmonitoring in den Beratungsgebieten sind ähnlich den Berichtsvorgaben zum Trinkwasserschutz in einem Pflichtenheft zusammengestellt. In einer entsprechenden Datenbank, dem DIWA-WRRL-Shuttle, sind die Daten der Beratung jährlich an den NLWKN zu liefern. Dort erfolgt die landesweite Zusammenführung und Auswertung der Daten.

Nachfolgend sind die Grundwasserschutzmaßnahmen zur Umsetzung des Kooperationsmodells Trinkwasserschutz und der EG-WRRL tabellarisch gegenübergestellt (s. Tab. 67). Die WRRL-Maßnahmen zeichnen sich gegenüber dem kooperativen Trinkwasserschutz durch ein wesentlich größeres Zielgebiet aus, dass allerdings in wenige Beratungsgebiete zusammengefasst ist.

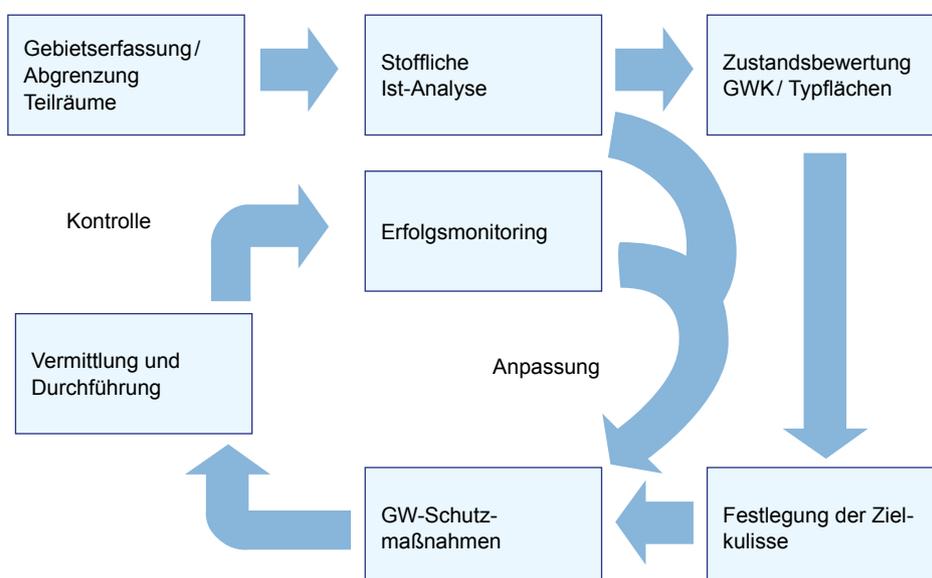


Abb. 190:
Verfahrensablauf bei der
Umsetzung ergänzender
Maßnahmen.

Tab. 67: Gegenüberstellung der Grundwasserschutzmaßnahmen zur Umsetzung des Kooperationsmodells Trinkwasserschutz und der EG-WRRL.

	Kooperationsmodell Trinkwasserschutz	Ergänzende Maßnahmen nach EG-WRRL
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> Niedersächsisches Wassergesetz (NWG, Nds. Landtag 2010) 	<ul style="list-style-type: none"> EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG 2000)
Grundsätze	Kooperation mit der Landwirtschaft und freiwillige Mitwirkung der Landwirte	
Schutzgut	<ul style="list-style-type: none"> Grundwasser welches der Trinkwasserversorgung dient 	<ul style="list-style-type: none"> Grundwasser allgemein, in drei Pilotgebieten zusätzlich Oberflächengewässer
Kooperationsformen	<ul style="list-style-type: none"> Trinkwasserschutzkooperationen (Wasserversorger, Landwirte und Gäste: NLWKN, Berater, UWB) 	<ul style="list-style-type: none"> Gebietskooperationen (Vertreter aller Interessengruppen in einem Bearbeitungsgebiet) GrundWasserKreise (Landwirte, Berater, Landvolk, Beratungsringe, Maschinenringe, NLWKN, ggf. weitere) Gewässerschutzkreise (in den Pilotgebieten GW/OW-Beratung; wie GrundWasserKreise, aber ergänzt um Unterhaltungsverbände und Wasser-/Bodenverbände)
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> Zusatzberatung, Freiwillige Vereinbarungen, Modell- und Pilotprojekte 	<ul style="list-style-type: none"> Einzel- und überbetriebliche Beratung, Agrarumweltmaßnahmen, Modell- und Pilotprojekte
Maßnahmengebiete	<ul style="list-style-type: none"> 370 Wasserschutz-/ Wassergewinnungsgebiete (304.000 ha LF) 	<ul style="list-style-type: none"> 10 Beratungsgebiete der Zielkulisse EG-WRRL, davon 7 mit reiner GW-Beratung und 3 mit kombinierter GW-/OW-Beratung (800.000 ha LF)
Start der Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> 1993 	<ul style="list-style-type: none"> 2010 (davor Modellprojekte; entsprechend WRRL-Zeitplan)
Umsetzung der Flächenbezogenen Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> EU-notifizierter MU-Maßnahmenkatalog der FV regionale Ausgestaltung der Maßnahmen Prioritätensetzung nach Handlungsbereichen (s. Kap. 2.1.3) 	<ul style="list-style-type: none"> Umsetzung der Agrarumweltmaßnahmen gemäß Richtlinie NiB-AUM (ML/MU 2014)
Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> Ausgewählte Messstellen der WVU Erfolgsbewertung über Indikatoren 	<ul style="list-style-type: none"> Überblicksmessnetz nach EG-WRRL (Landesmessstellen und Messstellen Dritter) Erfolgsbewertung über Indikatoren
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> Mindestanforderung: Einhaltung der Trinkwasserverordnung (BMG 2013); Verringerung des Nitratgehalts im Rohwasser der Brunnen 	<ul style="list-style-type: none"> Guter chemischer Zustand des Grundwassers; Erfüllung der Qualitätsnormen gemäß EG-WRRL; Verringerung des Nitratgehalts im Grundwasser
vorbeugender Grundwasserschutz		

Die Durchführung der ergänzenden Maßnahmen wird durch den NLWKN begleitet. Für Umsetzung Kontrolle und Weiterentwicklung der Maßnahmen bestehen zwei aneinander gekoppelte Steuerkreise: Zum einen werden die Grundwasserkörper im sechsjährigen Bearbeitungsrythmus der EG-WRRL bewertet, wodurch in der Folge die Bearbeitungsgebiete mit besonderem Handlungsbedarf ausgewiesen werden. Zum anderen erfolgt eine

laufende Maßnahmenentwicklung in den betroffenen Bearbeitungsgebieten (s. Abb. 190). Die Maßnahmenplanung und die Festlegung der Zielkulisse sind eng an die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme der EG-WRRL gebunden. Dies ist ein weiterer Unterschied zum Trinkwasserschutz, dessen Anforderungen sich letztlich auf das „zu liefernde Produkt“ beziehen.



3.2 Wirkungsmonitoring in der EG-WRRL Maßnahmenkulisse Nitratreduktion

Zur Erfassung der Wirksamkeit der ergänzenden Maßnahmen (s. Kap. 3.1) in der Maßnahmenkulisse gemäß EG-WRRL wird seit Beginn der Maßnahmenumsetzung im Jahr 2010 ein begleitendes Monitoring durchgeführt. Im Mittelpunkt dieses Monitorings steht der Hauptbelastungsfaktor Nitrat.

Von besonderer Bedeutung ist beim Wirkungsmonitoring der integrierte Ansatz der emissions- und immissionsseitigen Betrachtung. Ziel des Wirkungsmonitorings

ist es, den Effekt der Maßnahmen und letztlich die geforderte Trendumkehr gemäß EG-WRRL nachzuweisen.

Aus fachlicher Sicht orientiert sich das Wirkungsmonitoring am Vorgehen der Erfolgskontrolle in den niedersächsischen Trinkwasserschutzkooperationen (s. Kap. 2.7).

Die Zusammenarbeit verschiedener Akteure und die differenzierten Anforderungen an das Wirkungsmonitoring auf den verschiedenen Ebenen (lokal-regional-landesweit-europaweit) erfordern ein abgestimmtes Vorgehen beim Datenmanagement. Eine Übersicht zu den Datenherkünften und Indikatoren ist in Tabelle 68 dargestellt.

Tab. 68: Übersicht zu Datenherkünften und Indikatoren des Wirkungsmonitorings (DE – Dungeinheit; PH – Pflichtenheft; BDF – Bodendauerbeobachtungsflächen; GWM – Grundwassermessstelle; GWL – Grundwasserleiter; BGA – Biogasanlagen, SW-Sickerwasser; HTB-Hoftorbilanz)

	Modellbetriebe	InVeKoS	Basisemissions- erkundung (BEE)	Gewässerüberwachungs- system Nds. (GÜN)
Datenherkunft	160 Modellbetriebe in der Zielkulisse Nitrat	GAP-Antrag, GFN	Basis: Daten der Agrarstatistik	davon 1031 Überblicks-GWM (z. T. auf BDF), davon 600 operative GWM
Daten/ Indikatoren	HTB Schlagbilanz N _{min}	Flächennutzung AUM Viehbesatz	Flächennutzung Viehbesatz und weitere, wie z. B. BGA, Ökolandbau, Klimadaten	NO ₃ (und ggf. weitere Parameter)
Anforderungsprofil	PH DIWA	GAP-Antrag, GFN	mit MU abgestimmte Datenmatrix	GÜN-Messnetzkonzept
Verfügbarkeit	jährlich	jährlich	4-jährig (2007, 2010 ...)	Überblicks-GWM 1x jährlich operative GWM 2x jährlich
Format/ Dimension	kg N/ha	ha LF; €, Anzahl Verträge; DE/ha	kg N/ha mg/l	mg/l
Auswertungsroutinen	DIWA-Shuttle vgl. TW-Modul	abgestimmte Methodik	abgestimmte Methodik Gemeindeebene	Bewertungsschema Güte (GWK) Trendbetrachtung Güte (Zeitreihe)
Auswertungsergebnisse	N-Überschuss	Maßnahmeneffekt/ N-Red (t N/ha) Nutzungsänderung (z. B. A-GL-Anteil) Deckungsgrad Maßn.-Umsetzung	N- Überschuss pot. NO ₃ SW-Konzentration	NO ₃ -Konz. oberer GWL (< 30m u. GW-OF)
	Emission			Immission

Wichtige Kenngrößen sind hier beispielsweise der N-Überschuss in kg/ha oder die potenzielle NO_3 -Sickerwasserkonzentration für den Bereich der Emission, sowie immissionsseitig die NO_3 -Konzentration im Grundwasser in den WRRL-Messstellen.

Emission

Der Erfassung der Emission kommt besondere Bedeutung zu, da im Vergleich zur Immissionsbetrachtung im Grundwasser Veränderungen durch die Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen in der Regel, z. B. Senkung der Hoftortorbilanz unmittelbar nachweisbar sind.

Modellbetriebe

Für den Bereich der Emission wurden Indikatoren zur Erfolgskontrolle festgelegt, die jährlich durch die Wasserschutzzusatzberater in der WRRL-Zielkulisse auf Modellbetrieben erhoben werden. Neben den 160 intensiv betreuten Modellbetrieben werden zusätzliche Daten auf so genannten Beratungsbetrieben erhoben, um die auswertbare Datengrundlage entsprechend zu erweitern. Die Daten werden analog zu den Trinkwassergewinnungsgebieten in einem eigenen Datenerfassungsprogramm, dem Digitalen Informationssystem Wasserschutz (DIWA-Shuttle-WRRL), für die landesweite Auswertung zusammengeführt. Bei den erhobenen Daten wird unterschieden in Pflichtindikatoren, sowie ergänzende und operative Indikatoren (NLWKN 2012c):

Pflichtindikatoren:

- Hoftorbilanz (Brutto- und Nettobilanz)
- N-Feld-Stall-Bilanz (gem. Düngeverordnung)
- N-Schlagbilanz

Ergänzende Indikatoren:

- Herbst- N_{\min} (als Beratungsinstrument, begrenzter Umfang)
- mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser nach Herbst- N_{\min}
- Nitrat-Tiefenprofile (standortspezifisch)
- Nitratkonzentration im Sicker- und Dränwasser (standortspezifisch)

Die Pflichtindikatoren und die ergänzenden Indikatoren bieten die Grundlage für eine fachlich fundierte Bewertung der Maßnahmenwirkung. Darüber hinaus werden operative Indikatoren erfasst.

Operative Indikatoren:

- Anzahl der einzelbetrieblichen Beratungen
- Anzahl der Rundschreiben
- Anzahl der Arbeitskreis-Treffen
- Anzahl der Analysenergebnisse
- Anzahl der Demoversuche

Mit Hilfe dieser Indikatoren sollen die Beratungsaktivitäten beschrieben und der fachliche Austausch mit den Bewirtschaftern in der Zielkulisse abgebildet werden. Sie liefern wertvolle Hinweise zur Maßnahmenakzeptanz.

Mit der Maßnahmenumsetzung in der WRRL-Zielkulisse zur Nitratreduktion wurde 2010 begonnen, so dass derzeit noch keine langjährigen Auswertungen vorliegen. Dennoch sind erste Beratungserfolge beispielsweise durch die Senkung der N-Überschüsse bei den Hoftor- und den Schlagbilanzen erkennbar.

InVeKoS-Daten / Daten zur Agrarförderung

Zur Ermittlung der Maßnahmenwirkung werden die Daten zur Agrarförderung aus dem sogenannten Integrierten Verwaltungskontrollsystem (InVeKoS) des Servicezentrums Landentwicklung jährlich durch den NLWKN ausgewertet. Aus dem Deckungsgrad der Maßnahmenumsetzung in der Zielkulisse wird auf Grundlage der Maßnahmenwirkung (NLWKN 2011c) die N-Reduktion in t/a abgeleitet. Ferner können die unterschiedlichen Nutzungen Acker und Grünland im zeitlichen Verlauf dargestellt werden, um beispielsweise Nutzungsänderungen (z. B. Grünlandumbruch) und deren Auswirkungen auf die Zielerreichung berücksichtigen zu können.

Basisemissionserkundung (BEE)

Zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der N-Überschüsse erfolgt die so genannte landesweite Basisemissionserkundung auf Grundlage der im vierjährigen Turnus erhobenen Daten der Agrarstatistik. Hierbei werden vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) die N-Überschüsse auf Gemeindeebene ermittelt. Auf dieser Grundlage können N-Flächenbilanzen berechnet werden. Im Betrachtungszeitraum 2007/2010 liegen die N-Überschüsse durchschnittlich bei 84 kg N/ha landwirtschaftlicher Nutzfläche ohne Stilllegung (s. Abb. 191). Des Weiteren kann auf Basis dieser Überschüsse die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser bzw. der potenzielle N-Austrag unter Berücksichtigung der klimatischen Wasserbilanz und der Denitrifikation in der Bodenzone ermittelt werden.

Stickstoffemission Niedersachsen 2007/2010

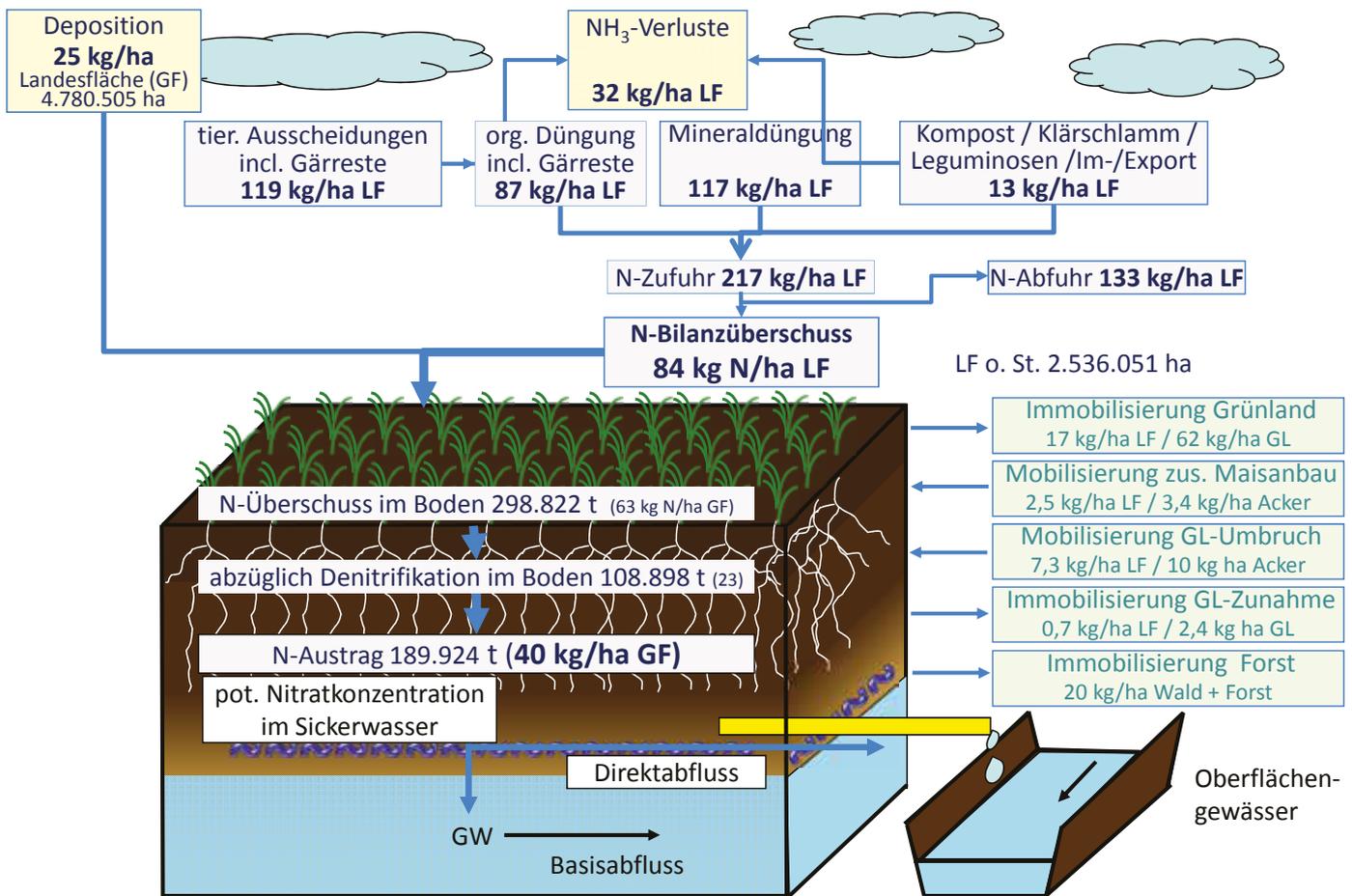


Abb. 191: N-Emission 2007/2010 in Niedersachsen – Ergebnisse der Basisemissionserkundung (LBEG 2013)

Die aus den N-Überschüssen (kg/ha) ermittelte potenzielle Sickerwasserkonzentration sowie gemessene Nitratkonzentrationen in den Grundwassermessstellen werden zur Gefährdungsabschätzung und zur Bewertung der Grundwasserkörper gemäß EG-WRRL genutzt.

Zusätzlich zu den Modellbetriebs- und InVeKoS-Daten sowie den Ergebnissen der Basisemissionserkundung werden weitere Datenquellen in die Emissionsbetrachtung einbezogen, die nachfolgend näher beschrieben werden.

Kooperationsmodell zum Trinkwasserschutz

Die im Rahmen der Erfolgskontrolle in den TGG jährlich erhobenen und im DIWA-Shuttle Trinkwasserschutz zusammengeführten Daten werden genau wie die Daten der Modell- und Beratungsbetriebe in der Zielkulisse zur Erfassung der Maßnahmenwirkung und Erfolgsbewertung verwendet (NLWKN 2011c). Aufgrund der abgestimmten Methodik, die in verbindlichen Pflichtenheften festgeschrieben ist, können die Daten zum Abgleich bzw. zur landesweiten Erfolgsbewertung von Grundwasser-

schutzmaßnahmen verwendet werden. Trendbetrachtungen zur Maßnahmenwirkung sind möglich. Folgende Ergebnisse werden zurzeit in die landesweite Betrachtung einbezogen:

- N-Hoftorbilanzüberschuss (flächengewichteter Mittelwert)
- N-Mineraldüngerzukauf
- Ausbringung organischer Wirtschaftsdünger
- Mittlere Minderung des N-Überschusses aus Schlagbilanzen
- Herbst-N_{min}-Gehalt durch FV bzw. NAU-Maßnahmen
- Nitratgehalt von Grundwassermessstellen/Förderbrunnen mit ansteigenden/abnehmendem Nitratgehalt
- Entwicklung des Flächenanteils von Grünland und Silomais

Bodendauerbeobachtungsprogramm

Seit 20 Jahren wird das Bodendauerbeobachtungsprogramm vom LBEG durchgeführt. Die BDF sind häufig mit dem langjährigen Versuchsprogramm der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zu Exaktversuchen verknüpft. Außerdem sind auf vielen BDF Überblicksmessstellen des WRRL-Monitorings etabliert, so dass zusätzlich eine Verknüpfung der Auswertungen zur Immission möglich ist. Aufgrund der Langzeitauswertungen haben die Ergebnisse für verschiedene Fragestellungen der N-Dynamik und Maßnahmenwirkung eine große Bedeutung beim Abgleich mit der standörtlichen und zeitlichen Maßnahmenwirksamkeit.

Untersuchung von Dräusläufen

Eine pilothafte Beprobung von Dräusläufen und Gräben findet zukünftig in den Gebieten statt, in denen zur Umsetzung der EG-WRRL neben der Beratung zum Grundwasserschutz auch eine Beratung zum Schutz der Oberflächengewässer durchgeführt wird (s. Kap. 3.3). Hinweise zur Beprobung der Dräusläufe enthält Kapitel 2.7.8.

Im Hinblick auf die Beratung zum Schutz der Oberflächengewässer ist Phosphor ein besonders sensibler Parameter. Für Einzugsbereiche von Seen und Fließgewässern werden vom Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten als Orientierungswerte für Dränwasser (Ablauf) 0,12 mg Gesamt-P/I bzw. 0,08 mg Orthophosphat-P/I vorgeschlagen. Ob das Überschreiten dieser Orientierungswerte im Einzelfall „schädliche Auswirkungen“ auf das Gewässer im Sinne von § 3 Abs. 6 DüV (BMELV 2007) hat, hängt sowohl vom erfassten Zeitraum (Einzelmesswert oder Mittelwert einer längeren Periode) als auch von der Repräsentanz der gemessenen Fläche für das Einzugsgebiet (räumliche Mischung) ab (AUERSWALD et al. 2001).

Immission

Das WRRL-Monitoring des NLWKN bezieht sich auf den oberen Grundwasserleiter. Zur Beobachtung der Grundwassergüte sind überwiegend flache Grundwassermessstellen bis 30 m unter Gelände einbezogen. Das Monitoring beinhaltet Überblicksmessstellen (einmalige Untersuchung pro Jahr) sowie die zweimalige Beprobung von operativen Messstellen in Grundwasserkörpern, die als gefährdet eingestuft sind. Die Untersuchungen werden auf Grundlage eines umfassenden Grund- und Ergänzungsprogramms durchgeführt. Die Auswertungen erfolgen als Trendbetrachtung (NLWKN 2014c, NLWKN 2014e).

Neben dem Hauptbelastungsfaktor Nitrat sollen zukünftig auch weitere Belastungen des Grundwassers wie Rückstände von Pflanzenschutzmitteln im Grundwasser in das Wirkungsmonitoring einbezogen werden.

