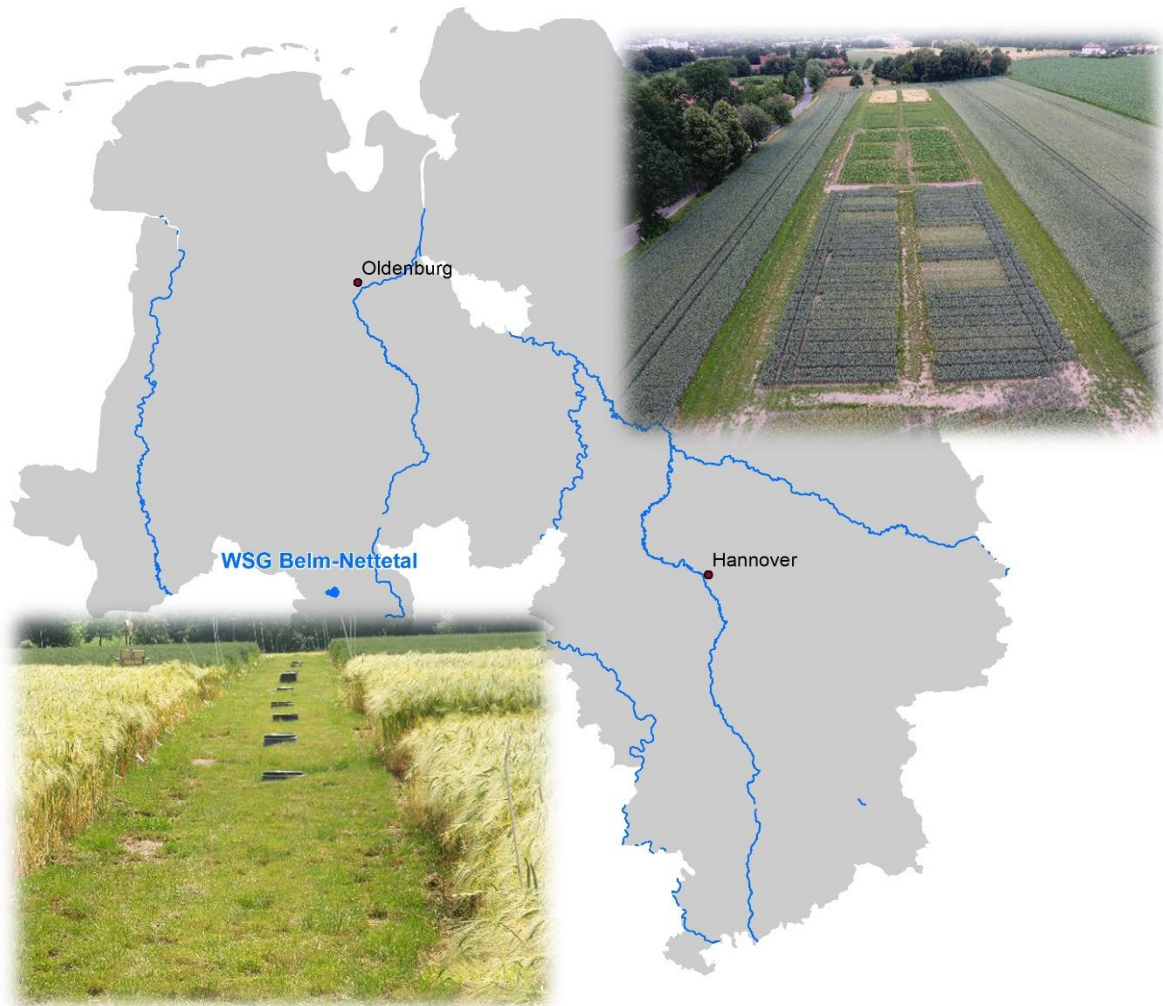




Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz



**Modell- und Pilotprojekt
zur Ermittlung von Grundlagen für
die Umsetzung ordnungsrechtli-
cher Stickstoffdüngungsbeschrän-
kungen am Beispiel des Wasser-
schutzgebietes Belm-Nettetal im
Landkreis Osnabrück**



Niedersachsen

Herausgeber:

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

Autoren:

Dieter Trautz, Mareike Beiküfner, Maria Vergara, Maik Kohlbrecher, Hochschule Osnabrück
Insa Kühling, Christian-Albrechts-Universität Kiel
Hermann Siuts, Stefan Müller, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Osnabrück

Auftraggeber:

Gemeindewerke Belm / Wasserverband Wittlage, Bad Essen

Koordination:

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Petra Hannig, Betriebsstelle Hannover-Hildesheim
Georg Kühling, Betriebsstelle Cloppenburg

Bildnachweise:

Hochschule Osnabrück, LWK Niedersachsen

1. Auflage November 2020, 200 Stück
Schutzgebühr: 5,00 € zzgl. Versandkosten

Bezug:

Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz – Veröffentlichungen –
Göttinger Chaussee 76 A
30453 Hannover

www.nlwkn.niedersachsen.de > Service > Veröffentlichungen/Webshop

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	7
Zielsetzung des Modell- und Pilotprojektes.....	8
1 Einleitung.....	8
2 Projektbeschreibung.....	8
3 Rechtliche und fachliche Grundlagen für die Bemessung der Stickstoffdüngung im Modell- und Pilotprojekt.....	10
3.1 Wasserschutzgebietsverordnung „Belm-Nettetal“.....	10
3.2 Umsetzung der Düngeverordnung 2017 im Projekt.....	10
4 Projektbegleitende Tätigkeiten.....	11
4.1 Koordination.....	11
4.2 Arbeitskreis.....	11
4.3 Öffentlichkeitsarbeit.....	12
4.4 Betriebsberatung.....	12
5 Methoden Exaktversuch.....	13
5.1 Versuchsanstellung.....	13
5.2 Stickstoffdüngung.....	15
5.3 Untersuchungsprogramm.....	15
5.3.1 Bodenuntersuchungen.....	15
5.3.2 Vegetationsparameter.....	16
5.3.3 Ernteparameter.....	16
5.4 Wasserhaushaltsmodell.....	16
5.5 Sickerwasser.....	18
5.5.1 Wassergewinnung.....	18
5.5.2 Sickerwasseranalytik.....	18
5.6 Datenauswertung.....	18
6 Witterungsverlauf.....	19
7 Ergebnisse und Indikatorauswertung im Exaktversuch.....	20
7.1 Bodenuntersuchungen.....	20
7.2 Ernteerträge und -qualitäten.....	22
7.3 N-Schlagbilanzen.....	24
7.4 Wasserhaushalt.....	26
7.5 Nitratkonzentration und Nitratfrachten.....	28
7.6 Abschließende Bewertung der Indikatoren.....	28
8 Ergebnisse Demonstrationsflächen.....	30
8.1 Nitratecheck.....	30
8.2 Ernteerträge und -qualitäten.....	33
8.3 N _{min} -Bodenuntersuchungen.....	35

8.4 Nitrat-Tiefenprofile	36
9 Betriebliche Auswertungen.....	40
9.1 Kenndaten der teilnehmenden Betriebe.....	40
9.2 Schlagbilanzen Demonstrationsstreifen.....	40
9.3 Nährstoffvergleiche mit und ohne N-Reduzierung	41
9.4 Hoftorbilanzen mit und ohne N-Reduzierung	42
10 Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Demonstrationsstreifen)	43
10.1 Berechnung von Ausgleichsleistungen auf Grundlage der Ergebnisse der Demonstrationsstreifen ...	43
10.1.1 Demonstrationsstreifen Wintergerste	44
10.1.2 Demonstrationsstreifen Winterweizen	46
10.1.3 Demonstrationsstreifen Triticale	48
10.1.4 Demonstrationsstreifen Körnermais 2018	50
10.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	50
10.3 Übertragung der betriebswirtschaftlichen Ergebnisse auf potentielle Ausgleichszahlungen im Wasserschutzgebiet.....	52
11 Kontrolle der Stickstoffdüngebeschränkung im Rahmen der WSG-Verordnung unter dem Aspekt der Eignung und Rechtssicherheit.....	53
12 Zusammenfassende Diskussion und Fazit.....	55
12 Literaturverzeichnis	57
Anhang	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Kulturen und Versuchsvarianten im Exaktversuch auf der Fläche „Im Masch“	14
Abbildung 2: Leitprofil der Versuchsfläche mit den entsprechenden Zuordnungen für die Wasserhaushaltsmodellierung (Profilsprache A. Klaphecke, 1.8.2017) und schematischer Aufbau des 3-Schicht-Bodenwasserhaushaltsmodells BOWAB (verändert nach Engel et al. 2012).	17
Abbildung 3: Niederschläge am Standort Belm für die einzelnen Versuchsjahre im Vergleich zum langjährigen Mittel (1981-2010). Datengrundlage: DWD (2020).	19
Abbildung 4: N_{\min} Vorräte in den Versuchsvarianten differenziert nach Bodenschichten für die 3 Beprobungstermine im Frühjahr, Nach-Ernte sowie im Herbst der drei Versuchsjahre (Summe in 0-90 cm als Zahlenwerte); B: Brache.	21
Abbildung 5: Relativerträge (+/- Standardabweichung) für Mais aus den drei Versuchsjahren. Die Sollwert-Düngung (swo) stellt als Bezugsgröße 100 % dar.	22
Abbildung 6: Relativerträge (+/- Standardabweichung) für Weizen aus den drei Versuchsjahren. Die Sollwert-Düngung (swo) stellt als Bezugsgröße 100 % dar.	22
Abbildung 7: Relativerträge (+/- Standardabweichung) für Gerste aus den drei Versuchsjahren. Die Sollwert-Düngung (swo) stellt als Bezugsgröße 100 % dar.	23
Abbildung 8: N-Bilanzen in 2017 für alle Düngevarianten in den 4 untersuchten Kulturen. Zufuhr entsprechend der Düngevarianten aus mineralischer bzw. für die Sollwertvarianten aus organischer + mineralischer Düngung, Abfuhr Mais: ganze Pflanze, Getreide Korn + Stroh, Ölrettich eingearbeitet (orange = N-Abfuhr Mais, gelb = N-Abfuhr Raps, hellgrün = N-Abfuhr Gerste, dunkelgrün = N-Abfuhr Weizen).	25
Abbildung 9: N-Bilanzen in 2018 für alle Düngevarianten in den 4 untersuchten Kulturen. Zufuhr entsprechend der Düngevarianten aus mineralischer bzw. für die Sollwertvarianten aus organischer + mineralischer Düngung, Abfuhr Mais: ganze Pflanze, Getreide: Korn + Stroh (orange = N-Abfuhr Mais, gelb = N-Abfuhr Raps, hellgrün = N-Abfuhr Gerste, dunkelgrün = N-Abfuhr Weizen).	25
Abbildung 10: N-Bilanzen in 2019 für alle Düngevarianten in den 4 untersuchten Kulturen. Zufuhr entsprechend der Düngevarianten aus mineralischer bzw. für die Sollwertvarianten aus organischer + mineralischer Düngung, Abfuhr Mais: ganze Pflanze, Getreide: Korn + Stroh (orange = N-Abfuhr Mais, blau = N-Abfuhr Hafer, hellgrün = N-Abfuhr Gerste, dunkelgrün = N-Abfuhr Weizen).	26
Abbildung 11: Blockweise Darstellung des Wasserhaushaltsmodells für jede Sickerwasserperiode mit Angabe der jeweiligen Kultur (ZF: Zwischenfrucht, SW kum: Sickerwasser summiert, P kum: Niederschlag summiert, ETa kum: Verdunstung summiert, FK We: Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (175 mm in 7 dm), AH: Austauschhäufigkeit im effektiven Wurzelraum). Datengrundlage: DWD (2020).	27
Abbildung 12: Berechnete kumulierte Nitratfrachten für die drei Sickerwasserperioden differenziert nach Kultur und Düngevarianten (swo = Sollwert gedüngt; swo- = reduzierte Sollwert-Düngung (-10% bei Getreide/Raps, -20% bei Mais).	29
Abbildung 13: Mittelwertdifferenz zwischen der Nitrat-N Konzentration im Sickerwasser über alle Kulturen und Jahre für Sollwert und Sollwert reduzierte N-Düngung (95%-Konfidenzintervall -13,2; 0,78).	30
Abbildung 14: N-Tester Werte (Balken) 2017 und entsprechender sortenspezifischer Stickstoff-Düngebedarf (sofern vorhanden) in $kg\ ha^{-1}$ (Rauten und Beschriftung) zum BBCH-Stadium 30/32.	31
Abbildung 15: N-Tester Werte 2018 (Balken) und entsprechender sortenspezifischer Stickstoff-Düngebedarf (sofern vorhanden) in $kg\ ha^{-1}$ (Rauten und Beschriftung) zum BBCH 30/32 (1. Messung) und zum BBCH-Stadium 37/51 (2. Messung).	31
Abbildung 16: N-Tester Werte (Balken) 2019 und entsprechender sortenspezifischer Stickstoff-Düngebedarf (sofern vorhanden) in $kg\ ha^{-1}$ (Rauten und Beschriftung) zum BBCH 30/32 (1. Messung) und zum BBCH-Stadium 37/51 (2. Messung).	32
Abbildung 17: Kennzeichnung Demonstrationsfläche im Frühjahr 2018	33
Abbildung 18: Ernteerträge (Balken) und Proteingehalte (Rauten) der Demonstrationsflächen jeweils aus den beiden Streifen mit Düngung nach Sollwert (swo) sowie reduziert (swo-) (Mais -20%. Raps/Getreide -10%) separiert nach Versuchsjahr.	34
Abbildung 19: Probenahme N_{\min} -Tiefenprofile im Herbst 2016	37
Abbildung 20: Nitratkonzentration im Bodenwasser in Zusammenhang mit den N_{\min} -Gehalten je 3 dm Schicht (Tiefe unter Geländeoberfläche) differenziert nach Ausgangszustand in 2016, sowie Sollwert-Düngung und reduzierte Sollwert-Düngung in 2019 für die Demonstrationsstreifen BD-IM, BD-R, BD-S, BW-GO, BW-K und BW-T. Farbskalierung: niedrigster Wert = grün; höchster Wert = rot.	38

Abbildung 21: Nitratkonzentration im Bodenwasser in Zusammenhang mit den N_{min}-Gehalten je 3 dm Schicht (Tiefe unter Geländeoberfläche) differenziert nach Ausgangszustand in 2016, sowie Sollwert-Düngung und reduzierte Sollwert-Düngung in 2019 für die Demonstrationsstreifen HJ-AK, HJ-MO, HJ-P, HM-L, HM-ML und HM-R. Farbskalierung: niedrigster Wert = grün; höchster Wert = rot39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kenndaten und Untersuchungsumfang	9
Tabelle 2: Düngermenge, -form und Verteilung der Saugkerzen in den Versuchsvarianten.	15
Tabelle 3: Applizierte N-Mengen unterteilt in organische und mineralische Düngung differenziert nach Kultur und Jahr für die Sollwert gedüngte (swo) und Sollwert reduziert gedüngte Variante (swo-) im Exaktversuch.	15
Tabelle 4: Bodenphysikalische Eingangsgrößen der Wasserhaushaltsmodellierung. (VKR: Verknüpfungsregel nach der die Werte abgeleitet wurden (Müller und Waldeck 2011; Wessolek et al. 2009); FK: Feldkapazität; nFK: nutzbare Feldkapazität; PWP: permanenter Welkepunkt).	17
Tabelle 5: Methoden und verwendete Geräte zur Untersuchung der Sickerwasserproben.	18
Tabelle 6: Kornträge (86% TS) für Getreide und Biomasseerträge (TS) für Mais und Proteingehalte für alle 3 Versuchsjahre in allen Düngevarianten. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb eines Jahres innerhalb der jeweiligen Kultur (SNK-Test, alpha=0.05)	23
Tabelle 7: N _{min} Vorräte in den Demonstrationsstreifen (swo = Sollwert-Düngung; swo- = reduzierte Sollwert-Düngung). Die farbliche Hinterlegung der Tabelle kennzeichnet die angebaute Kultur im jeweiligen Jahr (orange = Mais, dunkelgrün = Weizen, hellgrün, Gerste, blau = Triticale, gelb = Raps)	36
Tabelle 8: Kenndaten teilnehmender Betriebe	40
Tabelle 9: Mittlere N-Zufuhr mit und ohne Düngungsbeschränkungen auf Betriebsebene	41
Tabelle 10: Mittlere N-Bilanzen mit und ohne Düngungsbeschränkungen auf Betriebsebene	42
Tabelle 11: Hoftorbilanzen mit und ohne N-Düngungsbeschränkungen.....	42
Tabelle 12: Preisspanne und Durchschnittswerte bei den Düngern Ammonsulfatsalpeter (ASS) und Kalkammonsalpeter (KAS) sowie bei den Getreideerlösen in €/dt	43
Tabelle 13: Düngungsrelevante Parameter sowie Ertrags- und Erlösunterschiede auf den Demonstrationsstreifen Wintergerste der einzelnen Jahre (auf Basis der Ergebnisse der Hochschule Osnabrück)	45
Tabelle 14: Düngungsrelevante Parameter sowie Ertrags- und Erlösunterschiede auf den Demonstrationsstreifen Winterweizen der einzelnen Jahre (auf Basis der Ergebnisse der Hochschule Osnabrück)	47
Tabelle 15: Düngungsrelevante Parameter sowie Ertrags- und Erlösunterschiede auf den Demonstrationsstreifen Triticale der einzelnen Jahre (auf Basis der Ergebnisse der Hochschule Osnabrück)	49
Tabelle 16: Düngungsrelevante Parameter sowie Ertrags- und Erlösunterschiede auf den Demonstrationsstreifen Körnermais im Jahr 2018 (auf Basis der Ergebnisse der Hochschule Osnabrück) ...	50
Tabelle 17: Vergleich ausgewählter Parameter aus den Ergebnissen der betriebswirtschaftlichen Betrachtung der Demonstrationsflächen im MuP mit den Ansätzen aus dem Blaubuch der LWK Niedersachsen (2020)	51
Tabelle 18: Berechnung potentieller Ausgleichsbeträge auf Grundlage der Nutzungen im WSG Belm-Nettetal mit Düngebeschränkungen sowie den errechneten Verlusten bei verschiedenen Getreidenutzungen	52

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ASS	Ammonsulfatsalpeter
BBCH	Code zur Beschreibung des phänologischen Entwicklungsstadiums von Getreide
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
CC	Cross Compliance
C/N	Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis
dm	Dezimeter
DüV	Düngeverordnung
DWD	Deutscher Wetterdienst
etc.	et cetera
ENNI	Elektronische Nährstoffmeldung Niedersachsen
Fa.	Firma
GOF	Geländeoberfläche
hPa	Hektopascal
K	Kalium
KAS	Kalkammonsalpeter
KK	Kornkali
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LWK	Landwirtschaftskammer
Mg	Magnesium
mg/l	Milligramm pro Liter
mm	Millimeter
mm/a	Millimeter pro Jahr
m²	Quadratmeter
MuP	Modell- und Pilotprojekt
n	Stickprobenumfang
N	Stickstoff
N_{min}	mineralischer Stickstoff im Boden
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
o.g.	oben genannt
P	Phosphor
Tab.	Tabelle
TGG	Trinkwassergewinnungsgebiet
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
TKM	Tausendkornmasse
VKR	Verknüpfungsregel
WSG	Wasserschutzgebiet
WSG-VO	Wasserschutzgebietsverordnung

Zielsetzung des Modell- und Pilotprojektes

Für die Umsetzung von Schutzbestimmungen zur Beschränkung der Stickstoff(N)-Düngung benötigen die beteiligten Institutionen, die Unteren Wasserbehörden, die Wasserversorgungsunternehmen, die Gewässerschutzberatung und der NLWKN Handlungshilfen und fachlich abgesicherte Berechnungsvorgaben.

In Festgesteinsgebieten liegen bisher kaum Untersuchungen zur Wirksamkeit von Stickstoff-Düngungsbeschränkungen vor. Es fehlen umfassende Kenntnisse zur Wirkung im Bereich des Bodens und des Sicker- und Grundwassers z. B. auf den Herbst- N_{\min} -Wert und die Nitratkonzentration des Sickerwassers. Dies gilt auch für wichtige Kenndaten im Bereich der Landwirtschaft, z. B. die Stickstoffbilanzen, den Ertrag und direktkostenfreie Leistung

(Deckungsbeitrag) in der notwendigen regionalspezifischen und fachlichen Tiefenschärfe. Ziel des Modell- und Pilotprojektes (MuP) war es daher, wirtschaftliche Nachteile für die landwirtschaftlichen Betriebe aus N-Reduzierungsmaßnahmen zu ermitteln und entsprechende Kontrollmöglichkeiten zur Maßnahmenumsetzung festzulegen.

Anhand fachlich abgesicherter Untersuchungen sollten Umsetzungshinweise und Handlungsempfehlungen zur Erfolgskontrolle ermittelt werden, die sich aus den Schutzbestimmungen der Wasserschutzgebietsverordnung (WSG-VO) „Belm-Nettetal“ ergeben. Daneben bestand das Ziel darin, die Übertragbarkeit auf andere Wasserschutzgebiete (WSG) im Festgesteinsbereich mit hoher Nitrat-transportgefährdung bzw. großer standörtlicher Heterogenität zu prüfen.

1 Einleitung

Den Anstoß für das MuP mit einer Laufzeit von 2016 bis 2020 gab die damals geplante und im September 2017 in Kraft getretene WSG-VO „Belm-Nettetal“ des Landkreises Osnabrück. Diese ist aus der Handlungshilfe Teil II „Praxisempfehlungen für Niedersächsische Wasserversorgungsunternehmen und Wasserbehörden“ NLWKN (2013) abgeleitet. Nach dauerhafter Überschreitung eines Schwellenwertes von 40 mg/l Nitrat im Rohwasser mehrerer Entnahmepunkte war das WSG „Belm-Nettetal“ das erste Festgesteinsgebiet in Niedersachsen, in dem Auflagen zur Beschränkung der Stickstoffdüngung auf Ackerflächen im Düngjahr 2018/2019 zur Anwendung kamen. Der Landkreis Osnabrück beabsichtigt auch in weiteren WSG-VO Schutzbestimmungen zur flächendeckenden verbindlichen Beschränkung der N-Düngung aufzunehmen.

Grundlage des Projektes bildete ein 2015 vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstelle Cloppenburg in Abstimmung mit den Gemeindewerken Belm entwickeltes Konzept, in dem die wesentlichen Fragestellungen und Ziele formuliert wurden. Das Niedersächsische Umweltministerium gewährte zur Durchführung eine Zuwendung aus Landesmitteln an die Gemeindewerke Belm. Mit der Durchführung des Projektes wurden nach einer Ausschreibung die Hochschule Osnabrück und die Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen beauftragt. 2018 übernahm der Wasserverband Wittlage mit Sitz in Bad Essen die Trägerschaft des Pilotprojektes. Die Projektbetreuung erfolgte durch den NLWKN, Betriebsstellen Hannover-Hildesheim und Cloppenburg.

2 Projektbeschreibung

Das Trinkwassergewinnungsgebiet Belm-Nettetal ist durch einen ausgedehnten Kluftgrundwasserleiter (vor allem Gesteine des Muschelkalks, Buntsandsteins und Keupers) gekennzeichnet. Überlagert werden die Schichten von Lockersedimenten wechselnder Mächtigkeit (Lösslehm, Geschiebelehm, Mergel, Sande und Kiese). Bei den Bodentypen überwiegen Plaggenesche und Pseudogleye. Bereichsweise treten Braunerden, Ranker und Rendzinen sowie in den Niederungen Gleye auf. Die Standorte sind insgesamt durch eine hohe Heterogenität gekennzeichnet. Es besteht eine geringe Nitrat-abbaukapazität im Unterboden. Diese

Standortbedingungen in Verbindung mit dem Gelände- und der Niederschlagssituation (883 mm/a 1981 bis 2010, Wetterstation DWD in Belm) führen zu einer raschen Nitratverlagerung, die eine hohe Belastung des geförderten Rohwassers zur Folge hat.

Die Flächennutzung erfolgt zu 55 % landwirtschaftlich; 33 % sind Wald und 12 % sonstige Flächen. Der Anteil des Ackers an der landwirtschaftlichen Fläche (521 ha LF) beträgt 80 %, der Grünlandanteil 17 %. Ca. 3 % sind Sonderkulturen. Aus Sicht des Trinkwasserschutzes sind der Maisanteil mit zuletzt ca. 20 %, Winterraps mit 10 % und Wintergetreide (Wintergerste, Weizen, Triticale) mit 50 % der LF

von besonderer Bedeutung. Die beteiligten landwirtschaftlichen Betriebe (56) haben ihre Schwerpunkte hauptsächlich in der Schweinehaltung (Veredelung), der Bullenmast (Futterbau, Silomais) und dem Marktfruchtanbau (Getreide).