Das Vorgehen zum Wirkungsmonitoring wird in einem landesweiten vom NLWKN koordinierten Expertenkreis festgelegt. Die Ergebnisse des Wirkungsmonitorings bilden im Rahmen der Gefährdungsabschätzung und bei der Bewertung der Grundwasserkörper eine wichtige Grundlage für die Berichterstattung am Ende eines Bewirtschaftungszeitraums. Ferner liefern die Ergebnisse wesentliche Impulse bei der kontinuierlichen Maßnahmenoptimierung und -weiterentwicklung in Kooperation mit den beteiligten Akteuren. Ziel des Wirkungsmonitorings ist der integrierte Bewertungsansatz, das heißt die gemeinsame Betrachtung von Emission und Immission. Dabei kann emissionsseitig bereits relativ zeitnah die N-Reduktion durch die Maßnahmenumsetzung nachgewiesen werden (z. B. Reduzierung von N-Salden). Im Grundwasser ist dieser Nachweis dagegen aufgrund längerer Fließzeiten in der Regel erst mit entsprechender Zeitverzögerung zu führen.



3.3 Schutz der Oberflächengewässer als zusätzliche Herausforderung

Obwohl Oberflächengewässer- und Grundwasserschutz prinzipiell größere Schnittmengen aufweisen, ergeben sich Unterschiede aus der Anzahl und Art der Eintragspfade, der Wirkung der eingetragenen Stoffe im Gewässer (bei oberirdischen Gewässern insbesondere auf die Lebensbedingungen für Organismen) und somit der tolerierbaren Stoffmengen und -konzentrationen. Hierbei liegen die Nährstoffkonzentrationen, die in Oberflächengewässern bereits zu deutlichen Beeinträchtigungen der Gewässerqualität führen, erheblich unter den Werten, die als Qualitätsnorm im Grundwasserschutz gelten. Die daraus resultierenden Zielsetzungen für Oberflächengewässer erfordern damit auch spezifische Anforderungen an ein eventuelles Maßnahmenprogramm und -monitoring. In der Regel bedeutet dies für Oberflächengewässer, dass gegenüber dem Themenbereich Grundwasser erweiterte Ansätze zu verfolgen sind.

Im Gegensatz zu Schadstoffen ist für Nährstoffe niedersachsenweit eine nahezu flächendeckende Belastung der Oberflächengewässer zu beobachten. Diese Nährstoffe beeinträchtigen nicht nur die Binnengewässer, sondern in der Folge auch die Übergangs- und Küstengewässer. Die Nährstoffeinträge, verursacht durch Bodenerosion, Oberflächenabfluss, Einträge aus Dränaugen und Grundwasserzufluss resultieren überwiegend aus der landwirtschaftlichen Nutzung. Sie wurden als eine der wichtigsten Wasserbewirtschaftungsfragen in Niedersachsen benannt (NLWKN 2009b). Aufgrund der besonderen Bedeutung der Nährstoffe liegt der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen auf Stickstoff (N) und Phosphor (P).

N- und P-Verbindungen in Oberflächengewässern

Gemäß der EG-WRRL werden die Oberflächengewässer eingeteilt in

- Binnengewässer (Seen, Flüsse, Bäche und Kanäle)
- Übergangsgewässer (tidebeeinflusste Mündungsgebiete und Ästuare)
- Küstengewässer.

In den Gewässern des Binnenlands stellt P in der Regel den limitierenden Faktor für die Primärproduktion dar. Eine Faustregel besagt, dass ca. 1 g Phosphat-Phosphor die Entwicklung von ca. 1000 g Phytoplanktonbiomasse ermöglicht. In unbeeinflussten Binnengewässern kommen, mit Ausnahme einiger Sonderfälle, gelöste P-Verbindungen meist nur in geringen Mengen vor.

Stickstoff bzw. seine Verbindungen sind hingegen vor allem für die Küstengewässer als limitierende Faktoren relevant. Dort kann der gute ökologische Zustand nur dann erreicht werden, wenn die Ferneinträge aus dem Binnenland reduziert werden. Eine umfassende Maßnahmenstrategie zum Oberflächengewässerschutz hat daher sowohl die Reduzierung der P-Einträge (insbesondere bezüglich der Fließgewässer und Seen) als auch der N-Einträge (insbesondere bezüglich Übergangs- und Küstengewässer) zu berücksichtigen.

Bedeutung der Nährstoffe bei der Zustandsbewertung nach EG-WRRL

Die EG-WRRL fordert einen guten Zustand der Oberflächengewässer und des Grundwassers. Dieser besteht, wenn beim Grundwasser sowohl der gute chemische als auch der gute mengenmäßige Zustand und bei Oberflächengewässern sowohl der gute chemische als auch der gute ökologische Zustand erreicht werden (s. Abb. 192).

Für die Bewertung des chemischen Zustands ist sowohl beim Grund- als auch beim Oberflächenwasser unter anderem die Nitratkonzentration relevant. Nach der Verordnung zum Schutz des Grundwassers (BMU 2010) und nach der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (BMU 2011) ist eine Umweltqualitätsnorm von 50 mg Nitrat/l (als Jahresmittelwert) einzuhalten. Bei Überschreiten der Norm ist der chemische Zustand als schlecht zu bewerten. Hinsichtlich der hohen Empfind-

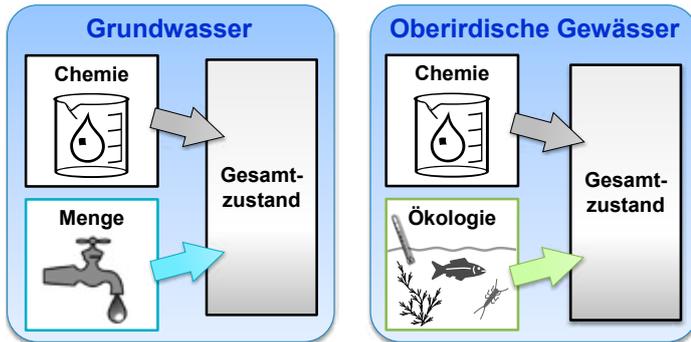


Abb. 192: Elemente zur Beurteilung des Zustands von Grundwasser und Oberflächengewässern nach EG-WRRL.

lichkeit von Oberflächengewässern gegenüber Nährstoffen ist dieser Wert jedoch viel zu hoch, um als gewässer-ökologisches Bewertungskriterium zu dienen.

Bei Oberflächengewässern fließen Nährstoffe darüber hinaus auch in die Bewertung des ökologischen Zustands ein. Zwar erfolgt diese Bewertung primär anhand der Zusammensetzung der Arten- und Lebensgemeinschaften in einem Gewässer („biologische Komponenten“), die aber ihrerseits auch von der Nährstoffversorgung beeinflusst werden. Daher unterstützen die sogenannten „allgemeinen physikalisch-chemischen Komponenten“ (z. B. Nährstoffkonzentration, Wärmebedingungen, Salz- und Sauerstoffgehalt) die Bewertung der biologischen Komponenten (s. Abb. 193).

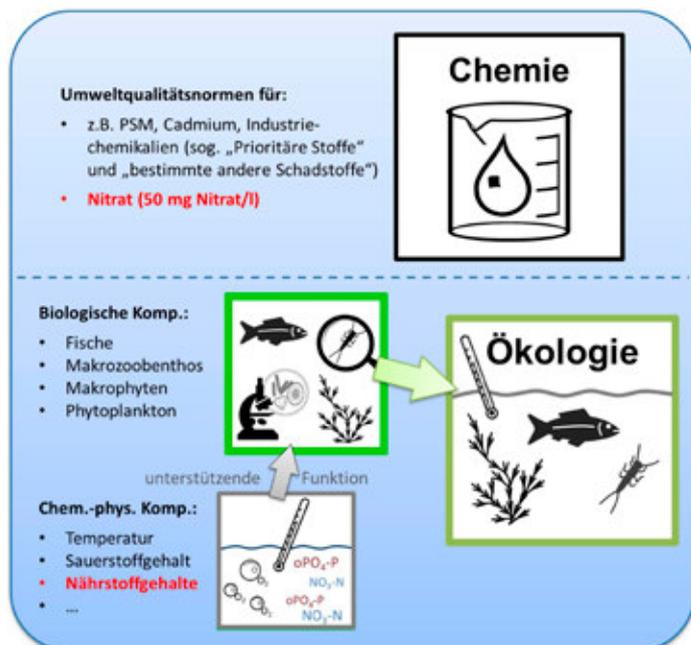


Abb. 193: Rolle der Nährstoffe bei der Bewertung von oberirdischen Gewässern nach EG-WRRL.

Daher sind zusätzliche Bewertungsmaßstäbe erforderlich. Die im Folgenden beschriebenen Kriterien sind zwar nicht rechtskräftig und erfüllen zum Teil die Anforderungen der EG-WRRL nicht in vollem Umfang, eigenen

sich aber in der Regel sehr gut für einen orientierenden Überblick.

In der „Rahmenkonzeption Monitoring (RAKON)“ hat die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Orientierungswerte für einige physikalisch-chemische Komponenten angegeben. Sie sind als Schwellenwerte zu verstehen, deren Nichteinhaltung ein Hinweis auf mögliche ökologisch wirksame Defizite ist (LAWA 2007). Gemäß den Anforderungen der EG-WRRL sind diese nach Gewässertypen differenziert, berücksichtigen also die verschiedenen Lebens- und Umweltbedingungen in unterschiedlichen Gewässern. Im Gegensatz zu den in der OGewV genannten Werten haben die LAWA-RAKON-Werte zwar eine höhere ökologische Relevanz, aber keine gesetzliche Verbindlichkeit.

Für die Gesamt- und Nitrat-Stickstoffkonzentrationen (TN bzw. $\text{NO}_3\text{-N}$) in Binnengewässern sind in der RAKON keine Orientierungswerte benannt. Zur Beurteilung dieser Parameter sind daher weitere Maßstäbe heranzuziehen. Hier bietet sich unter anderem die LAWA-Güteklassifikation an (LAWA 1998). Danach erfolgt die Bewertung gemäß einer siebenstufigen Klassifikation, wobei in der Regel die Güteklasse II (oder besser) anzustreben ist. Bei deren Einhaltung ist eine Gefährdung der Gewässerqualität nach derzeitigem Stand des Wissens nicht zu befürchten (UBA 2010). Streng genommen ist diese Klassifikation nicht EG-WRRL-konform, da sie nicht nach Gewässertypen differenziert erfolgt.

Im Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (BLMP) ist für Gesamtstickstoff der sogenannte BLMP-Zielwert festgelegt (BLMP 2011). Gemäß dieser Zielvorgabe soll an allen Übergabepunkten der Binnengewässer in ein Übergangsgewässer im Jahresdurchschnitt eine Konzentration von 2,8 mg TN/l eingehalten werden. Um dieses Ziel mittel- bis langfristig zu erreichen, müssen die Nährstoffkonzentrationen in den Zuflüssen der Küstenwasserkörper um 32 % bis 48 % verringert werden (BLMP 2011).

Pfade und Größenordnungen der Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer

Durch den gezielten Ausbau der Kläranlagen konnten in den vergangenen Jahrzehnten die Einleitungen aus Punktquellen deutlich reduziert werden. Die Reinigungsleistung der kommunalen Kläranlagen betrug 2009 durchschnittlich 91 % für TN und 95 % für Gesamtphosphor (TP) (NLWKN 2009a). Dennoch ist die aktuelle Belastungssituation der oberirdischen Gewässer unbefriedigend. Im Zeitraum von 2008 bis 2011 erreichten in Niedersachsen bezogen auf TN lediglich ca. 10 %, bezogen auf TP nur etwa 20 % der Gütemessstellen in

Flüssen und Bächen die LAWA-Gewässergüteklasse II oder besser (NLWKN 2014a).

Ein messtechnischer Nachweis, um die Anteile der einzelnen Eintragspfade flächendeckend zu quantifizieren, ist nicht umsetzbar. Um dennoch belastbare Aussagen treffen zu können, kommen zunehmend EDV-basierte Modelle zum Einsatz. Für Niedersachsen wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „AGRUM-Niedersachsen“ ermittelt, in welchen Größenordnungen Nährstoffe

über die verschiedenen Pfade in die Oberflächengewässer gelangen (Thünen Institut & Forschungszentrum Jülich, Endbericht in Vorbereitung, aber zum Zeitpunkt der Drucklegung noch nicht vorliegend). Demnach erfolgen nach Abzug der Denitrifikation in der Bodenzone und im Grundwasser fast 80 % der N-Einträge über Grund- und Dränagewasser. Auch für TP stellen sich Grund- und Dränagewasser als Haupteintragspfade dar (s. Abb. 194 und 195).

Abb. 194:
N-Einträge in oberirdische Gewässer aus diffusen und punktuellen Quellen (nach Thünen Institut & Forschungszentrum Jülich)

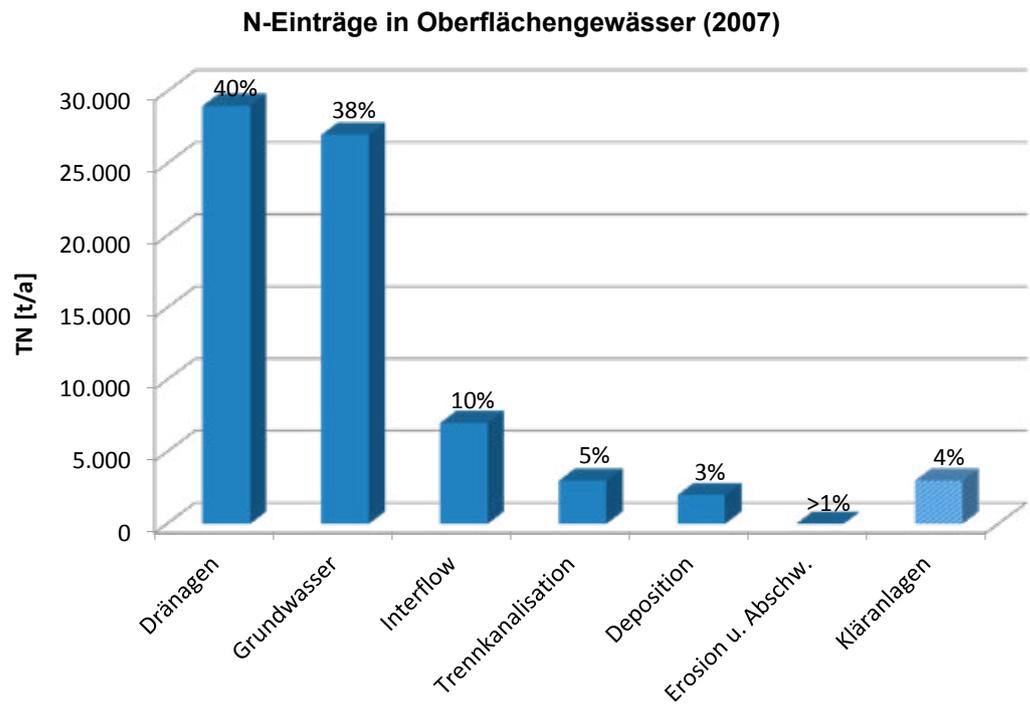
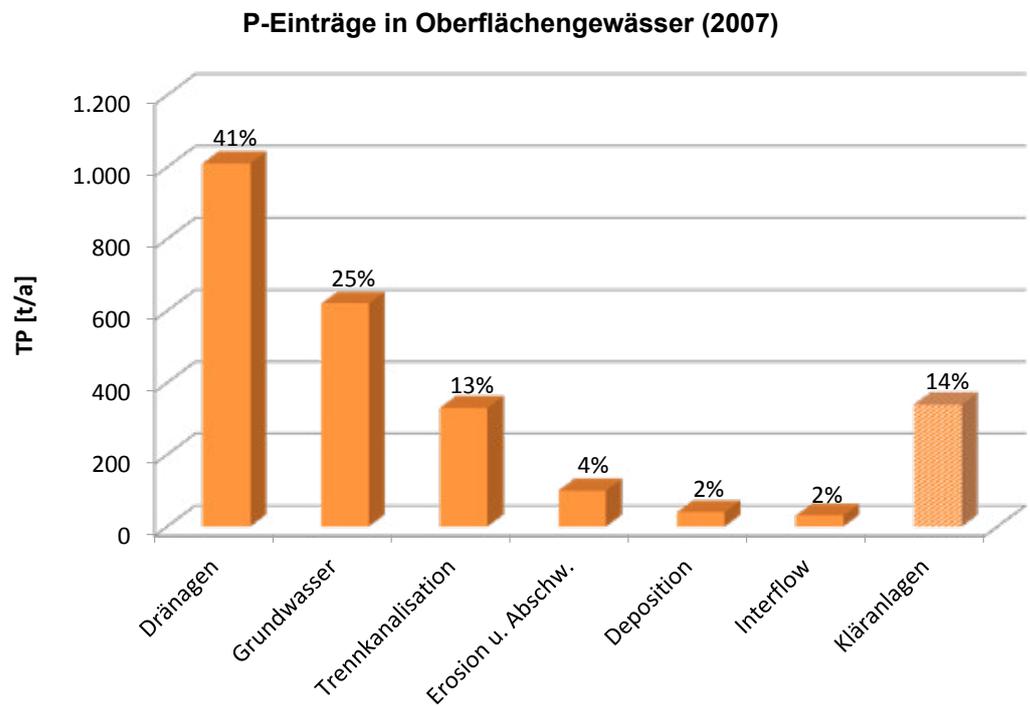


Abb. 195:
P-Einträge in oberirdische Gewässer aus diffusen und punktuellen Quellen (nach Thünen Institut & Forschungszentrum Jülich)



Maßnahmenkonzeption und Maßnahmenprogramme

Mithilfe von Modellen können regional- und pfadbezogene Differenzierungen der Stoffeinträge vorgenommen werden. Insbesondere bei der großskaligen Konzeption von Maßnahmenprogrammen besitzen sie eine gute Eignung als sogenannte „entscheidungsunterstützende Werkzeuge“. Durch das Aufzeigen von Räumen mit hohem Handlungsbedarf und Erfolgspotenzial ist es z. B. möglich, Ziel- und Maßnahmenkulissen auszuweisen und so den (Finanz-)Miteinsatz möglichst effizient zu gestalten. Bei der konkreten Umsetzung der Maßnahmen vor Ort sind darüber hinaus die standörtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Seit dem Jahr 2010 wird in einigen Teilen Niedersachsens eine auf die Anforderungen der EG-WRRL ausgerichtete landwirtschaftliche Beratung angeboten, die auf die Reduktion der Nitrateinträge ins Grundwasser abzielt. Zudem können spezielle Agrarumweltmaßnahmen abgeschlossen werden. Dieses Angebot beinhaltet seit Januar 2014 pilothaft in einigen Regionen auch eine Beratung zum Themenbereich Oberflächengewässerschutz. Inhaltlich wurde die Beratung daher um den Parameter Phosphor erweitert. Beratung und Maßnahmen gehen dabei ausdrücklich über die Mindestanforderungen des Ordnungsrechts sowie der guten fachlichen Praxis hinaus.

Die inhaltliche Ausweitung auf die Aspekte des Oberflächengewässerschutzes zieht eine entsprechende Anpassung der Beratung nach sich. Während die Beratung zum Schutz des Grundwassers vor Nitrateinträgen einen einzelnen, verhältnismäßig klar definierten Eintragspfad zu berücksichtigen hat, muss sich eine umfassende Wasserschutzzusatzberatung an Anforderungen orientieren, die zusätzlich den Nährstoff Phosphor sowie eine erweiterte Anzahl an Eintragspfaden berücksichtigt.

Die bestehenden Instrumente und Maßnahmenkataloge zum Schutz des Grundwassers sind prinzipiell auch aus Sicht des Oberflächengewässerschutzes zielführend. Grundsätzlich sinnvoll sind die bewährten Handlungsfelder auf betrieblicher Ebene wie z. B. eine flächengenaue Düngeplanung. Auch die Umsetzung von AUM, die auf eine Minderung bzw. Fixierung der auswaschbaren N-Gehalte im Boden während des Winters abzielen, ist für Flächen mit standort- oder meliorationsbedingt ungünstiger Denitrifikation zweckmäßig. Wenn diese Maßnahmen auch eine ausreichende Bedeckung des Bodens bewirken, werden zugleich Abschwemmung und Erosion vermindert.

Bezüglich der Belastung der Gewässer mit P sind weitergehende Maßnahmen notwendig. Zwar sind die Einträge über den Erosionspfad landesweit gesehen nur zu

etwa 4 % an den Gesamteinträgen beteiligt (s. Abb. 195), jedoch sind in Niedersachsen deutlich regionale Schwerpunkte zu erkennen. Beispielsweise beträgt der Anteil der P-Einträge über Erosion im Gebiet „Fuhse/Wietze“ – eines der Gebiete mit pilothafter Beratung zu Oberflächengewässern – ca. 30 % an den gesamten P-Einträgen. Denkbar sind hier neben „on-site-Maßnahmen“ (z. B. Maßnahmen zur Minderung der Erosion, Begrünung von Abflussbahnen) auch „off-site-Maßnahmen“, die auf die Unterbindung des Eintrags von erodiertem Boden in Gewässer abzielen (z. B. Gewässerrandstreifen, Sedimentrückhaltebecken).

Einen besonderen Stellenwert nehmen P-Einträge über Grund- bzw. Dränagewasser ein, deren Quellen häufig in Gebieten mit einem hohen Anteil an organischen Böden (z. B. Hoch- und Niedermoore, Anmoore) sowie im Bereich der Marschen liegen. Auch wenn ein Teil der grundwasserbürtigen Einträge geogenen Ursprungs ist, hat die landwirtschaftliche Nutzbarmachung zu deren Erhöhung beigetragen. Vor allem dort, wo hohe Einträge über das Grundwasser erfolgen, werden die Ziele der EG-WRRL durch die alleinige Umsetzung von AUM nicht erreicht werden können. Hier sind großflächigere Konzepte, idealerweise im Zusammenspiel mit Natur- oder Moorschutzmaßnahmen (s. Kap. 4.1), erforderlich.

Monitoring zum Oberflächengewässerschutz

Im Rahmen des Gewässerüberwachungssystems Niedersachsen (GÜN) wird die Wasserqualität von Bächen, Flüssen, Seen, Übergangs- und Küstengewässern an mehr als 400 Messstellen regelmäßig und kontinuierlich erfasst (NLWKN 2010a). Da für einen „messbaren“ Erfolg umgesetzter Beratungs- und Agrarumweltmaßnahmen zum einen mit einem zeitlichen Verzug zu rechnen, zum anderen eine hohe flächenhafte Umsetzung erforderlich ist, ist das GÜN-Messnetz für ein kurzfristig aussagekräftiges Wirkungsmonitoring nur eingeschränkt geeignet.

Daher werden weitergehende Indikatoren benötigt, um die Wirksamkeit von Maßnahmen zum Oberflächengewässerschutz zeitnah beurteilen zu können. Für ein derartiges Monitoring sind generell die gleichen Methoden wie für die Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen geeignet, die jedoch variiert und erweitert werden müssen. Neben zusätzlichen Eintragspfaden ist insbesondere die Einbeziehung des Nährstoffs Phosphor zu berücksichtigen. Gut veranschaulichen lassen sich die Anforderungen an das Monitoring mit dem Zonenmodell (s. Kap. 2.7.2). Stärker zu konkretisieren sind die Pfade Interflow, Dränage und Abschwemmung. Neu aufzunehmen ist die Erosion (s. Abb. 196). Demgegenüber treten die Zonen unterhalb der Sickerwasser-Dränzone in den

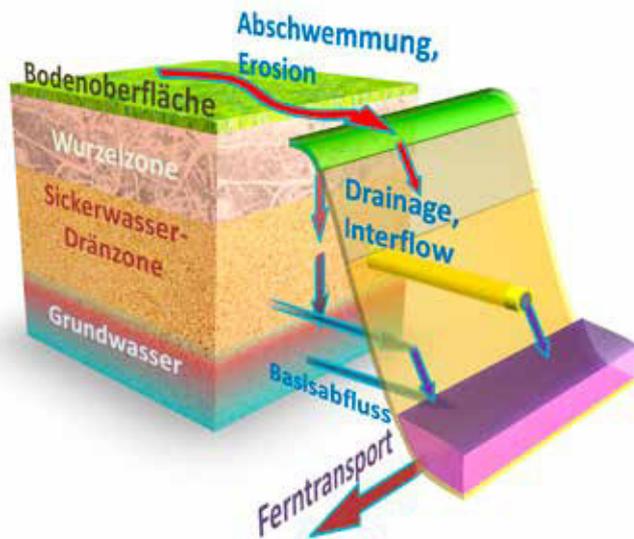


Abb. 196: Schematische Darstellung der Erweiterung des Zonenmodells (NLWKN 2014a)

Hintergrund, wobei nicht zu vergessen ist, dass ein Großteil der Stoffeinträge in oberirdische Gewässer über den Zufluss von Grundwasser erfolgt.