Im Herbst 2016 begann die Hochschule Osnabrück das auf drei Vegetationsperioden angelegte Projekt mit der Installation einer Saugkerzenanlage zur Sammlung und Untersuchung des Sickerwassers unter einer 0,8 ha großen Versuchsfläche. Es folgte die Anlage von Parzellen für einen Exaktversuch, um auf wissenschaftlicher Grundlage die Wirkung von Düngungsbeschränkungen auf den Nitratbeitrag zu untersuchen. Der Exaktversuch wurde mit unterschiedlichen N-Düngungsstufen in den Hauptkulturen Winterrap (später Sommerhafer), Winterweizen, Wintergerste und Mais sowie Brache angelegt (s. Versuchsanstellung, Kap 5.1).

Zur Demonstration der Auswirkungen in der Praxis stellten zunächst vier, später drei Landwirte insgesamt 12 Ackerflächen (Schläge) zur Verfügung. Es wurde jeweils ein Streifen mit und ein Streifen ohne N-Düngerreduzierung in den oben angegebenen Kulturen im Rahmen einer Fruchtfolge angelegt, um

mögliche Auswirkungen der reduzierten Düngergaben aufzuzeigen. In den Streifen wurden ebenso wie im Exaktversuch Bodenuntersuchungen und Erntemittlungen durchgeführt. Ergänzend wurden zu Beginn und zum Ende des Projektes auf den Demonstrationsstreifen Nitrattiefenprofile bis auf 3 m Bodentiefe zur Erfolgskontrolle erstellt.

Die drei teilnehmenden landwirtschaftlichen Betriebe bilden einen repräsentativen Querschnitt der Betriebstypen im Gebiet ab (Veredelung, Futterbau, Marktfrucht). Auf Basis der auf den Demonstrationsflächen gewonnenen und von Landwirten bereitgestellten Daten berechnete die LWK Nährstoffbilanzen auf Schlagebene, Nährstoffvergleiche und Hoftorbilanzen im Vergleich mit und ohne Düngungsbeschränkungen. Weitere betriebswirtschaftliche Auswertungen wurden vorgenommen, um Hinweise für angemessene Ausgleichszahlungen für mögliche Ertragsbeeinträchtigungen zu erlangen, die durch Düngungsbeschränkungen hervorgerufen werden und zu Ausgleichszahlungen führen können.

Aus der folgenden Tabelle ist der Untersuchungsumfang des Projekts ersichtlich:

Tabelle 1: Kenndaten und Untersuchungsumfang

Kenndaten	Exaktversuch	Demonstrationsstreifen
Flächengröße	0,53 ha (mit Fahrstreifen 0,8 ha)	24 Streifen, insgesamt 12,9 ha
Fruchtarten	4 (Weizen, Gerste, Mais, Raps/Hafer (2019))	4 (Weizen, Gerste, Triticale, Mais)
Düngungsvarianten	6 Varianten (0, 50, 100, 150 kg N ha, Sollwert (swo), Sollwert reduziert (-10% Getreide/Raps, -20% Mais; swo-))	2 Varianten Sollwert (swo), Sollwert reduziert (-10% Getreide/Raps, -20% Mais; swo-)
Untersuchungen		
Grundnährstoffe (Ca, P, K, Mg, pH)	25 Mischproben (je Variante (6) und Block (4) + Brache eine Mischprobe)	12 Mischproben zu Projektbeginn
Humus (C/N)	25 Mischproben (je Variante (6) und Block (4) + Brache eine Mischprobe)	12 Mischproben zu Projektbeginn
Wirtschaftsdünger (TS, N, NH ₄ -N, P, K, Mg, Ca, S)	3	12 (jährlich 1 bis 2 Proben je Betrieb)
N _{min} (TS, NH ₄ -N, NO ₃ -N)	214 N _{min} -Untersuchungen (je Variante und Block (+Brache) eine Mischprobe im Frühjahr, nach der Ernte und im Herbst, Zusatzbeprobung im Dezember 2018)	228 (Frühjahr, nach der Ernte und Herbst, Zusatzbeprobung im Dezember 2018)
Nitracheck	-	120 (1 bis 2 Termine jährlich)
Erntegut (Rohprotein)	60 Rohprotein-Untersuchungen (eine Mischprobe je Variante, Kultur (bis auf Raps) und Jahr)	72 Erntemengen und Rohproteinbestimmungen (24 Parzellenbeprobungen jährlich)
Nitrattiefenprofile		36 (12 zu Beginn und 24 am Ende des Projektes)
Sickerwasseruntersuchungen	5 Varianten (mit Sickerwasserbeprobung) in 3-facher Wiederholung in 4 Blöcken + Brache = 21 Mischproben zu 44 Beprobungsterminen = 924 Einzelproben	
Indikatoren	N _{min} im Herbst, N-Bilanzen, Nitratkonzentration im Sickerwasser, Nitratfrachten	

3 Rechtliche und fachliche Grundlagen für die Bemessung der Stickstoffdüngung im Modell- und Pilotprojekt

Das MuP wurde zwischen 2016 und 2019 in einer Übergangsphase der wasser- und düngerechtlichen Rahmenbedingungen durchgeführt. Die Projektskizze und die WSG-VO wurden noch nach der o.g. Handlungshilfe des NLWKN und den Vorgaben der alten Düngeverordnung (DüV) von 2007 entworfen (§ 3 Abs. 1: „Die Düngebedarfsermittlung muss

so erfolgen, dass ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung gewährleistet ist.“). 2017 trat die neue DüV mit der Festlegung verbindlicher, bundesweit einheitlicher Bedarfswerte in Kraft, die schließlich im Projekt umgesetzt wurden.

3.1 Wasserschutzgebietsverordnung „Belm-Nettetal“

Als Grundlage für die Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes „Belm-Nettetal“ diente dem Landkreis Osnabrück die Praxisempfehlung für niedersächsische Wasserversorgungsunternehmen und Wasserbehörden Handlungshilfe (Teil II) - Erstellung und Vollzug von Wasserschutzgebietsverordnungen für Grundwasserentnahmen

(NLWKN, 2013). Die WSG-VO vom 19.06.2017 ist auf der Internetseite des Landkreises Osnabrück veröffentlicht. Die Handlungsempfehlungen zur Begrenzung der N-Düngung wurden wie folgt umgesetzt:

Anforderungen an die Düngung gemäß § 6 Abs. 3 der WSG-Verordnung „Belm-Nettetal“

- *„Wenn die durchschnittliche Nitratkonzentration im Rohwasser des Vorjahres ... einen Wert von 40 mg/l übersteigt, ist die Stickstoffdüngung wie folgt durchzuführen:*
- *Mais: Reduzierung der N-Düngung um mindestens 20 % gegenüber der Düngungsempfehlung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und Verzicht auf Zuschläge.*
- *Alle anderen Früchte außer Grünland: Reduzierung der N-Düngung um mindestens 10 % gegenüber dem Sollwert nach Düngeempfehlung und Verzicht auf Zuschläge.*
- *Weizen: Verzicht auf die Ährengabe*
- *Verbot der Ausbringung von mehr als 120 kg/ha Stickstoff aus organischen Düngern tierischer oder pflanzlicher Herkunft pro Jahr auf ackerbaulichen oder erwerbsgärtnerischen Nutzflächen.*
- *Verbot des Aufbringens von mehr als 120 kg/ha Stickstoff aus organischen Düngern tierischer oder pflanzlicher Herkunft pro Jahr auf ackerbaulichen oder erwerbsgärtnerischen Nutzflächen.*
- *Vollständige Anrechnung der Stickstoffdüngung zur Zwischenfrucht für die Folgefrüchte.*
- *Die Feststellung zur Überschreitung und Unterschreitung der Nitratkonzentration trifft die Untere Wasserbehörde und macht diese ortüblich bekannt.“*

Mit Feststellung der Überschreitung von 40 mg/l im Rohwasser setzte die Untere Wasserbehörde Osnabrück am 8.11.2018 die o.g. Beschränkungen für das WSG durch Veröffentlichung auf der Internetseite des Landkreises zum 1.12.2018 in Kraft. Nach der WSG-VO § 6 Abs. 4 finden diese Festsetzungen keine Anwendung, wenn durch Vereinbarung von grundwasserschützenden Rahmenbedingungen zwischen Wasserversorgungsunternehmen und Bewirtschaftern mit Zustimmung der Unteren Wasserbehörde eine hinsichtlich der Wirkung gleichwertige Regelung getroffen wird.

Zur praxisnahen Umsetzung der Beschränkungen beschloss daraufhin die Trinkwasserschutzkooperation Belm-Osnabrück mit Zustimmung des Landkreises Osnabrück eine „Vereinbarung zum Pauschalenausgleich: I.I Reduzierte N-Düngung im WSG Belm-Nettetal“. Die Ausgleichsbeträge für mögliche Ertragsbeeinträchtigungen der angebauten Kulturen orientieren sich während der Projektlaufzeit an dem jeweils gültigen Pauschalen nach Blaubuch - Ausgleichsleistungen in Wasserschutzgebieten gemäß § 93 NWG der LWK Niedersachsen (2020).

3.2 Umsetzung der Düngeverordnung 2017 im Projekt

Mit Bekanntwerden der Änderungen der DüV 2017 mussten die Vorgaben des Projektkonzeptes angepasst werden. Im projektbegleitenden Arbeitskreis verständigte man sich auf Grundsätze für die N-

Düngung, die gleichermaßen im Exaktversuch als auch auf den Demonstrationsflächen zur Anwendung kommen sollten. Bereits in der ersten Arbeitskreissitzung am 15.11.2016 wurde beschlossen, die

im Entwurf der DüV 2017 angegebenen Vorgaben für die Berechnung der auszubringenden N-Mengen zu verwenden. Für die Projektumsetzung ergaben sich folgende Vorgaben für die N-Düngung:

Die Düngevorgabe beim Mais erhöht sich von 180 (Empfehlung) auf 200 kg N/ha (Bedarfwert) und verringert sich bei der Gerste von 190 auf 180 kg N/ha. Für das im dreijährigen Mittel nachgewiesene Ertragsniveau sind Zu- und Abschläge in begrenzter Höhe möglich. Für die Nachlieferung von Stickstoff aus der organischen Düngung des Vorjahres ist ein Abzug von 10 % des aufgebrauchten Gesamtstickstoffs vorzunehmen. Die DüV 2017 sieht keine Berücksichtigung der N-Wirkung abgefrorener Zwischenfrüchten vor. In vierjährigen, aus Mitteln der Wasserentnahmegebühr geförderten Versuchen der LWK Niedersachsen (2017) zeigte sich jedoch, dass auch abgefrorene Zwischenfrüchte Stickstoff nachliefern.

Im Pilotprojekt wurden folgende Rahmenbedingungen im Vergleich zur Projektskizze aktualisiert:

- Unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse zum Zwischenfruchtanbau der LWK Niedersachsen (2016) wurde die N-Düngung zu Zwischenfrüchten des Vorjahres bei der Bemessung der N-Düngung der Hauptkultur im Folgejahr zu 50 % berücksichtigt (verfügbare N-Nachlieferung im Anbaujahr).
- An Stelle der ursprünglich vorgesehenen „betriebsüblichen“ Düngung nach Düngempfehlung der LWK Niedersachsen wurde der nach der DüV 2017 (Anlage 0 - 4) ermittelte Düngebedarfwert unter Berücksichtigung der vorgegebenen Zu- und Abschläge angenommen, da dieser ab 2017 allgemein verbindlich umzusetzen ist.
- Es wurden Zu- und Abschläge zum N-Bedarfwert (bisher: N-Sollwert) nach dem betrieblichen, über drei vergangene Jahre nachgewiesenen Ertragsniveau berücksichtigt.

4 Projektbegleitende Tätigkeiten

4.1 Koordination

Eine umfassende Koordinationstätigkeit bei der Umsetzung dieses Projektes war aufgrund des besonderen Interesses der verschiedenen Institutionen und Landwirte im WSG Belm-Nettetal und darüber hinaus notwendig. Das Konzept umfasste folgende Tätigkeiten:

- Information der Landwirte über Aufgaben und Mitwirkung im Projekt
- Geschäftsführung des projektbegleitenden Arbeitskreises
- Abstimmung mit der Hochschule Osnabrück und den teilnehmenden Landwirten zur Bewirtschaftung der Demonstrationsflächen
- Abstimmung von Probenahmeterminen (z. B. Boden, N_{min}) mit der Hochschule Osnabrück, der LUFA, den Probenehmern und Landwirten

- Information des Berufsverbandes Hauptverband des Osnabrücker Landvolkes und des Beratungsrings Osnabrück
- Information zur Umsetzung der WSG-VO beim Landkreis Osnabrück, Untere Wasserbehörde und bei der Düngbehörde LWK Niedersachsen
- Informationen zum Projektablauf bei den Stadtwerken Osnabrück
- Auftragsabwicklung mit dem Wasserverband Wittlage
- Fachliche und organisatorische Fragen des Projektes mit dem NLWKN, Betriebsstellen Hannover-Hildesheim und Cloppenburg

4.2 Arbeitskreis

Projektbegleitend wurde ein Arbeitskreis mit folgenden Institutionen installiert:

- Wasserverband Wittlage (Projektträger, Wasserversorgungsunternehmen, Mitglied der Trinkwasserschutzkooperation)
- Stadtwerke Osnabrück AG (Wasserversorgungsunternehmen, Trinkwasserschutzkooperation)

- Landkreis Osnabrück (Untere Wasserbehörde)
- Hochschule Osnabrück (Versuchsanstaltung, Projektdurchführung)
- LWK Niedersachsen, Bezirksstelle Osnabrück (Koordination, Projektdurchführung)

- Sprecher der Landwirte (Trinkwasserschutzkooperation Belm-Osnabrück)
- am Projekt beteiligte Landwirte (, Modellbetriebe Exaktversuch, Demonstrationsflächen)
- Hauptverband Osnabrücker Landvolk (Verbandsarbeit)
- Beratungsring Osnabrück (Pflanzenbauberatung)
- NLWKN, Betriebsstellen Cloppenburg und Hannover-Hildesheim (Projektsteuerung, Finanzierung)
- Fa. Agravis (Düngung, Düngemittel)
- zeitweise hinzugezogene Expert/innen (u.a. Geries Ing. GmbH: Bericht über reduzierte N-Düngung im WSG Hameln; Düngbehörde LWK Niedersachsen: Umsetzung der neuen DüV 2017)

Der Arbeitskreis führte im Projektzeitraum insgesamt 5 Sitzungen durch. Die Zusammenarbeit erwies sich als sehr konstruktiv insbesondere bei der Justierung des MuP an der landwirtschaftlichen Praxis im WSG. Es ergaben sich wertvolle Impulse zur praktischen Durchführung und zur Umsetzung der Projektziele.

4.3 Öffentlichkeitsarbeit

Die Information der Öffentlichkeit über die Inhalte und Ziele des MuP wurde ebenfalls intensiv verfolgt. Zum Projektstart und zu den Feldbegehungen wurden Redakteure der örtlichen Presse und von Fachzeitschriften eingeladen. Im Verlauf des Projektes meldeten sich Pressevertreter mehrmals, um über den Projektfortschritt zu berichten. Mehrere Artikel erschienen in der "Neuen Osnabrücker Zeitung" und der Zeitschrift „Land und Forst“. Auf den Internet-Seiten des NLWKN und der LWK Niedersachsen wurde ebenfalls über das Projekt informiert. Die

Seite der LWK wurde mit Stand 01.06.2020 insgesamt 939-mal durch externe Leser aufgerufen.

Jährlich wurde während der Vegetationsperiode eine Feldbegehung mit interessierten Landwirten sowie Gewässerschutzberatern und Wasserfachleuten aus den Behörden und Wasserversorgungsunternehmen organisiert. Dort wurde über das Projekt, die Versuchsanstellung und die Ergebnisse des Exaktversuchs und der Demonstrationsflächen informiert und diskutiert.

4.4 Betriebsberatung

Hauptthemen der Beratung der teilnehmenden Landwirte, die von der LWK Niedersachsen, Bezirksstelle Osnabrück durchgeführt wurde, waren die Planung und Durchführung der N-Düngung auf den Demonstrationsstreifen nach folgenden Grundsätzen:

- Exakte Ermittlung des N-Düngebedarfs (ehemals Düngeempfehlung) nach den Vorgaben der DüV 2017 und der um 10 bzw. 20 % (Mais) reduzierten N-Gaben gem. Projektvorgabe.
- Einbeziehung der Untersuchungsergebnisse von Boden (Nährstoffe, N_{min}) und Wirtschaftsdüngern nach der Probenahme durch die Hochschule Osnabrück.
- Durchführung der organischen (Gülle) und der mineralischen Grunddüngung (P, K, Mg) durch die Landwirte mit betriebseigener Technik.
- Durchführung der mineralischen N-Düngung durch Mitarbeiter und Technik der Hochschule Osnabrück mit hoher Verteilgenauigkeit und exakter Einhaltung der Planvorgaben. Mit Hilfe des EDV-Düngeplanungsprogrammes der

LWK Niedersachsen wurden zur Umsetzung der Düngebedarfsermittlung mit und ohne N-Reduktion einzelschlagbezogene Düngepläne erstellt. Ein Beispiel einer N-Düngebedarfsermittlung befindet sich im Anhang Tab. A8.

Bei der Bewirtschaftung der Demonstrationsflächen zeigte sich die Bedeutung einer exakten N-Ausbringung. Die in der landwirtschaftlichen Düngepraxis oftmals unvermeidlichen Ungenauigkeiten aufgrund der im Betrieb vorhandenen Verteil- und Streutechnik waren zu minimieren. Die vorhandenen Düngetechniken der Landwirte waren teilweise für eine exakte und reproduzierbare Ausbringung nicht geeignet. Deshalb wurde ein Verfahren gewählt, bei dem die Landwirte mit betriebseigener Technik nur die Grunddüngung in Form von Wirtschaftsdünger und/oder mineralischem Kali- und Phosphordünger in beiden Varianten gleich vornahmen. Das Vorgehen, die organische Grunddüngung (Gülle) nicht zu reduzieren, entspricht zudem der landwirtschaftlichen Praxis, da die Betriebsleiter aus wirtschaftlichen Gründen vorrangig mineralischen N-Dünger einsparen, um den Düngungsbeschränkungen gerecht zu werden. Zur Realisierung der unterschiedlichen Düngungsvarianten „Sollwert“ und „reduziert“

brachte die Hochschule Osnabrück ergänzend den mineralischen Stickstoff (auch N/P-Dünger) mit eigenem Exaktstreuer in ein bis drei Gaben aus. Auf diese Weise konnte die Höhe der N-Düngung und insbesondere die Differenzierung der Varianten hinreichend genau gewährleistet werden. Der Mineraldünger wurde in Anlehnung an die in den Betrieben übliche Düngerform gewählt (ASS oder KAS, zum Teil Diammonphosphat).

Da auch die Dokumentation der N-Düngung einen Schwachpunkt bei der Umsetzung von N-Reduktionen darstellt, entstand im Projekt die Überlegung, ob über eine GPS-gesteuerte, moderne Dünge- und Dokumentationstechnik eine verlässliche und reproduzierbare N-Reduzierung erreicht werden kann.

Der Einsatz von Herbiziden und Fungiziden wurde von den Praktikern nach den Prinzipien des integrierten Pflanzenschutzes betriebsüblich vorgenommen.

5 Methoden Exaktversuch

5.1 Versuchsanstellung

Im Trinkwassergewinnungsgebiet Belm-Nettetal wurde 2016 von der Hochschule Osnabrück im Rahmen des Pilotprojektes eine komplexe Saugkerzenanlage auf einer typischen Ackerfläche im Bereich der Schutzzone II des WSG installiert. In einem randomisierten Exaktversuch wurden dort vier Kulturen in Kombination mit sechs verschiedenen Düngestufen bzw. Düngeformen in dreifacher Wiederholung untersucht. Die Versuchsanlage gliedert sich in vier Blöcke unterteilt in 24 ortsfeste Parzellen. In jeweils 18 der 24 Parzellen pro Block befinden sich unterirdisch verbaute keramische Saugkerzen zur kontinuierlichen Sickerwassergewinnung während des Winterhalbjahres. Je Block wird eine Kultur aus der viergliedrigen Fruchtfolge Sommerraps – Silomais – Winterweizen – Wintergerste angebaut (Abb. 1). Die Fruchtfolge rotiert

über die Blockanlage, so dass ein praxisüblicher landwirtschaftlicher Kulturwechsel auf den einzelnen Blöcken dargestellt werden kann. Zusätzlich gibt es einen ortsfesten Bracheblock ohne Kultur und ohne Düngung. Innerhalb jedes Blockes werden sechs Düngestufen in jeweils dreifacher Wiederholung geprüft. In vier der sechs Düngevarianten, sowie im Bracheblock wurde Sickerwasser gewonnen, Tab. 1 liefert eine Übersicht über die Düngung und Saugkerzenzuordnung in den Varianten. Aufgrund von massiven Fraßschäden im Sommerapsbestand in 2017 und 2018 wurde die Kultur in 2019 durch Sommerhafer ersetzt. Nach Raps bzw. Hafer und vor Mais wurde als Zwischenfrucht ein Gemenge aus Phacelia und Buchweizen angebaut. Als Zwischenfrucht nach Gerste und vor Raps bzw. Hafer wurde ein Ölrettich-Gelbsenf-Gemenge gewählt.

Abbildung 1: Lage der Kulturen und Versuchsvarianten im Exaktversuch auf der Fläche „Im Masch“



Tabelle 2: Düngermenge, -form und Verteilung der Saugkerzen in den Versuchsvarianten.

Variante	N-Menge	Düngerform	Sickerwasser
0 / Brache	0	rein mineralisch	X
50	50	rein mineralisch	X
100	100	rein mineralisch	
swo-	Sollwert reduziert (-10/20%)	organisch + mineralisch	X
swo	Sollwert	organisch + mineralisch	X
150	150	rein mineralisch	

5.2 Stickstoffdüngung

Die N-Düngung erfolgte im Projekt mit Absprache des Arbeitskreises. In jedem Versuchsjahr wurde im Exaktversuch eine Düngeplanung nach Prinzipien der Düngebedarfsermittlung, entsprechend der DüV 2017, für die Sollwert (swo) bzw. Sollwert reduzierte (swo-) Variante erstellt. Hierzu wurden vor Ausbringung der Mastschweinegülle (erste N-Gabe in der swo bzw. swo- Variante in allen Kulturen) Wirtschaftsdüngeruntersuchungen zur Ermittlung des Nitrat- und Ammoniumgehalts durch die LUFA durchgeführt. Zur 2. N-Gabe wurde Kalkammonsalpeter (KAS) (mineralische Düngung) eingesetzt. Die applizierten N-Mengen sind für die swo und swo-

Variante in Tab. 2 dargestellt. Die N-Düngung in den Varianten 50, 100 und 150 kg N ha⁻¹ erfolgte ausschließlich mineralisch. Die 0-Variante diente als ungedüngte Kontrollvariante. Es wurden unabhängig von den ermittelten N_{min}-Werten im Frühjahr je nach Variante 50, 100 bzw. 150 kg N ha⁻¹ in Form von Ammonsulfatsalpeter (ASS) und KAS zu Weizen, Gerste und Sommerraps bzw. Sommerhafer mit Versuchstechnik appliziert. Ab einer Applikationsmenge von mehr als 50 kg N ha⁻¹ wurden die Düngegaben geteilt. Silomais erhielt die erste N-Gabe als Unterfußdüngung (NP 20+20 oder Yara MilaMais-NP-Dünger 19+17) und als 2. Stickstoffgabe KAS.

Tabelle 3: Applizierte N-Mengen unterteilt in organische und mineralische Düngung differenziert nach Kultur und Jahr für die Sollwert gedüngte (swo) und Sollwert reduziert gedüngte Variante (swo-) im Exaktversuch.

	Mais			Weizen			Gerste			Raps (R)/Hafer (H)		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017 (R)	2018 (R)	2019 (H)
N appliziert (kg N ha⁻¹)	143	149	132	141	189	199	134	163	141	100	160	75
swo davon organisch	123	91	90	94	80	81	94	80	81	70	80	41
davon mineralisch	20	58	42	47	109	92	40	83	59	30	100	34
N appliziert (kg N ha⁻¹)	114	123	108	125	170	181	119	145	125	90	150	64
swo- davon organisch	94	91	90	85	80	81	79	80	81	70	80	41
davon mineralisch	20	32	18	40	90	77	40	65	43	20	83	23

5.3 Untersuchungsprogramm

5.3.1 Bodenuntersuchungen

Es wurden sowohl im Exaktversuch als auch in den Demonstrationsstreifen jährlich N_{min}-Proben zu drei Terminen (Frühjahr, Nach-Ernte, Herbst) gezogen. Die Proben wurden als Mischprobe pro Variante aus vier Einstichen je Parzelle (Exaktversuch) bzw. aus 16 Einstichen je Streifen (Demonstrationsflächen) in jeweils drei Tiefenschichten (0-30, 30-60 und 60-90 cm) gewonnen. Anschließend wurden

die Proben direkt am Feld homogenisiert und tiefgekühlt. Die darauf folgende Analyse auf Ammonium- und Nitratstickstoff erfolgte durch die LUFA. In 2018 wurden im Exaktversuch Grundnährstoffuntersuchungen (Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg)), sowie Untersuchungen zum pH-Wert und der organischen Substanz durchgeführt. Hierzu wurden Einstiche in 0-30 cm Tiefe vorgenommen und eine

Mischprobe je Variante erstellt. Die Analyse erfolgte ebenfalls durch die LUFA.