Geeignete Methoden für das Monitoring sind:

- Nährstoffbilanzen (s. Kap. 2.7.3)
- Untersuchungen des Mediums Boden
- Untersuchungen des Mediums Bodenlösung
- Beprobung von Dränwasser und lokalen Vorflutern (s. Kap. 2.7.8).

Hierbei ist der Parameter P sowohl bei der Erstellung von betrieblichen Nährstoffbilanzen als auch bezüglich der Medien Boden bzw. Bodenlösung zu erheben. Konkret bedeutet dies z. B. die Erfassung der P-Gehalte des Oberbodens im Zuge einer status-quo-Erhebung oder die Bestimmung der Konzentration von ortho-Phosphat in der Bodenlösung bzw. dem Drän- oder Grabenwasser.

Niedersachsen steht derzeit am Anfang eines detaillierten Monitorings von landwirtschaftlichen Maßnahmen zum Oberflächengewässerschutz. Ziel der pilothaften Beratung zu Oberflächengewässern in Niedersachsen ist es daher, aus den gesammelten Erfahrungen die relevanten Anforderungen abzuleiten sowie geeignete, praxismethodische Methoden zu benennen. Ein verlässliches flächendeckendes Wirkungsmonitoring zur Minderung von Erosion und Abschwemmung ist beispielsweise nur unter erheblichem Aufwand umsetzbar. Zum einen sind die Einträge über diese Pfade an Einzelereignisse wie Starkregen gebunden, was an die zeitlich-räumliche Flexibilität eines Monitoringkonzepts (bzw. des mit dem Monitoring betrauten Personals) hohe Anforderungen stellt, die in der Praxis nur schwer zu realisieren sind. Zudem ist die messtechnische Erfassung des Eintrags über diese Pfade in der Regel sehr aufwändig.



Weitere Umweltleistungen von Grundwasserschutzmaßnahmen

Meist sind in Gebieten mit intensiver Landnutzung nicht nur die Grundwasserqualität, sondern auch andere Schutzgüter, z. B. der Boden, die Luft oder die dort vorkommende Flora und Fauna beeinträchtigt. Darüber hinaus gewinnt der Klimaschutz immer mehr an Bedeutung.

Einige der in diesem Handbuch beschriebenen Maßnahmen zum Grund- und Trinkwasserschutz haben auch positive Auswirkungen auf andere Schutzgüter, die in den folgenden Kapiteln (4.1–4.3) näher beschrieben werden. In Anbetracht des drängenden Handlungsbedarfs und knapper Mittel ist es bei der Maßnahmenplanung von Bedeutung, die betroffenen Schutzgüter gemeinsam zu betrachten und Synergieeffekte sowie unterschiedliche Fördermöglichkeiten zu nutzen.



4.1 Naturschutz

Auf der Grundlage des Niedersächsischen Kooperationsmodells Trinkwasserschutz arbeiten Landwirtschaft und Wasserwirtschaft zusammen. Wasser, insbesondere das Grundwasser, ist ein zentrales Schutzgut. Aus Sicht des Grundwasserschutzes gibt es nicht nur zwischen den Schutzgütern Wasser und Boden, sondern auch mit dem Arten- und Biotopschutz sowie dem Schutz des Landschaftsbilds gemeinsame Bezugspunkte und Wechselwirkungen. Dies spiegelt sich auch in den gesetzlichen Vorgaben (s. EG-WRRL (EU 2000), WHG (BMU & BMVBS 2009), Vogelschutz- und FFH-RL (EU 2009a, EG 1992), BNatSchG (BMU 2009)) wider. Instrumente des Naturschutzes und der Agrarstruktur bieten auch die Möglichkeit, Zielflächen für den Gewässerschutz langfristig zu sichern. Agrarstrukturelle Veränderungen wie hohe Ertragssteigerungen, der Anbau nachwachsender Rohstoffe und der Biomasseanbau zur Energiegewinnung haben in den letzten Jahrzehnten direkten Einfluss auf die Entwicklung der Landschaft und die Funktionalität des Naturhaushalts genommen. Das hat zu einer verstärkten Flächenkonkurrenz, oft zu Lasten extensiver Bewirtschaf-

tungsformen (z. B. Grünlandumbruch) geführt. Folgeerscheinungen können eine zunehmende N-Belastung des Oberflächen- und Grundwassers, Erosionserscheinungen und der Verlust wertvoller Biotope sein. Daher ist es sinnvoll, alle Möglichkeiten vor Ort zu nutzen, um die Aspekte des Arten- und Biotopschutzes sowie des Landschaftsbild- und Bodenschutzes bei der Planung von Grundwasserschutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Voraussetzung für die Nutzung von Synergieeffekten bei der Zusammenarbeit der Akteure ist die Kenntnis über Anknüpfungspunkte, Gemeinsamkeiten und Grenzen in den verschiedenen Handlungsfeldern sowie über mögliche Schnittmengen bei Planungs- und Förderinstrumenten.

Handlungsfelder

Für ein umfassendes Schutzgebietsmanagement in den Trinkwassergewinnungsgebieten kann die Erweiterung der Trinkwasserschutzkooperation von Wasser- und Landwirtschaft um weitere Fachdisziplinen und Akteure, z. B. aus dem Bereich Naturschutz, sinnvoll sein. Dies gilt auch bei der Umsetzung der EG-WRRL. Eine abgestimmte Vorgehensweise zwischen Wasserwirtschaft und Naturschutz wird zwar auf der konzeptionellen Ebene



Abb. 197:
Gemeinsame Handlungsfelder im Bereich Wasserschutz – Naturschutz – Landwirtschaft.

meist verfolgt, ist bei der praktischen Umsetzung vor Ort jedoch bislang nicht die Regel. Daher sind die aus unterschiedlicher fachlicher Sicht abgeleiteten Zielsetzungen und Maßnahmengestaltungen nicht immer deckungsgleich. Abbildung 197 veranschaulicht fachübergreifende gemeinsame Handlungsfelder.

Nachhaltige Wasserentnahme

Absenkungen des Grundwasserstands wirken sich nicht nur auf grundwasserabhängige Biotope und deren Artenzusammensetzung negativ aus. Sondern über den mit dem Wasserstand eng verbundenen Nährstoffhaushalt des Bodens kommt es auch zu Auswirkungen auf die Qualität des Grundwassers. Vor allem bei sensiblen Ökosystemen mit geringen Grundwasserflurabständen können Veränderungen des Grundwasserstands unmittelbare Folgen haben. Grundwasserabhängige Bereiche mit ihren vom (Grund)Wasser abhängigen Lebensräumen sollten deshalb im Rahmen des Schutzkonzepts als Zielflächen für Grundwasserschutzmaßnahmen berücksichtigt werden.

Erosionsschutz

Bodenerosion durch Wind und/oder Wasser kann durch unsachgemäße Bewirtschaftung (z. B. Fehlen schützender Vegetation, Überweidung, Abholzung) entstehen bzw. begünstigt werden. Sie führt, abhängig von der Bodenart, dem Geländere Relief und dem Klima zur Verminderung der Bodendecke. Gleichzeitig führt Erosion auch schon bei relativ geringen Hangneigungen zum Nährstoffabtrag insbesondere in die Oberflächengewässer. Damit kann für die Landwirtschaft eine verminderte Bodenfruchtbarkeit, Ertragsfähigkeit und Nährstoffverlust verbunden sein (s. Kap. 2.3.4). Eine Vermeidung liegt deshalb im gemeinsamen Interesse von Grundwasserschutz, Naturschutz und der Landwirtschaft. Das Zusammenwirken von Grundwasserschutz und Bodenschutz wird ausführlich im Kapitel 4.3 beschrieben.

Nährstoffmanagement

Das Hauptziel des Trinkwasserschutzes in Niedersachsen ist die Vermeidung einer Nitratbelastung des Grundwassers durch die landwirtschaftliche Nutzung. Die Intensivierung der Landwirtschaft ist ein Grund für den Verlust von Agrobiodiversität und damit die Verringerung der biologischen Vielfalt bei Kultur- und Wildpflanzen. Die Verminderung von Nährstoffeinträgen, besonders aus der Düngung, ist deshalb gleichermaßen ein Anliegen des Gewässer- und des Naturschutzes in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft.

Geringer Pflanzenschutzmitteleinsatz

Auch der Einsatz von PSM ist für den Grundwasserschutz und den Naturschutz gleichermaßen relevant. Neben dem Auftreten von PSM-Rückständen im Grundwasser kann es durch den nicht fachgerechten Umgang mit PSM auch zur Verdriftung von Spritzmitteln oder von kontaminierten Beizstäuben in benachbarte Saumbiotope oder Oberflächengewässer kommen. Unerwünschte Nebenwirkungen des PSM-Einsatzes können auch für landwirtschaftliche Flächen selbst ein Problem darstellen (z. B. verminderte Bodenfruchtbarkeit durch die Schädigung von Bodenorganismen). Die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel muss deshalb grundsätzlich auf das absolut notwendige Maß beschränkt werden.

Integrierter Pflanzenschutz und Nationaler Aktionsplan

Gemäß § 3 des Pflanzenschutzgesetzes (BMELV 2012a) darf Pflanzenschutz nur nach Guter fachlicher Praxis durchgeführt werden. Diese beinhaltet die Einhaltung der allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes nach Anhang III der Pflanzenschutz-Rahmenrichtlinie (EU 2009b), die in der EU seit Beginn des Jahres 2014 für alle Anwender von Pflanzenschutzmitteln verbindlich sind. Biologische, pflanzenzüchterische und anbautechnische Verfahren rücken damit stärker in den Vordergrund. Genauer hierzu enthält der Nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, der im April 2013 vorgelegt wurde (BMELV 2013).

Schutz des Grünlands

Grünland hat einen besonders hohen Wert für den Natur-, Gewässer-, Klima- und Bodenschutz. Es beherbergt als Lebensraum mehr als die Hälfte aller in Deutschland vorkommenden Arten. Allerdings ist Grünland nicht gleich Grünland und funktional unmittelbar von der Nutzungsform (s. Kap. 2.4.8 und 2.4.9) und den Standortbedingungen abhängig. Es leistet einen Beitrag zum Erosionsschutz, trägt zur Minderung der Belastung von Gewässern mit Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln sowie zur Verminderung von Kohlendioxidemissionen bei. Besonders gefährdet sind Feuchtgrünland- und Niedermoorbereiche, da eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung dieser Standorte zu nachteiligen Veränderungen im Wasser- und Nährstoffhaushalt führt (BfN 2009).

Dauergrünlanderhaltung

Die Regelungen der EU-Agrarpolitik, insbesondere die Bestimmungen von Cross Compliance (CC) fordern einen besonderen Schutz für landwirtschaftlich genutztes Grünland. Niedersachsen liegt beim CC-relevanten Dauergrünlandanteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche bezogen auf den Referenzwert von 2003 bei über 5% Verlust, so dass der Umbruch mittlerweile genehmigungspflichtig ist (ML 2009a).

Reaktivierung von Feuchtgebieten

Neben der Bewahrung vorhandener Flächen ist die Reaktivierung von Feuchtgebieten ein wichtiges Handlungsfeld des Grundwasserschutzes mit positiven Effekten für den Natur- und Oberflächengewässerschutz.

Ursprünglich grundwassernahe Niederungsböden weisen häufig große natürliche N-Vorräte in Form von Niedermoortorf bzw. humusreichen mineralischen Bodenhorizonten auf. Bei der Grundwasserabsenkung durch Entwässerungsmaßnahmen oder Grundwasserentnahme kommt es zu einer beschleunigten Mineralisation der organischen Substanz und damit zu einer N-Freisetzung. Eine intensive landwirtschaftliche Flächennutzung kann diesen Prozess beschleunigen. Bei vollständiger Entwässerung können im Sickerwasser von Niedermoorböden bzw. an der Grundwasseroberfläche Nitratkonzentrationen von bis zu 300 mg NO₃/l gemessen werden. Eine Reaktivierung von Feuchtarealen dient der Verhinderung solcher „Nitratdurchbrüche“ in das Grundwasser. Mit folgenden Maßnahmen kann eine Anhebung des Grundwasserstands erreicht werden:

- Einstellung der Gewässer- und Graben- bzw. Vorfluterunterhaltung
- Einstellung der Teilflächenentwässerung (Rückbau von Dränagen, Schließen von Entwässerungsgräben)
- Vorfluteranstau
- Verringerung der Grundwasser-Entnahme (Trinkwassergewinnung, Feldberegnung)

Die Wiedervernässung von Mooren bzw. die Revitalisierung von Feuchtgebieten führt nicht nur zu einer Senkung der Nitratbelastung, sondern mittelfristig auch zu einer Senkung der diffusen Phosphorbelastung der benachbarten Oberflächengewässer. Aufgrund intensiver landwirtschaftlicher Nutzung der Moore können jedoch auch irreversible bodenphysikalische und bodenchemische Veränderungen aufgetreten sein, die das Risiko erhöhter P-, N- und gelöster organischer Kohlenstoff

(DOC)-Austräge aus wiedervernässten Mooren in angrenzende Gewässer steigern. Bei ungünstigen Eisen (Fe):P-Verhältnissen (> 10) kann die Wiedervernässung anfänglich zu einem erhöhten P-Austrag in den stark zersetzten Torfen aus Mooren führen und so kurzfristig zur Eutrophierung unterliegender Gewässer beitragen (MEINIKMANN et al. 2013). Maßnahmen zur Reaktivierung von Feuchtgebieten erfordern deshalb eine gesamtgebietliche Planung und Steuerung des Wasserhaushalts und der landwirtschaftlichen Flächennutzung.

Aus Sicht des Grundwasser- und Naturschutzes gilt Grünland als optimale Nutzungsform von Feuchtgebieten. Die Grünlandnutzung von Feuchtgebieten bietet folgende Vorteile:

- keine Anregung der Mineralisation durch Bodenbearbeitung
- hohe N-Aufnahme und N-Abfuhr mit dem Mähgut
- flexible Reaktion der Grasnarbe auf das N-Angebot aus der Boden-N-Mineralisation
- Möglichkeit einer stärkeren Anhebung des Grundwasserspiegels als bei Ackernutzung

Praktikable Grundwasserschutzmaßnahmen sind neben einer auf den Standort ausgerichteten Düngeberatung (s. Kap. 2.3.1.5) die Freiwilligen Vereinbarungen zur extensiven Grünlandnutzung (s. Kap. 2.4.8.1) und die Umwandlung von Acker in extensives Grünland oder Feldgras (s. Kap. 2.4.9).

Handlungskonzepte

Zur Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz des Naturhaushalts können die im Folgenden beschriebenen fachübergreifenden Instrumente genutzt werden.

Naturschutzqualifikation

In einigen Landkreisen Niedersachsens wird Landwirten eine kostenlose Beratung in Form der Naturschutzqualifikation zur Verbesserung der Akzeptanz von AUM zum Naturschutz angeboten. Die Naturschutzqualifizierung informiert und unterstützt die Bewirtschafter bei allen Fragen des Vertragsnaturschutzes. Der Abschluss der zum Teil in Bezug auf Gebietskulissen und Maßnahmenbedingungen komplexen Naturschutzmaßnahmen wird durch die Qualifizierung erleichtert. Eine betriebs- und gebietsbezogene Abstimmung mit der WZB ist sinnvoll und steigert die Mitteleffizienz. Bei Maßnahmen mit ähnlicher Wirkungsstruktur kann der Wasserschutz durch die Akzeptanzsteigerung naturschutzfinanzierter Maßnahmen profitieren.

Landschaftsplanung

Umfassende gutachterliche Bestandserhebungen, bewertungen und schutzgutübergreifende Zielbestimmungen sind die Grundlage zur Abschätzung der Folgen von Eingriffen in Natur und Landschaft (z. B. im Rahmen von Genehmigungsverfahren). Sie bieten Steuerungsmöglichkeiten zur Planung von Naturschutzmaßnahmen der Gemeinden, vor allem für die naturbezogene Erholung, die Sicherung der biologischen Vielfalt und den Schutz von Boden, Gewässern und Klima im Gemeindegebiet sowie zur Bildung von Ausgleichsflächen-Pools. Sie bieten außerdem die Möglichkeit, Synergien bei der Umsetzung von Nutzungskonzepten der Gemeinde und der im Planungsgebiet liegenden Zielflächen für den Grundwasserschutz bei der Planung frühzeitig zu nutzen. Falls kein kommunaler Landschaftsplan vorliegt, gibt der Landschaftsrahmenplan Aufschluss. Dieser ist von der zuständigen unteren Naturschutzbehörde aufzustellen und dort erhältlich.

Eingriffsregelung

Die Eingriffsregelung bindet bestimmte Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen an Rechtsfolgen, welche die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts sowie das Landschaftsbild vor Beeinträchtigungen schützen und im Falle der Zulassung des Eingriffs die unvermeidbaren Beeinträchtigungen bestmöglich kompensieren sollen. Können die Eingriffsfolgen nicht kompensiert werden, ist der Eingriff nur zulässig, wenn er vorrangig ist. In diesem Fall tritt an die Stelle von Kompensationsmaßnahmen als Ultima Ratio eine Zahlung, mit der Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu finanzieren sind.

Bereits vor einem Eingriff können Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege im Hinblick auf eine spätere Anrechenbarkeit auf Kompensationspflichten bevorratet werden. Eine solche Bevorratung kann Maßnahmen des Naturschutzes in bestimmte Bereiche lenken, die auch aus Gründen des Schutzes von Grundwasser oder Oberflächengewässern besser geschützt werden sollen. Vorteile können bereits mit einer Bevorratung von Flächen erreicht werden, auf denen später Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen realisiert werden sollen.

Als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen können auch sogenannte produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen in Frage kommen. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen, welche unter Einschluss einer fortdauernden land- oder forstwirtschaftlichen Bodennutzung auf den Schutz oder die Entwicklung bestimmter Funktionen oder Werte von Natur und Landschaft gerichtet sind. Zumeist handelt es sich um Beschränkungen der Nutzung

wie sie auch bei Agrarumweltmaßnahmen vereinbart werden (z. B. zum Schutz der Ackerbegleitflora oder -fauna).

Ein frühzeitiger fachübergreifender Austausch über geplante Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen ermöglicht eine optimale Maßnahmenumsetzung von Grundwasser- oder Naturschutzmaßnahmen. Ein Beispiel hierfür ist das Modell- und Pilotprojekt „Integriertes Wasserschutzgebietsmanagement Deistervorland“ (SAILE et al. 2004).

Gewässerentwicklungsplan

Gewässerentwicklungspläne (GEPI) sind gutachterliche maßnahmen- und umsetzungsorientierte Fachplanungen des Naturschutzes und der Wasserwirtschaft unter Beteiligung der Landwirtschaft. Aufbauend auf einer Bestandsaufnahme (z. B. Hydrologie, Gewässer- und Biotopstruktur, Wasserrechte) und dem Leitbild (naturnaher Zustand) werden Entwicklungsziele formuliert und ortskonkrete Maßnahmen sowie Handlungsempfehlungen zur Erreichung dieser Ziele (z. B. zur Verbesserung der Ufer- und Sohlenstrukturen oder zur Wiedervernässung von Bachauen) vorgeschlagen.

GEPI für ganze Gewässer oder einzelne Gewässerstrecken sind in Niedersachsen ein wesentliches Planungsinstrument für die zielgerichtete Umsetzung des Fließgewässerprogramms. Der GEPI eignet sich auch zur Integration von Grundwasserschutzmaßnahmen in Auenbereichen eines TGG. Über einen begleitenden Arbeitskreis besteht ein Forum, das mit der Trinkwasserschutzkooperation in TGG oder der Gebietskooperation zur Umsetzung von EG-WRRL-Maßnahmen zusammenarbeiten kann.

Flurneuordnung

Ein zielgerichteter Ankauf von Flächen mit Bedeutung für den Grundwasserschutz kann interessant sein, wenn langfristige Maßnahmen zur Verminderung von stofflichen Belastungen in Zielbereichen erforderlich sind. Aufgrund unterschiedlicher Preisvorstellungen, betriebswirtschaftlicher Zwänge oder konkurrierender Nutzungsansprüche ist ein Flächenerwerb nicht immer möglich. Die Flurneuordnung, für die in Niedersachsen die Ämter für regionale Landesentwicklung zuständig sind, kann auf der Grundlage des Flurbereinigungsgesetzes (BMELF 1953) zu einer Lösung beitragen. Damit gewinnt die Flurbereinigung neben der traditionellen Verbesserung der Arbeits- und Produktionsbedingungen in der Landwirtschaft auch für die Erfordernisse der Wasserwirtschaft sowie des Naturschutzes und der Landschaftspflege an Bedeutung. Die Bodenordnung kann bei wertgleicher Abfindung der Teilnehmer zu einer Entschärfung des Nutzungskonflikts in Wasser- und Naturschutzgebieten

beitragen. Durch das fachübergreifende Flächenmanagement im Rahmen der Flurneuordnung können Einzelmaßnahmen gezielter aufeinander abstimmt und so die Umsetzung des Maßnahmenkonzepts im Hinblick auf Akzeptanz und Nachhaltigkeit verbessert werden.

Beispiele für ein integriertes Schutzgebietsmanagement

Neue Wege für Naturschutz, Grundwasserschutz und Landwirtschaft

Im WSG „Fuhrberger Feld“ wurde im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Modellvorhabens ein integriertes Schutzgebietsmanagement entwickelt und umgesetzt. Dabei wurden die Potenziale einer Kooperation zwischen Wasserschutz und Naturschutz unter enger Beteiligung der Landnutzer und Kommunen ausgelotet und ein aus Bausteinen bestehendes Managementsystem entwickelt. Zentrale Bestandteile des Vorhabens waren:

- Prioritätensetzung von Zielen und Maßnahmen
- Informations- und Kommunikationsplattform; geeignete Methoden der Informationsaufbereitung
- Kooperationsformen mit der Landwirtschaft
- Nutzung von Synergien zwischen Grundwasser- und Naturschutz hinsichtlich Maßnahmen und Finanzierungsinstrumenten
- neue Honorierungsansätze für Agrarumweltmaßnahmen
- Konzept für eine Wasser- und Landschaftsagentur (BATHKE et al. 2003)

Integriertes Wasserschutzgebietsmanagement Deistervorland

In drei WSG im Deistervorland wurden zahlreiche Projekte unter Einbeziehung der Interessen aller Akteure im Raum entwickelt, geplant und erfolgreich umgesetzt. Mit Hilfe eines multilateralen Forums wurden Ziele, Schwerpunkte und Entscheidungsfindung gemeinsam betrieben und die Umsetzung über eine frühzeitige Abstimmung der entsprechenden Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten vorangetrieben. Für das Projektgebiet wurde damit eine optimale Vorgehensweise zur Entschärfung von Nutzungskonflikten zwischen Landwirtschaft, Naturschutz, Wasserschutz und Siedlungsentwicklung gefunden. Das Zusammenspiel der unterschiedlichen fachplanerischen Instrumente (u. a. Landschaftsplanung, Flur-

neuordnung) hat sich dabei als zielführend erwiesen (SAILE et al. 2004).

Fördermöglichkeiten

Für eine fachübergreifende Planung und Zielerreichung sind ein effizienter Einsatz von Fördermitteln und die Nutzung einzelner fachbezogener Förderinstrumente unverzichtbare Bausteine. Wichtige Ansätze sind die Überlagerung der Trinkwassergewinnungs- und Wasserschutzgebiete mit den Natur- und Landschaftsschutzgebieten und der Abgleich der Zielgebiete für Förderprogramme. Auf diese Weise können in gemeinsamen Gebietskulissen Maßnahmen fachübergreifend koordiniert werden. Zusätzlich sollten die Fachprogramme des Naturschutzes (z. B. Feuchtgrünland) herangezogen werden. Die Förderkulissen für jeden Feldblock in Niedersachsen und Bremen können mit dem Feldblockfinder der Landwirtschaftskammer Niedersachsen oder mit dem Kartenserver des MU (<http://www.umwelt.niedersachsen.de/service/umweltkarten/>) ermittelt werden. Die Landbewirtschaftler erhalten die Förderkulissen für mögliche Fördermaßnahmen auf den Feldblockkarten auf ihrer ANDI-CD.