In den Demonstrationsstreifen wurden zu Versuchsbeginn im Herbst 2016 und zu Versuchsende im Herbst 2019 je Streifen drei Nitrat-Tiefenprofile in 0-300 cm Tiefe (10 Schichten) beprobt und eine Mischprobe je Schicht erstellt. Dabei wurde im Herbst 2019 differenziert nach Sollwert- und redu-

5.3.2 Vegetationsparameter

Während der Vegetation wurde die Bestandesentwicklung im Exaktversuch mit Hilfe eines Handheld Greenseekers (Trimble) als NDVI (normalized difference vegetation index) erhoben. Dieser Wert wird als echter Mittelwert der gesamten Parzelle erhoben und spiegelt im Unterschied zu Stichproben wie bei SPAD/N-Tester Messungen an einzelnen Blättern realistisch die Bestandesentwicklung wieder. Nach Abschluss der Bestockung wurde an vier laufenden Metern zufällig verteilt im Bestand die Bestandesdichte gezählt, sowie an fünf zufällig ausgewählten Pflanzen in jedem laufenden Meter die Pflanzenlänge gemessen.

5.3.3 Ernteparameter

Zur Ernte wurden als Ertragsparameter je Parzelle vier zufällig verteilte Viertelquadratmeterschnitte Biomasse geschnitten und verwogen. Die Getreideernte erfolgte im Parzellenmähdusch (Hege) auf einer Kernparzelle von 14,7 m². Die Kornfeuchte wurde im Labor gravimetrisch bestimmt und alle Ernteerträge auf 86 % Trockenmasse (TM) (Getreide) umgerechnet. Die Mais Ganzpflanzen-ernte wird in Trockensubstanz (TS) angegeben. Im Rahmen der Nachernteanalyse wurde die Tausendkornmasse (TKM) bestimmt (Bundessortenamt 2000), die weiteren ertragsbildenden Faktoren ergeben sich rechnerisch. Erntequalitätsanalysen

5.4 Wasserhaushaltsmodell

Zur Berechnung des Indikators Nitratfrachten wurde ein Wasserhaushaltsmodell erstellt. Die Wasserhaushaltsmodellierung erfolgte im 3-Schicht-Modell BOWAB (Engel et al. 2012). Bei diesem Modellansatz wird der Niederschlag als infiltrierendes Sickerwasser von der oberen an die darunter liegenden Schichten weitergegeben, während die Verdunstung als Wurzelwasserentnahme von unten nach oben schichtweise weitergegeben wird (Abbildung 1). Es wurden mittlere, repräsentative

zierter Sollwert-Düngung untersucht. Die Beprobung im Herbst 2016 stellt die Ausgangssituation dar. Der Betrieb D nahm in 2019 nicht mehr an den Demonstrationsstreifen im MuP teil (s. Kap. 9.1 Kenndaten teilnehmender Betriebe), weshalb für dieses Versuchsjahr keine Daten (N-Tester-Werte, Ernteerträge und -qualitäten, sowie N_{min}-Bodenvorräte) für die Flächen BD-IM, BD-R und BD-S vorliegen.

Im Vegetationsverlauf wurde innerhalb der Demonstrationsstreifen die N-Versorgung der Pflanzen (Nitratcheck) mit Hilfe eines Yara N-Testers an 30 zufällig ausgewählten jüngsten voll entwickelten Blättern innerhalb jeder Variante erhoben. Bestandesdichten und Pflanzenlänge wurden an 5 laufenden Metern im Getreide-/Maisbestand an zufällig ausgewählten Positionen innerhalb der Kernparzellen ermittelt.

(Rohprotein, Rohfett bei Raps, Stärke bei Mais) wurden bei der LUFA in Auftrag gegeben.

Nach der letzten Düngemaßnahme wurden in der Kernparzelle der Demonstrationsstreifen die Erntefenster abgesteckt. Die Präzisionsbeerntung erfolgte auf 108 m² je Streifen. Nachernteanalysen (TS-Gehalt, TKM) fanden im Labor der Hochschule statt, weitere ertragsbildende Parameter wie Körner pro Ähre ergeben sich rechnerisch. Die Analyse der Qualitätsparameter (Protein, Öl, Stärke) wurde ebenfalls durch die LUFA durchgeführt.

tive bodenphysikalische Eigenschaften für die gesamte Versuchsfläche der Sickerwasseranlage angenommen. Bei dem Standort handelt es sich um einen pseudovergleyten Plaggenesch mit 7 dm effektivem Wurzelraum (Abb. 1). Im Wasserhaushaltsmodell wurde für Schicht 1 und 2 eine Mächtigkeit von 3 dm angenommen, für die 3. Schicht 1 dm.

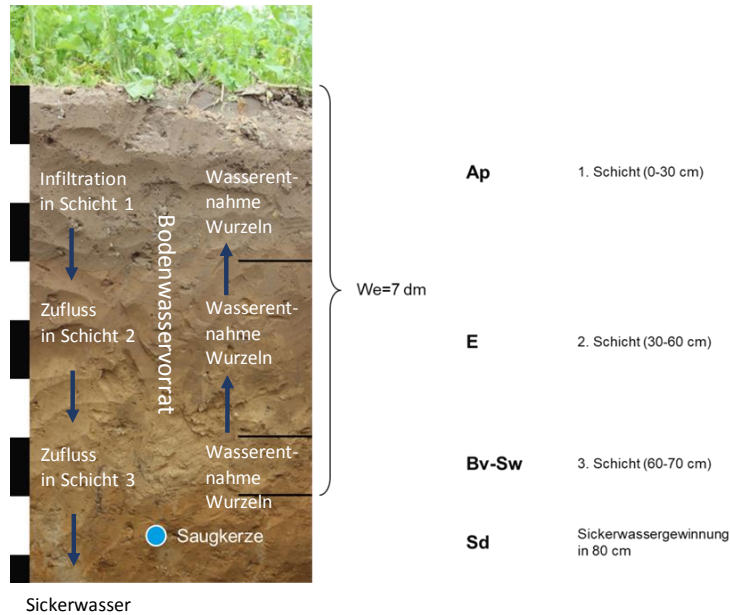


Abbildung 2: Leitprofil der Versuchfläche mit den entsprechenden Zuordnungen für die Wasserhaushaltsmodellierung (Profilsprache A. Klaphecke, 1.8.2017) und schematischer Aufbau des 3-Schicht-Bodenwasserhaushaltsmodells BO-WAB (verändert nach Engel et al. 2012).

Die Verdunstungsberechnung erfolgte nach kulturangepasster FAO-Grasreferenzverdunstung (VKR 6.4.4 und 6.4.11) (Müller and Waldeck 2011) mit schichtabhängigen Ausschöpfungsfaktoren. Für den grundwasserfernen Versuchsstandort konnte kapillarer Aufstieg ausgeschlossen werden. Starttermin für die Modellierung des Bodenwasserhaushalts war der 1.3.2015 unter der Annahme, dass dort Feldkapazität erreicht war. Es wurde ein Jahr

Vorlauf zur Modellierung des Wasserhaushaltsmodells gewählt, um mit Versuchsbeginn 2016 realistische Randbedingungen zu erhalten. Die Austauschhäufigkeit des Sickerwassers im effektiven Wurzelraum errechnet sich nach VKR 6.7.3.2 und ist im langjährigen Mittel als mittleres Nitratauswaschungsrisiko einzustufen (Müller und Waldeck 2011).

Tabelle 4: Bodenphysikalische Eingangsgrößen der Wasserhaushaltsmodellierung. (VKR: Verknüpfungsregel nach der die Werte abgeleitet wurden (Müller und Waldeck 2011; Wessolek et al. 2009); FK: Feldkapazität; nFK: nutzbare Feldkapazität; PWP: permanenter Welkepunkt).

Schicht	Tiefe	Mächtigkeit [dm]	Bodenart	FK		nFK		PWP	
				%	[mm]	%	mm	%	mm
1	0-30	3	Sl3	27.5	82.5	18.5	55.5	10	30
2	30-60	3	Su3	21.5	64.5	20.5	61.5	7	21
3	60-70	1	Su2	28	28	16	16	5	5
				VKR 6.1.8		VKR 6.1.7		*	
Effektiver Wurzelraum		7 dm			175		133		56
		VKR 6.1.6			VKR 6.5.9		VKR 6.5.1 VKR 6.5.4		

5.5 Sickerwasser

5.5.1 Wassergewinnung

Die Sickerwassergewinnung erfolgte kontinuierlich während der Sickerwasserperiode (1. Oktober bis 31. März) in 80 cm Bodentiefe (10 cm unterhalb der effektiven Durchwurzelungszone) mit keramischen

Saugkerzen (UMS SK20) bei einem Unterdruck von 200-220 hPa. Die Proben wurden im 14-tägigen Rhythmus gesammelt und als Mischprobe der 3 Wiederholungen im Labor analysiert.

5.5.2 Sickerwasseranalytik

Die Analyse der Sickerwasserproben erfolgte im Labor der Hochschule Osnabrück nach den in Tab. 5 aufgeführten Methoden und den zugehörigen Geräten. Neben der Messung des pH-Wertes und

der elektrischen Leitfähigkeit wurde der Gehalt an Nitrat, Ammonium, Chlorid, Sulfat, Kalium und Calcium in den Sickerwasserproben bestimmt.

Tabelle 5: Methoden und verwendete Geräte zur Untersuchung der Sickerwasserproben.

Parameter	Gerät	Norm
pH-Wert	pH-Meter (WTW Multi 340i)	DIN EN ISO 10523
Elektrische Leitfähigkeit	EC-Messgerät (WTW Multi 340i)	DIN EN 27888
Nitrat	Spektrophotometer Perkin Elmer Lambda 25	VDLUFA A 6.1.1.1 (2002)
Ammonium	Spektrophotometer Perkin Elmer Lambda 25	DIN 38406 Teil 5-1
Chlorid	Ionenchromatograph Metrohm 882 Compact IC plus	DIN EN ISO 10304-1
Sulfat	Ionenchromatograph Metrohm 882 Compact IC plus	DIN EN ISO 10304-1
Kalium	Thermo Scientific iCAP 7400 duo (ICP-OES)	DIN EN ISO 11885
Calcium	Thermo Scientific iCAP 7400 duo (ICP-OES)	DIN EN ISO 11885

5.6 Datenauswertung

Berechnung des Indikators N-Schlagbilanzen

Die N-Bilanzen wurden aus den mittleren N-Entzügen und Proteingehalten je Variante (n=3) (Exaktversuch) bzw. je Streifen (n=1) (Demonstrationsflächen) berechnet nach Formel 1 unter der Annahme

von Korn:Stroh-Verhältnissen entsprechend der DüV (BMEL, 2017).

$$\text{Bilanz (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Zufuhr (Düngung}_{org+min}\text{)} - \text{Abfuhr (Korn + Stroh)} \quad (1)$$

Die N-Effizienz im Exaktversuch wurde berechnet als „recovery efficiency“ des applizierten N-Düngers nach Formel 2. Dieses dimensionslose Maß

für die Effizienz der N-Düngung ermöglicht den Vergleich verschiedener Kulturarten (insbesondere Mais mit anderen).

$$N - \text{Effizienz} = \frac{N - \text{Pflanzenaufnahme}_{gedüngt} - N - \text{Pflanzenaufnahme}_{ungedüngte Kontrolle}}{N - \text{Düngung}} \quad (2)$$

Die statistische Auswertung der Ernteerträge und Proteingehalte im Exaktversuch erfolgte in der Statistik Software R (R Core Team 2016) als ANOVA plus SNK post-hoc Test (p=0.05) im Package „Agricolae“ (de Mendiburu 2014). Eine statistische Auswertung der Ernteerträge und Proteingehalte

für die Demonstrationsflächen waren aufgrund der nicht vorhandenen Wiederholungen nicht möglich.

Auswertung des Indikators Nitratkonzentration

Die Auswertung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser erfolgte ebenfalls in der Statistik Software R (R Core Team, 2016) mit Estimation Stats.

6 Witterungsverlauf

Die Niederschläge im ersten Versuchsjahr von Anfang Oktober 2016 bis Ende September 2017 summierten sich auf 663 mm, was nur 75 % des langjährigen Mittels von 883 mm am Standort Belm entspricht (DWD 2020). Mit Ausnahme des Julis wiesen alle Monate ein Niederschlagsdefizit auf (Abb. 3).

Die Niederschläge im zweiten Versuchsjahr von Anfang Oktober 2017 bis Ende September 2018 summierten sich auf 578 mm, was 55 % des langjährigen Mittels entspricht und liegt damit noch 20 Prozentpunkte unter dem bereits trockenen ersten

Versuchsjahr (DWD 2020). Mit Ausnahme von Januar wiesen alle Monate erhebliche Niederschlagsdefizite auf. Auch im dritten Versuchsjahr (Oktober 2018 bis September 2019) setzte sich der Trend zu geringeren Niederschlägen gegenüber dem langjährigen Mittel fort (622 mm, 70 %).

Während der letzten Sickerwasserperiode Oktober 2019 bis März 2020 verzeichneten die Monate Oktober und Februar einen deutlichen Niederschlagsüberschuss gegenüber dem langjährigen Mittel, wohingegen die übrigen Monate ein leichtes (März) bis starkes (Januar) Niederschlagsdefizit aufwiesen.

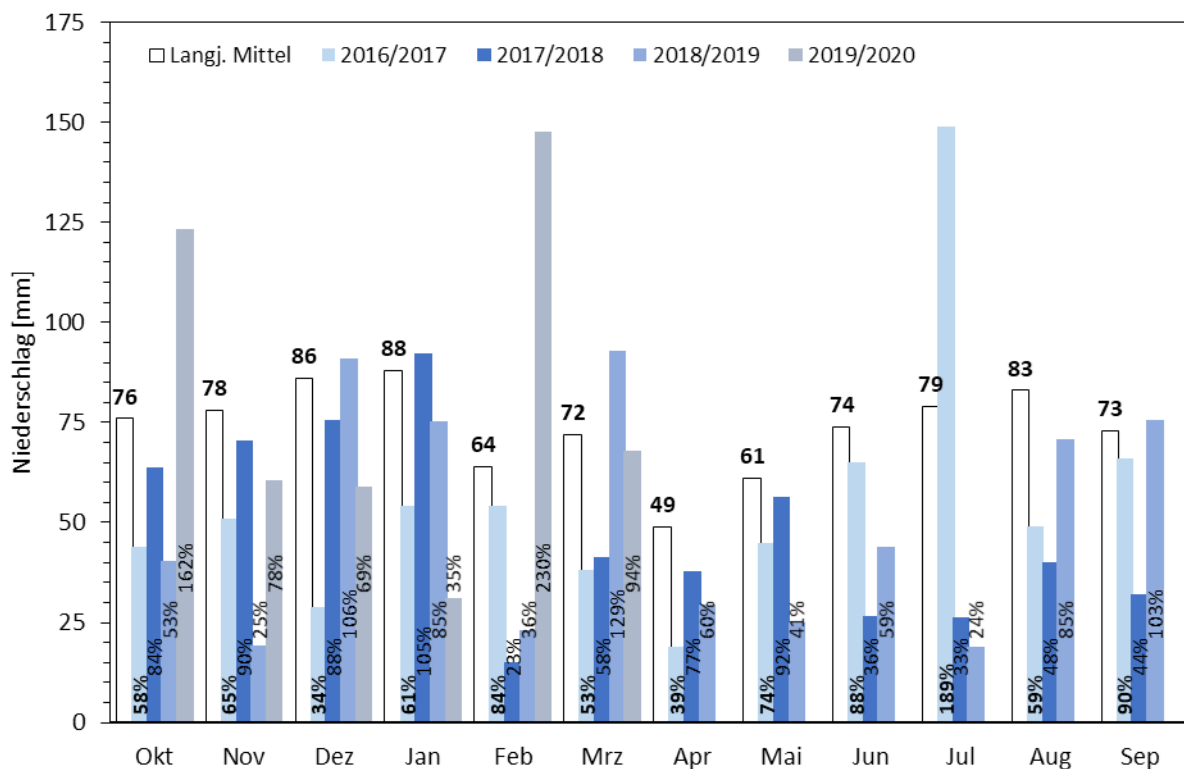


Abbildung 3: Niederschläge am Standort Belm für die einzelnen Versuchsjahre im Vergleich zum langjährigen Mittel (1981-2010). Datengrundlage: DWD (2020).

7 Ergebnisse und Indikatorauswertung im Exaktversuch

7.1 Bodenuntersuchungen

Die Ergebnisse der Grundnährstoffuntersuchungen (P, K, Mg), sowie pH-Wert, Humusgehalt und C/N-Verhältnis für jede Variante sind in Tab. A1 im Anhang dargestellt. Es konnten keine Unterschiede zwischen den Parzellen festgestellt werden, sodass mögliche Ertragsunterschiede auf die differenzierte N-Düngung und die unterschiedliche Winterbegrünung zurückzuführen sind.

In Abb. 4 sind die Ergebnisse der N_{\min} -Untersuchungen zum Frühjahr, nach der Ernte und im Herbst in jedem Jahr dargestellt. Da zu Beginn des Winterhalbjahres in 2018/19 erst im Januar 2019 Sickerwasser auftrat, wurde eine zusätzliche N_{\min} -Beprobung im Dezember 2018 durchgeführt (Abb. A1 im Anhang). Die Ergebnisse der Frühjahrsbeprobung fließen in die Düngeplanung der Sollwertvarianten mit ein. Aufgrund der Erstellung von Mischproben je Variante sind die Unterschiede zwischen den Varianten nicht statistisch auszuwerten. Allgemein nehmen die N_{\min} -Werte zur Herbstbeprobung zu. Zunächst steigen die N_{\min} -Werte insbesondere in 0-30 cm Tiefe zur Nach-Ernte-Beprobung an. Zur Herbst-Beprobung lässt sich ein Anstieg des N_{\min} -Gehaltes auch in den Tiefen 30-60 cm bzw. 60-90 cm beobachten, was vermutlich auf eine Verlagerung des mineralisierten Stickstoffs (besonders Nitrat) in tiefere Bodenschichten zurückzuführen ist

In 2017 erfolgte die erste Beprobung im Frühjahr als Mittel je Block, da erst nach der Beprobung die Düngestufen angelegt wurden. Anschließend wurden die N-Varianten separat beprobt in den Varianten mit Sickerwassergewinnung. Unter Gerste und Weizen wurden zur Nach-Ernte- und Herbst-Beprobung im Mittel der Düngestufen höhere N_{\min} -Werte festgestellt (z. B. 82 kg N ha⁻¹ nach der Ernte und 115 kg N ha⁻¹ im Herbst für Weizen) im Vergleich zu den Zwischenfrüchten nach Mais bzw. nach Raps (z. B. 47 kg N ha⁻¹ nach der Ernte und

88 kg N ha⁻¹ im Herbst für Mais). Dabei wurden innerhalb der Kulturen nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten beobachtet.

In 2018 sind ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Kulturen sichtbar. Allerdings wurden im Gegensatz zu 2017 unter Mais höhere N_{\min} -Werte (im Mittel 100 kg N ha⁻¹) verzeichnet im Vergleich zu den anderen Kulturen. Unterschiede zwischen den Düngevarianten zeigten sich ebenfalls vor allem unter Mais: Mit steigender N-Düngung nahmen die N_{\min} -Werte nach der Ernte bzw. zum Herbst zu. Vermutlich führte die Trockenheit im Sommer 2018 zu einem geringeren Wachstum des Maisbestandes und dem damit verbundenen geringen N-Entzug der Pflanzen, sodass hohe Restmengen an Stickstoff im Boden verblieben. Die Zusatzbeprobung im Dezember 2018 schließt sich an die bereits dargestellten Ergebnisse aus 2018 an. Die verbliebenen N-Mengen nach Mais konnten nicht durch die N-Aufnahme des Weizens im Winter aufgefangen werden. Unter der Brachefläche wurden ebenfalls hohe N_{\min} -Werte beobachtet (144 kg N ha⁻¹ im Herbst, 406 kg N ha⁻¹ im Dezember), was vermutlich auf die bereits angesprochenen Witterungsbedingungen und insbesondere dem fehlenden N-Entzug durch eine Kultur zurückzuführen ist.

In 2019 setzte sich der beobachtete Kultureffekt auf die N_{\min} -Werte fort. Allerdings wurden in diesem Jahr unter Hafer die höchsten N_{\min} -Werte verzeichnet. Unterschiede zwischen den Düngevarianten innerhalb der Kulturen sind ebenfalls unter Hafer stärker ausgeprägt.

Insgesamt wurde der Effekt der Düngestufen auf die N_{\min} -Werte vermutlich durch den Einfluss der unterschiedlichen Kulturen und der Witterungsbedingungen überdeckt.

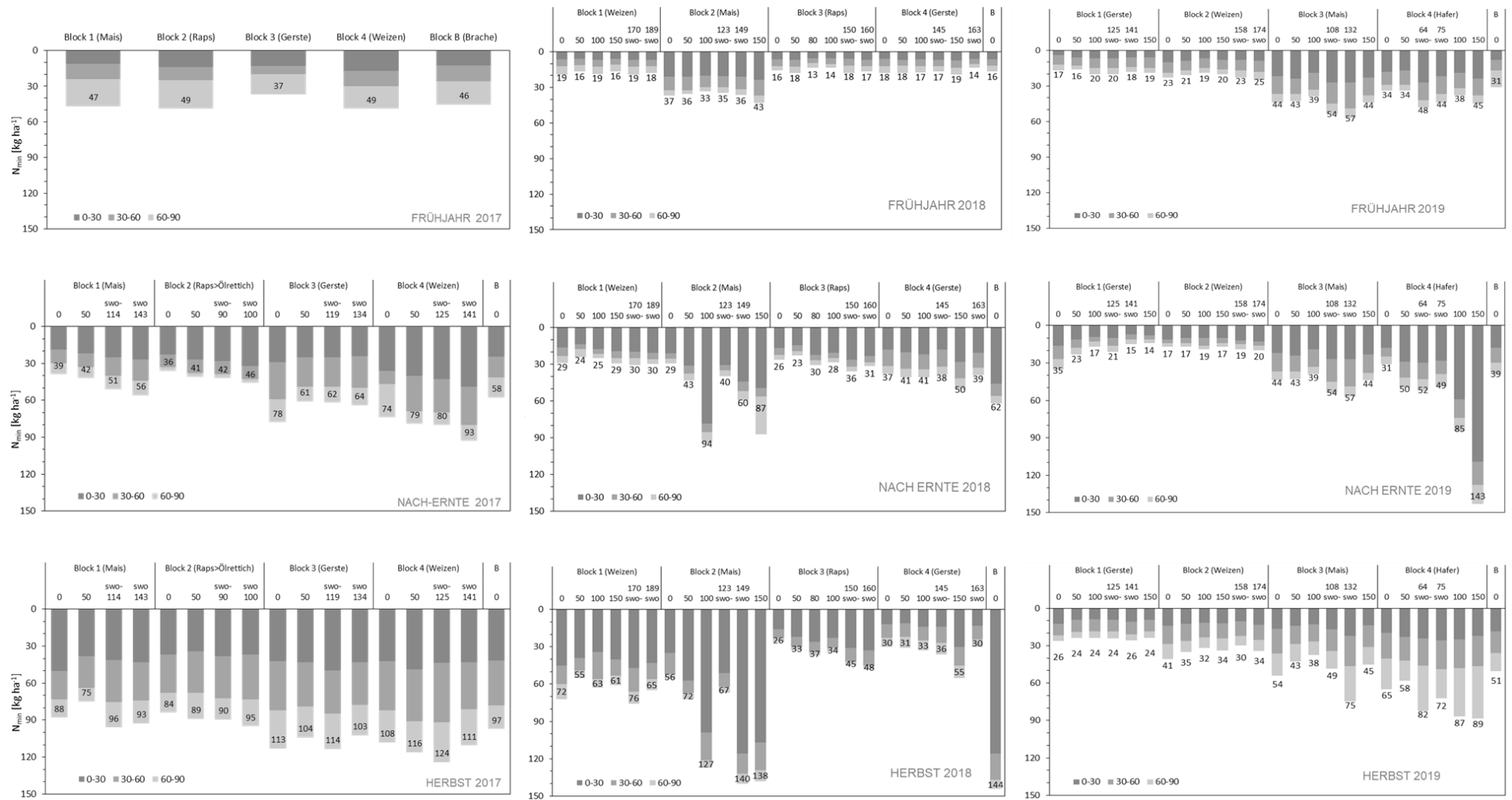


Abbildung 4: N_{min} Vorräte in den Versuchsvarianten differenziert nach Bodenschichten für die 3 Beprobungstermine im Frühjahr, Nach-Ernte sowie im Herbst der drei Versuchsjahre (Summe in 0-90 cm als Zahlenwerte); B: Brache.

7.2 Ernteerträge und -qualitäten

In Abb. 5 bis 7 sind die Relativverträge für Mais, Weizen und Gerste differenziert nach N-Düngungsstufe und Jahr dargestellt. Die Sollwert-Düngung stellt als Bezugsgröße 100 % dar. Aufgrund des Ertragsausfalls im Rapsanbau wegen Schädlingsbefall in 2017 und 2018, sowie dem einjährigen Anbau von Hafer können für diese Kulturen keine Relativverträge abgebildet werden. Die absoluten Erträge und Proteingehalte für alle Kulturen (bis auf Raps) sind in

Abhängigkeit von Jahr und Dünge­stufe mit Kennzeichnung signifikanter Unterschiede in Tab. 4 aufgeführt.

Für Mais ergaben sich in allen Jahren keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den Dünge­stufen. Signifikante Unterschiede im Proteingehalt wurden in 2017 und 2019 zwischen der 0 kg N ha⁻¹ und der 150 kg N ha⁻¹ Variante festgestellt.

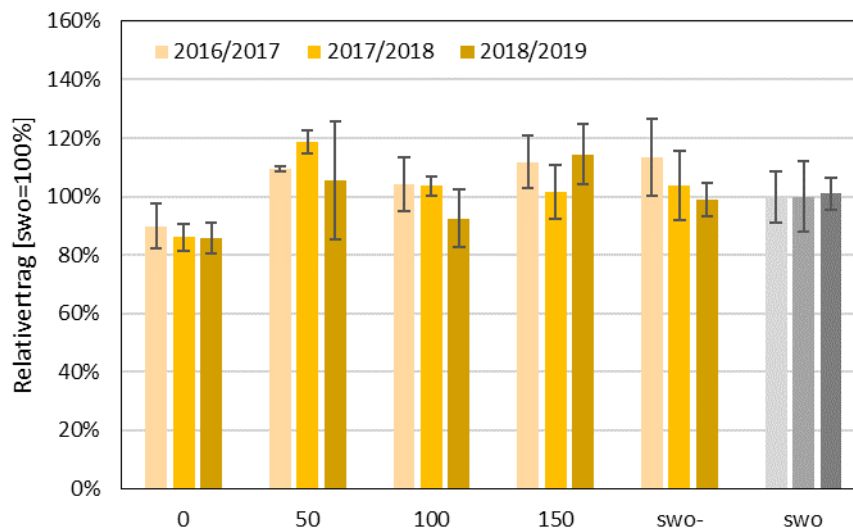


Abbildung 5: Relativverträge (+/- Standardabweichung) für Mais aus den drei Versuchsjahren. Die Sollwert-Düngung (swo) stellt als Bezugsgröße 100 % dar.

Für Weizen wurden höhere Erträge mit Dünge­ung gegenüber der ungedüngten Kontrolle in allen Jahren beobachtet. In 2018 und 2019 konnten zudem signifikant höhere Erträge der Varianten mit einer Dünge­ung von mehr als 100 kg N ha⁻¹ gegenüber der 50 kg N ha⁻¹ – Variante

festgestellt werden. Signifikante Unterschiede zwischen den Dünge­stufen ergaben sich auch für den Proteingehalt in 2018 und 2019. Die 150 kg N ha⁻¹ verzeichnete in beiden Jahren den höchsten Proteingehalt gefolgt von der swo und der swo- Variante.

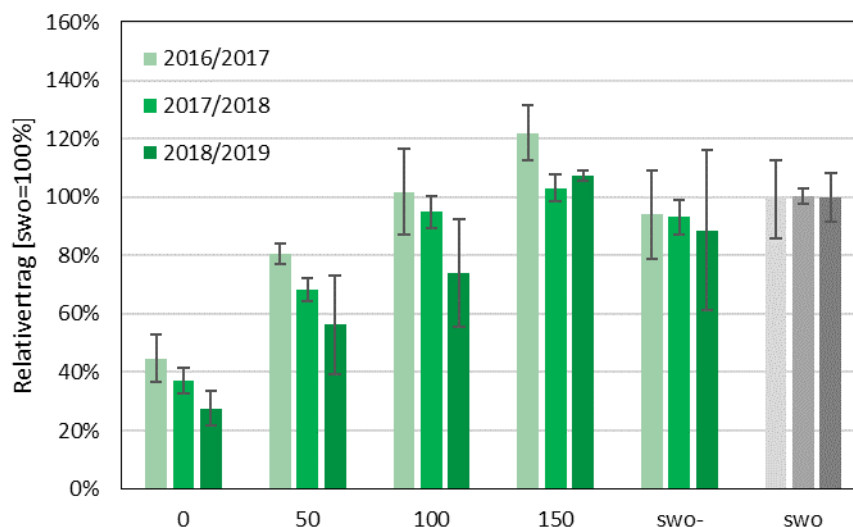


Abbildung 6: Relativverträge (+/- Standardabweichung) für Weizen aus den drei Versuchsjahren. Die Sollwert-Düngung (swo) stellt als Bezugsgröße 100 % dar.

Für Gerste wurden ebenfalls signifikant höhere Erträge mit einer Stickstoffdüngung im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle ermittelt. Auch hier erreichte die 150 kg N ha⁻¹ Variante

die höchsten Erträge in 2018 und 2019. Ähnliches zeigt sich für den Proteingehalt, der in allen Jahren für die 150 kg N ha⁻¹ Variante den höchsten Wert verzeichnete.

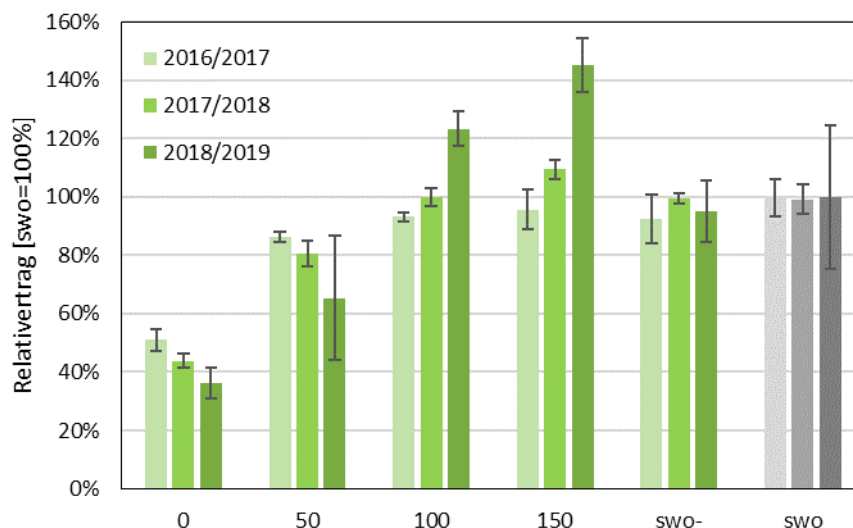


Abbildung 7: Relativerträge (+/- Standardabweichung) für Gerste aus den drei Versuchsjahren. Die Sollwert-Düngung (swo) stellt als Bezugsgröße 100 % dar.

Für Hafer ergaben sich keine signifikanten Ertragsunterschiede, jedoch war auch hier der Proteingehalt in der 150 kg N ha⁻¹ Variante erhöht.

Kulturen Mais, Weizen und Gerste schlussfolgern, dass eine Sollwert-reduzierte (swo-) Düngung im Vergleich zur Sollwert Düngung keine Ertragsreduzierung bzw. Qualitätseinbuße (Proteingehalt) zur Folge hatte.

Insgesamt lässt sich für die Versuchsjahre und

Tabelle 6: Kernerträge (86% TS) für Getreide und Biomasseerträge (TS) für Mais und Proteingehalte für alle 3 Versuchsjahre in allen Düngevarianten. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb eines Jahres innerhalb der jeweiligen Kultur (SNK-Test, alpha=0.05)

Kultur	Ertrag [dt/ha]						Proteingehalt [%TS]					
	2017		2018		2019		2017		2018		2019	
Mais												
0	177.98	A	128.16	A	123.17	A	5.37	b	3.13	a	2.17	b
50	216.84	A	176.77	A	151.38	A	5.60	ab	3.53	a	2.70	ab
100	206.07	A	154.40	A	132.51	A	7.13	ab	3.90	a	2.60	ab
150	221.49	A	151.33	A	164.09	A	7.13	a	3.37	a	2.90	a
swo	197.56	A	148.88	A	153.40	A	5.97	ab	3.83	a	2.53	ab
swo-	224.78	A	154.47	A	141.93	A	6.23	ab	3.57	a	2.70	ab
Weizen												
0	21.89	C	29.63	C	22.93	C	14.23	a	9.13	d	8.00	d
50	39.46	B	54.54	B	46.87	B	11.70	a	8.57	e	7.37	e
100	49.84	AB	75.87	A	61.56	AB	12.53	a	10.03	c	8.63	c
150	59.75	A	82.51	A	89.41	A	12.67	a	11.97	a	10.37	a
swo	48.67	AB	80.20	A	83.28	A	12.03	a	11.07	b	9.67	b
swo-	46.07	B	74.53	A	73.82	AB	12.00	a	10.37	c	8.93	c

Gerste												
0	27.61	B	25.45	D	15.63	D	11.33	ab	9.93	c	8.17	b
50	46.64	A	46.80	C	28.20	C	12.37	ab	9.40	c	6.80	c
100	50.28	A	57.97	B	53.15	AB	12.93	ab	11.30	b	8.50	b
150	51.62	A	63.41	A	62.56	A	14.27	a	13.43	a	10.13	a
swo	53.76	A	57.55	B	43.13	B	9.80	b	11.97	b	7.97	b
swo-	49.88	A	57.62	B	41.01	B	11.17	ab	11.27	b	7.67	b
Sommerhafer												
0					24.70	A					12.03	c
50					28.43	A					14.17	ab
100					29.85	A					14.73	a
150					30.22	A					14.90	a
swo					31.35	A					13.63	ab
swo-					29.96	A					13.33	b

7.3 N-Schlagbilanzen

In Abb. 8 bis 10 sind die N-Bilanzen differenziert nach Kultur und Dünge­stufe dargestellt.

In 2017 ergaben sich für Mais in allen Düngevarianten negative N-Bilanzen mit durchschnittlich $-120 \text{ kg N ha}^{-1}$, was auf einen höheren N-Entzug gegenüber der N-Zufuhr deutet. Für Gerste und Weizen wurden negative N-Bilanzen bis zu 100 kg N ha^{-1} und positive Salden für höhere Düngegaben festgestellt. Für Raps sind positive Salden in Höhe der ausgebrachten N-Menge angegeben, da der Bestand aufgrund massiver Schäden umgebrochen wurde und die nachfolgende Zwischenfrucht Ö­rettich auf dem Feld verblieb.

In 2018 wurden für Mais die Düngevarianten negative N-Salden bis zu einer N-Düngung von 50 kg N ha^{-1} festgestellt, während ab einer Düngung von 100 kg N ha^{-1} positive N-Salden ermittelt wurden. Die hohen N-Salden bis zu $+68 \text{ kg N ha}^{-1}$ sind vermutlich auf das geringe Wachstum und den damit verbundenen geringen Entzug der Pflanzen durch die Trockenheit zurückzuführen. Gerste und Weizen weisen eine negative Bilanz bis zu einer N-Düngung von 150 kg N ha^{-1} auf. Eine höhere N-Düngung (swo und swo-) führte zu positiven N-Salden. Da in Raps

lediglich der Biomasseaufwuchs bestimmt werden konnte, war eine N-Bilanzierung nicht möglich.

In 2019 wurden die höchsten Bilanzüberschüsse mit bis zu $+79 \text{ kg N ha}^{-1}$ (swo Variante in Gerste) im Versuchszeitraum ermittelt. Für Mais und Hafer wurden ab einer N-Düngung von 100 kg N ha^{-1} positive N-Salden festgestellt. Für Gerste führte bereits eine N-Düngung von 50 kg N ha^{-1} zu positiven Salden, was vermutlich auf ein reduziertes Biomassewachstum, bedingt durch Trockenheit, zurückzuführen ist. Im Weizen trat ein positiver Bilanzüberschuss erst bei einer N-Düngung von mehr als 150 kg N ha^{-1} auf.

Insgesamt zeigte sich über den Versuchszeitraum, dass sowohl bei einer Sollwert- als auch bei einer Sollwert-reduzierten N-Düngung insbesondere zu Gerste und Weizen positive N-Bilanzen entstehen. Eine Düngung unterhalb von 100 kg N ha^{-1} hatte hingegen meist negative Bilanzen zur Folge.

Bedingt durch die variierenden Zeiträume der Trockenheit fielen die Trockenschäden in den einzelnen Kulturen von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich aus.

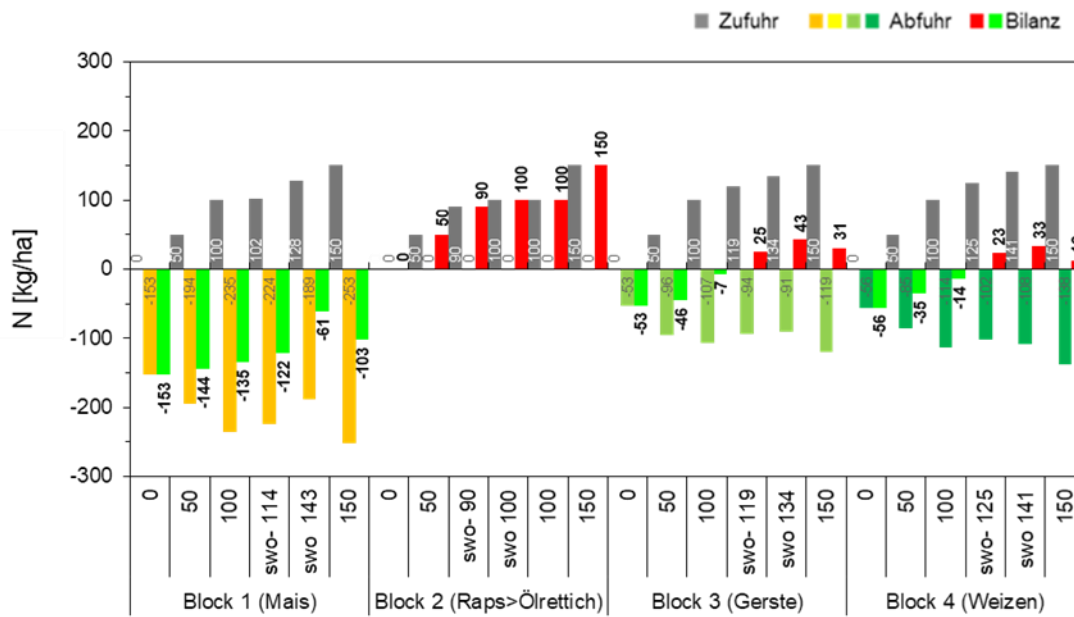


Abbildung 8: N-Bilanzen in 2017 für alle Düngevarianten in den 4 untersuchten Kulturen. Zufuhr entsprechend der Düngevarianten aus mineralischer bzw. für die Sollwertvarianten aus organischer + mineralischer Düngung, Abfuhr Mais: ganze Pflanze, Getreide Korn + Stroh, Ölrettich eingearbeitet (orange = N-Abfuhr Mais, gelb = N-Abfuhr Raps, hellgrün = N-Abfuhr Gerste, dunkelgrün = N-Abfuhr Weizen).

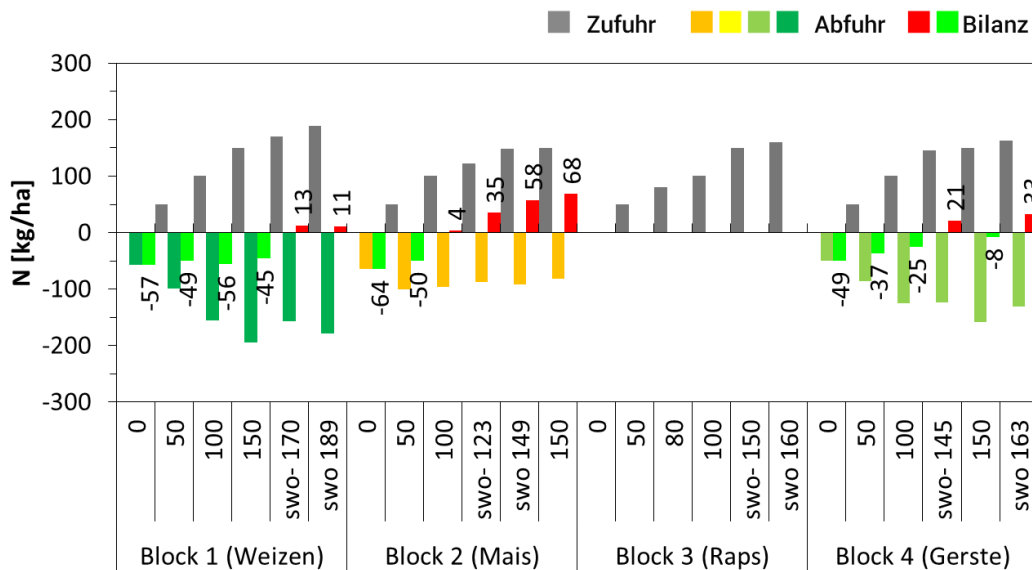


Abbildung 9: N-Bilanzen in 2018 für alle Düngevarianten in den 4 untersuchten Kulturen. Zufuhr entsprechend der Düngevarianten aus mineralischer bzw. für die Sollwertvarianten aus organischer + mineralischer Düngung, Abfuhr Mais: ganze Pflanze, Getreide: Korn + Stroh (orange = N-Abfuhr Mais, gelb = N-Abfuhr Raps, hellgrün = N-Abfuhr Gerste, dunkelgrün = N-Abfuhr Weizen).

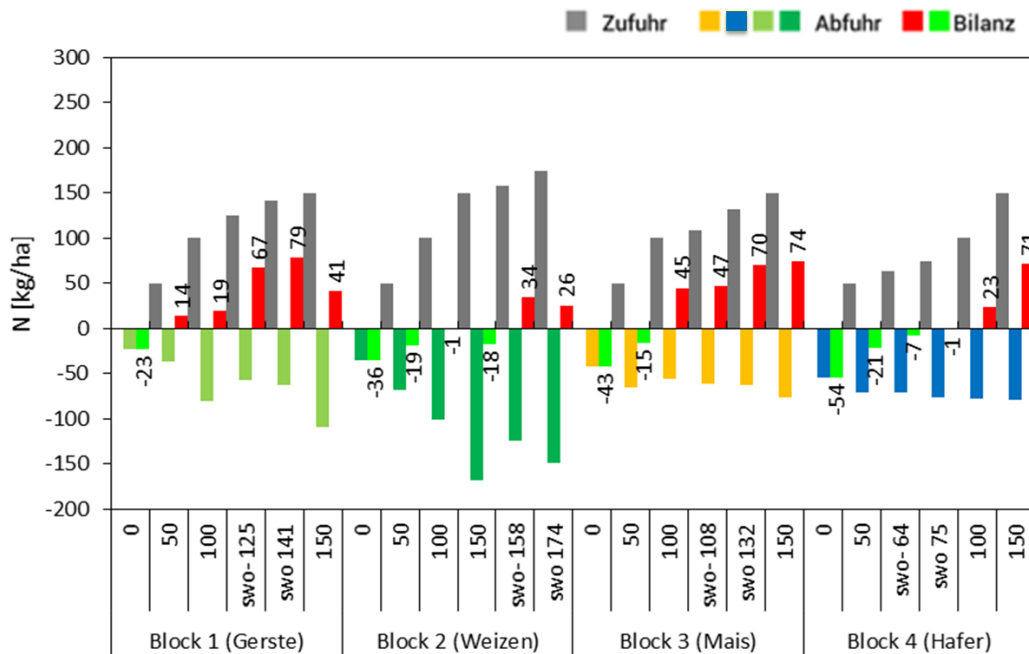


Abbildung 10: N-Bilanzen in 2019 für alle Düngevarianten in den 4 untersuchten Kulturen. Zufuhr entsprechend der Düngevarianten aus mineralischer bzw. für die Sollwertvarianten aus organischer + mineralischer Düngung, Abfuhr Mais: ganze Pflanze, Getreide: Korn + Stroh (orange = N-Abfuhr Mais, blau = N-Abfuhr Hafer, hellgrün = N-Abfuhr Gerste, dunkelgrün = N-Abfuhr Weizen).

7.4 Wasserhaushalt

In Abb. 11 sind die Ergebnisse der blockweisen Wasserhaushaltsmodellierung für jedes Versuchsjahr dargestellt. Im 1. Versuchsjahr trat am 24.12.2016 erstes Sickerwasser auf. Aufgrund der erheblichen Niederschlagsdefizite wurde unter keiner der Kulturen die Austauschfähigkeit von 1 erreicht (nur ohne Kulturpflanzen unter Brache). Unter Mais trat laut Modellergebnis nach dem Starkregenereignis im Juli 2017 Sickerwasser in Höhe von 25 mm auf, unter Ölfrettich in Höhe von 8 mm, in den Getreidekulturen erst im August in Höhe von 8 mm unter Gerste und 1 mm unter Weizen (Tab. A2 im Anhang). Im Vergleich zum langjährigen Mittel (325 mm) fiel die durchschnittliche Sickerwassermenge des Winterhalbjahres 2016/17 mit 125 mm erheblich geringer aus (38 %).

Im 2. Versuchsjahr konnte am 25.10.2017 erstmals Sickerwasser entnommen werden. Die Austauschfähigkeit von 1 wurde in allen Kulturen im Januar 2018 erreicht. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (325 mm) fiel die durchschnittliche Sickerwassermenge des Winterhalbjahres 2017/18 mit 285 mm leicht geringer

aus (88 %), jedoch war sie deutlich höher gegenüber dem Vorjahr (125 mm).

Im 3. Versuchsjahr trat am 02.01.2019 das erste Sickerwasser auf und damit deutlich später gegenüber den vorherigen Versuchsjahren. Als Grund hierfür sind die geringen Niederschläge, insbesondere auch im Winterhalbjahr 2018/19 zu nennen. Mit durchschnittlich 157 mm lag die Sickerwassermenge deutlich unter dem langjährigen Mittel (48 %). Die Austauschfähigkeit von 1 wurde mit Ausnahme unter der Brache von keiner Kultur erreicht.

Zur letzten Sickerwasserperiode im Versuchszeitraum trat erstmals Sickerwasser am 10.10.2019 auf. Die hohen Niederschläge im Winterhalbjahr 2019/20 resultierten in ebenfalls hohe durchschnittliche Sickerwassermengen mit 340 mm (105 %). Die Austauschfähigkeit von 1 wurde von allen Kulturen bis Januar 2020 erreicht. Unter der Brache wurde der Bodenwasservorrat zweimal vollständig ausgetauscht.