Es besteht eine enge Vernetzung zwischen den Fördermöglichkeiten des Landwirtschafts- und des MU in Niedersachsen. Die Basisförderung eines Vorhabens kann im Rahmen der Niedersächsischen und Bremer Agrarumweltmaßnahme (NiB-AUM) (ML/MU 2014) erfolgen, während Vorhaben des Kooperationsprogramms Naturschutz (MU 2008) auf diese Förderung aufbauen beziehungsweise sie ergänzen.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit auf einer landwirtschaftlichen Fläche in TGG Freiwillige Vereinbarungen zum Trinkwasserschutz mit Agrarumweltmaßnahmen zu kombinieren. Dies kann sinnvoll sein, wenn sich bei der Betrachtung der Fachplanungen eine Überlagerung von Ziel- und Förderkulissen ergibt. Eine gute Übersicht und Hilfestellung gibt die Kombinationstabelle des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML), die fortlaufend aktualisiert wird und auf den Internetseiten des ML (www.ml.niedersachsen.de) und des NLWKN abrufbar ist.

Fazit und Ausblick

Die Planung und Umsetzung effizienter Umweltschutzmaßnahmen vor Ort erfordert eine fachübergreifende Zusammenarbeit der Trinkwasserschutzkooperation mit regionalen Entscheidungsträgern aus Behörden, Verbänden und Organisationen.



4.2 Klimaschutz

Synergien zwischen Gewässerschutz und Klimaschutz

Nahezu alle Maßnahmen zum Gewässerschutz haben positive Effekte auf den Klimaschutz. Für viele Maßnahmen lassen sich solche Synergien direkt quantifizieren. Denn die Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2) und Lachgas (N_2O) entstehen als Nebenprodukte der biologischen Umsetzung von Kohlenstoff und Stickstoff in landwirtschaftlichen Böden genauso wie Nitrat und gelöste organische Verbindungen, die auch für den Grundwasserschutz relevant sind. Ebenso wie beim Gewässerschutz lassen sich Treibhausgas-Emissionen wesentlich, aber nicht vollständig durch Bewirtschaftungsmaßnahmen steuern. Ammoniak ist ein indirekt klimawirksames Gas. Es entsteht, wenn Wirtschaftsdünger gelagert und wenn Mineral- oder Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Ammoniak wird vor allem im Hinblick auf die Luftqualität diskutiert. Es hat für die Bewertung von Maßnahmen zur N-Effizienz eine große Bedeutung. Zudem führt Ammoniak zu N-Depositionen aus der Luft, die auch für den Wasserschutz und als Quelle von indirekten N_2O -Emissionen aus eutrophierten naturnahen Ökosystemen relevant sind.

Grundwasserschutz verfolgt in erster Linie lokale Prioritäten im Hinblick auf die Wasserqualität, z. B. für die Trinkwasserversorgung. Gewässerschutz hat aber mit den Anforderungen an die Qualitätsziele der Übergangs- und Küstengewässer der Nord- und Ostsee auch immer eine globale Dimension. Demgegenüber ist Klimaschutz immer ein überregionales Thema. Daher sollten Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft stärker darauf zielen, Emissionen ertrags- und produktbezogen zu mindern statt auf einzelnen Flächen. Denn wenn die Nachfrage nach landwirtschaftlichen Erzeugnissen unverändert hoch ist, sich die Produktion durch Klimaschutzmaßnahmen aber verringert, verlagert sich wahrscheinlich nur die Produktion und die mit ihr verbundenen Emissionen. Maßnahmen zur Ressourceneffizienz, wie zum Beispiel die gewässerschonende Aufbringung von

Wirtschaftsdüngern, reduzieren dagegen Emissionen, ohne dass die Produktion verlagert wird. Eine Ausnahme von dieser Regel sind humusreiche und entwässerte Standorte, die ein besonders hohes Freisetzungspotenzial von Treibhausgasen haben. An diesen Standorten sind Klimaschutzmaßnahmen besonders effektiv, selbst wenn erhebliche Produktionseinschränkungen in Kauf genommen werden müssen. Denn die Produktionsverlagerung auf emissionsärmere Standorte gefährdet die positive Gesamtwirkung der Klimaschutzmaßnahmen an Hoch-Emissions-Standorten nicht.

Gewässerschutz und Klimaschutz richten sich also beide auf die Erhöhung der N-Effizienz und die Erhaltung von grundwassernahen und noch nicht entwässerten humusreichen Standorten. Im Folgenden werden die Synergien zwischen den im Anwenderhandbuch in Kapitel 2.5 beschriebenen Maßnahmen zum Grundwasserschutz und Klimaschutz spezifisch beschrieben. Die Bewertung stützt sich weitgehend auf die detaillierten Berechnungen von FLESSA et al. (2012) für Niedersachsen, berücksichtigt aber auch weitere Forschungsergebnisse und Emissionsfaktoren nach dem Methodenhandbuch des Weltklimarats IPCC (2006).

Die im Anwenderhandbuch beschriebenen Freiwilligen Vereinbarungen können im Hinblick auf ihre weiteren Effekte für den Klimaschutz und die Luftreinhaltung qualitativ bewertet werden (s. Tab. 69). Dabei werden die Minderungspotenziale für die Treibhausgase CO_2 und N_2O einzeln und summarisch bewertet. Ebenso werden die Minderungspotenziale für Ammoniak bewertet, das als Luftschadstoff und indirektes Treibhausgas wirkt. Die Bewertung erfolgte im Rahmen eines Experten-Workshops 2014 unter Beteiligung des LBEG, der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, der Ingenieurbüros der Wasserschutzzusatzberatung, des Thünen-Instituts und des NLWKN (s. Kap. 4.4).

Tab. 69: Bewertung von FV unter den Aspekten Klimaschutz und Luftreinhaltung

Umweltbewertung	Klima / Luft			
	THG Minderung CO ₂	THG Minderung N ₂ O	Gesamtbewertung	Minderung Ammoniak-Emissionen (NH ₃)
Maßnahmenübersicht: Bewertung: ++ sehr positiv; + positiv; 0 neutral; - negativ; k.A. keine Angabe				
Maßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen) entsprechend notifiziertem MU-Maßnahmenkatalog (MU 2007)	-/0/+/++/k.A.	-/0/+/++/k.A.	-/0/+/++/k.A.	-/0/+/++/k.A.
I.A) Zeitliche Beschränkung der Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger	0	+	+	-
I.B) Verzicht auf den Einsatz tierischer Wirtschaftsdünger	0	0	0	0
I.C) Gewässerschonende Aufbringung von Wirtschaftsdüngern	0	+	+	++
I.D) Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen	+	+	+	0
I.E) Aktive Begrünung				
I.E a) Zwischenfruchtanbau, Untersaaten	+	k.A.	+	0
I.E b) Brachebegrünung	+	+	+	0
I.F) Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung	+	0	+	0
I.G) Extensive Bewirtschaftung von Grünland	+	+	+	+
I.H) Umbruchlose Grünlanderneuerung	++	++	++	0
I.I) Reduzierte N-Düngung	++	++	++	0
I.J) Reduzierte Bodenbearbeitung	0	0	0	0
I.K) Maisengsaat ¹⁾	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
I.L) Unterfußdüngung (rein mineralisch)	0	0	0	0
I.M) Einsatz stabilisierter N-Dünger	0	0	0	0
I.N) Reduzierter Herbizideinsatz	0	0	0	0
I.O) Ökologischer Landbau	+	0	+	0
II) Umwandlung von Acker in extensives Grünland/-extensives Feldgras	++	++	++	+
III) Erosionsschutz Forst	0	0	0	0
IV) Waldumbau	0	0	0	0

¹⁾ ab 2014 keine Förderung gem. MU-Maßnahmenkatalog

Beratung zur Düngung

Die Wasserschutzzusatzberatung mit ihrer besonderen Herangehensweise an düngungs- und produktionstechnische Fragen zielt auf eine erhöhte Nährstoffeffizienz und reduzierte N-Überschüsse ab. Die Verminderung ertragsunwirksamer Nährstoffüberschüsse bedeutet direkt auch weniger NH₃ und N₂O. Die Effekte sind aber wegen Unsicherheiten bei der Ermittlung der N-Salden nicht ohne weiteres in der Praxis nachweisbar. Wenn sich gleichzeitig betrieblich oder überbetrieblich die Mengen an N-Dünger reduzieren, ist die Reduktion der Treibhaus-

gas-Emissionen auch quantitativ durch vier verschiedene Wirkmechanismen erfassbar:

1. Direkt in den gedüngten Böden gebildete N₂O-Emissionen (6,1 kg CO₂-Äq./kg N; FLESSA et al. 2012)
2. Über den Sickerwasser- oder Oberflächengewässerspfad ausgetragenes Nitrat bildet indirekt an anderer Stelle N₂O-Emissionen (0,4 kg CO₂-Äq./kg N; IPCC 2006)

3. Ammoniakemissionen bei der Düngerausbringung und indirekt an anderer Stelle aus der verursachten N-Deposition gebildete N₂O-Emissionen. In Abhängigkeit von der Ausbringungsart und Düngerform treten bei Wirtschaftsdüngern Emissionen bis zu 1,5 kg CO₂-Äq./kg N auf. Bei N-Mineraldüngern liegen die Emissionen je nach Düngerform bei (bis 0,05 – 0,5 kg CO₂-Äq./kg N (nach UBA 2014a)
4. Emissionen durch den Energieaufwand und Prozesse bei der Herstellung von N-Mineraldüngern (7,5 kg CO₂-Äq./kg N; FLESSA et al. 2012)

Zum Umgang mit organischen Nährstoffträgern siehe auch „Maßnahmen zur Wirtschaftsdüngung“. Betriebliches und überbetriebliches Nährstoffmanagement unterstützen die Verbesserung der regionalen Nährstoffsalden, die letztlich für den Klimaschutz entscheidend sind.

Eine hohe N-Nachlieferung aus der Umsetzung der organischen Bodensubstanz ist vor allem bei humusreichen und entwässerten Böden zu erwarten. Drainierte organische Böden, zum Beispiel Moorböden, sind Hotspots für Treibhausgase. Der Torfkörper wird mineralisiert und Stickstoff wird ausgewaschen. Nach IPCC (2014) emittieren drainierte organische Böden unter Ackernutzung jährlich ca. 35,3 t CO₂-Äq./ha/a. Drainierte organische Böden unter Grünland, die tiefer als 30 cm drainiert sind, emittieren ca. 26,4 t CO₂-Äq./ha/a. Die enormen Treibhausgas-Emissionen aus diesen Flächen können nur reduziert werden, wenn die Dränagetiefe saisonal oder besser ganzjährig reduziert wird.

Hier stellt sich für alle Akteure eine besondere Herausforderung bei der Bewertung und der anschließenden Vermittlung einer dem Standort angepassten Bewirtschaftungsintensität. Dabei sind gleichermaßen der Gesetzgeber, die Fachbehörden, die Beratung und letztlich die Landwirte selbst aufgerufen, einen konsequenten Beitrag zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Boden zu leisten. Die negativen Folgen der Moorentwässerung des 20. Jahrhunderts sind den betroffenen Praktikern nur allzu gut bekannt, wenn in der Folge eine Torfvermullung, der erhebliche Substratverlust und die Störung der Ablagerungsfolge letztlich die Ackernutzung dieser sensiblen Standorte zunehmend unwirtschaftlicher werden lassen (LAMPE et al. 2009). Ein erster Beitrag zur Emissionsminderung wird geleistet, wenn auf diesen sensiblen Standorten zumindest die N-Nachlieferung bei der Düngeplanung berücksichtigt wird.

Maßnahmen zur Stickstoffdüngung mit Mineraldüngern

Reduzierte N-Düngung mit Mineraldüngern spart bei dem derzeit in Deutschland eingesetzten Mineraldünger mix pro kg N-Mineraldünger im Mittel rund 17,5 kg CO₂-Äq./kg N ein (FLESSA et al. 2012). Für andere Maßnahmen wie zum Beispiel dem Einsatz von stabilisierten N-Düngern ist die Datenbasis bisher noch nicht ausreichend für eine gesicherte Bewertung der Treibhausgas-Wirksamkeit.

Maßnahmen zur Wirtschaftsdüngung

Stickstoff in Wirtschaftsdüngern effizienter zu nutzen, ist wichtig für den Klimaschutz. Denn wenn mehr Stickstoff im landwirtschaftlichen Nährstoffkreislauf bleibt und dies bei der Düngung berücksichtigt wird, kann der Einsatz von Mineraldünger entsprechend reduziert werden. Diesem Zusammenhang kommt in Niedersachsen aufgrund des erheblichen Wirtschaftsdüngeranfalls im Nordwesten eine herausragende Bedeutung zu. Die sowohl im Nährstoffbericht 2012/13 (LWK NIEDERSACHSEN 2013g) als auch im Bericht zum Basis-Emissionsmonitoring (LBEG 2013) aktuell dargestellten Nährstoffbilanz-Überschüsse von bis zu 90 kg Stickstoff/ha und Jahr lassen sich nach einhelliger Einschätzung der Fachleute vor allem dadurch begrenzen, indem der Ausnutzungsgrad des Stickstoffs der organischen Nährstoffträger erheblich gesteigert wird. In der Folge werden auch die N-Überschüsse reduziert, indem gezielt Wirtschaftsdünger statt Mineraldüngern eingesetzt werden.

Wirtschaftsdünger emissionsarm zu lagern und auszubringen, bietet bundesweit das größte Potenzial zur NH₃-Emissionsminderung. Die gewässerschonende Aufbringung von Wirtschaftsdüngern reduziert NH₃-Emissionen und indirekt daraus entstehende N₂O-Emissionen erheblich und ist eigentlich Stand der Technik. Direkte N₂O-Emissionen werden nur dann reduziert, wenn die im Boden verbleibende N-Menge bei der Düngegabe berücksichtigt wird.

Auch die bedarfsgerechte Düngung auf der Basis von Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen macht den Düngeinsatz effizienter. Die zeitliche Beschränkung der Ausbringung tierischer Wirtschaftsdünger mindert das Risiko für N₂O-Emissionen im Winterhalbjahr, in dem ein Großteil der N₂O-Freisetzung stattfinden kann. Der Effekt ist aber stark standort- und witterungsabhängig und kann nicht quantifiziert werden.

Der Verzicht auf den Einsatz von im Betrieb vorhandenem, tierischem Wirtschaftsdünger ist, im Gegensatz zur Gewässerschutzwirkung, für den Klimaschutz kontraproduktiv, wenn stattdessen Mineraldünger eingesetzt

werden (siehe Maßnahmen zur N-Düngung mit Mineraldüngern).

Begrünungsmaßnahmen

Begrünungsmaßnahmen umfassen Zwischenfruchtanbau, Untersaaten und Brachen. Sie tragen zu einer positiven Humusbilanz bei. Nur wenn dauerhaft Begrünungsmaßnahmen erfolgen, kann Kohlenstoff im Boden gespeichert werden. Werden sie unterbrochen, wird der zusätzlich gespeicherte Kohlenstoff wieder frei. Die Kohlenstoffsequestrierung ist – anders als alle bisher beschriebenen Maßnahmen – reversibel. Als Faustzahl kann gelten, dass durch Begrünungsmaßnahmen ca. 1 t CO₂/ha/a zusätzlich in Ackerböden gespeichert werden kann (FREIBAUER et al. 2004), das aber in jedem Jahr ohne Maßnahme wieder frei wird. Die Wirkung von Begrünungsmaßnahmen auf N₂O-Emissionen ist widersprüchlich und daher nicht eindeutig bewertbar. Wird die Düngewirkung der Zwischenfrüchte bei der Folgekultur berücksichtigt, kann entsprechend Dünger eingespart werden. Werden Leguminosen eingesetzt, gibt es eine eindeutige N₂O-Emissionsminderung durch die Einsparung von Mineraldüngern, denn die N-Fixierung durch Leguminosen setzt kein N₂O frei.

Reduzierte Bodenbearbeitung

Eine reduzierte Bodenbearbeitung wirkt sich unterschiedlich aus und sie ist daher nicht eindeutig bewertbar. Direkte N₂O-Emissionen können steigen, weil sich die Oberböden bei reduzierter Bodenbearbeitung verdichten. In älteren Studien wurde eine Kohlenstoffsequestrierung durch die geringere Störung des Bodens postuliert. Dies hat sich aber in neueren Studien unter deutschen Klimabedingungen nicht bestätigt, da der Kohlenstoff im Bodenprofil vor allem umverteilt wird. Der geringere Dieseleinsatz bei reduzierter Bodenbearbeitung hat einen nachweisbaren, wenn auch geringen Klimaschutzeffekt. Er liegt gegenüber der Bodenbearbeitung mit Pflug zwischen 0,01–0,02 t CO₂-Äq./ha (konservierende Bodenbearbeitung) und ca. 0,16 t CO₂-Äq./ha (Direktsaat; FLESSA et al. 2012).

Grünlandmaßnahmen

Eine Bewertung von Grundwasserschutzmaßnahmen beim Grünland ist nur qualitativ möglich, da wenige Messdaten vorliegen und bei Extensivierungsmaßnahmen Verlagerungseffekte zu beachten sind. Die extensive Bewirtschaftung von Grünland reduziert direkte N₂O-Emissionen. Die umbruchlose Grünlanderneuerung reduziert CO₂-Emissionen aus dem Boden gegenüber der Grünlanderneuerung mit Umbruch.

Bei Grünlandumwandlung zu Acker gehen 36 % des Humusvorrats im Oberboden verloren (POEPLAU et al. 2011). Dies entspricht im Mittel 150 t CO₂-Äq./ha verteilt über 20 Jahre. Bei humusreichen Böden kann dieser Verlust auch mehr als doppelt so hoch sein. Begleitende Maßnahmen zum Grundwasserschutz bei ansonsten unvermeidbarem Grünlandumbruch können daher helfen, die sehr hohen N-Überschüsse einzudämmen. Da diese Maßnahmen aber die hohen Kohlenstoffverluste nicht beeinflussen können, bleiben sie für den Klimaschutz letztlich unerheblich. Im Hinblick darauf sind Grünlandumbruch und Grünlandumwandlung zu Acker besonders auf humusreichen Standorten dringend zu vermeiden.

Umwandlung von Acker in extensives Grünland oder extensives Feldgras

Die Umwandlung von Acker zu Extensivgrünland reduziert die Nitratauswaschung und damit auch indirekte N₂O-Emissionen. Sie führt zu einer langsamen Anreicherung von organischem Bodenkohlenstoff über einen Zeitraum von über 100 Jahren (POEPLAU et al. 2011) umgekehrt zu den Gesamtmengen beim Grünlandumbruch zu Acker. Bei der Extensivierung sind Verlagerungseffekte durch Intensivierung auf anderen Flächen zu beachten. Dadurch ist die Gesamtwirkung für den Klimaschutz nicht eindeutig bewertbar.

Drainierte organische Böden stellen aufgrund der nachfolgenden Zusammenhänge einen Sonderfall dar. Eine Voraussetzung dafür, dass Flächen mit potentiell höheren Wasserständen klimafreundlicher bewirtschaftet werden können, ist die Umwandlung von Acker in Extensivgrünland. Die daraufhin mögliche Anhebung des Wasserstands kann zur Vermeidung von jährlich über 30 t CO₂-Äq./ha/a Treibhausgasen beitragen.

Weitere Maßnahmen zum Gewässerschutz

Alle anderen Maßnahmen zum Grundwasserschutz gemäß Kapitel 2.4 sind bezüglich der Klimaschutzwirkung neutral oder nicht eindeutig bewertbar.

Instrumente für die Erfolgskontrolle

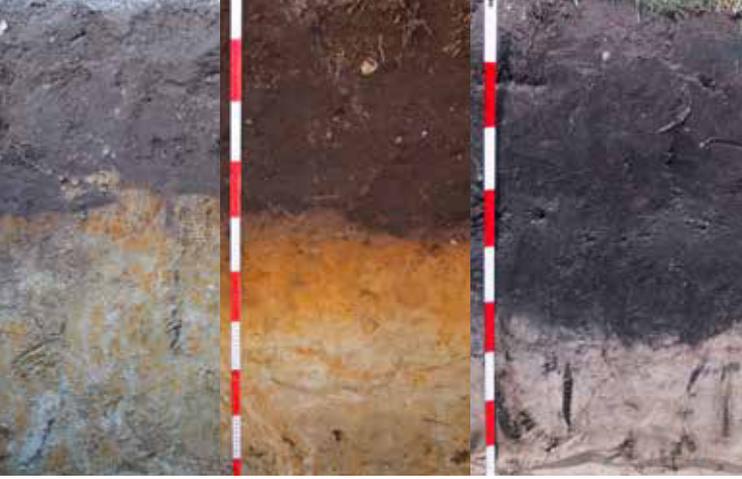
Regionale und betriebliche Nährstoffsalden und Düngermengen sind die wichtigste Kenngröße für Erfolgskontrollen im Klimaschutz. Das Instrument der Nährstoffbilanzierung auf Schlag- und Betriebsebene ist dafür bestens geeignet. Für die Klimaschutzwirkung sollten zusätzlich Indikatoren für eine effiziente Nährstoffverwertung angewendet werden, die die Input/Output-Relationen betrachten, z. B. die N-Ausnutzung. Produktbezogene Treibhausgasemissionen landwirtschaftlicher Güter sind ein Indikator für eine klimafreundliche Produktion. Sie

werden mit Hilfe von Ökobilanzen bzw. Lebensweganalysen oder für den Agrarsektor insgesamt über die umweltökonomischen Gesamtrechnungen ermittelt. N₂O hat einen hohen Anteil an der Emissionsbelastung landwirtschaftlicher Produkte.

Auf organischen Böden sind zudem Veränderungen in den Wasserständen zu kontrollieren, da die Anhebung des Grundwasserstands in organischen Böden die größte dauerhafte Klimaschutzwirkung pro Hektar bringt.

Fazit

- Die Grundwasserschutzmaßnahmen zur Reduzierung des Düngereinsatzes sind für Klimaschutz und Luftreinhaltung positiv zu bewerten.
- Die Begrünungsmaßnahmen sind für den Klimaschutz positiv und für die Luftreinhaltung neutral zu bewerten.
- Grundwasserschutzmaßnahmen im Rahmen der Bodenbearbeitung und im Wald können auch zu positiven Effekten für den Bodenschutz führen.
- Maßnahmen zur Verminderung des Herbizideinsatzes sind im Allgemeinen für den Klimaschutz und die Luftreinhaltung neutral zu bewerten. Allerdings führt der Verzicht auf chemische Umbruchverfahren mit Totalherbiziden auch zur Vermeidung der ansonsten stark erhöhten Treibhausgasemission aufgrund des kurzfristigen Absterbens der gesamten Biomasse (VELTHOF et al. 2010).



4.3 Bodenschutz

Kurzcharakteristik

Bodenschutz bedeutet vor allem die Erhaltung der umfassenden Bodenfunktionen. Hierunter werden z. B. die natürlichen Bodenfunktionen als Lebensraum, Filter und Puffer sowie als Regelgröße beim Ab- und Umbau von Stoffen im Naturhaushalt verstanden. Sie stehen in enger Beziehung zur Nutzung der Böden und zu den Nutzungsfunktionen, allen voran der landwirtschaftlichen Nutzung (UBA 2014b). In diesem Kapitel wird die Bedeutung des Bodenschutzes sowie dessen Funktion im Rahmen des Grund- und Oberflächengewässerschutzes thematisiert. Es wird auf bestehende Synergien dieser Schutzziele hingewiesen und verdeutlicht, dass die Umsetzung einer gewässerschonenden Landwirtschaft vielfach positiv auf die Erhaltung der Bodenschutzfunktionen wirkt, bzw. dass diese eine bodenschonende Flächennutzung impliziert.