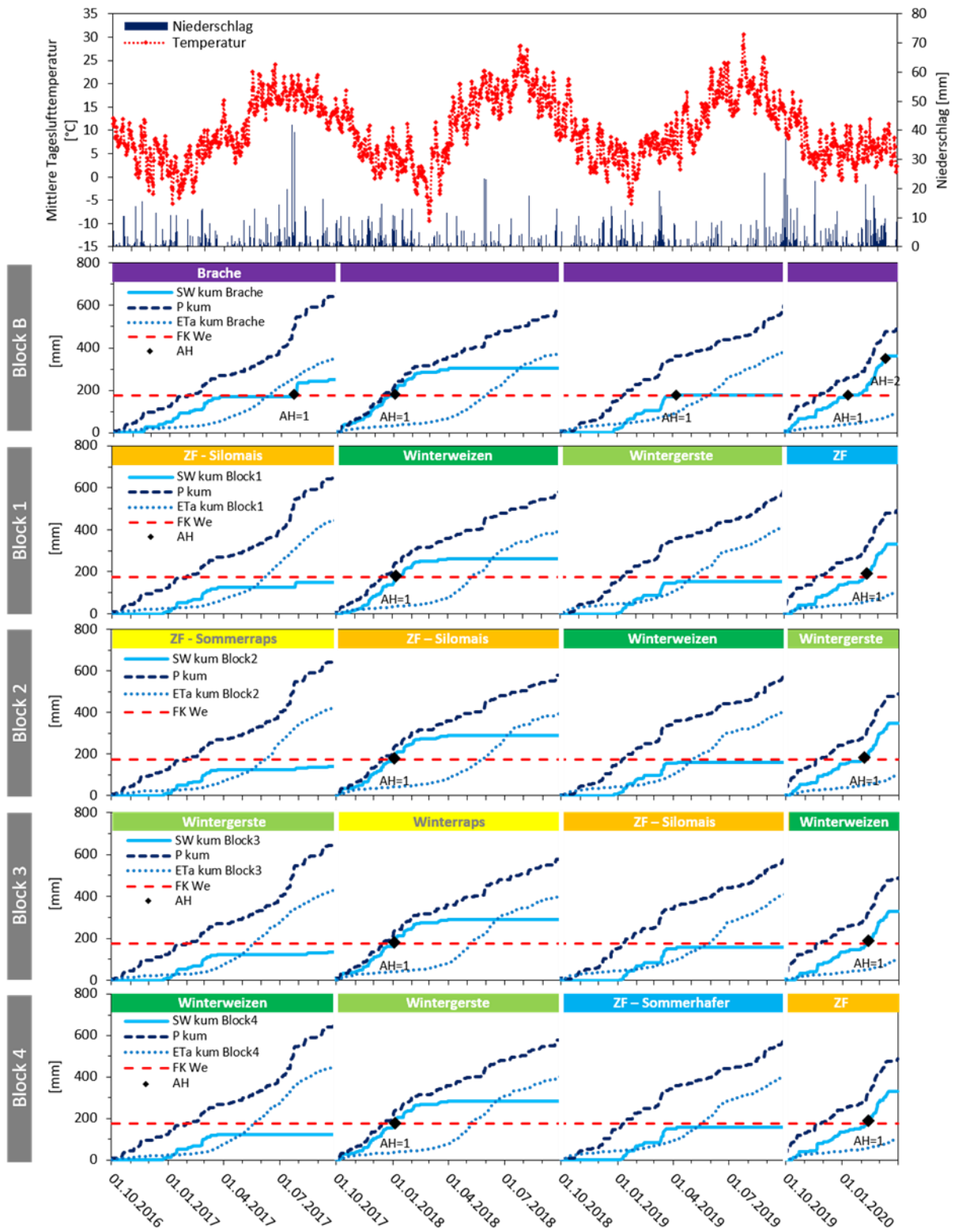


Abbildung 11: Blockweise Darstellung des Wasserhaushaltsmodells für jede Sickerwasserperiode mit Angabe der jeweiligen Kultur (ZF: Zwischenfrucht, SW kum: Sickerwasser summiert, P kum: Niederschlag summiert, ETa kum: Verdunstung summiert, FK We: Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (175 mm in 7 dm), AH: Austauschfähigkeit im effektiven Wurzelraum). Datengrundlage: DWD (2020).

7.5 Nitratkonzentration und Nitratfrachten

Die Ergebnisse zur Wasserqualität wurden durch die Wasserprobenahme aus der Saugkerzenanlage generiert. In Abb. 12 sind die aufsummierten Nitratfrachten differenziert nach Winterhalbjahr und Kultur bzw. Block dargestellt. Die erste Sickerwasserperiode 2016/2017 ist hier nicht dargestellt, da der Exaktversuch erst im Oktober 2016 begann und folglich Vorfrucht und Düngung gleich waren, sodass die im MuP vorgesehenen Inhalte (Einfluss der Kultur und Düngeformen/-stufen auf die Wasserqualität) noch nicht abgebildet wurden. Die Düngeformen sind innerhalb der einzelnen Kulturen (bis auf Brache) gekennzeichnet. Die Nitratfrachten unterscheiden sich in Abhängigkeit vom Versuchsjahr, der jeweiligen Kultur und den Düngeformen deutlich voneinander. Zu Beginn der Sickerwasserperioden wurden hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser festgestellt, woraus sich

hohe Nitratfrachten ergeben. Im Zeitverlauf nimmt die Nitratkonzentration darauffolgend ab, was auf den Verdünnungseffekt zurückzuführen ist. Insbesondere unter dem Block Brache, sowie unter den Kulturen Winterweizen und Wintergerste wurden in jedem Versuchsjahr hohe Nitratfrachten beobachtet, wohingegen unter Zwischenfrüchten nach Gerste oder Raps/Hafer geringere Nitratfrachten festgestellt wurden. Tendenziell hatte die Sollwert-reduzierte Düngung (swo-) geringere Nitratfrachten zur Folge. Dabei waren die Unterschiede zwischen Sollwert und Sollwert reduzierter Düngung nach Mais (unter Winterweizen) und nach Winterweizen (unter Wintergerste) stärker ausgeprägt. Eine eindeutige Abstufung nach gedüngter N-Menge lässt sich bei der Betrachtung der kumulierten Nitratfracht (höchste N-Düngung führt zu höchster Nitratfracht) nicht feststellen.

Durch die Sollwert-reduzierte Düngung konnte die Nitrat-N-Konzentration im Sickerwasser über alle Jahre und alle Kulturen im Mittel um $5,83 \text{ mg l}^{-1}$ (entspricht $26,12 \text{ mg Nitrat l}^{-1}$) verringert werden (95%-Konfidenzintervall $-13,2; 0,78$) (Abb. 13). Dennoch wurde der gesetzliche Trinkwasser-Grenzwert von $50 \text{ mg Nitrat l}^{-1}$ häufig überschritten. Vermutlich nahmen gerade im ersten und zweiten Versuchsjahr die Düngehistorie des Versuchsfeldes aus den Vorjahren, die besondere geogene Situation und die Bodenheterogenität Einfluss auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die verlagerte Menge an Nitrat.

Insgesamt konnte über die 3 Versuchsjahre ein deutlicher Zusammenhang zwischen Nitratfrachten im Sickerwasser und Zwischenfruchtanbau festgestellt werden. Der Zwischenfruchtanbau konnte die Nitratfracht deutlich reduzieren. Zu dem ließen sich die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser vor allem zu Beginn der Sickerwasserperiode durch die reduzierte N-Sollwert Düngung verringern.

7.6 Abschließende Bewertung der Indikatoren

Im Exaktversuch des MuP sollten die Auswirkungen der N-Düngungsbeschränkungen anhand der Indikatoren auf den flächenbezogenen Nitrataustrag und Einschätzung der Wirkung auf die Nitratgehalte im Rohwasser ermittelt werden. Als Indikatoren wurden der N_{\min} -Vorrat im Herbst, die N-Bilanzen, die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, sowie die Nitratfrachten ausgewählt. Es wurde die Hypothese erstellt, dass durch eine Reduzierung der N-Düngung nach Sollwert um 10 % zu Getreide/Raps

bzw. um 20 % zu Mais zu niedrigeren N_{\min} -Bodenvorräten im Herbst, geringen N-Überschüssen, sowie zu einer Verbesserung der Sickerwasserqualität führt. Da eine statistische Auswertung der Daten aufgrund der Zusammenstellung von Mischproben je Variante nicht möglich war, sind die im Folgenden getroffenen Aussagen im Kontext der Witterungsbedingungen sowie der Bewirtschaftung im Versuchszeitraum zu sehen und nicht allgemein gültig.

Die reduzierte N-Düngung hatte keine geringeren N_{\min} -Werte im Herbst im Vergleich zur Sollwert-gedüngten Kontrolle zur Folge. Bei der Bilanzierung ergaben sich sowohl für die Düngung nach Sollwert, als auch für die reduzierte Düngung häufig N-Überschüsse, teils über dem zulässigen Saldo von 50 kg N ha^{-1} . Die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und die Nitratfrachten konnten insbesondere zu Beginn der Sickerwasserperiode durch eine reduzierte Düngung verringert werden. Dennoch wurde im Sickerwasser der Trinkwasser-Grenzwert von $50 \text{ mg Nitrat l}^{-1}$ mit durchschnittlich $81,8 \text{ mg Nitrat l}^{-1}$ über alle Jahre und Kulturen für die reduzierte gedüngte Variante deutlich überschritten. Es zeigte sich im Versuchszeitraum, dass vielmehr die Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie Fruchtfolgeplanung und Zwischenfruchtanbau zu einer Verbesserung der Sickerwasserqualität beitragen können, was anhand der Indikatoren gezeigt werden konnte.

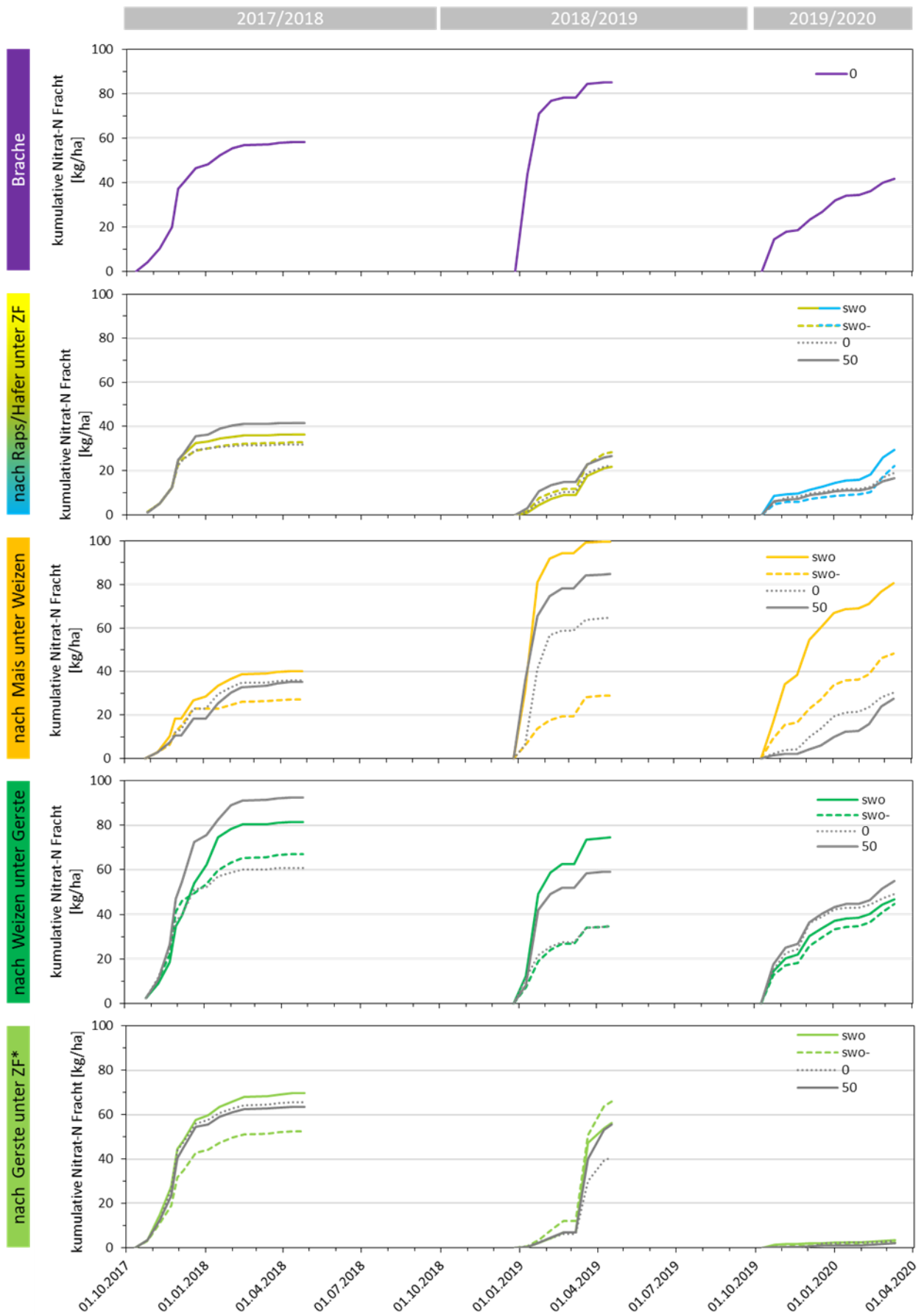


Abbildung 12: Berechnete kumulierte Nitratfrachten für die drei Sickerwasserperioden differenziert nach Kultur und Dün gestufen (sw0 = Sollwert gedüngt; sw0- = reduzierte Sollwert-Düngung (-10% bei Getreide/Raps, -20% bei Mais).

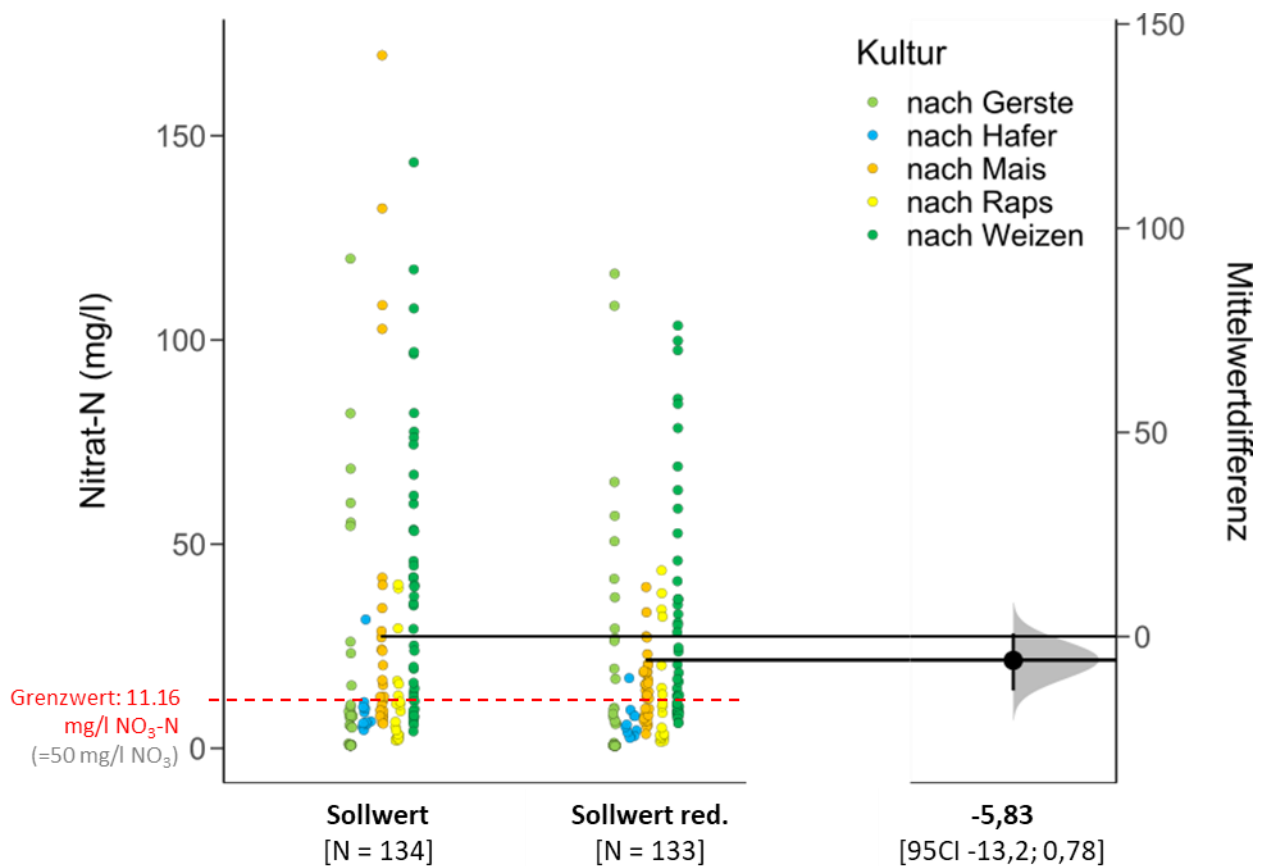


Abbildung 13: Mittelwertdifferenz zwischen der Nitrat-N Konzentration im Sickerwasser über alle Kulturen und Jahre für Sollwert und Sollwert reduzierte N-Düngung (95%-Konfidenzintervall -13,2; 0,78).

8 Ergebnisse Demonstrationsflächen

8.1 Nitratecheck

Um die N-Versorgung der Kulturpflanzen zu überprüfen, wurde mittels Yara N-Tester der Chlorophyllgehalt je Variante (swo; swo-) im Streifenversuch geschätzt. Die Messungen erfolgten bis auf das Jahr 2017 jeweils zum Schossen (BBCH 30/32) und zum Ährenschieben (BBCH 37/51). In 2017 wurden die Werte ausschließlich zum Schossen erhoben. Aus den dimensionslosen Werten wurden anschließend sortenspezifische N-Düngeempfehlungen

ermittelt (Abb. 14 - 16). Für Raps und Mais lagen keine Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung des N-Düngebedarfs vor.

In 2017 unterschieden sich die abgeleiteten Düngeempfehlungen zwischen reduzierter Düngung und Sollwertdüngung in zwei Fällen (Weizen BD-S und Weizen HJ-AK).

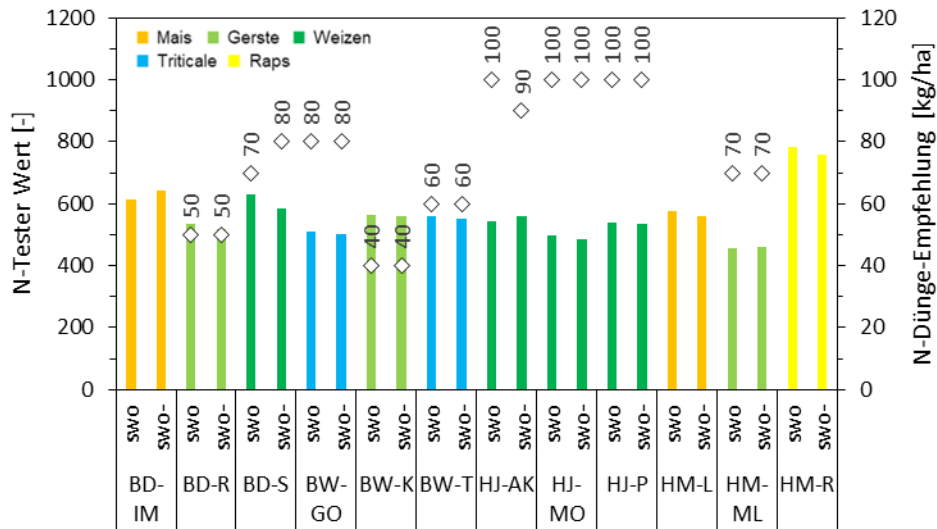


Abbildung 14: N-Tester Werte (Balken) 2017 und entsprechender sortenspezifischer Stickstoff-Düngebedarf (sofern vorhanden) in kg ha⁻¹ (Rauten und Beschriftung) zum BBCH-Stadium 30/32.

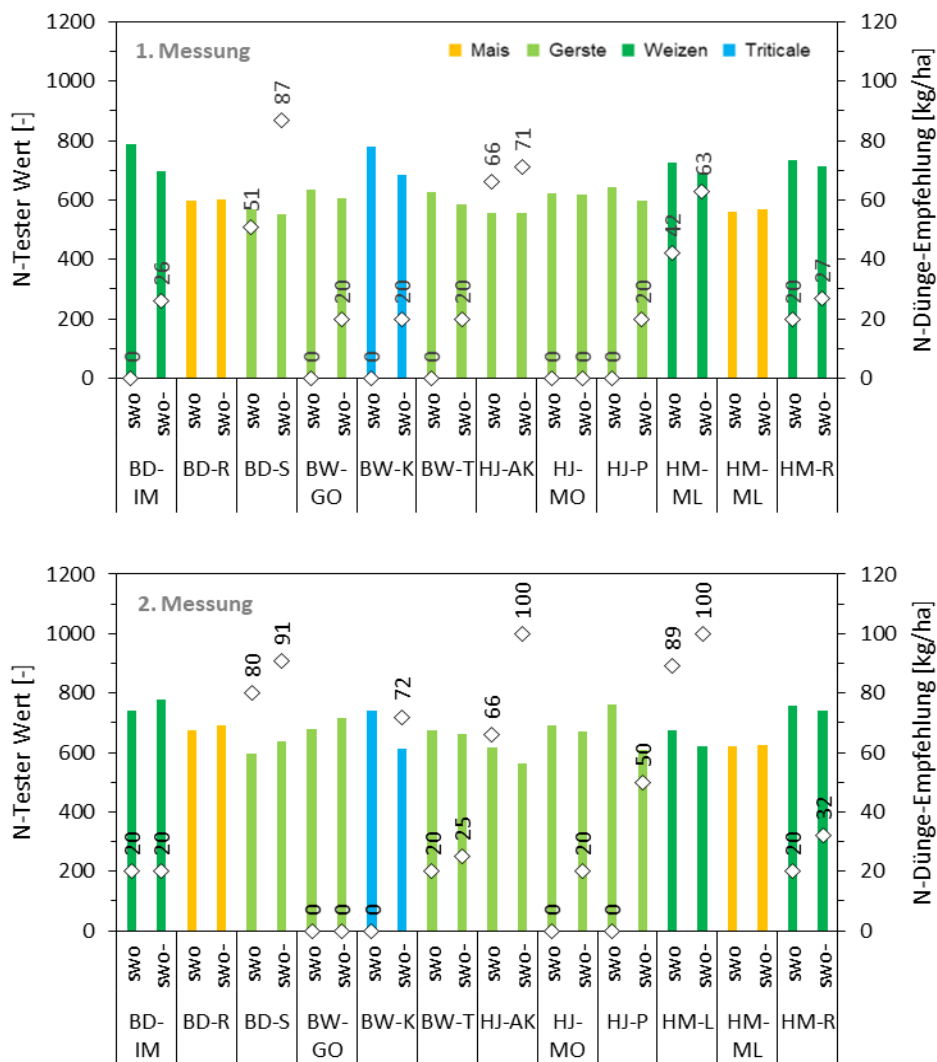


Abbildung 15: N-Tester Werte 2018 (Balken) und entsprechender sortenspezifischer Stickstoff-Düngebedarf (sofern vorhanden) in kg ha⁻¹ (Rauten und Beschriftung) zum BBCH 30/32 (1. Messung) und zum BBCH-Stadium 37/51 (2. Messung).

Im Gegensatz zu 2017 wurden in 2018 zu beiden Messterminen deutliche Unterschiede hinsichtlich der N-Dünge-Empfehlung zwischen der Sollwert- und der reduzierten Düngung festgestellt. Tendenziell wurde ein erhöhter Düngebedarf in den Varianten mit reduzierter Düngung beobachtet.

In 2019 setzten sich die Beobachtungen aus 2018 zu einem höheren N-Düngebedarf bei reduzierter Düngung fort. Allerdings wurde teilweise ein höherer Düngebedarf bei Sollwert gedüngten Streifen gegenüber der reduzierten Düngung ermittelt (Abb. 16: 1. Messung HM-L, 2. Messung BW-GO).

Im untersuchten Versuchszeitraum konnte mittels Nitracheck die reduzierte Düngung im Kulturpflanzenbestand teilweise nachgewiesen werden. Die Ergebnisse des Nitrachecks allein sind nicht ausreichend um Ableitungen zum Nitratgehalt im Boden bzw. Sickerwasser zu treffen, können jedoch die Aussagekraft der anderen Indikatoren unterstützen.

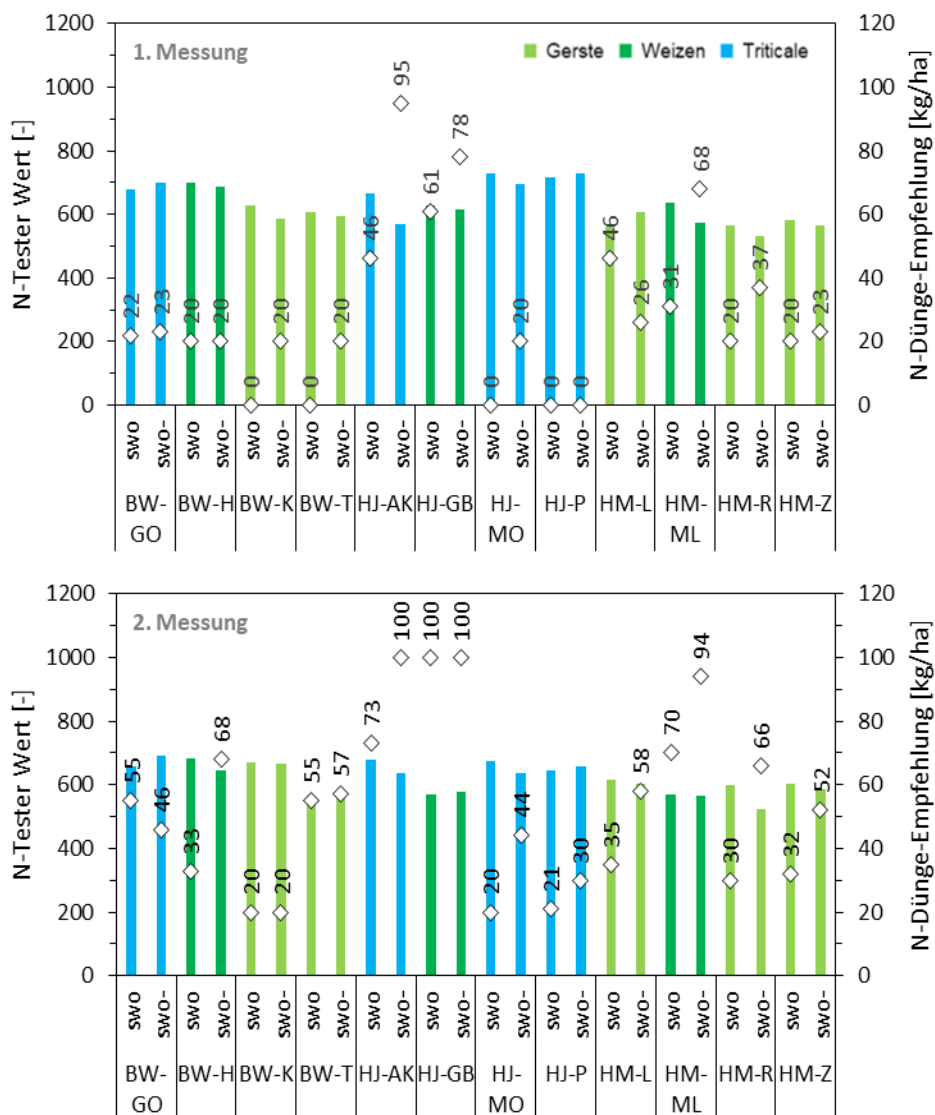


Abbildung 16: N-Tester Werte (Balken) 2019 und entsprechender sortenspezifischer Stickstoff-Düngebedarf (sofern vorhanden) in kg ha⁻¹ (Rauten und Beschriftung) zum BBCH 30/32 (1. Messung) und zum BBCH-Stadium 37/51 (2. Messung).

8.2 Ernteerträge und -qualitäten

Die Ernteerträge und -qualitäten weisen eine hohe Variabilität zwischen den Jahren und Flächen, sowie innerhalb der Kulturen auf (Abb. 18). Die Erträge für Gerste schwankten über alle Jahre hinweg zwischen 54 und 97 dt ha⁻¹. Für Weizen wurde eine Ertragsspanne von 33 dt ha⁻¹ und für Triticale von 40 dt ha⁻¹ beobachtet. Dabei sind die hohen Schwankungen vor allem auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren, sowie auf das Ertragspotenzial der einzelnen Standorte zurückzuführen.

In 2017 lagen die Erträge der Sollwert gedüngten Flächen (swo) im Mittel über alle Kulturen um 1,8 dt ha⁻¹ höher gegenüber der reduzierten Düngung (swo-). Die größten Unterschiede wurden in Mais beobachtet, wobei sowohl höhere Erträge für die Sollwert gedüngte Variante (BD-IM) als auch niedrigere Erträge ermittelt wurden (HM-L).

Die Proteingehalte unterschieden sich in Abhängigkeit von der Düngung nur gering.

In 2018 fiel die Differenz zwischen Sollwert- und reduzierter Düngung mit 6,2 dt ha⁻¹ Mehrertrag in der Sollwert-gedüngten Variante deutlich höher gegenüber dem Vorjahr aus. Tendenziell wurden leicht niedrigere Proteingehalte in der Variante mit reduzierter Düngung beobachtet.

Der Ertragsunterschied zwischen Sollwert- und reduzierter Düngung war in 2019 mit durchschnittlich 1,4 dt ha⁻¹ Mehrertrag über alle Kulturen in der Sollwert-gedüngten Variante geringer gegenüber den Vorjahren, insbesondere im Vergleich zu 2018. Es wurden geringe Unterschiede im Proteingehalt beobachtet, wobei sowohl für die Sollwert- (HJ-P) als auch für die reduzierte Düngung (HJ-AK) teils höhere Proteingehalte gegenüber der Vergleichsvariante ermittelt wurden.

Insgesamt wurde über alle Jahre und Kulturen ein Minderertrag von 3,1 dt ha⁻¹ bei reduzierter Düngung festgestellt. Im Vergleich zu den eingangs erwähnten jahres- und flächenbezogenen Schwankungen fällt der Einfluss der N-Düngung auf den Ertrag und Rohproteingehalt gering aus.



Abbildung 17: Kennzeichnung Demonstrationsfläche im Frühjahr 2018

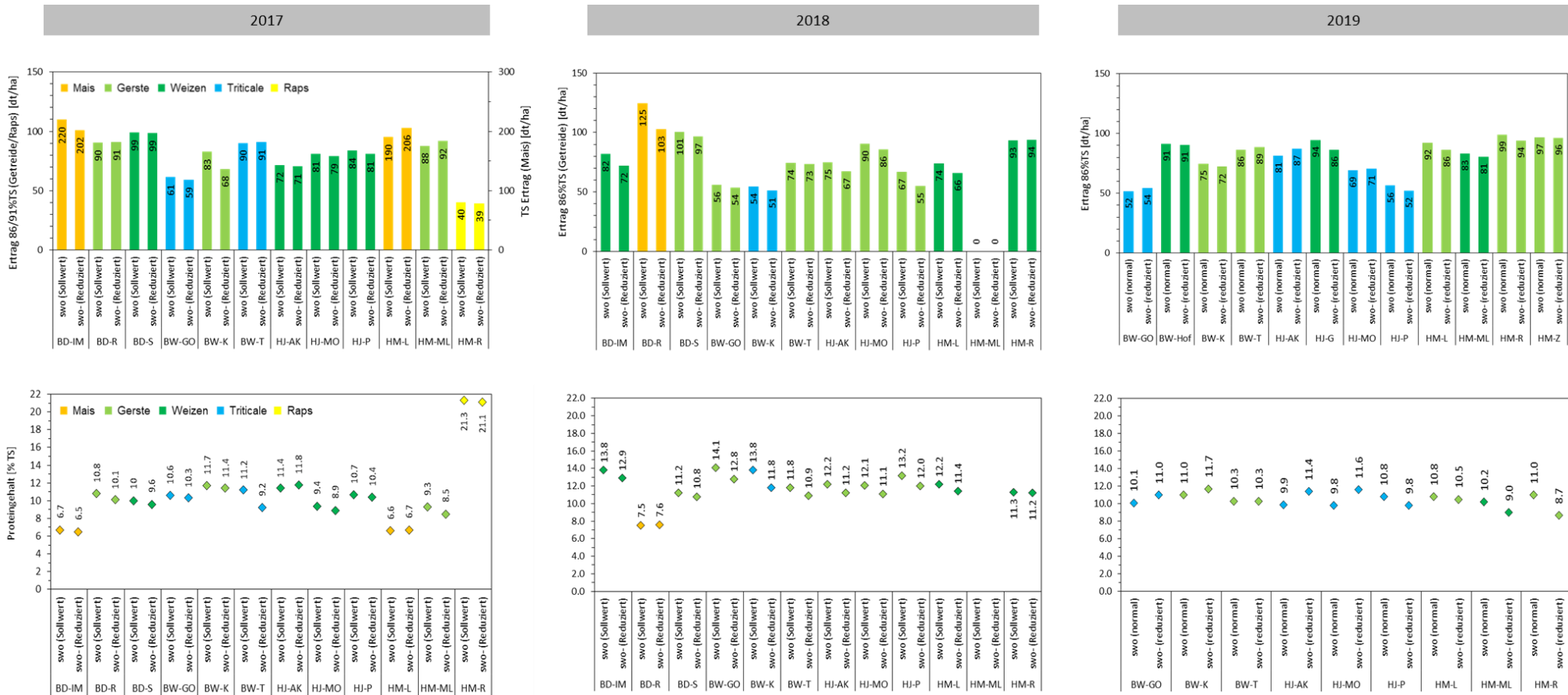


Abbildung 18: Ernteerträge (Balken) und Proteingehalte (Rauten) der Demonstrationsflächen jeweils aus den beiden Streifen mit Düngung nach Sollwert (swo) sowie reduziert (swo-) (Mais -20%, Raps/Getreide -10%) separiert nach Versuchsjahr.

8.3 N_{min}-Bodenuntersuchungen

Die Ergebnisse der N_{min}-Bodenuntersuchungen der Demonstrationsstreifen zu den drei Terminen sind in Tab. 7 dargestellt. Die N_{min}-Untersuchungen in 2017 erfolgten im Frühjahr, vor Etablierung der unterschiedlichen Düngevarianten einheitlich für die gesamte Fläche, in denen die unterschiedlichen Streifen angelegt wurden. Mit der Nach-Ernte- und Herbst-Beprobung 2017 wurden dann die unterschiedlichen Düngevarianten berücksichtigt. Im Mittel über alle Flächen der teilnehmenden Landwirte belief sich der pflanzenverfügbare Bodenstickstoffvorrat im Frühjahr auf 49 kg N ha⁻¹, nach der Ernte auf 68 kg N ha⁻¹ und zu Beginn der Sickerwasserperiode auf 80 kg N ha⁻¹. Die Variabilität zwischen den einzelnen Flächen war jedoch groß (19 - 151 kg N ha⁻¹), während die Differenz zwischen den beiden Düngevarianten nach der Ernte durchschnittlich + 1,8 kg N ha⁻¹ (swo) und im Herbst durchschnittlich + 10,3 kg N ha⁻¹ (swo) betrug.

In 2018 im Frühjahr wurden 49 kg N ha⁻¹, nach der Ernte 38 kg N ha⁻¹ und zu Beginn der Sickerwasserperiode 90 kg N ha⁻¹ im Mittel über alle Flächen der teilnehmenden Landwirte ermittelt. Die Variabilität zwischen den einzelnen Flächen war im Vergleich zu 2018 noch stärker ausgeprägt, was vermutlich auf die extreme Trockenheit in diesem Versuchsjahr zurückzuführen ist. Im Frühjahr wurden Werte zwischen

13 - 413 kg N ha⁻¹, nach der Ernte 21-135 kg N ha⁻¹ und im Herbst 18 - 252 kg N ha⁻¹ beobachtet. Die Unterschiede zwischen beiden Düngevarianten swo/swo- fielen im Vergleich zu den flächenbezogenen Schwankungen gering aus, lagen jedoch deutlich über den Werten aus 2017. Zur Frühjahrsuntersuchung wurden durchschnittlich 18,6 kg N ha⁻¹ mehr in der reduzierten Düngevariante (swo-) beobachtet, was auf den hohen N_{min}-Wert in der Fläche BD-R (413 kg N ha⁻¹ für swo-) zurückzuführen ist. Zur Nach-Ernte- und Herbstbeprobung wurde eine durchschnittliche Differenz von + 2,5 kg N ha⁻¹ (swo) bzw. + 19,8 kg N ha⁻¹ (swo) festgestellt.

Im Vergleich zur den vorangegangenen Versuchsjahren lagen die N_{min} -Werte in 2019 deutlich niedriger mit durchschnittlich 21,7 kg N ha⁻¹ im Frühjahr, 27,5 kg N ha⁻¹ nach der Ernte und 36,8 kg N ha⁻¹ im Herbst. Die Variabilität zwischen den einzelnen Flächen war ebenfalls weniger ausgeprägt und schwankte zwischen 14 - 32 kg N ha⁻¹ im Frühjahr, 19 – 52 kg N ha⁻¹ nach der Ernte und 19 – 81 kg N ha⁻¹ im Herbst. Die Differenz zwischen der Sollwert- und reduzierten Düngung im Mittel über die Beprobungstermine wurde nahezu aufgehoben (+ 0,8 kg N ha⁻¹ in der swo Variante).

Für die Demonstrationsflächen konnte (wie im Exaktversuch) ein stärkerer Einfluss der Witterungsbedingungen, sowie der angebauten Kultur auf den pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffvorrat (N _{min}) im Vergleich zur reduzierten N-Düngung beobachtet werden.
--

Tabelle 7: N_{min} Vorräte in den Demonstrationsstreifen (swo = Sollwert-Düngung; swo- = reduzierte Sollwert-Düngung). Die farbliche Hinterlegung der Tabelle kennzeichnet die angebaute Kultur im jeweiligen Jahr (orange = Mais, dunkelgrün = Weizen, hellgrün, Gerste, blau = Triticale, gelb = Raps)

		2017			2018			2019		
		N_{min} kg ha ⁻¹ (0 - 90 cm)			N_{min} kg ha ⁻¹ (0 - 90 cm)			N_{min} kg ha ⁻¹ (0 - 90 cm)		
		Frühjahr	Nach Ernte	Herbst	Frühjahr	Nach Ernte	Herbst	Frühjahr	Nach Ernte	Herbst
BD-IM	swo	60	82	151	26	43	105	-	-	-
	swo-		78	91	21	35	75	-	-	-
BD-R	swo	52	67	86	194	135	252	-	-	-
	swo-		65	75	413	102	223	-	-	-
BD-S	swo	51	74	77	19	26	27	-	-	-
	swo-		69	92	21	26	18	-	-	-
BW-GO	swo	33	64	84	20	33	105	16	31	74
	swo-		58	96	20	29	105	16	24	81
BW-K	swo	19	66	87	22	36	150	14	25	45
	swo-		61	56	22	43	80	18	24	50
BW-T	swo	62	70	89	13	26	78	24	28	46
	swo-		72	91	17	27	58	23	25	23
HJ-AK	swo	34	65	83	17	22	76	15	18	38
	swo-		64	64	17	21	80	18	19	34
HJ-MO	swo	49	75	89	16	24	38	28	29	27
	swo-		73	74	16	25	36	31	20	29
HJ-P	swo	91	91	84	22	33	55	35	24	41
	swo-		82	77	49	28	54	32	25	35
HM-L	swo	40	30	58	17	24	107	16	33	23
	swo-		30	58	18	26	76	18	28	19
HM-ML	swo	50	53	37	89	40	110	19	24	28
	swo-		62	42	62	52	77	17	26	28
HM-R	swo	50	84	108	26	30	92	23	40	19
	swo-		86	94	28	28	75	26	52	23

8.4 Nitrat-Tiefenprofile

In den folgenden zwei Abbildungen 20 und 21 sind die Nitratkonzentration im Bodenwasser in Zusammenhang mit den N_{min} -Gehalten je 3 dm Schicht für die Sollwert gedüngte Variante jeweils in 2016 (Ausgangssituation) und in 2019, sowie für die reduziert gedüngte Variante in 2019 dargestellt.

Im Mittel über die jeweilige analysierte Dränzone - in der Regel 90-300 cm unter Geländeoberfläche (GOF) – lagen vor Projektbeginn (2016) 3 von 12 Profilen über dem Grenzwert für Nitrat gemäß Trinkwasserverordnung von 50 mg l⁻¹. Es zeigten sich vor allem in den oberen Bodenschichten (0-30 cm und 0-60 cm)

hohe N_{min} -Werte bis zu 135 kg N ha⁻¹. In den tieferen Bodenschichten (90-300 cm) schwankten die N_{min} -Werte zwischen 1 und 39 kg N ha⁻¹.

Zum Versuchsende in 2019 lagen die mittleren Nitratkonzentrationen im Bodenwasser der Dränzone, sowohl für die Sollwert gedüngte als auch für die reduziert gedüngte Variante, in 10 von 12 Profilen über dem Grenzwert. Diese Verschlechterung der Grundwasserqualität ist vermutlich auf die extreme Trockenheit in 2018 und 2019 und den damit verbundenen verbliebenen N-Mengen im Boden zurückzuführen. In Verbindung mit den N_{min} -Werten in 0-300 cm Tiefe wird deutlich, dass die eingangs hohen N_{min} -

Vorräte in der 0-30 cm Schicht in tiefere Bodenschichten verlagert wurden. In der nach Sollwert gedüngten Variante wurden N_{\min} -Werte zwischen 7 und 16 kg N ha⁻¹ in 0-30 cm Tiefe beobachtet, wohingegen der Spitzenwert der reduziert gedüngten Variante mit 23 kg N ha⁻¹ in 0-30 cm Tiefe leicht höher war. In den tiefer

gelegenen Bodenschichten (90-300 cm) wurden in 2016 durchschnittlich 9 kg N ha⁻¹ pro 3 dm Schicht ermittelt. Mit durchschnittlich 13 kg N ha⁻¹ (swo) bzw. 14 kg N ha⁻¹ (swo-) pro 3 dm Schicht ist ein Anstieg des Bodenstickstoffvorrats in 90-300 cm Tiefe zu verzeichnen.

Durch die extremen Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren 2018 und 2019 wurden mögliche Effekte durch die reduzierte N-Düngung überlagert, weshalb keine belastbaren Aussagen hinsichtlich der Auswirkungen von N-Düngebeschränkungen auf die Nitrat-Tiefenprofile getroffen werden können.



Abbildung 19: Probenahme N_{\min} -Tiefenprofile im Herbst 2016

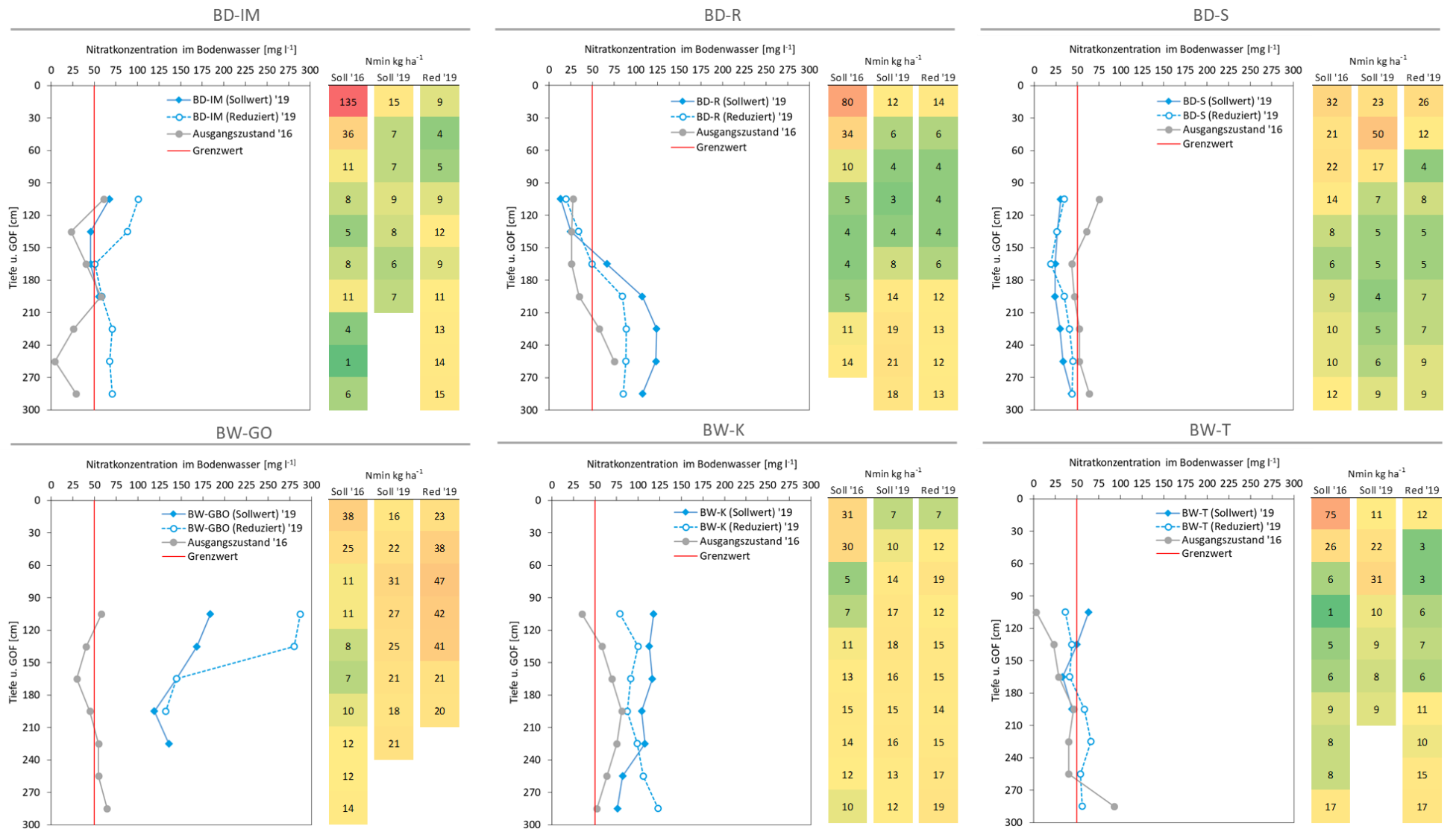


Abbildung 20: Nitratkonzentration im Bodenwasser in Zusammenhang mit den N_{min}-Gehalten je 3 dm Schicht (Tiefe unter Geländeoberfläche) differenziert nach Ausgangszustand in 2016, sowie Sollwert-Düngung und reduzierte Sollwert-Düngung in 2019 für die Demonstrationsstreifen BD-IM, BD-R, BD-S, BW-GO, BW-K und BW-T. Farbskalierung: niedrigster Wert = grün; höchster Wert = rot.

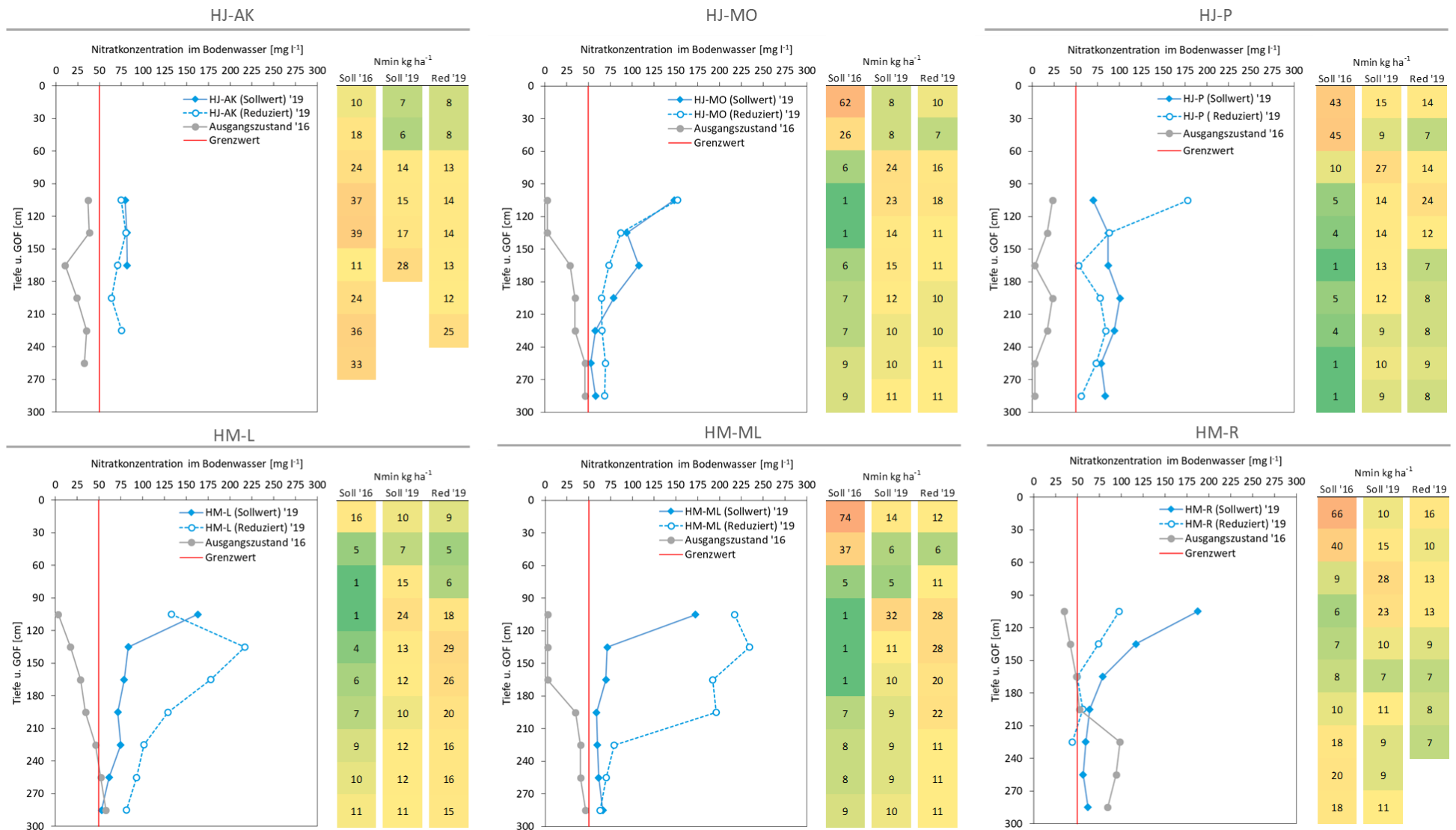


Abbildung 21: Nitratkonzentration im Bodenwasser in Zusammenhang mit den Nmin-Gehalten je 3 dm Schicht (Tiefe unter Geländeoberfläche) differenziert nach Ausgangszustand in 2016, sowie Sollwert-Düngung und reduzierte Sollwert-Düngung in 2019 für die Demonstrationsstreifen HJ-AK, HJ-MO, HJ-P, HM-L, HM-ML und HM-R. Farbskalierung: niedrigster Wert = grün; höchster Wert = rot.