Es erfolgt eine Bewertung der derzeit gültigen Freiwilligen Vereinbarungen zum Schutz des Grundwassers hinsichtlich der Effekte für den Bodenschutz. Weitere konkrete Hinweise zur Umsetzung von Maßnahmen zur Bodenbearbeitung sind den folgenden Kapiteln zu entnehmen:

- Beratung zur Bodenbearbeitung: Kapitel 2.3.4
- Umsetzung von Maßnahmen zur reduzierten Bodenbearbeitung: Kapitel 2.4.2
- Reduzierte Bodenbearbeitung nach Mais: Kapitel 2.4.2.1
- Reduzierte Bodenbearbeitung nach Raps: Kapitel 2.4.2.2

Bodenschutz im Spannungsfeld Landwirtschaft und Wasserschutz

Der Boden ist eine zentrale Lebensgrundlage und eine nur bedingt wiederherstellbare Ressource. Stoffliche und nicht stoffliche Belastungen beeinflussen zunehmend die Bodenfunktionen und schränken sie ein. Zu den

stofflichen Belastungen gehören zum Beispiel Nähr- und Schadstoffe aus der Atmosphäre und der Landwirtschaft sowie lokale Kontaminationen und Altlasten. Stoffliche Belastungen können zu einem Überangebot von Nährstoffen und zur Versauerung von Böden und Ökosystemen beitragen. Zu den nicht stofflichen Belastungen gehören neben dem direkten Verbrauch von Boden und Fläche (Bebauung, Versiegelung) die Bodenerosion durch Wasser und Wind sowie die Bodenverdichtung. Diese Belastungen werden vor allem durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung verursacht und sie können sich negativ auf die unterschiedlichen Bodenfunktionen auswirken bis hin zum Verlust der Bodenfruchtbarkeit. Auch der Klimawandel beeinflusst die Entwicklung von Böden und kann die Risiken für Böden erhöhen, z. B. durch steigende Temperaturen und veränderte Niederschlagsmengen (UBA 2014b).

Die Landwirtschaft nimmt hier eine vielseitige Rolle ein. Sie ist der mit Abstand größte Flächennutzer und trägt dadurch ein hohes Maß an Verantwortung für den Schutz der Bodenfunktionen sowie für das Wirkungsgefüge zwischen Tieren, Pflanzen, Luft und Wasser. Intakte Umweltbedingungen sind die Grundlage und die Voraussetzung für eine verlässliche Landwirtschaft, gleichzeitig kann die Landwirtschaft aber auch Verursacher von Umweltbelastungen sein. Durch den Einsatz angepasster Bewirtschaftungsmethoden kann die Landwirtschaft aber auch einen erheblichen Beitrag zum Erhalt der Bodenfunktionen liefern.

Empfehlungen zum Bodenschutz

Ein wichtiges Ziel des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG, BMU 1998) ist der „Erhalt der Bodenfunktion als Standort für den Anbau von Nutzpflanzen“. Zum dauerhaften Erhalt der Bodenqualität und damit auch der Bodenfruchtbarkeit ist die chemische, physikalische und biologische Bodenbeschaffenheit zu schützen. Dazu sind im BBodSchG (Vierter Teil § 17) die Anforderungen an die Gute fachliche Praxis festgelegt, woraus sich die Vorgaben zur Minderung des Erosionsrisikos, der Vermeidung

von Schadverdichtungen sowie zum Erhalt optimaler Humusgehalte ableiten (UBA 2008a, DWA 2010):

- Erzielung einer hohen Bodenbedeckung z. B. durch Zwischenfrüchte, Untersaaten, Wahl von Kulturen mit engem Reihenabstand, Engsaat bei Mais und Bestellung quer zum Hang
- Technischen Möglichkeiten zur Erosionsvermeidung wie der Einsatz von Verfahren zur nicht wendenden Bodenbearbeitung, Mulch- oder Direktsaat sollten genutzt werden. Wo möglich ist auf die Herbstfurche zugunsten einer Frühjahrsfurche bei den Sommerungen zu verzichten.
- Anbausysteme mit positiver Humusbilanz sollten gewählt werden. Hierbei sind Winterungen günstiger als Sommerungen zu bewerten. Der Anbau von Humusmehrern wie Zwischenfrüchten und die angepasste Rückführung von organischen Düngern bzw. Koppelprodukten wird bevorzugt.
- Vermeidung von Bodenschadverdichtungen, z. B. durch angepasste Technik und Untersaaten
- Hinweis: Zu hohe Humusgehalte erhöhen durch die Freisetzung von Stickstoff aus der Mineralisation der organischen Substanz das Risiko von unerwünschten N- Austrägen in die Gewässer und sind deshalb zu vermeiden.

Zu Rechtlichen Grundlagen, Risiken und vertiefenden Beratungsempfehlungen siehe Kapitel 2.3.4 und 2.4.2.

Bewertung von Grundwasserschutzmaßnahmen unter dem Aspekt Bodenschutz

Die im Anwenderhandbuch beschriebenen Freiwilligen Vereinbarungen sollen im Hinblick auf ihre weiteren Effekte hinsichtlich des Schutzguts Boden qualitativ bewertet werden (s. Tab. 70). Dabei wird der Schwerpunkt auf die Bewertung der Minderungspotenziale von Wind- und Wassererosion sowie des Erhalts der Humusbilanz gelegt. Da die Bewertungen hinsichtlich Erosion durch Wind und Wasser gleich ausgefallen sind, werden beide Ursachen der Erosion zusammenfassend wiedergegeben. Die Bewertung erfolgte im Rahmen eines Experten-Workshops 2014 unter Beteiligung des LBEG, der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, der Ingenieurbüros der Wasserschutzzusatzberatung, des Thünen-Instituts und des NLWKN (s. Kap. 54.4).

Deutliche Synergieeffekte zwischen Wasser- und Bodenschutz ergeben sich bei den Begrünungsmaßnahmen (I.Ea+b, II). Der Zwischenfruchtanbau, Untersaaten,

Brachebegrünung und die Umwandlung von Acker in extensives Grünland/Feldgras mindern Stoffeinträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer und gleichzeitig entfaltet die fast ganzjährige Pflanzendecke eine erosionsmindernde Wirkung im Sinne des Bodenschutzes. Der Einfluss der genannten Maßnahmen auf die Humusbilanz ist positiv.

Ebenfalls positiv für den Bodenschutz stellen sich die Maßnahmen Erosionsschutz Forst (III) und Waldumbau (IV) dar. Gleichzeitig trägt der Erosionsschutz Forst vor allem zum Oberflächengewässerschutz bei und der Waldumbau kann hinsichtlich des Grundwasserschutzes positiv bewertet werden.

Positive Effekte hinsichtlich des Bodenschutzes aber eine nur neutrale Bewertung für den Grundwasserschutz werden für die Maßnahme der Maisengsaat (I.K) konstatiert. Die Maisengsaat wird daher ab 2014 aus dem MU-Maßnahmenkatalog gestrichen und nicht mehr gefördert. Hinsichtlich der Vermeidung erosiver Einträge (RECKLEBEN 2009) zum Schutz der Oberflächengewässer vor Sedi-ment- und Phosphateinträgen stellt die Engsaat von Mais einen Vorteil gegenüber einer Breitsaat dar. Mit Wirkung vom 1. Juli 2010 sind im Rahmen der Cross Compliance (CC) – Regelungen Bestimmungen zur Minderung der Erosionsgefährdung von bestimmten ackerbaulich genutzten Flächen in Kraft getreten. Die wesentlichen Durchführungsbestimmungen dazu finden sich in der Verordnung (EG) Nr. 1122/2009 (EU 2009d). Einzelne Bundesländer haben für die Praxis umfangreiche Broschüren und Merkblätter dazu veröffentlicht (z. B. LWK NRW, 19.12.2013). In NRW dürfen demnach z. B. Ackerfeldblöcke einer hohen Erosionsgefährdungsklasse zu Wasser vom 01.12. bis 15.02. nicht mehr gepflügt werden. Diese Anforderungen werden aufgrund der beschriebenen gleich gerichteten Wirkungen der Maßnahmen auch in der niedersächsischen Wasserschutzzusatzberatung berücksichtigt: Für winderosionsgefährdete Flächen wird z. B. der Anbau von Reihenkulturen nur noch mit Untersaaten oder mit max. 37,5 cm Reihenabstand empfohlen (LWK NORDRHEIN-WESTFALEN 2013a).

Positiv für den Grundwasserschutz aber nur neutral auf den Bodenschutz wirken die Maßnahmen zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern (I.A – I.D), sowie Extensivierungsmaßnahmen (I.G) und Maßnahmen zum Einsatz von Düngern und Herbiziden (I.L – I.N).

Positiv für den Grundwasserschutz aber negativ für die Humusbilanz und neutral hinsichtlich der Erosionsminderung wirkt der Verzicht auf den Einsatz tierischer bzw. organischer Wirtschaftsdünger (I.B).

Die Ergebnisse der Bewertung sind in der nachfolgenden Tabelle 70 zusammengefasst.

Tab. 70: Umweltbewertung der Freiwilligen Vereinbarungen aus Sicht des Bodenschutzes

Umweltbewertung	Boden		
	Erosion (Wasser & Wind)	Humusbilanz	Gesamtbewertung
Maßnahmenübersicht: Bewertung: ++ sehr positiv; + positiv; 0 neutral; - negativ; k.A. keine Angabe			
Maßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen) entsprechend notifiziertem MU-Maßnahmenkatalog (MU 2007)	-/0/+ /++/k. A.-		
I.A) Zeitliche Beschränkung der Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger	0	0	0
I.B) Verzicht auf den Einsatz tierischer Wirtschaftsdünger	0	-	-
I.C) Gewässerschonende Aufbringung von Wirtschaftsdüngern	0	0	0
I.D) Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen	0	0	0
I.E) Aktive Begrünung			
I. E a) Zwischenfruchtanbau, Untersaaten	++	+	++
I. E b) Brachebegrünung	++	+	++
I.F) Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung	+	+	+
I.G) Extensive Bewirtschaftung von Grünland	0	0	0
I.H) Umbruchlose Grünlanderneuerung	+	+	+
I.I) Reduzierte N-Düngung	0	0	0
I.J) Reduzierte Bodenbearbeitung	+	0	+
I.K) Maisengsaat ¹⁾	+	0	+
I.L) Unterfußdüngung (rein mineralisch)	0	0	0
I.M) Einsatz stabilerter N-Dünger	0	0	0
I.N) Reduzierter Herbizideinsatz	0	0	0
I. O) Ökologischer Landbau	0	+	+
II) Umwandlung von Acker in extensives Grünland / extensives Feldgras	++	++	++
III) Erosionsschutz Forst	++	+	++
IV) Waldumbau	+	+	+

¹⁾ ab 2014 keine Förderung gem. MU-Maßnahmenkatalog

Fazit

- Die Begrünungsmaßnahmen sowie die waldbaulichen Maßnahmen zeigen auch positive Effekte für den Bodenschutz.
- Die Grundwasserschutzmaßnahmen zur Reduzierung des Dünger- oder Herbizideinsatzes sind hinsichtlich des Bodenschutzes neutral zu werten.
- Die Reduktion des Einsatzes von organischen Düngern kann durch die damit einhergehende Reduzierung einer zusätzlichen Humusbildung dazu führen, dass diese Grundwasserschutzmaßnahme die Ziele des Bodenschutzes nicht noch zusätzlich unterstützt.



4.4 Die Maßnahmenwirkung im Überblick

Für eine umfassende Effizienzbewertung der Maßnahmen und ein besseres Umweltsystemverständnis, aber auch als Entscheidungsgrundlage für eine gezielte Steuerung der Einzelmaßnahmen wurde die Wirkung der Freiwilligen Vereinbarungen auf die Umweltmedien untersucht (s. Kap. 4.1 bis 4.3).

Bei dem Experten-Workshop im NLWKN mit Beteiligung des LBEG, der LWK Niedersachsen, der Ingenieurbüros der Wasserschutzzusatzberatung und des Thünen-Instituts erfolgte eine Einschätzung der Maßnahmenwirkung.

Als Referenz für die Bewertung der Maßnahmenwirkung wurde immer die Fläche ohne Maßnahme betrachtet. Die Bewertung erfolgte bei gleicher Gewichtung der einfließenden Faktoren durch Mittelwertbildung (z. B. N_{\min} - oder N-Saldo). Im Folgenden werden die Bewertungsergebnisse für die Umweltmedien Grundwasser, Oberflächengewässer, Boden, Klima/Luft und Naturschutz dargestellt.

Ergebnisse zur Maßnahmenwirkung auf das Grundwasser

Für die Bewertung der Wirkung auf das Grundwasser wurden nur der Herbst- N_{\min} und der N-Saldo herangezogen, da die Maßnahmen vor allem auf eine N-Minderung ausgerichtet sind. Als zusätzliches Kriterium wurde die Wirksamkeit zur Minderung des PSM-Eintrags bewertet. Eine besonders positive Wirkung auf das Grundwasser geht von den Maßnahmen zur Brachebegrünung, gewässerschonenden Fruchtfolgegestaltung, der umbruchlosen Grünlanderneuerung, der reduzierten N-Düngung, dem ökologischen Landbau und der Umwandlung von Acker in extensives Grünland / extensives Feldgras aus (s. Tab. 71). Zu berücksichtigen ist, dass es je nach Ausgestaltung der Maßnahmen zu Unterschieden bei der Maßnahmenwirkung kommen kann. Auch die Wirkung der Zwischenfrucht/Untersaat wurde diskutiert. Eine optimale

Wirkung zeigen Zwischenfrüchte ohne Düngung. Als problematisch wird das Totspritzen der winterharten Zwischenfrüchte in Bezug auf eine mögliche PSM-Belastung angesehen. Die Maßnahmen zur Wirtschaftsdünger- ausbringung sollten über die Anforderungen der Guten fachlichen Praxis hinaus neu ausgerichtet werden, um weitergehende Effekte zu erreichen.

Ergebnisse zur Maßnahmenwirkung auf Oberflächengewässer

Für die Auswirkungen von FV auf Oberflächengewässer wurden die Parameter „Minderung Stoffeintrag Nitrat“ und „Minderung Stoffeintrag Phosphat“ sowie „Minderung des Sediment- und PSM-Eintrags“ bewertet (s. Tab. 72). Eine sehr positive Wirkung für Oberflächengewässer haben mit Bezug auf die Reduzierung der Abschwemmung und den Erosionsschutz die FV „Brachebegrünung“ und „Umwandlung von Acker in extensives Grünland / extensives Feldgras“.

Ergebnisse zur Maßnahmenwirkung beim Naturschutz

Da die FV mit einer Laufzeit von maximal fünf Jahren eher kurzfristig angelegt sind, werden die Effekte für den Naturschutz lediglich als Intensitätssenkung eingeschätzt. Um Synergien deutlicher als bisher zu erreichen, könnten biotopvernetzende Gewässerschutzmaßnahmen z. B. im Rahmen von Renaturierungsprojekten und Flurbereinigungsmaßnahmen sowie zielgerichtete forstliche Maßnahmen und FV intensiver kombiniert werden (s. Kap. 4.1).

Ergebnisse zur Maßnahmenwirkung auf das Klima

Die Vorgaben der 2001 von der EU eingeführten Richtlinie (RL) über nationale Emissionshöchstmenge für Luftschadstoffe (NEC RL, EG 2001) sind die wesentliche Grundlage für den Klimaschutz. Der Bericht des Umweltbundesamtes (UBA) ergab eine bundesweite Über-

schreitung der Emissionshöchstmenge von rund 26 % (entsprechend rund 300 Kilotonnen (kt) für die Stickoxide (NO_x)), die zu 90 % aus der Landwirtschaft stammen (UBA 2011). Weiterhin muss die Begrenzung der bundesweiten Ammoniakemissionen (NH₃) auf 550 kt sichergestellt werden. Niedersachsen ist besonders gefordert, da aufgrund der hohen Viehbesatzdichten und der damit zusammenhängenden Emissionswege (Haltungsformen, Wirtschaftsdüngerlagerung und Effizienz beim Düngereinsatz) mit ca. 135 kt rund 24 % aller NH₃-Emissionen Deutschlands anfallen. Die derzeitigen Maßnahmenprogramme zum Grundwasserschutz werden regional begrenzt umgesetzt. Für eine Klimabewertung sind überregionale Umweltwirkungen (hier für Ammoniak und

Treibhausgas) von Interesse. Grundsätzlich entscheidend für eine positive Klimawirkung sind die Schaffung integrierter Systeme z. B. langjährige Grünflächen, Düngemanagement mit emissionsarmer Technik (s. Kap. 4.2).

Ergebnisse zur Maßnahmenwirkung auf den Boden

Sämtliche Maßnahmen, die eine Verringerung der Bodenbearbeitung oder die Bodenruhe beinhalten und einen Beitrag zum Erhalt bzw. der Verbesserung der Bodenstruktur, der Humusbilanz und eine Verringerung der Erosion beinhalten, haben eine positive Bodenschutzwirkung (s. Kap. 4.3).

Tab. 71: Auswirkungen von FV auf das Grundwasser

Umweltbewertung	Grundwasser			
	Herbst-N _{min} / N-Fracht	N-Saldo	Gesamtbewertung	Minderung PSM-Eintrag
Maßnahmenübersicht: Bewertung: ++ sehr positiv; + positiv; 0 neutral; - negativ; k.A. keine Angabe				
Maßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen) entsprechend notifiziertem MU-Maßnahmenkatalog	-/0/+/++/k.A.-			
I.A) Zeitliche Beschränkung der Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger	+	+	+	0
I.B) Verzicht auf den Einsatz tierischer Wirtschaftsdünger	+	+	+	0
I.C) Gewässerschonende Aufbringung v. Wirtschaftsdüngern	0	+	+	0
I.D) Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen	0	+	+	0
I.E) Aktive Begrünung				
I. E a) Zwischenfruchtanbau, Untersaaten	++	0	+	0
I. E b) Brachebegrünung	++	++	++	++
I.F) Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung	++	+	++	+
I.G) Extensive Bewirtschaftung von Grünland	+	+	+	+
I.H) Umbruchlose Grünlanderneuerung	++	+	++	0
I.I) Reduzierte N-Düngung	+	++	++	0
I.J) Reduzierte Bodenbearbeitung	+	0	+	-
I.K) Maisengsaat ¹⁾	0	0	0	0
I.L) Unterfußdüngung (rein mineralisch)	+	+	+	0
I.M) Einsatz stabilisierter N-Dünger	+	+	+	0
I.N) Reduzierter Herbizideinsatz	0	0	0	++
I. O) Ökologischer Landbau	++	++	++	++
II) Umwandlung von Acker in extensives Grünland/-extensives Feldgras	++	++	++	++
III) Erosionsschutz Forst	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
IV) Waldumbau	+	+	+	k.A.

1) ab 2014 keine Förderung gem. MU-Maßnahmenkatalog

Tab. 72: Auswirkungen von FV auf Oberflächengewässer

Umweltbewertung	Oberflächengewässer				
	Minderung Stoffeintrag Nitrat	Minderung Stoffeintrag Phosphat	Minderung Sedimenteintrag	Minderung PSM-Eintrag	Gesamtbewertung
Maßnahmenübersicht: Bewertung: ++ sehr positiv; + positiv; 0 neutral; - negativ; k.A. keine Angabe					
Maßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen) entsprechend notifiziertem Maßnahmenkatalog	-/0/+ /++/k.A.-				
I.A) Zeitliche Beschränkung der Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger	++	++	0	0	+
I.B) Verzicht auf den Einsatz tierischer Wirtschaftsdünger	+	+	0	0	+
I.C) Gewässerschonende Aufbringung v. Wirtschaftsdüngern	+	+	0	0	+
I.D) Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen	0	0	0	0	0
I.E) Aktive Begrünung					
I. E a) Zwischenfruchtanbau, Untersaaten	+	++	++	0	+
I. E b) Brachebegrünung	++	++	++	++	++
I.F) Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung	++	+	+	+	+
I.G) Extensive Bewirtschaftung von Grünland	++	+	0	+	+
I.H) Umbruchlose Grünlanderneuerung	++	+	++	0	+
I.I) Reduzierte N-Düngung	+	k.A.	k.A.	0	+
I.J) Reduzierte Bodenbearbeitung	+	+	+	-	+
I.K) Maisengsaat ¹⁾	0	+	+	0	0
I.L) Unterfußdüngung (rein mineralisch)	+	+	0	0	+
I.M) Einsatz stabilisierter N-Dünger	+	0	0	0	0
I.N) Reduzierter Herbizideinsatz	k.A.	k.A.	k.A.	+	+
I. O) Ökologischer Landbau	++	+	0	++	+
II) Umwandlung von Acker in extensives Grünland/-extensives Feldgras	++	++	++	++	++
III) Erosionsschutz Forst	+	+	++	+	+
IV) Waldumbau	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

1) ab 2014 keine Förderung gem. MU-Maßnahmenkatalog

Zusammenfassung der Maßnahmenwirkungen

Die nachfolgende Tabelle 73 fasst die Wirkungsintensitäten auf die verschiedenen Umweltmedien zusammen.

Die Ergebnisse zeigen, dass FV nicht nur eine positive Wirkung auf das Grund- und Oberflächengewässer haben, sondern auch auf die weiteren Umweltschutzgüter Natur, Klima/Luft und Boden. Eine sehr positive Wirkung für alle fünf Umweltschutzgüter wird durch die Umwandlung von Acker in extensives Grünland / extensives Feldgras erreicht. An zweiter Stelle der qualitativen Bewertung folgt die Brachebegrünung, die sich auf drei Umweltschutzgüter sehr positiv auswirkt. Die Gesamt-

übersicht der bewerteten Maßnahmen zeigt aber auch, dass nicht immer Synergieeffekte zwischen den Schutzziele bestehen. Deutlich wird dies z. B. an der Maßnahme „Verzicht auf den Wirtschaftsdüngereinsatz“, die zwar für den Grundwasserschutz positiv bewertet wird, jedoch nicht direkt mit Vorteilen für den Klimaschutz verbunden ist. Es ist daher zunehmend von Bedeutung, dass FV und Agrarumweltmaßnahmen zielgerichtet auf weitere Umweltwirkungen ausgerichtet werden oder durch Maßnahmenkombinationen zwischen den Förderprogrammen Synergien genutzt werden.

Tab. 73: Gesamtbewertung der Auswirkung von FV auf Umweltschutzgüter

Umweltbewertung	Grundwasser	Oberflächen-gewässer	Naturschutz (Arten und Biotope)	Klima/ Luft	Boden
Maßnahmenübersicht: Bewertung: ++ sehr positiv; + positiv; 0 neutral; - negativ; k.A. keine Angabe	Gesamtbewertung				
Maßnahmen (Freiwillige Vereinbarungen) entsprechend notifiziertem Maßnahmenkatalog	-/0/+ /++/k.A.-				
I.A) Zeitliche Beschränkung der Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger	+	+	k.A.	+	0
I.B) Verzicht auf den Einsatz tierischer Wirtschaftsdünger	+	+	k.A.	0	-
I.C) Gewässerschonende Aufbringung v. Wirtschaftsdüngern	+	+	k.A.	+	0
I.D) Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen	+	0	k.A.	+	0
I.E) Aktive Begrünung					
I. E a) Zwischenfruchtanbau, Untersaaten	+	+	k.A.	+	++
I. E b) Brachebegrünung	++	++	+	+	++
I.F) Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung	++	+	k.A.	+	+
I.G) Extensive Bewirtschaftung von Grünland	+	+	++	+	0
I.H) Umbruchlose Grünlanderneuerung	++	+	k.A.	++	+
I.I) Reduzierte N-Düngung	++	+	k.A.	++	0
I.J) Reduzierte Bodenbearbeitung	+	+	k.A.	0	+
I.K) Maisengsaat ¹⁾	0	0	k.A.	k.A.	+
I.L) Unterfußdüngung (rein mineralisch)	+	+	k.A.	0	0
I.M) Einsatz stabilisierter N-Dünger	+	0	k.A.	0	0
I.N) Reduzierter Herbizideinsatz	0	+	k.A.	0	0
I. O) Ökologischer Landbau	++	+	+	+	+
II) Umwandlung von Acker in extensives Grünland/-extensives Feldgras	++	++	++	++	++
III) Erosionsschutz Forst	k.A.	+	k.A.	0	++
IV) Waldumbau	+	k.A.	++	0	+

1) ab 2014 keine Förderung gem. MU-Maßnahmenkatalog



Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick

Der freiwillige kooperative Trinkwasserschutz hat sich in Niedersachsen seit Beginn der neunziger Jahre als geeignetes Instrument zum Ressourcenschutz vor diffusen Stoffbelastungen aus der Landwirtschaft bewährt. Aktuell bestehen landesweit 74 regionale Trinkwasserschutzkooperationen zwischen den örtlichen Wasserversorgungsunternehmen und den in den Trinkwassergewinnungsgebieten (TGG) wirtschaftenden Landwirten. Die fachliche Begleitung der Maßnahmenprogramme und die landesweite Kontrolle der umgesetzten Maßnahmen erfolgt durch den NLWKN (NLWKN 2014d).

Seit 2010 werden die fachlichen und organisatorischen Erfahrungen des Kooperationsmodells auch bei der Umsetzung der EG-WRRL zur Verbesserung der Qualität der diffus mit Stickstoff belasteten Grundwasserkörper genutzt. Die Umsetzung der ergänzenden Maßnahmen gemäß EG-WRRL basiert wie im Trinkwasserschutz auf dem kooperativen Ansatz und dem Prinzip der Freiwilligkeit, wird aber vollständig landesseitig koordiniert. Landesweit bestehen in zehn Beratungsgebieten der Maßnahmenkulisse Nitratreduktion regionale Grundwasserkreise mit Vertretern/innen der Land- und der Wasserwirtschaft und der beauftragten Wasserschutzzusatzberatung.

Im Rahmen des kooperativen Grundwasserschutzes sind mit den ergänzenden Maßnahmen sowohl in den TGG als auch in der Maßnahmenkulisse der EG-WRRL nachweisbare Erfolge, z.B. Senkung von N-Bilanzüberschüssen, erzielt worden. Für Niedersachsen ist daher auch künftig der kooperative Ansatz mit der Wasserschutzzusatzberatung und den begleitenden Flächenmaßnahmen (FV, AUM) von zentraler Bedeutung zur Erreichung der Gewässerqualitätsziele. Eine wichtige

Voraussetzung hierfür ist die Kontinuität der Maßnahmenprogramme.

Aktuelle Auswertungen weisen für Niedersachsen N-Bilanzüberschüsse in Höhe von rund 85 kg N/ha LN aus (LBEG 2014). Als Ergebnis der Bewertung der Grundwasserkörper gemäß EG-WRRL ist im Vergleich zu 2009 der Flächenanteil, der „im schlechten Zustand“ befindlichen Grundwasserkörper nahezu unverändert.

Mit Blick auf die Gewässerschutzziele bedeutet dies, dass für den Bereich der grundlegenden Maßnahmen gemäß EG-WRRL (z. B. Umsetzung landwirtschaftliches Fachrecht, DüV) konkrete Minderungsstrategien aufgezeigt werden müssen. Um die bestehenden Nährstoffüberschüsse deutlich zu reduzieren, sollten beispielsweise die Möglichkeiten eines effizienten Wirtschaftsdüngereinsatzes zur gezielten Substitution von Mineraldünger genutzt werden.

Freiwillige Vereinbarungen haben nicht nur eine positive Wirkung auf Grund- und Oberflächengewässer, sondern auch auf die weiteren Umweltschutzgüter Natur, Klima und Boden. Ebenso gibt es zahlreiche Förderprogramme, z. B. im Naturschutz, die gleichzeitig positive Effekte auf Grund- und/oder Oberflächengewässer entfalten können. Durch entsprechende Maßnahmenkombinationen zwischen den Förderprogrammen sollten künftig Synergien zur Effizienzsteigerung der Gewässerschutzkonzepte stärker genutzt werden.

Im Interesse einer integrierten Gewässerbewirtschaftung muss in künftigen Maßnahmenkonzepten neben Stickstoff auch die diffuse Belastung der Oberflächengewässer durch Phosphat berücksichtigt werden. Im Bereich des Grundwassers ergibt sich aufgrund der PSM-Befunde und deren Metabolite die Notwendigkeit,

gezielte Maßnahmen zur Reduzierung des Schadstoffeintrags umzusetzen.

Aufbauend auf den positiven Erfahrungen der seit über 20 Jahren bestehenden Zusammenarbeit im Niedersächsischen Kooperationsmodell werden die Akteure auch künftig Maßnahmen zum Gewässerschutz engagiert umsetzen. Die vorliegende Neuauflage des Anwenderhandbuchs bildet hierbei einen wichtigen Baustein zum Gewässerschutz. Als Instrument mit den aktualisierten landesweit gültigen Fachstandards bietet das Anwenderhandbuch weiterhin Hilfestellung bei der Planung, Umsetzung und Evaluierung der Maßnahmenprogramme und trägt somit zu einem hohen fachlichen Niveau beim kooperativen Gewässerschutz bei.

Literaturverzeichnis

- AGRARHEUTE.COM (2013): Website des DLV (Deutscher Landwirtschaftsverlag): Bodenbearbeitung und Depotdüngung in einem Arbeitsschritt. Aufgerufen am 20.12.13, <http://www.agrarheute.com/vogelsang-striptill>
- AID INFODIENST (2005): Landbewirtschaftung und Gewässerschutz, Heft Nr. 1494, 106 S.
- ANTONY, F., DREYMAN, S., SEIDEL, M. (2013): Stickstoff-Effizienz: Da geht noch was. In: LAND & FORST, Nr. 2, S. 34–37, Januar 2013
- AUERBACHER, J., BILLEN, N., BOTSCHKE, J., BUTZ, J., CHRISTOFFELS, E. et al. (2012): Berücksichtigung der Bodenerosion bei der Maßnahmenplanung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie. DWA (Hrsg.): Merkblatt DWA-M-910, Hennef
- AUERSWALD, K., CLAASSEN, N., RÖMER, W., WERNER, W., BAUMGÄRTEL, G. et al. (2001): Mögliche ökologische Folgen hoher Phosphatgehalte im Boden und Wege zu ihrer Verminderung. Standpunkt des VDLUFA, 10.12.2001.
- BACH, M., FREDE, H.-G., SCHWEIKART, U., HUBER, H. (1998): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. Anlage I zum Abschlussbericht des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens 29625515 des Umweltbundesamtes
- BALAZ, H., MEIWES, K. J., MEESENBURG, H. (2011): Stickstoffaustrag und Speicherung im Wald in AFZ 17/2011
- BASF (2013): Gewässerschutz erhält die Vielfalt von Pflanzenschutzmitteln und erfüllt gesellschaftliche Erwartungen. Praktischer Ratgeber für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Sonderdruck, März 2013
- BATHKE, M. (2009): Bodenkundliche Studie – WSG Benstorf, Büro für Bodenkunde und Wasserwirtschaft
- BATHKE, M. (2010): Halbzeitbewertung von PROFIL. Teil II – Kapitel 17: Erhaltung und Verbesserung des ländlichen Erbes – Teilmaßnahmen Natürliches Erbe. Braunschweig.
- BATHKE, M., BRAHMS, E., BRENKEN, H., VON HAAREN, C., HACHMANN, R., MEIFORTH, J. (2003): Integriertes Gebietsmanagement. Neue Wege für Naturschutz, Grundwasserschutz und Landwirtschaft am Beispiel der Wassergewinnungsregion Hannover-Nord. Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover (Hrsg.), Margraf Verlag, Hannover, 204 S.
- BAUMGÄRTEL, G., BREITSCHUH, G., EBERTSEDER, T., ECKERT, H., GUTSER, R., HEGE, U., HEROLD, L., WIESLER, F., ZORN, W. (2007): Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Standpunkt. VDLUFA, Speyer
- BAUMGÄRTEL, G., EBERTSEDER, T., GUTSER, R., HEGE, U., HÜTHER, J., LORENZ, F., ORLOVIUS, K., POLLEHN, J., PRADT, D., REX, M., WODSAK, H.-P. (2003): Bundesarbeitskreis Düngung, Nährstoffverluste aus landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis, 36 S., unveröffentlicht
- BEISECKER, R., BUTTLAR VON, C., DRECHSLER, H., EULENSTEIN, F., FELDWISCH, N., LUYTEN-NAUJOKS, K., RICHTER, S. (2010): Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes. DWA (Hrsg.): Merkblatt DWA-M-907, Hennef.
- BEISECKER, R., EVERS, J. (2012): Abschlussbericht Diffuse Stoffausträge unter Wald und naturnahen Nutzungen
- BENECKE, P. (1984): Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. Schr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Nieders. Forstl. Versuchsanst. 77
- BERG, M., HAAS, G., KÖPKE, E. U. (1999): Konventioneller, integrierter oder organischer Landbau: Fallbeispiel Wasserschutzgebiet am Niederrhein, Tagungsband Gumpensteiner Lysimetertagung 1999
- BfN (2009): „Where have all the flowers gone - Grünland im Umbruch“ Hintergrundpapier und Empfehlungen des BfN. Bonn Bad Godesberg.
- BLMP (2011): Konzept zur Ableitung von Nährstoffreduzierungszielen in den Flussgebieten Ems, Weser, Elbe und Eider aufgrund von Anforderungen an den ökologischen Zustand der Küstengewässer gemäß Wasserrahmenrichtlinie, vorgelegt von der ad-hoc AG Nährstoffreduzierung des BLMP.
- BMEL (2013): Zulassungsverfahren von PSM. Aufgerufen am 31.01.2014, http://www.bmelv.de/DE/Landwirtschaft/Pflanze/Pflanzenschutz/_Texte/Zulassung.html
- BMELF (BUND/LÄNDER-MESSPROGRAMM) (1953): Flurbereinigungsgesetz vom 14. Juli 1953, BGBl. Teil I: 591-613.
- BMELF (1992a): Verordnung über die Anwendung bienengefährlicher Pflanzenschutzmittel (Bienenschutzverordnung) vom 22. Juli 1992, BGBl. 1992 Teil I S. 1410–1411
- BMELF (1992b): Verordnung zur Bereinigung pflanzenschutzrechtlicher Vorschriften vom 10. November 1992, Artikel 1 - Verordnung über Anwendungsverbote für Pflanzenschutzmittel (Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung), BGBl. 1992 Teil I, S. 1887-1888
- BMELF, BMF (1975): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz), BGBl. Nr. 50 Teil 1, S. 1037–1045
- BMELV (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) vom 27. Februar 2007, BGBl. 2007 Teil I Nr. 7, S. 221–240.

- BMELV (2009a): Düngegesetz vom 9. Januar 2009. BGBl, Teil I Nr. 4, 54–60
- BMELV (2009b): Waldbericht der Bundesregierung 2009, Eigenverlag des BMELV, 117 S.
- BMELV (2010a): Bekanntmachung der Neufassung des Gesetzes zur Regelung der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen durch Landwirte im Rahmen gemeinschaftsrechtlicher Vorschriften über Direktzahlungen und sonstige Stützungsregelungen (Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz – DirektZahlVerpflG) vom 28. April 2010. BGBl Teil I Nr. 22: 588-592
- BMELV (2010b): Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz - Grundsätze für die Durchführung, September 2010, Bonn
- BMELV (2010c): Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger vom 21. Juli 2010, BGBl. 2010 Teil I Nr. 40, S. 1062 - 1063
- BMELV (2011a): Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ für den Zeitraum 2011 – 2014 und Sonderrahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“: Maßnahmen des Küstenschutzes in Folge des Klimawandels (2009 - 2025). Eigenverlag des BMELV, 125 S.
- BMELV (2011b): Waldstrategie 2020. Nachhaltige Waldstrategie – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Eigenverlag des BMELV, 35 S.
- BMELV (2012a): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG) vom 6. Februar 2012, BGBl. 2012 Teil I Nr. 7, S. 148 – 182
- BMELV (2012b): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) vom 5. Dezember 2012, BGBl. 2012 Teil I Nr. 58: 2482–2544
- BMELV (2013): Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, am 10.04.2013 gemäß § 4 PflSchG von der Bundesregierung beschlossen
- BMG (1999): Bekanntmachung der Neufassung der Rückstands-Höchstmengenverordnung vom 21. Oktober 1999, Verordnung über Höchstmenge an Rückständen von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, Düngemitteln und sonstigen Mitteln in oder auf Lebensmitteln und Tabakerzeugnissen (Rückstands-Höchstmengenverordnung - RHmV), BGBl. 1999 Teil I Nr. 49, S. 2082 – 2141
- BMG (2013): Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung vom 2. August 2013, Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001), BGBl. 2013 Teil I Nr. 46, S. 2977 – 3004
- BMU (1992): Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992, BGBl. Teil I Nr. 21: 912 - 934
- BMU (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17.3.1998. BGBl. Teil I Nr. 16: 502-510
- BMU (2004): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004, Artikel 1 – Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), BGBl. Teil I Nr. 40, S. 1918 - 1930
- BMU (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) vom 29.07.2009, BGBl. Teil I Nr. 51: 2542-2579
- BMU (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung – GrwV) vom 09. November 2010. BGBl. Teil I Nr. 56: 1513-1529
- BMU (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) vom 20. Juli 2011, BGBl. Teil I Nr. 37: 1429-1469.
- BMU (2013): Bekanntmachung der Neufassung der Bioabfallverordnung vom 4. April 2013, Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung □ BioAbfV), BGBl. 2013 Teil I Nr. 16: 658 □ 708.
- BMU, BMVBS (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31.07.2009, BGBl. Teil I Nr. 51: 2585-2621
- BMU, BMWi (2012): Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht vom 24. Februar 2012, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG), BGBl. Teil I Nr. 10: 212 – 264
- BMVEL (2004): Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (Direktzahlungen-Verpflichtungen Verordnung - DirektZahlVerpflV) vom 04.11.2004. BGBl. Teil I Nr. 58: 2778-2784
- BOESS, J., FORTMANN, J., MÜLLER, U., SEVERIN, K. (2011): Geofakten 27, Kriterienkatalog Nutzungsänderung von Grünlandstandorten in Niedersachsen, Juli 2011, Hrsg.: LBEG Hannover
- BÖHM, C., QUINKENSTEIN, A., FREESE, D. (2011): Agrarholzproduktion und Agroforstsysteme – Chancen und Risiken für den Gewässerschutz. In: DWA (Hrsg.) Wirkung und Folgen der Nutzung von Biomasse zur Biogasgewinnung auf Böden und Gewässer, 2011, S.145-158

- BRACHES, P., KOLONKO, S., LANGE, A., PAVLIK, J., PETERWITZ, U., DANIEL, P., REICHEL, C., ZANDER, O. (2013): Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Waldbewirtschaftung, DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 906, Entwurf Juni 2013
- BRECHTEL, H. M. (1971): Die Bedeutung der forstlichen Bodennutzung bei der Erwirtschaftung eines optimalen Wasserertrages. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 122
- BRECHTEL, H. M. (1973): Ein methodischer Beitrag zur Quantifizierung des Einflusses von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen auf die Grundwasserneubildung in der Rhein-Main-Ebene. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 124
- BRECHTEL, H. M., SCHEELE, G. (1982): Erwirtschaftung von Grundwasser durch Land- und Forstwirtschaftliche Maßnahmen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bonn
- BUNGART, R., HÜTTL, R. F. (2004): Growth dynamics and biomass accumulation of 8 year old hybrid poplar clones in a short-rotation plantation on a clayey-sydy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget. European Journal of Forest Research 123, S. 105-115
- BUSCH, G. (2009): The impact of short rotation coppice cultivation on groundwater recharge – a spatial (planning) perspective. Landbauforschung vTI – Agriculture an Forestry Research 59, S. 207-221
- BVL (2010): Fachbeirat Naturhaushalt, Protokoll der 25. Sitzung am 24./25.02.2010. Aufgerufen am 19.12.2013, http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/fachbeirat_naturhaushalt_prot_25.pdf?__blob=publicationFile&v=2 Glyphosat wird immer häufiger im Grundwasser gefunden
- CC (CROSS COMPLIANCE) (2009): Vorschriften regelt die Verordnung (EG) Nr. 73/2009 in Verbindung mit den Umsetzungsbestimmungen der einzelnen Mitgliedsstaaten. <http://www.bmelv.de/DE/Landwirtschaft/Foerderung-Agrarsozialpolitik/Texte/Cross-Compliance.html>
- DAMMANN, I., PAAR, U., WENDLAND, J., WEYMAR, J., WINTER, T., EICHHORN, J. (2011): Waldzustandsbericht 2011 für Niedersachsen. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.), 31 S. Internetfassung unter www.nw-fva.de.
- DE VRIES, D., HOFF, S., TE GEMPT, R., KARFUSEHR, C., JANKOWSKI, A. et al. (2009): Leitfaden für die Bewertung des chemischen Zustandes der Grundwasserkörper nach EG-WRRL in Niedersachsen und Bremen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). NLWKN (Hrsg.): Reihe Wasserrahmenrichtlinie. Aurich
- DESTATIS (2013) – Statistisches Bundesamt: Bodennutzung und Erzeugung. Aufgerufen am 19.12.2013
- DIN (1983): Wasserversorgung, Begriffe, Technische Regel des DVGW (DIN 4046: 1983-09), Berlin, Beuth Verlag GmbH
- DIN (2005): Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG (DIN 19708:2005-02). Beuth Verlag, Berlin
- DIN (2011): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nicht-sorbierbaren Stoffen (DIN 19732:2011-10). Beuth Verlag, Berlin
- DIN (2013): Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind (DIN 19706:2013-02). Beuth Verlag, Berlin
- DÖLGER, D. (2006): Feldhygiene im Rapsanbau, Hanse Agro GmbH, Gettorf. Aufgerufen am 20.12.2013, http://hanse-agro.de/fileadmin/daten/pdf/Artikel/2006/Syngenta_Raps_Spezial_06_Feldhygiene.pdf
- DRECHSLER, H. (1992): Reduktion des Stickstoffs aus dem Überschuss-N-Eintrag agrarischer Ökosysteme beim Transport durch die Böden ins Grundwasser. Diss., Uni Göttingen
- DUYNISFELD, W. H. M., STREBEL, O., BÖTTCHER, J. (1993): Prognose der Grundwasserqualität in einem Wassereinzugsgebiet mit Stofftransportmodellen, Berlin
- DVGW (1988a): DVGW-Regelwerk Technische Mitteilungen, Hinweis W254: Grundsätze für Rohwasseruntersuchungen, Eschborn
- DVGW (1988b): Grundsätze für Rohwasseruntersuchungen, DVGW W 254: 1988-04, Bonn
- DVGW (2003a): Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen, Arbeitsblatt W 121, Bonn
- DVGW (2003b): Messnetze zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Wassergewinnungsgebieten, Arbeitsblatt W 108, Bonn
- DVGW (2004): Arbeitsblatt W 104. Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- DVGW (2006): Arbeitsblatt W 101, Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete, Bonn
- DVGW (2010): DVGW-Information Wasser Nr. 73: Erzeugung von Biomasse und Verwertung von Gärresten unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes: Hrsg. Deutscher Verband des Gas- und Wasserfaches DVGW, Juni 2010
- DVGW (2011): Arbeitsblatt W 112, Grundsätze der Grundwasserprobennahme aus Grundwassermessstellen, Bonn, (inhaltsgleich auch als DWA-Arbeitsblatt A 909 veröffentlicht)
- DVWK (1980): Regeln zur Wasserwirtschaft Heft 114, Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern, Hamburg, Berlin

- DVWK (1982): Auswertung hydrochemischer Daten. DVWK-Schrift 54, Bonn
- DVWK (1990): Merkblatt 217, Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzen-Methode, Hamburg, Berlin
- DVWK (1997): Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen, Merkblatt M 245, Bonn
- DWA (2010): Merkblatt DWA-M-907. Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes. Hrsg. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef
- DWA (2011). Arbeitsblatt DWA-A 909, Grundsätze der Grundwasserprobenahme aus Grundwassermessstellen, Hennef
- DWA (2012): Gewinnung von Bodenlösung, Merkblatt M 905, Hennef
- DWA (2013): Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs (DWA-M 911), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef, August 2013
- EG (1991): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (91/676/EWG), Nr. L375/1 – L375/5. Geändert durch Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003.
- EG (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen, ABl. L 206 vom 22.7.1992, S. 7
- EG (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1 - 83
- EG (2001): Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe. ABl. L 309 vom 27.11.2001, S. 22 - 30
- EG (2006): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. ABl. L 372 vom 27.12.2006
- EG (2007): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische / biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen / biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung EWG) Nr. 2092/91, Nr. L 189/1 – L 189/23, <http://www.oekolandbau.de/service/gesetze-und-verordnungen/>
- EG (2008): Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische / biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen / biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen / biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle, Nr. L 250/1 – L 250/84: u.a. Anhang I:Düngemittel; Anhang II: Pestizide und Pflanzenschutzmittel; Anhang IV Höchstzulässige Anzahl von Tieren je Hektar unter: <http://www.oekolandbau.de/service/gesetze-und-verordnungen>
- EG (2009): Richtlinie 2009/128/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Nutzung von Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union L 309/71 - L 309/86
- ELLMER, F., KÖHN, W. (1999): Weniger ist mehr. Möglichkeiten und Grenzen aufwandreduzierter Bodenbearbeitung auf sandigen Böden, Neue Landwirtschaft 12, S. 44-47
- ENERCITY (2000): Waldbewirtschaftung im Zeichen des Trinkwasserschutzes. Empfehlungen zum Waldumbau mit Ergebnissen aus dem Pilotprojekt Grundwasserschutzwald im Fuhrberger Feld, 2. Auflage
- EU (2000): Richtlinie 2000/60/EG der Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1
- EU (2009a): Richtlinie 2009/128/EG der Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden, Brüssel
- EU (2009b): Richtlinie 2009/147/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten, ABl. L 207 vom 26.01.2010
- EU (2009c): Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates vom 19. Januar 2009 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1290/2005, (EG) Nr. 247/2006, (EG) Nr. 378/2007 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003, Nr. L 254/1 – L 254/119
- EU (2009d): Verordnung (EG) Nr. 1122/2009 der Kommission vom 30. November 2009 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates hinsichtlich der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen, der Modulation und des integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems im Rahmen der Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe gemäß der genannten Verordnung und mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1234/2007 hinsichtlich der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen im Rahmen