9 Betriebliche Auswertungen

9.1 Kenndaten der teilnehmenden Betriebe

Der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) im WSG der am MuP teilnehmenden Betriebe liegt etwa bei 32 bis 63 % ihrer insge-

samt landwirtschaftlich genutzten Fläche. Entsprechend wirkt sich die WSG-VO mehr oder weniger stark betriebswirtschaftlich aus.

Tabelle 8: Kenndaten teilnehmender Betriebe

Betrieb	Wirtschaftlicher Schwerpunkte	LF ohne Brache (2019)			Hauptkulturen
		gesamt ha	WSG ha	Anteil der LF im WSG %	
A	Marktfrucht (Ackerbau)	35,7	22,3	62,5	Winterweizen, Wintergerste, Triticale, Winterraps
B	Gemischt (Mastbullen, Mastschweine, Acker/ Futterbau)	71,3	37,0	51,9	Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Silomais, Grünland
C	Veredelung (Mastschweine, Ackerbau)	72,0	25,8	35,8	Winterweizen, Wintergerste, Triticale, Winterraps, Körnermais
D	Gemischt (bis 2017) Biogas, Schweinemast, Mastbullen, Acker / Futterbau)	130,5	42,2	32,4	Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Silo/Körnermais, Grünland

Das In-Kraft-Treten der WSG-VO Belm-Nettetal und das dort geregelte Verbot der Gärrest- und Wirtschaftsdüngerausbringung in der Schutzzone II führten im Laufe der Projektjahre 2017 und 2018 dazu, dass bei einem der ursprünglich vier Modellbetriebe (Betrieb D) wesentliche Umstrukturierungen durch Stilllegung einer vorhandenen Biogasanlage und Aufgabe der Tierhaltung vorgenommen wurden. 2018 stellte der

Betriebsleiter auf den ökologischen Landbau um und schied somit als Modellbetrieb aus, da keine Düngungsvarianten mehr darzustellen waren. Die verbleibenden drei Betriebe bildeten aber weiterhin einen repräsentativen Querschnitt der Betriebstypen im WSG ab (Veredelung, Futterbau, Marktfrucht).

9.2 Schlagbilanzen Demonstrationsstreifen

Nährstoffbilanzen auf Schlagebene (für N, P und K) wurden für 24 Demonstrationsstreifenstreifen und die jeweils betriebsüblich gedüngten Teilflächen in den Varianten „Sollwert“, „reduziert“ und zusätzlich „Betrieb“ (ohne statistische Absicherung) erstellt. Zu berücksichtigen ist, dass die Betriebsflächen gemäß WSG-VO ab dem Düngejahr 2019 ebenfalls reduziert zu düngen waren. Auf den Demonstrationsflächen

wurde hauptsächlich Winterweizen, Wintergerste und Wintertriticale angebaut. Raps kam während der Projektlaufzeit nicht zum Anbau; Mais konnte nur einmal ausgewertet werden (s. Wirtschaftlichkeitsberechnungen). Eine Tabelle mit den Ergebnissen der Schlagbilanzen befindet sich im Anhang, Tab. A9.

Die Erträge der Demonstrationsstreifen wurden seitens der Hochschule Osnabrück mit Unterstützung der Landwirte durch Wiegen der Erntemenge von Probepartzellen ermittelt. Die Ernteergebnisse „Betrieb“ beruhen auf Angaben der Landwirte auf der Basis von Eigenermittlungen. 8 von 12 Demonstrationsstreifen wiesen beispielsweise zur Ernte 2019 bei reduzierter Düngung im Wintergetreide geringere und 4 Streifen höhere Kornerträge gegenüber der Bedarfswert-Düngung auf. Der Mittelwert betrug

minus 1,4 dt/ha. Eine ähnliche Tendenz zeigte sich in allen drei Projektjahren.

Von 12 Demonstrationsstreifen lag der N-Saldo 2019 bei reduzierter Düngung in 10 Fällen niedriger, zweimal geringfügig höher als die Sollwert-Variante. Im Mittel betrug die Minderung des Saldos über alle drei Projektjahre 13 kg N/ha. Der Effekt der reduzierten N-Zufuhr auf das N-Saldo wird durch die geringere N-Abfuhr teilweise wieder aufgehoben.

9.3 Nährstoffvergleiche mit und ohne N-Reduzierung

Der betriebliche Nährstoffvergleich (Feld-Stallbilanz) sollte gemäß Projektskizze für den fiktiven Betrieb mit Stickstoffdüngungsbeschränkung und für den Ist-Betrieb ohne Beschränkungen erstellt werden. In den Nährstoffvergleichen für die Düngejahre 2016/2017, 2017/2018 und 2018/2019 wurden diese Bedingungen auf der Grundlage der erhobenen betriebsindividuellen

Daten (Kulturarten, Ernteerträge, organischer Nährstoffanfall, Mineraldüngereinkauf etc.) berechnet bzw. für den fiktiven Betrieb modelliert.

Im Folgenden wird ein Vergleich der beteiligten Betriebe hinsichtlich ihrer N-Zufuhr vorgenommen:

Tabelle 9: Mittlere N-Zufuhr mit und ohne Düngungsbeschränkungen auf Betriebsebene

Betrieb	Wirtsch. Schwerpunkt	LF ohne Brache		N-Zufuhr ohne Düngungsbeschränkungen			N-Zufuhr mit Düngungsbeschränkungen		
		gesamt	WSG	organisch	mineralisch	gesamt	organisch	mineralisch	gesamt
		ha	ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
A	Marktfrucht	35,7	22,3	22,9	116,1	139,0	22,9	106,8	129,7
B	Futterbau/Gemischt	71,3	37,0	97,4	103,7	201,1	97,4	91,6	189,0
C	Schweinemast	72,0	25,8	90,0	99,5	189,5	90,0	95,2	185,2

Im Betriebsdurchschnitt sinkt die mittlere N-Zufuhr je nach Anteil der WSG-Flächen mit Düngungsbeschränkungen und einem damit einhergehenden verminderten Mineraldüngereinsatz auf Betriebsebene zwischen 4,3 und 12,1 kg/ha. Die organische N-Zufuhr (Gesamt-N) ist konstant, da die Bewirtschafter vorrangig Mineraldünger einsparen und nicht den Einsatz von im

Betrieb vorhandenen oder kostengünstig über Wirtschaftsdünger zu beschaffenden Nährstoffen reduzieren.

Die folgende Tabelle zeigt den Vergleich der Betriebe anhand ihrer N-Bilanz (Zufuhr minus Abfuhr, Düngejahr 2018/19).

Tabelle 10: Mittlere N-Bilanzen mit und ohne Düngungsbeschränkungen auf Betriebsebene

Betrieb	Wirtsch. Schwerpunkt	LF ohne Brache		N-Bilanz ohne Düngungsbeschränkungen			N-Bilanz mit Düngungsbeschränkungen		
		gesamt	WSG	Zufuhr	Abfuhr	Bilanz	Zufuhr	Abfuhr	Bilanz
		ha	ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
A	Marktfrucht	35,7	22,3	139,0	131,3	+ 7,7	129,7	131,3	+ 1,6
B	Futterbau/ Gemischt	71,3	37,0	201,1	154,0	+ 47,1	189,0	149,4	+ 39,6
C	Schweinemast	72,0	25,8	189,5	125,6	+ 63,8	185,2	125,6	+ 59,6

Auf den Demonstrationsstreifen war eine merkliche Ertragsminderung nur im Falle des Betriebes B festzustellen. Bei den Betrieben A und C waren die Ertragsunterschiede äußerst gering. Durch die verminderte mineralische N-Zufuhr

und Abfuhr aufgrund teilweise verminderter Erträge fallen die N-Bilanzsalden mit Düngungsbeschränkungen um ca. 4 bis 8 kg/ha niedriger aus.

9.4 Hoftorbilanzen mit und ohne N-Reduzierung

Bei der Hoftorbilanz gehen sämtliche Faktoren des betriebsbezogenen Nährstoffimports und Exports ein. Aus diesem Grunde wurde neben Düngemitteln auch der Zugang an Saatgut, Futtermitteln und Vieh und der Abgang der erzeugten Produkte (Getreide, Stroh, Schlachtvieh) er-

hoben. Bei der Bilanzierung werden die insgesamt importierten den exportierten Nährstoffen gegenübergestellt. Auch hier sinkt der N-Import durch die Düngungsbeschränkungen, da die Betriebe den N-Mineraldüngerzukauf reduzieren.

Tabelle 11: Hoftorbilanzen mit und ohne N-Düngungsbeschränkungen

Betrieb	Wirtsch. Schwerpunkt	LF ohne Brache		N-Bilanz ohne Düngungsbeschränkungen				N-Bilanz mit Düngungsbeschränkungen			
		gesamt	WSG	Import	Export	Bilanz Brutto	Bilanz Netto*	Import	Export	Bilanz Brutto	Bilanz Netto*
		ha	ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
A	Marktfrucht	35,7	22,3	142,1	131,3	+ 10,8	+ 7,8	132,9	131,3	+ 1,6	- 1,5
B	Futterbau/ Gemischt	71,3	37,0	193,4	85,9	+ 107,4	+ 71,6	181,3	81,9	+ 99,4	+ 63,6
C	Schweinemast	72,0	25,8	341,9	245,5	+ 96,4	+ 56,0	348,4	245,5	+ 92,9	+ 51,8

* nach Abzug unvermeidbarer Stickstoffemissionen (Stall, Lagerung, Ausbringung gemäß Anlage 6 Düngeverordnung 2017)

Durch die Umsetzungen der N-Düngungsbeschränkungen sinken die Brutto- und Netto-Bilanzsalden im Betriebsdurchschnitt zwischen 4 und 9 kg N/ha. Nach der Stoffstrombilanzverordnung des Bundes (BMEL, 2018) vom 14.12.2017 hat der Betriebsleiter sicherzustellen, dass ein Bilanzwert für Stickstoff im drei-

jährigen Mittel von 175 kg N/ha Brutto nicht überschritten wird. Dieser Wert wird in den Modellbetrieben mit 1,6, 99,4 und 92,9 kg N/ha weit unterschritten.

Die ausgewerteten Betriebe bewirtschaften zwischen 32,4 % und 62,5 % ihrer Fläche im WSG Belm-Nettetal. Es besteht somit eine hohe Betroffenheit durch die N-Düngungsauflagen. Die rechnerisch ermittelten Reduzierungen durch die Auflagen wirken sich jedoch nur geringfügig auf den Nährstoffvergleich, die N-Bilanz und die Hoftorbilanz aus. Im Mehrjahresvergleich überlagern die Effekte von witterungsbedingt unterschiedlichen Erträgen, unterschiedlichen Viehbeständen und unterschiedlichen Futtermitteln den Effekt der N-Reduzierung auf Einzelflächen.

10 Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Demonstrationsstreifen)

Im Rahmen der Ausgleichsleistungen in Wasserschutzgebieten gemäß § 93 NWG wird in den „Berechnungsgrundlagen der LWK Niedersachsen – Blaubuch“ u.a. die „Beschränkung der Höhe der Stickstoffdüngung durch örtliche WSG-Verordnungen“ dargestellt. In diese Berechnung fließen folgende Parameter ein:

- Ertragsreduktion
- Reduzierter Verkaufserlös durch geringere Qualitäten (z.B. Backqualität beim Weizen)
- Einsparung durch reduzierte Stickstoffdüngung

- Einsparungen beim Maschineneinsatz
- Zusätzliche Gülleabgaben

Die Berechnung der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der Düngungsbeschränkung im Rahmen des MuP Belm folgt den „Blaubuch“-Berechnungen (LWK 2020). Aufgabe des Projektes war es, zu überprüfen ob die Parameter für das WSG Belm-Nettetal gelten und welche weiteren Parameter gegebenenfalls zu berücksichtigen sind.

10.1 Berechnung von Ausgleichsleistungen auf Grundlage der Ergebnisse der Demonstrationsstreifen

Für die von den Landwirten angelegte Demonstrationsstreifen erfolgte entsprechend der Darstellung im Kapitel 4.5 eine Düngeplanung. Die unterschiedliche N-Düngung auf den jeweiligen Streifen erfolgte auf den Flächen ausschließlich über jeweils reduzierte Gaben an ASS und KAS durch die Hochschule Osnabrück mit eigener Technik (siehe Kap. 4.5). In den folgenden Tabellen (Tabelle 14 bis Tabelle 16) sind alle Düngungsmaßnahmen für die Demonstrationsflächen dargestellt. Die reduzierten Mengen sind rot markiert. Die einzelnen Varianten der Demonstrationsflächen wurden ge-

trennt voneinander beerntet und die Erntemengen bestimmt. Zudem erfolgte eine Qualitätsbestimmung (Rohprotein).

Die Kosten der jeweils von den Landwirten eingesetzten Dünger sowie die Ernteerlöse wurden bei den Landwirten erfragt und für die Berechnungen der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen für die einzelnen Kulturen auf den Demonstrationsflächen in den folgenden Kapiteln herangezogen. Die Preisspannen über die Jahre 2017 bis 2019 sowie auch die durchschnittlichen Düngerpreise und Ernteerlöse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 12: Preisspanne und Durchschnittswerte bei den Düngern Ammonsulfatsalpeter (ASS) und Kalkammonsalpeter (KAS) sowie bei den Getreideerlösen in €/dt

Produkt	ASS	KAS	Gerste	Weizen	Triticale
Preisspanne	22,40-27,25	19,80-25,00	15,50-18,00	16,25-20,50	15,25-18,00
Durchschnitt '17	25,00	25,00	15,60	16,30	15,60
Durchschnitt '18	24,00	22,00	17,00	19,50	18,00
Durchschnitt '19	26,50	24,00	16,50	17,50	17,00

(Erhebung LWK Niedersachsen, Bezirksstelle Osnabrück entsprechend Auskunft der Bewirtschafter)

Auf Basis der von der Hochschule Osnabrück ermittelten Ernteergebnisse der Demonstrationsstreifen erfolgte die Betrachtung der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen für die einzelnen Jahre und ein mehrjähriger Vergleich. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass es sich hier um Ergebnisse von Demonstrations-Praxisflächen und nicht von Exaktversuchen handelt.

10.1.1 Demonstrationsstreifen Wintergerste

Die einzelnen Varianten der Demonstrationsstreifen Wintergerste sind der folgenden Tabelle 13 zu entnehmen. In den Erntejahren 2017 bis 2019 haben zwei bzw. drei Landwirte auf drei bis sechs Demonstrationsstreifen Wintergerste angebaut. Im Jahr 2017 wurde auf allen Flächen die Sorte „Wootan“ bestellt, wohingegen im Folgejahr auf sechs Flächen fünf unterschiedliche Sorten zum Anbau kamen (s. dort). Die N_{\min} -Mengen zu Vegetationsbeginn zwischen der jeweiligen Sollwert- und reduzierten Varianten bewegten sich über die drei Versuchsjahre in einem sehr engen Korridor. Zu Beginn des Projektes im Jahr 2017 waren die Werte auf den jeweiligen Demonstrationsflächen identisch, da hier noch keine gesonderte Beprobung der jeweiligen Variante (Soll / reduziert) vorgenommen wurde. Die N_{\min} -Werte bewegten sich über die drei Projektjahre in einer Spanne von 13 bis 34 kg N_{\min} /ha. Die Unterschiede bei den einzelnen Varianten (Soll / reduziert) der jeweiligen Demonstrationsflächen waren in den Jahren 2018 und 2019 sehr gering (maximal 4 kg N_{\min} /ha) bzw. gar nicht vorhanden. Nur in dem Jahr 2018 wurde auf einer Demonstrationsfläche (Schlag-Code P) eine grö-

Nachfolgend werden in der Tabelle 13 und folgende die düngungsrelevanten Parameter auf den Demonstrationsstreifen unterschieden nach der nach Sollwert gedüngten Variante und der reduzierten Variante der Jahre 2017 bis 2019 der einzelnen Kulturen dargestellt. In den weiteren Spalten werden die errechneten Ertrags- und Erlösunterschiede aufgeführt

ßere Differenz von 27 kg N_{\min} /ha zwischen der Sollwert- (22 kg N_{\min} /ha) und der reduzierten Variante (49 kg N_{\min} /ha) festgestellt. Die Ursache konnte nicht ermittelt werden. Für die Betrachtung der durchschnittlichen Jahreswerte 2018 erfolgt deshalb in der Tabelle 13 jeweils einmal eine Berechnung mit und ohne diese Fläche. Im Durchschnitt liegen die N_{\min} -Werte auf den reduziert gedüngten Flächen um 2 kg/ha über denen der nach Sollwert gedüngten Flächen (23 kg gegenüber 21 kg N_{\min} /ha).

In Abhängigkeit von den angestrebten N-Sollwerten auf den Flächen und den N_{\min} -Werten zu Vegetationsbeginn erhielten die reduziert gedüngten Demonstrationsflächen im Durchschnitt der drei Jahre eine um 11,6 % geringere N-Düngung. Die Spanne betrug 7,8 bis 12,6 % (ohne Schlag P mit 26 % im Jahr 2018).

Unter Berücksichtigung der bei den Landwirten ermittelten Preise für ASS und KAS konnten im Durchschnitt über die Jahre 19,25 €/ha Einsparungen bei der Düngung ermittelt werden (Spanne 14,4 bis 24,04 €/ha; Schlag P im Jahr 2018: 30,7 €/ha).

Tabelle 13: Düngungsrelevante Parameter sowie Ertrags- und Erlösunterschiede auf den Demonstrationsstreifen Wintergerste der einzelnen Jahre (auf Basis der Ergebnisse der Hochschule Osnabrück)

Landwirt	Schlag-Code	Sorte	Variante	org. Düng. je ha	min. Düngung dt/ha	N _{min} kg/ha	N-Düngung kg/ha (ohne N _{min})	% N-Reduktion (Soll-Red.)	Einsparung Düngung €/ha	Ertrag dt/ha (reliefreucht)	Ertragsunterschied soll/red. dt/ha	Erlös €/ha	Erlös-differenz	Erlös abzgl. Einsparung Düngung
2017														
A	K	Wootan	Soll	ohne	3,1 ASS 2,2 KAS 1,1 DAP	19	161			85,50		1476,52		
A	K	Wootan	Reduz.	ohne	2,8 ASS 1,9 KAS 1,1 DAP	19	145	10,0%	17,1	63,30	-22,20	1093,14	-383,38	-366,24
B	ML	Wootan	Soll	23,5 m³ MG	2,5 ASS 2,0 KAS	27	153			92,30		1593,95		
B	ML	Wootan	Reduz.	23,5 m³ MG	2,2 ASS 1,7 KAS	27	138	10,0%	17,1	97,70	5,40	1687,20	93,25	110,39
D	R	Wootan	Soll	28 m³ Gär.	2,1 ASS 1,2 KAS	34	146			93,80		1619,65		
D	R	Wootan	Reduz.	28 m³ Gär.	1,8 ASS 1,0 KAS	34	131	10,0%	14,4	97,50	3,70	1683,75	63,90	78,30
Jahresmittelwert Soll														
Jahresmittelwert reduziert														
2018														
A	GO	Meridian	Soll	ohne	1,7 DAP 3,0 ASS 1,9 KAS	20	160			54,41		1023,99		
A	GO	Meridian	Reduziert	ohne	1,7 DAP 2,7 ASS 1,6 KAS	20	144	10,0%	16,4	52,51	-1,90	988,15	-35,85	-19,42
C	MO	Tamina	Soll	ohne	3,0 KK 1,2 DAP 3,6 ASS 1,4 KAS	16	153			87,04		1638,01		
C	MO	Tamina	Reduziert	ohne	3,0 KK 1,2 DAP 3,2 ASS 1,2 KAS	16	137	10,5%	16,7	82,35	-4,69	1549,68	-88,32	-71,66
C	AK	Quadriga	Soll	25 m³ SG	3,0 KK 2,2 ASS 1,3 KAS	17	157			72,05		1355,97		
C	AK	Quadriga	Reduziert	25 m³ SG	3,0 KK 2,0 ASS 0,9 KAS	17	141	10,2%	16,2	64,91	-7,15	1221,48	-134,49	-118,31
D	T	Joker	Soll	ohne	1,2 DAP 3,5 ASS 2,0 KAS	13	167			71,81		1351,38		
D	T	Joker	Reduziert	ohne	1,2 DAP 3,0 ASS 1,7 KAS	17	146	12,6%	22,1	70,86	-0,95	1333,46	-17,92	4,21
D	S	Wootan	Soll	23 m³ MG	2,5 KK 2,4 ASS 1,2 KAS	19	163			97,86		1841,64		
D	S	Wootan	Reduziert	23 m³ MG	2,5 KK 1,8 ASS 1,1 KAS	21	145	11,0%	19,8	94,00	-3,86	1768,99	-72,65	-52,90
Jahresmittelwert Soll														
Jahresmittelwert reduziert														
(ohne folgende Demofläche)														
C	P	Meridian	Soll	ohne	3,0 KK 1,2 DAP 3,6 ASS 1,3 KAS	22	150			64,53		1214,45		
C	P	Meridian	Reduziert	ohne	3,0 KK 1,2 DAP 2,4 ASS 1,0 KAS	49	111	26,0%	30,7	53,17	-11,36	1000,67	-213,78	-183,08
Jahresmittelwert Soll														
Jahresmittelwert reduziert														
(über alle Demoflächen Wintergerste)														
2019														
A	T	KWS Orbit	Soll	ohne	2,0 KK 2,5 NP 16/16 3,0 ASS 1,4 KAS	24	156			84,09		1535,95		
A	T	KWS Orbit	Reduz.	ohne	2,0 KK 2,5 NP 16/16 2,6 ASS 1,2 KAS	23	141	9,6%	18,33	86,54	2,45	1580,70	44,75	63,08
A	K	KWS Orbit	Soll	ohne	2,0 KK 2,5 NP 16/16 3,2 ASS 1,6 KAS	14	166			72,33		1321,14		
A	K	KWS Orbit	Reduz.	ohne	2,0 KK 2,5 NP 16/16 2,8 ASS 1,2 KAS	18	146	12,0%	24,04	69,81	-2,52	1275,11	-46,03	-21,99
B	L	Joker	Soll	25 m³ MG	2,7 KK 2,7 ASS 2,2 KAS	16	167			91,06		1663,26		
B	L	Joker	Reduz.	25 m³ MG	2,7 KK 2,5 ASS 1,7 KAS	18	149	10,8%	20,59	84,68	-6,38	1546,72	-116,53	-95,95
B	R	Quadriga	Soll	ohne	3,2 KK 3,2 NP 16/16 2,8 ASS 1,6 KAS	23	167			97,64		1783,44		
B	R	Quadriga	Reduz.	ohne	3,2 KK 2,5 NP 16/16 2,5 ASS 1,2 KAS	26	148	11,4%	20,88	93,26	-4,38	1703,44	-80,00	-59,12
B	Z	Galation	Soll	ohne	4,2 KK 3,2 NP 16/16 2,8 ASS 1,6 KAS	23	167			95,60		1746,18		
B	Z	Galation	Reduz.	ohne	4,2 KK 3,2 NP 16/16 2,5 ASS 1,4 KAS	19	154	7,8%	15,17	95,26	-0,34	1739,97	-6,21	8,96
Jahresmittelwert Soll														
Jahresmittelwert reduziert														
Mittelwert Soll - alle Flächen und Jahre														
Mittelwert reduziert - alle Flächen und Jahre														
MG=Mischgülle, SG=Saugülle, Gär.=Gärrest, KK=Kornkali 40%, DAP=Diammonphosphat, ASS (Ammonsulfatsalpeter), KAS (Kaliumsulfalpeter), NP16/16 (Mehrnährstoffdünger mit je 16 % Stickstoff und Phosphat)														

In der Tabelle 13 sind die Wintergerstenerträge sowie die daraus resultierenden Ertragsunterschiede dargestellt.

Im Durchschnitt wurden in den nach Sollwert gedüngten Streifen über die drei Jahre 82,86 dt/ha geerntet. Der Durchschnitt der reduziert gedüngten Streifen hatte mit 78,99 dt/ha einen um 3,87 dt/ha ($\approx 4,67\%$) geringeren Ertrag.