- der Stützungsregelung für den Weinsektor. Nr. L 316/65 – L 316/112, Brüssel
- EU (2011): Verordnung Ökologischer Landbau. Eine einführende Erläuterung mit Beispielen. Erzeugung, Kontrolle, Kennzeichnung, Verarbeitung und Einfuhr von Öko-Produkten. 3. Auflage. Mit allen Gesetzes- und verordnungstexten. Stand Januar 2011. Hrsg. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- EU (2013): Verordnung Nr. 1305/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 über die Förderung der ländlichen Entwicklung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1698/2005, Brüssel.
- EWG (1991): Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel, ABl. L 198 vom 22.7.1991, S. 1
- FELLER, C., FINK, M. (2007): Refraction as a measure of soluble carbohydrates in storage roots of asparagus. *HortScience* 42 (1), 57-60
- FELLER, C., FINK, M., RATHER, K., LABER, H., MAYNC, A., PASCHOLD, P.-J., SCHARPF, H.-C., SCHLAGHECKEN, J., STROHMEYER, K., WEIER, U., ZIEGLER, J. (2011): Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren. Aufgerufen am 20.12.2013, http://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf
- FICK-HAAS, V. (2011): Höhere Erträge bei engen Reihen. In *BLW* 18/2011, S. 45-46
- FIER, A., SCHÄFER, W. & MATUSCHEK, D. (2011): Versuchsbericht LBEG 2000-2009. Stickstoffdüngung und Grundwasserschutz – Ergebnisse aus dem Feldversuch Hohenzethen. Aufgerufen am 20.01.2014, <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/wasserschutzfuerniedersachsen/nav/1667/article/5625.html>, webcode:01005625
- FINK, M., SCHARPF, H. C. (1993): N-Expert – A decision support system for vegetable fertilization in the field. *Acta Horticulturae* 339, 67-74
- FISCHER, P. (1996): Quantifizierung der Eintrittspfade für Pflanzenschutzmittel in Fließgewässer. Boden und Landschaft. Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie, Band 12, Gießen
- FLESSA, H., MÜLLER, D., PLASSMANN, K., OSTERBURG, B., TECHEN, A.-K., NITSCH, H., NIEBERG, H., SANDERS, J., MEYER ZU HARTLAGE, O., BECKMANN E, ANSPACH, V. (2012): Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor, vTI Sonderheft 361, Braunschweig.
- FREDE, H.-G., BACH, M., BECKER, R. (1995): Regional differenzierte Abschätzung des Nitrateintrages aus diffusen Quellen in das Grundwasser – Untersuchung für die Bundesrepublik Deutschland im neuen Gebietsstand. Abschlussbericht zum Forschungsverbundprojekt des BMFT, Förderkennzeichen 0339442A
- FREDE, H.-G., DABBERT, S. (1999): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft 2. Auflage. Landsberg
- FREIBAUER, A., ROUNSEVELL, M. D. A., SMITH, P., VERHAGE, A. (2004): Carbon sequestration in European agricultural soils. *Geoderma* 122: 1-23, doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.021
- GEODIENSTE (2012): Wasserverband Garbsen-Neustadt a. Rbge., WW Forst Esloh und Hagen Isotopenanalytische Grundwasserdatierung
- GEO-INFOMETRIC (2008): Das Nicomat-Verfahren als Instrument der Zusatzberatung in WSG Niedersachsens, unveröffentlicht
- GERIES (INGENIEURE GMBH) (2005): Stadtwerke Hameln, WSG Hameln-Süd Altersdatierung des Grundwassers an ausgewählten Grundwassermessstellen
- GERIES (INGENIEURE GMBH) (2007a): Ergebnisse der Tiefensondierungen im Rahmen der Wasserschutzzusatzberatung in den Trinkwassergewinnungsgebieten der Kooperation Trinkwasserschutz Obere Leine aus den Jahren 1993 bis 2007. Auftraggeber: Stadtwerke Göttingen AG, unveröffentlicht
- GERIES (INGENIEURE GMBH) (2007b): Vortrag zur Erfassung der tatsächlichen N-Belastung im Grundwasser durch Bestimmung der Denitrifikation in der gesättigten Zone, unveröffentlicht
- GERIES (INGENIEURE GMBH) (2009): Schutzkonzept für die Durchführung von Maßnahmen zum vorbeugenden Trinkwasserschutz in den Trinkwassergewinnungsgebieten der Kooperation Trinkwasserschutz Nordwest-Solling, für den Zeitraum vom 01.01.2009 bis 31.12.2013
- GERIES (INGENIEURE GMBH) (2011): Nachweis der Kooperation IG Weser für das WSG Hameln.
- GERIES (INGENIEURE GMBH) (2012a): Erfolgsbericht 2008 – 2011 über die Wasserschutzzusatzberatung in den Trinkwassergewinnungsgebieten der IG Weser
- GERIES (INGENIEURE GMBH) (2012b): Kooperation Hagen/Schneeren: Bericht Erfolgskontrolle oberflächennahes Grundwasser
- GERIES (INGENIEURE GMBH) (2013a): Erfolgsbericht 2008 – 2012 über die Wasserschutzzusatzberatung in den Trinkwassergewinnungsgebieten der IG Weser.

- GFP (2008): Erosionsschutz Westharzer Trinkwassertalsperren, Teilprojekt „Forst“ zum interdisziplinären Wasserschutzkonzept für die Westharzer Talsperren, Gesellschaft für Forstplanung Entwurf 06/2008, Lachendorf
- GROSSMANN, J. (1996): Eingangsdaten und Parameter zur Berechnung der Grundwasserneubildung mit einem Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. DGM 40, 204-211
- GUTSER, R., EBERTSEDER, T. (2006): Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) :Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft. KTBL-Schrift Nr. 444, Darmstadt
- HAAS, G. (2010): BÖL - Bundesprogramm Ökologischer Landbau (Hrsg.) (2010): Wasserschutz im ökologischen Landbau- Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft, Bad Hoennef
- HAAS, G.; BERG, M., KÖPKE, U. (1998): Grundwasserschonende Landnutzung. Schriftenreihe Institut für organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin
- HARZWASSERWERKE (2012): Schutz- und Beratungskonzept für die Trinkwasserschutzkooperation Westharz (Forstwirtschaft), Harzwasserwerke GmbH, Hildesheim 19.11.2012
- HEGE, U. (2005): Problematik der Nährstoffbilanzierung bei Grünland und Futterbau. Baden-Württembergischer Grünlandtag. 25.2.2005, Mühlhausen, LfL Freising. In: Haas, G. (2010), BÖL - Bundesprogramm Ökologischer Landbau (Hrsg.) (2010): Wasserschutz im ökologischen Landbau- Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft, Bad Hoennef
- HEGE, U., OFFENBERGER, K. (2006): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), unveröffentlichter Vortrag
- HERRMANN, A., TAUBE, F. (2005): Nitrogen concentration at maturity - An indicator of nitrogen status in forage maize. Agron. Journal 97: S. 201-210
- HILLEBRAND, S. (2002): Verbesserung der Aussagekraft von Herbst- N_{min} -Werten durch die Optimierung des Probenahmetermins, Arbeitshefte Boden 3, S.122-129
- HLFU (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT) (1999): Hydrologie in Hessen, Handbuch Teil III: Grundwasser, Wiesbaden
- HOFMANN, M. (2007): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.) Gülzow
- HÖPER, H. (2009): mündl. Mitteilung, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
- HÖPER, H., MEESENBURG, H. (Hrsg.) (2012): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. Geoberichte 23
- HORTIPENDIUM (2013): Stickstoffdüngung nach den N-Sollwert-Systemen $-N_{min}$, KNS und N-Expert. Aufgerufen am 19.12.2013, http://www.hortipendium.de/Stickstoffd%C3%BCngung_nach_den_N-Sollwert-Systemen_-_N_min_KNS_und_N-Expert&oldid=43022
- IGLU (1999): Gutachten zur Erfassung und Bewertung der Nitrattiefenverläufe von landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Böden im Wasserschutzgebiet Fuhrberger Feld anhand von Tiefenprofilaufnahmen, im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG
- IGLU (2004): Effizienzprüfung der Umwandlung von Ackerland in extensives Grünland mit Hilfe des Einsatzes von Unterflurlysimetern im WSG Liethgrund-Eimsen, Auswertungsbericht, Göttingen, unveröffentlicht
- IGLU (2008): Modell- und Pilotvorhaben zum ökologischen Landbau in Wasserschutzgebieten (H_2O), 2001 – 2008, im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums
- INGUS (2001): Grundwasserschutz-orientierte Waldumbau-Maßnahmen im Raum Lüneburg. Entwicklung und Umsetzung eines Untersuchungskonzeptes zur Ist-Zustandserfassung und Erfolgskontrolle. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der Bezirksregierung Lüneburg
- INGUS (2003): Verfahren zur Ermittlung der einzelbetrieblichen Beratungspriorität, Hannover, unveröffentlicht
- INGUS (2010): Beispiel Stickstoffbilanz
- INGUS (2011): Neues Stickstoffdüngekonzept zu Mais – Knapp andüngen und im Juni den weiteren Bedarf. In: Bauernblatt Schleswig-Holstein, Nr. 13, 2011, S. 14-15, April 2011
- INGUS (2012a): Ergebnisse aus der Wasserschutzberatung für das Trinkwassergewinnungsgebiet Ristedt der Harzwasserwerke GmbH, unveröffentlicht
- INGUS (2012b): Ergebnisse der Pilotmaßnahme „Maisdüngung nach Spätfrühjahrs- N_{min} “ in WRRL-Beratungsgebieten in Schleswig-Holstein, unveröffentlicht
- INGUS (2013a): Düngebedarfs-Ermittlung im Raps – Waage oder Foto? Ein Vergleich. Download im Internet: http://www.effizientduengen.de/Duengebedarf_Raps_ImageIT/, besucht am 10.10.2013
- INGUS (2013b): Musterformular zur Einzelschlag bezogenen, fruchtspezifischen N-Düngeempfehlung zu Vegetationsbeginn im Frühjahr auf Basis von N_{min} -Messungen. Ingenieurdienst Umweltsteuerung, Hannover, unveröffentlicht
- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse

- Gas Inventories Programme Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan
- IPCC (2014): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. To be Published in February, 2014: IGES, Japan
- JACOBS, G. (2012): Kein Stickstoff im Herbst. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe, Nr. 34, 2011, S. 24-26
- JOHNEN, T., VON BUTTLAR, C. (2013): Möglichkeiten der N- Einsparung durch Anwendung angepasster Ausbringtechnik für Wirtschaftsdünger. Bauernblatt Schleswig- Holstein
- JÖRGENSEN, U., HANSEN, E. M. (1998): Nitrate leaching from miscanthus, willow, grain crops and rape. In: WÖRGETTER, M.(ed.): Proceedings of the International Workshop on Environmental Aspects of the Energy Crop Production, Brasimoro, Italy, October 9-10, 1997, Wieselburg BLT, S. I 207-218
- JOSE, S., GILLESPIE, A. R., PALLARDY, S. G. (2004): Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 61, S. 237-255
- KAHNT, G. (2008): Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau. DLG Verlags GmbH
- KALZENDORF, C. (2014): mündliche Mitteilung, LWK Niedersachsen
- KESSENS, B. (2001): Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren auf die N_{min} -Gehalte im Winterhalbjahr, Diplomarbeit im Fachbereich Agrarwissenschaften, Fachhochschule Osnabrück, unveröffentlicht
- KLAPP, E. (1971): Wiesen und Weiden. 4. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- KOLBE, H., KÖHLER, B. (2008): Formen der Nährstoffbilanzierung in Praxis und Beratung des ökologischen Landbaus. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- KÖLLE W., STREBEL O., BÖTTCHER J. (1985): Formation of sulfate by microbial denitrification in a reducing aquifer. *Water supply* 3, p. 35 - 40
- KREUTZER, K., DESCHU, E., HÖSL, G. (1986): Vergleichende Untersuchungen über den Einfluss von Fichte (*Picea abies* L. Kast.) und Buche (*Fagus Sylvatica* L.) auf die Sickerwasserqualität. Beitrag Nr.18 in der Höglwald-Serie 1986. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- KREUTZER, K. (1989): Änderungen im Stickstoffhaushalt der Wälder und die dadurch verursachten Auswirkungen auf die Qualität des Sickerwassers, Immissionsbelastung des Waldes und seiner Böden – Gefahr für die Gewässer? Mitteilungen des deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. 17
- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz –Schlussfolgerungen für die Praxis. Arbeitspapier 266, Darmstadt
- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (2000): Taschenbuch Landwirtschaft 2000/01, 20. Auflage, S. 269ff
- KUNTZE, H., SCHEFFER, B. (1981): Möglichkeiten zur Minderung des Stickstoffaustrages in die Gewässer. In: Fachsymposium über den N-Stabilisator SKW-DIDIN® für Flüssigmist, Augsburg, 22.Oktober 1981; SKW Trostberg, Geschäftsbereich Agrochemie
- LAMMERSDORF, L., PETZOLD, R., SCHWÄRZEL, K., FEGER, K.-H., KÖSTNER, B., MODEROW, U., BERNDORFER, C., KNUST, C. (2010): Bodenökologische Aspekte von Kurzumtriebsplantagen. In: Bemann, A., Knust, C. (Hrsg.): Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, 170-188
- LAMPE R., LORENZ, S., JANKE, W., MEYER, H., KÜSTER, M., HÜBENER, T., SCHWARZ, A. (2009): Zur Landschafts- und Gewässergeschichte der Müritz. *Forschung und Monitoring • Band 2*, Hrsg. Nationalparkamt Müritz, Geozon, Greifswald, 94 Seiten
- LANG, H. (1993): Bodenbearbeitungssysteme – ihr Einfluss auf den Pflanzenschutz, *Feldwirtschaft* 10, S. 29-32
- LAWA (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Chemische Gewässergüteklassifizierung. Kulturbuchverlag Berlin GmbH, Berlin
- LAWA (2007): RAKON - Rahmenkonzeption Monitoring. Arbeitspapier des LAWA-AO, Teil B - Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibung, Stand: 07.03.2007
- LAWA (2008): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit – Pflanzenschutzmittel – Berichtszeitraum 2001-2008, Kulturbuch-Verlag Berlin GmbH, Berlin
- LBEG (2010):Methodik zur Einteilung von landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wind gem. §2 Abs. 1 der Direktzahlungen-Verpflichtungen-Verordnung in Niedersachsen
- LBEG (2013): Basis-Emissionsmonitoring 2003 bis 2010 für Nds. – Berechnungen der Stickstoff-Flächenbilanzen und der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser
- LBEG (2014): Basisemissionserkundung, Vortrag beim 19. Grundwasser-Workshop am 09.07.2014 in Cloppenburg
- LEE, K. H., ISENHART, T. M., SCHULTZ, R. C. (2003): Sediment an nutrient removal in an established multispecies riparian buffer. *Journal of soil and Water Conservation* 58, S. 1-8
- LEHRKE, U. (1999): Intelligente Düngestrategien anwenden. In: *Land & Forst*, Nr. 8/1999, S. 24ff

- LEIBNIZ-ZENTRUM FÜR AGRARLANDSCHAFTSFORSCHUNG (ZALF 2013) E.V., MÜNCHENBERG (2013): Verbundprojekt Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin (INKA BB). Wissensplattform Klimaflexible Bodenbearbeitung (Klima-Bob): Bodenbearbeitungssysteme. Aufgerufen am: 20.12.2013, <http://www.klima-bob.de/bodenbearbeitung/bodenbearbeitungssysteme.html>
- LENNARTZ (2003): Die Bestimmung der Schadstoffkonzentration im Sickerwasser (Sickerwasserprognose) unter Berücksichtigung des schnellen Stofftransportes. Altlastenspektrum 04/2003, 184-191
- LFL BAYERN (KIRCHMEIER, H., DEMMEL, M.) (2013): Streifenlockerung – Strip Tillage. Erste Erfahrungen mit einem neuen Bodenbearbeitungssystem. Aufgerufen am 19.12.2013, http://www.lfl.bayern.de/itt/pflanzenbau/38920/linkurl_0_15.pdf
- LICKFETT, T., WILDENHAYN, M., PRZEMECK, E. (1994): Zuviel Nitrat nach Raps – was tun? DLG Mitteilungen 8, 32-33
- LORENZ, H.P., SCHLAGHECKEN, J., ENGL, G. (1989): Ordnungsgemäße Stickstoffversorgung im Freiland-Gemüsebau nach dem Kulturbegleitenden N_{min} -Sollwerte(KNS)-System. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau, Forsten Rheinland-Pfalz. Broschüre, 85 S.
- LSKN (2013): WWW.LSKN.NIEDERSACHSEN.DE/PORTAL/LIVE.PHP?NAVIGATION_ID=25698&ARTICLE_ID=87592&PSMAND=40, C IV 9 Agrarstruktur
- LÜBKE (2003): WSG Eckerde: Grundwassergleichenplan der Sulfatkonzentration im Grundwasser
- LÜBKE (2012): WSG Herrenteich: Bericht zur Erfolgskontrolle an den Grundwassermessstellen der STW Hess. Oldendorf
- LUFA NRW (2013): N_{min} -Spätbeprobung zu Mais. Download im Internet: <http://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/neues/aktion-nmin-spaet.htm> besucht am 10.10.2013
- LWK NIEDERSACHSEN (2006): Ausfallraps als Zwischenfrucht. Land und Forst Nr. 48, S. 22-23
- LWK NIEDERSACHSEN (2007): Düngeempfehlungen für Erdbeeren und Obstkulturen, unveröffentlicht
- LWK NIEDERSACHSEN (2009a): Jahresbericht für die Trinkwassergewinnungsgebiete der Kooperation Hameln-Pyrmont-Springe, Sachstandsbericht 2009
- LWK NIEDERSACHSEN (2009b): Merkblatt Wasserschutz 08: Grundwasserschutzorientierter Rapsanbau, September 2009
- LWK NIEDERSACHSEN (2010a): Empfehlungen zur Stickstoffdüngung nach der N_{min} -Methode. Download im Internet unter: www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/341/article/14022.html, besucht am 10.10.2013. Webcode: 01014022
- LWK NIEDERSACHSEN (2010b): Mais: Erkenntnisse aus der Unterfußdüngung mit Gülle. Aufgerufen am 20.12.2013, <http://www.lwk-niedersachsen.de>
- LWK NIEDERSACHSEN (2010c): Schutzkonzept für die Wassergewinnungsgebiete der Kooperation Schaumburg, Zeitraum 2011 - 2015
- LWK NIEDERSACHSEN (2011a): Ergebnisse aus den grundwasserschutzorientierten Versuchen der LWK Niedersachsen – Versuchsbericht 2011, Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung. Aufgerufen am 19.12.2013, <http://www.lwk-niedersachsen.de>
- LWK NIEDERSACHSEN (2011b): Ökolandbau: Zahl der Bio-Betriebe wächst weiter. LWK-Pressedienst Nr. 12 vom 8.6.2011
- LWK NIEDERSACHSEN (2012a): Düngung des Spargels nach der Ernte. Aufgerufen am 20.12.2013, <http://www.lwk-niedersachsen.de>, Webcode: 01020269
- LWK NIEDERSACHSEN (2012b): Empfehlungen 2012 zum Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Albrecht Druck GmbH & Co. KG, Hannover
- LWK NIEDERSACHSEN (2012c): Ergebnisse aus der WZB der Trinkwasserkoopeation Meppen der Jahre 2007-2012, unveröffentlicht
- LWK NIEDERSACHSEN (2012d): Versuchsergebnisse und Anbauempfehlungen zum grundwasserschutzorientierten Maisanbau, September 2012
- LWK NIEDERSACHSEN (2013a): Blaubuch - Erntejahr 2012, Berechnungsgrundlagen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen
- LWK NIEDERSACHSEN (2013b): Einzelbetriebliche Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz, unveröffentlicht
- LWK NIEDERSACHSEN (2013c): Empfehlungen 2013, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, 359 S., unveröffentlicht
- LWK NIEDERSACHSEN (2013d): Jahresbericht für das TGG Grasdorf, Sachstandsbericht 2012 und vorläufiger Erfolgsbericht für die Rahmenvertragsphase 2009 – 2013, Landwirtschaftskammer Niedersachsen BST Hannover
- LWK NIEDERSACHSEN (2013e): Maßnahmen zum Nacherntemanagement nach Raps zur Verbesserung der N-Effizienz. Ergebnisse aus den Feldversuchen im Zeitraum 2008 – 2012 der Trinkwasserschutzkooperation Northeim. Bezirksstelle Northeim, unveröffentlicher Projektbericht
- LWK NIEDERSACHSEN (2013f): Meldeprogramm Wirtschaftsdünger Niedersachsen. Aufgerufen am 20.12.2013, <http://www.lwk-niedersachsen.de>
- LWK NIEDERSACHSEN (2013g): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/2013

- http://www.ml.niedersachsen.de/download/81408/Naehrstoffbericht_2012_2013.pdf
- LWK NIEDERSACHSEN (2013h): Pflanzenbau und Pflanzenschutz. Feldgemüse 2013
- LWK NIEDERSACHSEN (2013i). Unterfußdüngung mit Gülle zu Mais ist praxisreif. Aufgerufen am 20.12.2013, <http://www.lwk-niedersachsen.de>, Webcode: 01022137
- LWK NIEDERSACHSEN (2013j): Versuchsbericht 2012, Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung, <http://www.lwk-niedersachsen.de>, aufgerufen am 10.03.2014.
- LWK NIEDERSACHSEN (2013k): WEB-Module Düngung. Die EDV-Lösung für das Nährstoffmanagement auf landwirtschaftlichen Betrieben. Download im Internet unter: www.lwk-niedersachsen.de
- LWK NIEDERSACHSEN (2013l): Zeitrahmen für die pflanzenbedarfsgerechte Ausbringung von Gülle, Jauche, Geflügelkot (inkl. Hähnchenmist) und Gärresten mit besonderer Beachtung des vorbeugenden Trinkwasserschutzes, unveröffentlicht
- LWK NIEDERSACHSEN (2014a): Blaubuch – Erntejahr 2013. Berechnungsgrundlagen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen
- LWK NIEDERSACHSEN (2014b): Mischungen für Grünland, Sortenempfehlung 2012-2014. Hrsg. Arbeitsgemeinschaft der norddeutschen Landwirtschaftskammern
- LWK NIEDERSACHSEN (2014c): Qualitätsstandard Mischungen für den Ackerfutterbau 2013/14. Hrsg. Arbeitsgemeinschaft der norddeutschen Landwirtschaftskammern
- LWK NORDRHEIN-WESTFALEN (2011): Ratgeber, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Münster
- LWK NORDRHEIN-WESTFALEN (2012): Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz, 2012
- LWK NORDRHEIN-WESTFALEN (2013a): Cross Compliance 2014, Informationen über die Einhaltung der anderweitigen Verpflichtungen (Cross Compliance), Informationsbroschüre für die Empfänger von Direktzahlungen und Zuwendungen für Maßnahmen zur Förderung des ländlichen Raumes über die einzuhaltenden anderweitigen Verpflichtungen, Stand: 19.12.2013, Bonn
- LWK NORDRHEIN-WESTFALEN (2013b): Download im Internet unter: www.landwirtschaftskammer.de/dueren/download/formulare/dvo.htm, besucht am 10.10.2013
- LWK NORDRHEIN-WESTFALEN (2013c): Nährstoffvergleiche mit der Excel-Anwendung Nährstoffvergleich NRW. Download im Internet unter: www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/naehrstoffvergleich/
- LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN (2012): Richtwerte für die Düngung (2012): 21. Auflage, Hrsg.: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Rendsburg
- LWK WESER-EMS (1998): Die Düngeverordnung und ihre Umsetzung im Gartenbau. Broschüre der Versuchsanstalt für Gartenbau, Rostrup und dem Baumschulberatungsring Weser Ems, unveröffentlicht
- MEINIKMANN, K., GELBRECHT, J., ZAK, D., LEWANDOWSKI, J., BARSCH, A., GRÜNEBERG, B., WANNER, S., WOLF, L. (2013): Diffuse Belastung von Seen aus dem Einzugsgebiet. Korrespondenz Wasserwirtschaft 6 (12): 702-709
- ML (1991): Langfristige Ökologische Entwicklung in den Landesforsten (LOEWE). Landesregierung Hannover (Hrsg.), 49 S.
- ML (2002): Niedersächsisches Gesetz über den Wald und die Landschaftsordnung (NWaldLG) vom 21. März 2002. Nds. GVBl. 11: 112
- ML (2004a): Langfristige Ökologische Entwicklung in den Landesforsten. Richtlinie zur Baumartenwahl. Aus dem Walde 54, 145 S.
- ML (2007a): Langfristige, ökologische Waldentwicklung in den Niedersächsischen Landesforsten (LÖWE-Erlass). RdErl. d. ML v. 20.03.2007, Nds. MBl. 15: 276-282
- ML (2007b): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen in den Ländern Niedersachsen und Bremen. RdErl. d. ML v. 16.10.2007, Nds. MBl. 48: 1379-1385
- ML (2009a): Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland und zur Änderung der Verordnung zur Übertragung von staatlichen Aufgaben auf die Landwirtschaftskammer Niedersachsen vom 06.10.2009, Nds. GVBl. 2009 Nr. 21: S. 362-363
- ML (2009b): Waldbewertungsrichtlinien. Erlass des ML vom 20.12.2008, Nds. MBl. 8: 225-246
- ML (2011a): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für das Niedersächsische und Bremer Agrar-Umweltprogramm (NAU/BAU), RdErl. d. ML v. 1.10.2011, Nds. MBl. Nr. 41/2011, S. 788 - 799
- ML (2011b): Verordnung über erosionsgefährdete landwirtschaftliche Flächen. Nds. GVBl. Nr. 3: 28-30 (und Nr. 4: 57).
- ML (2012b): Richtlinie zur Förderung der einzelbetrieblichen Beratung im Hinblick auf den Klimawandel, die Wasserwirtschaft, die biologische Vielfalt und weitere Herausforderungen für die Landwirtschaft. Erl. d. ML v. 1.2.2012, Nds. MBl. 4: 117-122
- ML (2013): Erlass des Niedersächsischen Landwirtschaftsministeriums. Hinweise zur Umsetzung des § 4 Abs. 6 der Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach der Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen

- (Düngeverordnung– DüV), vom 3.7.2013, Az 104-60202/2-1
- ML/MU (2014) ENTWURF der Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für Niedersächsische und Bremer Agrarumweltmaßnahmen (NiB-AUM) (Richtlinie NiB-AUM), Gemeinsamer RdErl. d. ML/MU, Entwurfsstand vom 11.06.2014
- MÖLLERS, C. (Hrsg.) (2000): Stickstoff-Effizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Reihe Initiativen zum Umweltschutz, Band 21. Erich Schmidt Verlag
- MOSIMANN, T., BUG, J., SANDERS, S., BEISIEGEL, F. (2009): Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen 2000 – 2008. Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover (Hrsg.): Geosynthesis 14
- MU (1997): Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (Anlagenverordnung - VAWS) vom 17.12.1997, Nds. GVBl.: 549
- MU (2007a): Maßnahmenkatalog. Fachliche Vorgaben für Freiwillige Vereinbarungen und Berechnungsgrundlagen für Ausgleichszahlungen gem. § 47h NWG. Hannover. (eingeführt mit MU-Erlass vom 2.02.2007)
- MU (2007b): Prioritätenprogramm Trinkwasserschutz (Entwurf) Hannover
- MU (2007c): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für Vorhaben zum Trinkwasserschutz in Trinkwassergewinnungsgebieten im Rahmen der Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums (Kooperationsprogramm Trinkwasserschutz). RL d. MU v. 23.11.2007. Nds. MBl. 52: 1727–1733
- MU (2007d): Verordnung über die Finanzhilfe zum kooperativen Schutz von Trinkwassergewinnungsgebieten. Verordnung vom 03.09.2007 (Nds. GVBl. Nr. 27/2007, S. 436). Hannover
- MU (2008): Richtlinie über die Gewährung von Zahlungen zur naturschutzgerechten Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Flächen in den Ländern Bremen und Niedersachsen (Kooperationsprogramm Naturschutz). RdErl. d. MU v. 02.06. 2008, Nds. MBl. Nr. 24: 683-690
- MU (2009): Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten (SchuVO) vom 9.11.2009. Nds. GVBl. Nr. 25: 431-432
- MU (2012): Öffentliche Wasserversorgung; Rohwasseruntersuchungen und Untersuchungen an Vorfeldmessstellen, RdErl. d. MU v. 12.12.2012 (Nds. MBl. Nr. 4/2013, S. 67-78)
- MU (2013): Umweltbericht 2012. Internetfassung unter www.umweltbericht.niedersachsen.de.
- MU (2014): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Vorhaben zum Gewässerschutz in Trinkwassergewinnungsgebieten und in Zielgebieten der EG-Wasserrahmenrichtlinie im Rahmen der Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums (Gewässerschutzprogramm Landwirtschaft)
- MÜLLER, J. (1996): Beziehungen zwischen Vegetationsstrukturen und Wasserhaushalt in Kiefern- und Buchenökosystemen in: Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg Nr. 185, ISSN 0368 - 8798, S. 112-128
- MÜLLER J. (2006): Die Ressource Wasser im zweischichtigen Nadel-Laub-Mischbestand; in Ökologischer Waldumbau in Deutschland (Hrsg. Peter Fritz, 2006, ISBN 3-86581-001-2)
- MÜLLER, J., ANDERS, S. (1996): Vergleichende Untersuchungen zum Stoff- und Wasserhaushalt von Laub- und Nadelwaldökosystemen im nordostdeutschen Tiefland. – Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 30/1: 29–30
- MÜLLER, U. (2011): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 8. Auflage, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
- MÜLLER-THOMSEN, U. (2010): Silomais mit engem Reihenabstand anbauen. In.: Bauernblatt 3. April 2010, S 10-11
- MUNLV NRW (2012): Hinweise zum Vollzug der Düngeverordnung. Ministererlass) i. d. Fassung vom 19.03.2013
- NABU, DVL (2009): Landwirtschaftliche Flächennutzung im Wandel – Folgen für Natur u. Landschaft, 39 S.
- NAU/BAU (2014): Niedersächsisches und Bremisches Agrarumweltprogramm – NAU / BAU (Code 214-A) zur Förderung besonders umweltverträglicher Produktionsverfahren im Ackerbau und in der Grünlandnutzung- Begleitende Maßnahmen zum Schutz der Gewässer. Förderperiode 2007-2013. Abrufbar unter: http://www.ml.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=1522&article_id=5277&psmand=7 (Jan. 2014)
- NDS. LANDESREGIERUNG (2009): Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland und zur Änderung der Verordnung zur Übertragung von staatlichen Aufgaben auf die Landwirtschaftskammer Niedersachsen vom 6. Oktober 2009. Nds. GVBl. Nr. 21: 362-363
- NDS. LANDESREGIERUNG (2012): Niedersächsische Verordnung über Meldepflichten in Bezug auf Wirtschaftsdünger vom 1. Juni 2012, Nds. GVBl. Nr. 11: 166
- NDS. LANDTAG (1992): Achte Änderung des Niedersächsischen Wassergesetzes vom 23.06.1992, Nds. GVBl. S. 163
- NDS. LANDTAG (2002): Niedersächsisches Gesetz über den Wald und die Landschaftsordnung (NWaldLG) vom 21. März 2002, Nds. GVBl. S. 112

- Springob G.; Deetjen H.; Zander O. (2006) Nitratbelastung der Grundwasserneubildung nach Vollumbruch bzw. Streifenfräsung auf mineralisationsstarken Sandböden in Forst und Holz 1/2006
- NDS. LANDTAG (2010): Gesetz zur Neuregelung des Niedersächsischen Wasserrechts vom 19. Februar 2010, Niedersächsisches Wassergesetz (NWG). Nds. GVBl. Nr. 5: 64-101
- NDS. MINISTERPRÄSIDENT (2012): Niedersächsische Bauordnung (NBauO) vom 3. April 2012, Nds. GVBl. Nr. 5/2012, S. 46 - 73
- NIBIS (2013): Kartenserver NIBIS des LBEG. Bodenkundliche und landwirtschaftliche Auswertungskarten. Anwendungsbeschränkung NG 407: Standortbezogenes Anwendungsverbot für Bentazon und Chloridazon. Aufgerufen am 19.12.2013, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=1078>
- NIEDERLÄNDER, E. (2013): Unter den Fuß – direkt ins Maul gedüngt. ACKERplus 03/13, 24-26
- NITSCH, A. (2011): Arbeitsanleitung für Nitratbestimmungen mit Teststreifen und dem Reflektometer Nitrachek 404., Fa. Hermann Wolf, Wuppertal
- NLGA (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESGESUNDHEITSAMT) (2012): Niedersächsische Landesliste 2012, Trinkwasseruntersuchung auf Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte nach TrinkwV 2001. http://www.nlga.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=6652&article_id=19390&_psmand=20
- NLÖ (2001): Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz. Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle. Grundwasser Band 1. Hildesheim
- NLÖ (2003): Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen, Teil 1: Bodenerosion und Bodenversiegelung. Schriftenreihe Nachhaltiges Niedersachsen 23
- NLÖ (2004): Interdisziplinäres Sanierungskonzept für ein hoch nitratbelastetes Trinkwassereinzugsgebiet im Bereich des unteren Wesertales. Ergebnisse des Pilotprojektes Schutzgebietsmanagement Großenwieden. Grundwasser Band 4. Hildesheim
- NLWKN (2009a): Beseitigung von kommunalen Abwässern in Niedersachsen – Lagebericht 2009. Hildesheim
- NLWKN (2009b): Niedersächsische Beiträge für die Maßnahmenprogramme der Flussgebietsgemeinschaften Rhein, Ems, Weser und Elbe nach Art. 11 der EG-Wasserrahmenrichtlinie bzw. nach § 181 des Niedersächsischen Wassergesetzes. Norden
- NLWKN (2010a): Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen. Gütemessnetz Fließgewässer und stehende Gewässer. Oberirdische Gewässer Band 31. Norden
- NLWKN (2010b): Niedersächsisches Modell- und Pilotvorhaben. Energiepflanzenanbau, Betrieb von Biogasanlagen und Gärrestmanagement unter den Anforderungen des Gewässerschutzes. Grundwasser Band 10. Norden
- NLWKN (2010c): Nitrat austräge unter Wald. Untersuchungen auf Standorten mit hohen luftbürtigen Stickstoffeinträgen. Grundwasser Band 9. Norden
- NLWKN (2010d): Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden. Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-N_{min}-Methode. Reihe Grundwasser, Bd. 8, 69 S.
- NLWKN (2011a): Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse. Schriftenreihe des NLWLN Grundwasser Band 13. Hrsg. NLWKN Norden
- NLWKN (2011b): Maßnahmenkatalog der Kooperation Südharz für Freiwillige Vereinbarungen gem. § 28 Abs. 3 Nr. 4b NWG. Inkrafttreten 1.1.2011
- NLWKN (2011c): Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen. Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse. Grundwasser Band 13. Norden
- NLWKN (2012a): Anforderungen an Erfolgsparameter in Schutzkonzepten, zum kooperativen Schutz von Trinkwassergewinnungsgebieten und Definition der Zielerreichung, Stand Februar 2012. Arbeitspapier für die Trinkwasserschutzkooperationen. Norden
- NLWKN (2012b): Messung der Exzess-N₂ im Grundwasser mit der N₂/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz. Grundwasser Band 15, Norden
- NLWKN (2012c): Pflichtenheft für die Datenerfassung im DIWA-Shuttle. NLWKN-Direktion, Norden
- NLWKN (2012d): Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden; Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-N_{min}-Methode für die Erfolgskontrolle und Prognose der Sickerwassergüte, Grundwasser Band 8, Hannover
- NLWKN (2013a): Einsatz von Modellen im NLWKN, Stand Juli 2013, unveröffentlicht
- NLWKN (2013b): Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN); Güte- und Standsmessnetz Grundwasser, Entwurf, unveröffentlicht
- NLWKN (2013c): Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse. Schriftenreihe des NLWLN Grundwasser Band 13. Hrsg. NLWKN Norden digitale Aktualisierung unter: http://www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/grundwasser/grundwasserschutz_landwirtschaft/materialien_zum_kooperationsmodell/kooperationsmodell-trinkwasserschutz-ergebnisse-102721.html
- NLWKN (2013d): Praxisempfehlungen für niedersächsische Wasserversorgungsunternehmen und Wasserbehörden, Handlungshilfe (Teil II), Erstellung und Vollzug von Wasserschutzgebietsverordnungen

- für Grundwasserentnahmen, Grundwasser Band 17, Norden
- NLWK_N (2014a): Anforderungen an Erfolgsparameter in Schutzkonzepten und Definition der Zielerreichung. Arbeitspapier für die Trinkwasserschutzkooperationen. Stand: 02.06.2014
- NLWK_N (2014b): Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen. Nährstoffe in niedersächsischen Oberflächengewässern. Oberirdische Gewässer Band 35. Norden
- NLWK_N (2014c): Leitfaden für die Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper in Niedersachsen und Bremen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- NLWK_N (2014d): Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen. Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse. Reihe Grundwasser, Band 19, 2. Aktualisierte Auflage, unveröffentlicht
- NLWK_N (2014e): Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN). Güte- und Standsmessnetz Grundwasser. Reihe Grundwasser Band 18. Norden
- Oowv (2008): Der Nachhaltigkeitsbericht. Internet-Fassung unter www.oowv-nachhaltig.de.
- Oowv (2011): Handlungsvorschläge zur Novellierung des EEGs 2012 aus Sicht des Grundwasserschutzes. Abruf unter: <http://www.oowv.de/druck/home/news/news-einzelansicht/druckansicht/1/archiv/2011/mai/25/artikel/positionspapier-biogas/>
- OSTERBURG, B., RÜHLING, I., SCHMIDT, T. G., SEIDEL, K., ANTONY, F., GÖDECKE, B., WITT-ALTFELDER, P. (2007): Kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft. In: Osterburg, B. & T. Runge (Hrsg.) (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 307. Braunschweig
- OSTERBURG, B., SCHMIDT, T. (2008): Weiterentwicklung der Berechnung regionaler Stickstoffbilanzen am Beispiel Niedersachsen
- PARISOT, G., EICKERMANN, M. (2012): Kohlhernie breitet sich weiter aus. Aufgerufen am 20.12.2013, http://www.lwk.lu/beratung/sentinel/Sentinel_2011-38.pdf
- PERSSON, G., LINDROTH, A. (1994): Simulating evaporation from short-rotation forest: variations within and between seasons. *Journal of Hydrology* 156, 21-45
- PETERS, J., GURGEL, A. (2009): Landwirtschaftliche Nutzung von Biogasgülle. Aufgerufen am 20.12.2013, http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/Biogas/Landwirtschaftliche_Nutzung_von_Biogasguelle/RoBioFo_J.Peters.pdf
- PETZOLD, R., FEGER, K.-H., SCHWÄRZEL, K. (2009): Wasserhaushalt von Kurzumtriebsplantagen. In: Reeg, T., Bemann, A., Konold, W., Murach, D. & H. Spiecker (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 181-191
- POEPLAU, C., DON, A., VESTERDAL, L., LEIFELD, J., VAN WESEMAEL, B., SCHUMACHER, J., GENSIO, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17(7):2415-2427
- RECKLEBEN, Y. (2009): Anbausysteme für Mais. Welcher Reihenabstand ist der Richtige? *Landpost*, S. 38-40. Nov. 2009
- REIMER, G. (GERIES INGENIEURE GMBH) (2010): Stickstoffstabilisatoren im Dünger einsetzen. In: *Bauernblatt*, 20. Februar 2010; Seite 10-11.
- RENGER, M., STREBEL, O. (1980): Jährliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von Bodennutzung und Bodeneigenschaften. *Wasser und Boden* 8: 362-366
- RICHTER, C. (2011): Anlagemethoden für On-Farm-Experimente. Aufgerufen am 15.5.2014. http://www.biometrische-gesellschaft.de/fileadmin/AG_Daten/Landwirtschaft/on_farm_exp/richter_WSkassel.pdf
- RINGE, H., DUIJNISFELD, W. H. M., SPRINGOB, G., BÖTTCHER, J. (1999): Einfluss des Bestandesaufbaus (Kiefern-Reinbestand oder Kiefern-Buchen-Mischbestand) auf Bodenzustand und Menge und Qualität der Grundwasserneubildung – Modelluntersuchungen im Fuhrberger Feld. *Stadtwerke Hannover AG (Hrsg.)*, Hannover
- SAILE, H., SÖFFKER, U., WILHELMSSEN, H. (2004): Integriertes Wasserschutzgebietsmanagement Deistervorland - Erfahrungen und Ergebnisse des NLÖ-Pilotprojektes. In: NLÖ (Hrsg.), Reihe Grundwasser, Band 5. Hildesheim
- SCHÄFER, B. C. (2008): Pflegen Sie Ihren Raps! *Innovation* 2/2008, S. 10-13. Aufgerufen am 20.12.2013, <http://www.dsv-saaten.de/data/pdf/32/01/00/2-08-rapspflege.pdf>
- SCHÄFER, W., HÖPER, H., EILER, T. (2012): Wasserschutzversuche und Sickerwasseruntersuchungen. Download im Internet unter: www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/197/article/20823.html, besucht am 10.10.2013
- SCHÄFER, W., HÖPER, H., MÜLLER, U. (2007): Erfassung der diffusen Nitrat-Quellen im Rahmen der Bestandsaufnahme in Niedersachsen. *LBEG Geoberichte* 2, S. 5-32
- SCHMIDT, W., NITZSCHE, O. (2001): Die Vorteile liegen auf der Hand. Aber ist pfluglose Bearbeitung auch rentabel? *Neue Landwirtschaft* 9, S. 34-37
- SCHMIDT, T., OSTERBURG, B. (2009): Wirksamkeit von Agrarumweltmaßnahmen in der Praxis – Herbst- N_{min}

- aus Vortrag: Strategien und Maßnahmen zur Senkung von diffusen N- Einträgen
- SCHMIDT, T. G., OSTERBURG, B. (2010): Wirkung von Wasserschutzmaßnahmen auf den mineralischen Stickstoffgehalt von Böden. Ergebnisse der Arbeiten im vTI zum Projekt WAgriCo2. Braunschweig
- SCHRADER, S. (2004): Pfluglos: Der Boden bedankt sich. dlz agrarmagazin 10, S. 20-24
- SCHÜTTE, R. (2013): Kulturlandschaft stark verändert. In: Land & Forst, Nr. 14, S. 12-13
- SENSEL, K., WRAAGE, V., ELLMER, F. (2009): Pflanzenbauliche Nutzung von Gärprodukten. Gärrestaufbereitung für eine pflanzenbauliche Nutzung. Stand und Forschungs- und Entwicklungsbedarf, Gülzower Fachgespräche Nr. 30, Gülzow
- SMOLKA, S. (2003): Glyphosat kontaminiert Grundwasser. Aufgerufen am 19.12.2013, <http://www.pan-germany.org/deu/~news-293.html>
- SONTHEIMER, A. (2013): Kohlhernie – Zusammenfassung des Kohlhernieforums in Lensahn. Aufgerufen am 20.12.2013, <http://www.rapool.de/index.cfm/nav/296/article/3571.html>
- SPRINGOB, G. (2010): in NLWKN: M&P-Vorhaben „Praktische Umsetzung der Humusforschung auf Schlagebene: Bewertung von und Umgang mit N-Quellen- und –Senkenstandorten im Hinblick auf den Grundwasserschutz“ (unveröffentlicht).
- SPRINGOB G., DEETJEN H., ZANDER O. (2006) Nitratbelastung der Grundwasserneubildung nach Vollumbruch bzw. Streifenfräsung auf mineralisationsstarken Sandböden in Forst und Holz 1/2006
- STADTWERKE HANNOVER (1999): Waldbewirtschaftung im Zeichen des Trinkwasserschutzes. Empfehlungen zum Waldumbau mit Ergebnissen aus dem Pilotprojekt Grundwasserschutzwald im Fuhrberger Feld. 1. Auflage
- STEINMANN, H.-H., GEROWITT, B. (2000): Ackerbau in der Kulturlandschaft – Funktionen und Leistungen. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes. Verlag Mecke, Duderstadt, ISBN 3 392752 65 1
- STOLL, B., DOHRENBUSCH, A. in DBU (2010): Kurzumtriebsplantagen: Handlungsempfehlungen zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft, Ergebnisse aus dem Projekt NOVALIS. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.) 2010. S. 6-13
- STREBEL, O., BÖTTCHER, J., EBERLE M., ALDAG R. (1988): Quantitative und qualitative Veränderung im A-Horizont von Sandböden nach Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland. Z. Pflanzenernährung Bodenkd. 151, S. 341-347
- TAPPE, N. (GERIES INGENIEURE GMBH) (2009): Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit und zum Erfolg nitratreduzierender Trinkwasserschutzmaßnahmen am Beispiel von Trinkwassergewinnungsgebieten der Rinteln-Hamelner-Wesertalung; Diplomarbeit Hochschule Anhalt (FH), unveröffentlicht
- THIERMANN, A. (2001): Entwicklung einer GIS-gestützten Methode zur Ermittlung winderosionsgefährdeter Gebiete in Niedersachsen. Diplomarbeit, Universität Bremen, zitiert nach NLÖ (2003)
- THÜNEN INSTITUT & FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH: Endbericht zum Forschungsprojekt AGRUM Niedersachsen in Vorbereitung.
- TLL (THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT) (2008): Standpunkt zur Standraumverteilung im Maisanbau
- TOPAGRAR ONLINE (2010): Ausfallraps: Mulchen statt vergraben. Aufgerufen am 20.12.2013, <http://www.topagrar.com/news/Home-top-News-Ausfallraps-Mulchen-statt-vergraben-126909.html>
- UBA (2008a): Empfehlungen der „Kommission Bodenschutz bei Umweltbundesamt“ Bodenschutz bei Anbau Nachwachsender Rohstoffe. Hrsg. Umweltbundesamt Dessau
- UBA (UMWELTBUNDESAMT GMBH WIEN) (2009): Pilotprojekt Grundwasseralter, Endbericht 2008
- UBA (2010): Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 2 – Gewässergüte. Berlin
- UBA (2011): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2011, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2009, Juni 2011, Dessau-Roßlau (ISSN 1862-4359)
- UBA, BFR (2012): Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln (PSM), Fortschreibungsstand 31.01.2012
- UBA (2014a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2012. Umweltbundesamt, EU-Submission 15.01.2014
- UBA (2014b): Boden schützen. Abruf am 11.3.2014 unter <http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft#strap1>
- VDLUFA (1997): Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.), Standpunkt – Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Im Selbstverlag, VDLUFA Darmstadt
- VDLUFA (2010): Stellungnahme des Arbeitskreises „Nachhaltige Nährstoffhaushalte“ im VDLUFA zur Methode der Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Internet-Download unter <http://www.vdlufa.de/index.php/fachinformationen-35/positionsapiere> (Stand: 06.03.2014)
- VELTHOF, G., HOVING, I., SMIT, A. et al. (2010): Methode and timing of grassland renovation affects herbage

- yield nitrate leaching and nitrous oxide emission in intensively managed grasslands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86, 401-412
- VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN (2010): Beratungsempfehlung Bodenbearbeitungssysteme. Aufgerufen am 18.05.2011, <http://www.landwirtschaftskammer.de/extern/vlk/pdf/bodenbearbeitungssysteme.pdf>
- VETTER, A., WERNER, A., REINHOLD, G. (2006): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz. 3te Auflage TLL (Hrsg.)
- VOIGTLÄNDER, G., JACOB, H. (1987): Grünlandwirtschaft und Futterbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- VON BOBERFELD, O. (1994): Grünlandlehre. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- WAGNER, F., PREDIGER, G. (Hrsg., 1989): Der Feldversuch. Durchführung und Technik. Selbstverlag Fritz Wagner, 36251 Bad Hersfeld
- WAGRICO (2006): Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung. Praxishandbuch zur Reduzierung landwirtschaftlicher Einflüsse auf die Grundwasserqualität. Water4All-Projekt im Rahmen EU Interreg IIIB North Sea Programm. 1. Auflage
- WAGRICO2 (2011): WAgrico2 Gewässerbewirtschaftung in Kooperation mit der Landwirtschaft in niedersächsischen Pilotbetrieben. Projektbericht. Hrsg. NLWKN Niedersachsen 1. Auflage
- WALD 21 (2011): Erträge und Anbaukosten von Kurzumtriebshölzern <http://www.wald21.com/energiewald/wirtschaftlichkeit.html#deckungsbeitrag>. Abruf 23.1.2011
- WIENHAUS, S., HÖPER, H., EISELE, M., MEESENBURG, H., SCHÄFER, W. (2008): Nutzung bodenkundlich-hydrogeologischer Informationen zur Ausweisung von Zielgebieten für den Grundwasserschutz. Ergebnisse eines Modellprojektes (NOLIMP) zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. LBEG (Hrsg.): Geoberichte 9, Hannover
- WIKIPEDIA (2013): <http://de.wikipedia.org/wiki/Feldblock> (Aufruf der homepage am 27.09.2013)
- ZANDER, O. (2012): mündliche Mitteilung. Stadtwerke Hannover, Enercity
- ZIMMERMANN, L. (2008): Wasserverbrauch von Wäldern in LWF aktuell 66/2008