Die Unterschiede waren allerdings zum Teil recht hoch. So bewegten sich die Werte von 5,4 dt/ha bei einem höheren Ertrag und mit 22,2

dt/ha bei einem geringeren Ertrag der reduzierten gegenüber der nach Sollwert gedüngten Variante.

Unter Berücksichtigung der bei den Landwirten abgefragten Erzeugerpreisen bewegten sich auch die Erlösdifferenzen dementsprechend von 93,25 €/ha Mehrertrag bis 383,38 €/ha Verlust. Der durchschnittliche Verlust über alle Wintergerstenflächen über die drei Jahre belief sich auf 70,95 €/ha.

Unter Berücksichtigung der eingesparten Düngungskosten ergibt sich über die drei Jahre ein wirtschaftlicher Verlust von 51,70 €/ha beim Anbau von Wintergerste in der reduziert gedüngten Variante (2017 = 59,19 €/ha; 2018 = 73,53 €/ha; 2019 = 21,00 €/ha).

10.1.2 Demonstrationsstreifen Winterweizen

Die einzelnen Varianten der Demonstrationsstreifen Winterweizen sind der folgenden Tabelle 14 zu entnehmen. In den Erntejahren 2017 und 2018 haben jeweils zwei Landwirte auf vier bzw. drei Demonstrationsstreifen Winterweizen angebaut, in 2019 drei Landwirte auf drei Flächen. Im Jahr 2018 wurde auf allen Flächen die Sorte „Benchmark“ bestellt. In den anderen beiden Jahren kamen jeweils zwei unterschiedliche Sorten zum Anbau (siehe Tabelle 14). Im Gegensatz zu den im Kap. 10.1.1 beschriebenen Wintergerstenflächen waren die N_{\min} -Mengen zu Vegetationsbeginn im Winterweizen etwas höher und lagen im Durchschnitt der Jahre bei 34 bzw. 35 kg N_{\min} /ha. Insbesondere im ersten Projektjahr waren die Gehalte höher. Auf zwei Flächen wurden Werte von 49 sowie 91 kg N_{\min} /ha gemessen. In den beiden Folgejahren lagen die Werte eher im Bereich 20 bis 30 kg N_{\min} /ha. Die Unterschiede zwischen den reduzierten und den Sollwert gedüngten Demonstrationsflächen waren bei Winterweizen im Vergleich zu den Wintergerstenflächen zum Teil in den Projektjahren 2018 und 2019 etwas größer, aber auf ähnlichem Niveau. Durch die etwas größeren Unterschiede der prozentualen N-Düngerreduktionen im Vergleich zur Wintergerste ist auch hier die Spanne der Düngereinsparungen etwas größer und bewegt sich im Bereich 11,90 bis 30,35 €/ha. Die festge-

stellten Weizenerträge sowie die daraus resultierenden Ertragsunterschiede sind ebenfalls in der Tabelle 14 dargestellt.

Im Durchschnitt wurden in den nach Sollwert gedüngten Streifen über die drei Jahre 81,55 dt/ha geerntet. Der Durchschnitt der reduziert gedüngten Streifen hatte mit 77,79 dt/ha einen um 3,77 dt/ha ($\approx 4,62\%$) geringeren Ertrag.

Die Unterschiede waren beim Weizen allerdings deutlich geringer als bei der Wintergerste. Beim Weizen bewegten sich die Werte im Bereich von 0,42 dt/ha bei einem höheren und bis 9,79 dt/ha bei einem geringeren Ertrag der reduzierten gegenüber der nach Sollwert gedüngten Variante. Im Durchschnitt aller Weizenschläge der drei Jahre erhielten die reduziert gedüngten Demonstrationsflächen eine um 10,5 % geringere N-Düngung. Die Spanne betrug hier 6,9 bis 15,6 %. Unter Berücksichtigung der bei den Landwirten ermittelten Preise für ASS und KAS konnten im Durchschnitt über die Jahre 19,34 €/ha Einsparungen bei der Düngung ermittelt werden.

Unter Berücksichtigung der bei den Landwirten abgefragten Erzeugerpreisen bewegten sich auch die Erlösdifferenzen dementsprechend von 9,09 €/ha Mehrertrag bis 211,27 €/ha Verlust. Der durchschnittliche Verlust über alle Weizenflächen über die drei Jahre belief sich auf 75,56 €/ha.

Unter Berücksichtigung der eingesparten Düngungskosten ergibt sich über die drei Jahre ein wirtschaftlicher Verlust von 56,21 €/ha Winterweizen in der reduziert gedüngten Variante (2017 = 28,07 €/ha; 2018 = 106,34 €/ha; 2019 = 44,24 €/ha).

Tabelle 14: Düngungsrelevante Parameter sowie Ertrags- und Erlösunterschiede auf den Demonstrationsstreifen Winterweizen der einzelnen Jahre (auf Basis der Ergebnisse der Hochschule Osnabrück)

Landwirt	Schlag-Code	Sorte	Variante	org. Düng. je ha	min. Düngung dt/ha	N _{min} kg/ha	N-Düngung kg/ha (ohne N _{min})	% N-Reduktion (Soll-Red.)	Einsparung Düngung €/ha	Ertrag dt/ha (feldreucht)	Ertragsunterschied dt/ha	Erlös €/ha	Erlös-differenz	Erlös abzgl. Einsparung Düngung	
2017	C	P	Tobak	20 m³ SG	1,8 ASS	91	99			76,90		1387,59			
	C	P	Tobak	20 m³ SG	1,4 ASS	91	89	10,0%	11,9	73,50	-3,40	1326,24	-61,35	-49,45	
	C	MO	Tobak	20 m³ MG	1,2 ASS 0,9 KAS	49	141			74,70		1347,89			
	C	MO	Tobak	20 m³ MG	1,0 ASS 0,6 KAS	49	127	10,0%	14,2	72,80	-1,90	1313,61	-34,28	-20,12	
	C	AK	Elixer	20 m³ SG	2,0 ASS 1,9 KAS	34	156			69,00		1245,04			
	C	AK	Elixer	20 m³ SG	1,7 ASS 1,6 KAS	34	140	10,0%	17,1	67,20	-1,80	1212,56	-32,48	-15,34	
	D	S	Tobak	28 m³ Gär.	2,5 ASS 2,0 KAS	33	177			94,60		1706,97			
	D	S	Tobak	28 m³ Gär.	2,3 ASS 1,5 KAS	33	159	10,0%	19,6	92,10	-2,50	1661,86	-45,11	-25,48	
			Jahresmittelwert Soll				58				78,80	-2,40	1378,57	-43,31	-28,07
			Jahresmittelwert reduziert				58			15,23	76,40	-2,40	1378,57	-43,31	-28,07
2018	B	R	Benchmark	ohne	1,0 DAP 3,6 ASS 2,5 KAS	26	179			90,46		1952,63			
	B	R	Benchmark	ohne	1,0 DAP 3,2 ASS 2,1 KAS	28	158	11,7%	21,9	90,88	0,42	1961,72	9,09	30,99	
	B	L	Benchmark	22,5 m³ MG	2,3 KK 3,6 ASS 2,6 KAS	17	197			72,46		1664,11			
	B	L	Benchmark	22,5 m³ MG	2,3 KK 3,2 ASS 2,2 KAS	18	176	10,7%	21,9	64,38	-8,08	1389,68	-174,44	-152,54	
	D	IM	Benchmark	ohne	1,7 DAP 3,6 ASS 2,4 KAS	26	189			79,64		1719,24			
	D	IM	Benchmark	ohne	1,7 DAP 3,3 ASS 2,2 KAS	21	176	6,9%	13,8	69,86	-9,79	1507,97	-211,27	-197,47	
			Jahresmittelwert Soll				23				80,85		1745,33		
			Jahresmittelwert reduziert				22			19,20	75,04	-5,82	1619,79	-125,54	-106,34
	2019	A	H	Johnny	ohne	2,5 NP16/16 3,2 ASS 1,6 KAS	33	167			87,71		1699,16		
		A	H	Johnny	ohne	2,5 NP16/16 2,6 ASS 1,2 KAS	43	141	15,6%	30,35	87,09	-0,62	1687,15	-12,01	18,33
B		ML	RGT Reform	24 m³ MG	3,8 KK 3,4 ASS 2,3 KAS	19	185			79,86		1547,09			
B		ML	RGT Reform	24 m³ MG	3,8 KK 3,0 ASS 2,0 KAS	17	168	9,2%	21,18	77,50	-2,36	1501,37	-45,72	-24,54	
C		G	RGT Reform	23 m³ MSG	2,5 ASS 1,0 KAS	14	177			90,22		1747,79			
C		G	RGT Reform	23 m³ MSG	2,0 ASS 0,8 KAS	15	158	10,7%	21,48	82,58	-7,64	1599,78	-148,01	-126,53	
		Jahresmittelwert Soll				22				85,93		1664,68			
		Jahresmittelwert reduziert				25			24,34	82,39	-3,54	1596,10	-68,58	-44,24	
		Mittelwert Soll - alle Flächen und Jahre				34				81,55		1591,75			
		Mittelwert reduziert - alle Flächen und Jahre				35			19,34	77,79	-3,77	1516,19	-75,56	-56,21	

MG=Mischgülle, SG=Sauengülle, Gär.=Gärrest, KK=Kornkall 40%, DAP=Diammonphosphat, ASS (Ammonsulfatpeter), KAS (Kalkammonsalpeter), NP16/16 (Mehrnährstoffdünger mit je 16 % Stickstoff und Phosphat)

10.1.3 Demonstrationsstreifen Triticale

Der Anbau von Triticale hat im WSG Belm-Netetal eine geringere Bedeutung, so dass in den Projektjahren 2017 und 2018 jeweils nur ein Landwirt Triticale auf einer bzw. zwei Demonstrationsflächen angebaut hat. Im Jahr 2019 hat ein weiterer Landwirt drei Demonstrationsflächen mit Triticale bestellt, so dass insgesamt vier Demonstrationsflächen ausgewertet werden konnten (Tabelle 15). Auch hier waren die N_{\min} -Gehalte zum Vegetationsbeginn im Jahr 2017 mit durchschnittlich 48 kg N_{\min} /ha etwas höher als in den beiden Folgejahren mit 22 kg bzw. 24 kg N_{\min} /ha. Die Schwankungsbreite lag über die Jahre und alle Triticaleflächen im Bereich 15 bis 62 kg N_{\min} /ha.

Die Unterschiede zwischen den reduzierten und nach Sollwert gedüngten Flächen bewegten sich bei maximal 3 kg N_{\min} /ha und sind eher als vernachlässigbar einzustufen.

Die erstellte Düngeplanung hat im Durchschnitt aller Triticale-Demonstrationsflächen und Jahre eine um 10,2 % geringere N-Düngung bei einer Spanne von 8,4 bis 12 % ergeben.

Die ermittelten Düngereinsparungen liegen im Durchschnitt über die Jahre bei 19,89 €/ha mit einer Spanne von 15,89 bis 22,76 €/ha.

Die festgestellten Triticaleerträge sowie die daraus resultierenden Ertragsunterschiede sind ebenfalls in der Tabelle 15 dargestellt. Im Durchschnitt wurden in den nach Sollwert gedüngten Streifen über die drei Jahre 66,86 dt/ha geerntet. Der Durchschnitt der reduziert gedüngten Streifen hatte mit 66,21 dt/ha einen nahezu identischen Durchschnittsertrag und lag nur um 0,65 dt/ha ($\pm 0,98\%$) unterhalb der Sollwert-Varianten. Bei der Triticale bewegten sich die Werte im Bereich von 5,69 dt/ha bei einem höheren Ertrag und bis 5,50 dt/ha bei einem geringeren Ertrag der reduzierten gegenüber der nach Sollwert gedüngten Variante. Unter Berücksichtigung der bei den Landwirten abgefragten Erzeugerpreisen bewegten sich auch die Erlösdifferenzen dementsprechend von 107,08 €/ha Mehrertrag bis 94,98 €/ha Verlust.

Über alle Triticale-Demonstrationsflächen und Jahre ergibt sich ein durchschnittlicher Verlust von 11,28 €/ha. Unter Berücksichtigung der eingesparten Düngungskosten errechnet sich über die drei Jahre ein wirtschaftlicher Vorteil von 8,61 €/ha in der reduziert gedüngten Variante (2017 = Verlust von 41,97 €/ha; 2018 = Verlust von 46,01 €/ha; 2019 = Vorteil von 47,55 €/ha).

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang darauf, dass die Ermittlung der Mittelwerte über die Gesamtzahl der Flächen durchgeführt wurde und nicht über die einzelnen Jahresmittelwerte. Diese Betrachtung führt aufgrund der

unterschiedlichen Anzahl von Demonstrationsflächen in den einzelnen Jahren (2017 = 2 Flächen; 2018 = 1 Fläche; 2019 = 4 Flächen) zu einer überproportionalen Berücksichtigung des Jahres 2019.

Tabelle 15: Düngungsrelevante Parameter sowie Ertrags- und Erlösunterschiede auf den Demonstrationsstreifen Triticale der einzelnen Jahre (auf Basis der Ergebnisse der Hochschule Osnabrück)

Landwirt	Schlag-Code	Sorte	Variante	org. Düng. je ha	min. Düngung d/ha	N _{min} kg/ha	N-Düngung kg/ha (ohne N _{min})	% N-Reduktion (Soll-Red.)	Einsparung Düngung €/ha	Ertrag d/ha (feidfeucht)	Ertragsunterschied d/ha in %	Erlös €/ha	Erlös-differenz	Erlös abzgl. Einsparung Düngung	
2017	A	T	Grenado	ohne	2,2 ASS 1,8 KAS 1,2 DAP	62	128			97,20		1678,57			
	A	T	Grenado	Reduz.	1,8 ASS 1,7 KAS 1,2 DAP	62	115	10,0%	14,6	96,00	-1,20	1657,84	-20,72	-6,09	
	A	GO	Grenado	ohne	2,7 ASS 2,1 KAS 1,6 DAP	33	157			69,30		1196,76			
	A	GO	Grenado	Reduz.	2,4 ASS 1,8 KAS 1,6 DAP	33	141	10,0%	17,1	63,80	-5,50	1101,77	-94,98	-77,84	
		Jahresmittelwert Soll				48			15,89	79,90	-3,35	1379,81	-57,85	-41,97	
		Jahresmittelwert reduziert				48									
2018	A	K	Barolo	ohne	1,5 DAP 3,3 ASS 2,0 KAS	22	167			53,20		1060,06			
	A	K	Barolo	Reduziert	1,5 DAP 3,0 ASS 1,7 KAS	22	151	9,6%	16,42	50,07	-3,13	997,63	-62,43	-46,01	
2019	A	GO	Barolo	ohne	2,6 KK 3,0 NP16/16 3,2 ASS 1,6 KAS	16	174			49,81		937,37			
	A	GO	Barolo	Reduz.	2,6 KK 3,0 NP16/16 2,8 ASS 1,3 KAS	16	157	9,8%	21,18	52,08	2,27	980,09	42,72	63,90	
	C	MO	Barolo	ohne	2,1 KK 4,3 NP16/16 3,6 ASS	28	162			66,55		1252,40			
	C	MO	Barolo	Reduz.	2,1 KK 3,7 NP16/16 3,2 ASS	31	143	11,7%	30,35	68,01	1,46	1279,88	27,48	57,82	
	C	P	Barolo	ohne	3,5 KK 4,0 NP16/16 3,5 ASS	35	155			54,04		1016,98			
	C	P	Barolo	Reduz.	3,5 KK 3,7 NP16/16 3,2 ASS	32	142	8,4%	18,03	49,89	-4,15	938,88	-78,10	-60,07	
	C	AK	Barolo	Soll	27 m³ SG 2,7 KK 2,5 ASS 1,4 KAS	15	167			77,91		1466,19			
	C	AK	Barolo	Reduz.	27 m³ SG 2,7 KK 2,0 ASS 1,2 KAS	18	147	12,0%	21,48	83,60	5,69	1573,27	107,08	128,56	
			Jahresmittelwert Soll				24			22,76	63,40	1,32	1193,03	24,79	47,55
			Jahresmittelwert reduziert				24								
Mittelwert Soll - alle Flächen und Jahre						30				66,86		1229,76			
Mittelwert reduziert - alle Flächen und Jahre						31			19,89	66,21	-0,65	1218,48	-11,28	8,61	

MG=Mischgülle, SG=Sauengülle, Gärtr.=Gärrest, KK=Kornkali 40%, DAP=Diammonphosphat, ASS (Ammonsulfatsalpeter), KAS (Kaliumsalpeter), NP16/16 (Mehrnährstoffdünger mit je 16 % Stickstoff und Phosphat)

10.1.4 Demonstrationsstreifen Körnermais 2018

Mais wurde von einem Landwirt auf einer Demonstrationsfläche nur im Erntejahr 2018 angebaut. Vollständigkeitshalber wird dieses Ergebnis hier vorgestellt. Eine weitere mit Mais bestellte Fläche wurde irrtümlich vor der Ertragsermittlung von dem Landwirt abgeerntet, so dass keine Ergebnisse vorliegen.

Auf dem Demonstrationsstreifen mit Körnermais erfolgte auf dem reduziert gedüngten Streifen eine um 19,7 % reduzierte Düngung über die Reduktion einer KAS-Gabe. Aufgrund deutlicher Abweichung der festgestellten N_{\min} -Werte wurde im Projekt-Arbeitskreis vereinbart, die N_{\min} -Richtwerte für Mais für die Frühjahrsdüngung im Rahmen der DüV 2017 heranzuziehen.

Die festgestellte Ertragsreduktion in Höhe von 17,56 % entspricht einer Erlösdifferenz von 460,62 €/ha bei einem Verkaufspreis von 19 €/dt. Unter Berücksichtigung der eingesparten Düngungskosten errechnete sich für die Demonstrationsfläche Mais ein Verlust von 434,44 €/ha. Da es sich hier nur um eine Einzelfläche handelt, kann das Ergebnis nicht auf Praxisflächen in dem WSG Belm-Nettetal übertragen werden.

Betrachtet man Mais im Exaktversuch, so wurde in der reduziert gedüngten Variante im Vergleich zur Sollwertvariante in zwei von drei Versuchsjahren sogar ein höherer Ertrag erzielt. Dieser ließ sich jedoch statistisch nicht absichern.

Tabelle 16: Düngungsrelevante Parameter sowie Ertrags- und Erlösunterschiede auf den Demonstrationsstreifen Körnermais im Jahr 2018 (auf Basis der Ergebnisse der Hochschule Osnabrück)

Landwirt	Schlag-Code	Sorte	Variante	org. Düng. je ha	min. Düngung dt/ha	N_{\min} kg/ha	N-Düngung kg/ha (ohne N_{\min})	% N-Reduktion (Soll-Red.)	Einsparung Düngung €/ha
D	R	P8134	Soll	ohne	3,1 KK 3,5 NP19/17 2,6 KAS	41 ^{*)}	137		
D	R	P8134	Reduziert	ohne	3,1 KK 3,5 NP19/17 1,6 KAS	41 ^{*)}	110	19,7%	26,2

Landwirt	Schlag-Code	Variante	org. Düng. je ha	N_{\min} kg/ha	N-Düngung kg/ha (ohne N_{\min})	% N-Reduktion (Soll-Red.)	Einsparung Düngung €/ha	Ertrag dt/ha (feldfeucht)	Ertragsunterschied soll/red. dt/ha	in %	Erlös €/ha	Erlös-differenz	Erlös abzgl. Einsparung Düngung
D	R	Soll	ohne	41 ^{*)}	137			124,70			2622,82		
D	R	Reduziert	ohne	41 ^{*)}	110	19,7%	26,2	102,80	-21,90	17,56%	2162,19	-460,62	-434,44

*) angenommene Werte; gemessene Werte deutlich höher

KK=Kornkali 40%, KAS (Kalkammonsalpeter), NP19/17 (Mehrnährstoffdünger mit 19 % Stickstoff und 17 % Phosphat)

10.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Über die drei Jahre konnten durchschnittliche Ausgleichsbeträge im Zusammenhang mit der um 10 % reduzierten Düngung von 51,40 €/ha bei der Wintergerste und 56,21 €/ha bei dem Weizen ermittelt werden. Höhere Beträge fanden sich bei beiden Kulturen für das Jahr 2018, wobei in dem Jahr der Betrag für Weizen mit rund 106 €/ha deutlich über dem Wert bei der Gerste mit rund 74 €/ha lag (vgl. auch vorhergehende Tabellen sowie folgende

Tabelle 17).

Die Ansätze für die Ausgleichsberechnung nach dem Blaubuch der LWK Niedersachsen (2020) für Winterweizen und W-Gerste für das 2018 lagen mit rund 20 bzw. 10 €/ha über den im MuP ermittelten Werten (

Tabelle 17). Ursächlich hierfür waren die ermittelten höheren Ertragsrückgänge von 7,20 % (W-Gerste) bzw. 7,66 % (Weizen) im Vergleich

zu den im MuP ermittelten Ertragsrückgängen von 6,68 % (W-Gerste) bzw. 7,19 % (Weizen).

Für das Jahr 2019 wurden im Rahmen des Blaubuchs deutlich geringere Ertragsrückgänge von jeweils 1,5 % für die beiden Kulturen festgelegt. Hieraus resultieren dann auch deutlich geringere Ausgleichsbeträge von nur 1,60 €/ha bei der W-Gerste sowie 3,15 €/ha beim Weizen. In dem MuP wurden in dem Jahr 2019 Ertragsrückgänge von 2,53 % bei der Gerste sowie 4,12 % beim Weizen ermittelt. Hieraus resultieren höhere Erlösdifferenzen.

Auf den mit Triticale bestellten Demonstrationsflächen waren die Ergebnisse tendenziell nicht mit denen der Gersten- und Weizenflächen vergleichbar. In 2017 wurden zwei Demonstrationsflächen mit Triticale bestellt und im Jahr 2018 nur eine Fläche. Im Jahr 2019 flossen vier Demonstrationsflächen in die Auswertung ein.

Von diesen vier Flächen wurden bei drei reduziert gedüngten Demonstrationsflächen höhere Erträge festgestellt als bei den nach Sollwert gedüngten Flächen. Diese Hintergründe waren bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Im Blaubuch sind keine Ausgleichsbeträge für Triticale veröffentlicht worden. In der

Tabelle 17 sind daher im Vergleich die Werte des Winterroggens gegenübergestellt. Alternativ könnte auch ein Vergleich der Ausgleichsbeträge als Kombination der Werte für Weizen und für Roggen erfolgen, so dass zumindest für die Jahre 2017 und 2018 höhere Vergleichswerte zu Grunde liegen. Eine Berechnung für Mais war aufgrund der zu geringen Stichprobe nicht verlässlich möglich.

Tabelle 17: Vergleich ausgewählter Parameter aus den Ergebnissen der betriebswirtschaftlichen Betrachtung der Demonstrationsflächen im MuP mit den Ansätzen aus dem Blaubuch der LWK Niedersachsen (2020)

Wintergerste	Demonstrationsflächen				Ansätze Blaubuch		
Mittelwert alle Jahre und Flächen	Durchschnitt	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Einsparung Düngung €/ha	19,25	16,22	20,31	19,80		18,90	14,26
Ertrag dt/ha (red. Var.)	78,99	86,17	69,63	85,91		78,9	88,7
Ertragsunterschied soll/red. dt/ha	-3,87						
in %	4,67%	4,82%	6,68%	2,53%		7,20%	1,50%
Gerstenpreis (€/dt)		15,60	17,00	16,50		18,61	16,91
Erlösdifferenz	- 70,95 €	- 75,41 €	- 93,84 €	- 40,81 €		-113,89 €	- 22,84 €
Erlös abzgl. Einsparung Düngung	- 51,70 €	- 59,19 €	- 73,53 €	- 21,00 €			
Ausgleichsbetrag					76,71 €	92,42 €	1,60 €
Winterweizen	Demonstrationsflächen				Ansätze Blaubuch		
Mittelwert alle Jahre und Flächen	Durchschnitt	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Einsparung Düngung €/ha	19,34	15,23	19,20	24,34		21,82	16,81
Ertrag dt/ha	77,79	76,40	75,04	82,39		83,1	98,5
Ertragsunterschied soll/red. dt/ha	-3,77						
in %	4,62%	3,05%	7,19%	4,12%		7,66%	1,50%
Weizenpreis (€/dt)		16,30	19,50	17,50		20,08	17,96
Erlösdifferenz	- 75,56 €	- 43,31 €	- 125,54 €	- 68,58 €		-139,14 €	- 26,93 €
Erlös abzgl. Einsparung Düngung	- 56,21 €	- 28,07 €	- 106,34 €	- 44,24 €			
Ausgleichsbetrag					99,36	114,63 €	3,15 €
Triticale	Demonstrationsflächen				Ansätze Blaubuch (Roggen)		
Mittelwert alle Jahre und Flächen	Durchschnitt	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Einsparung Düngung €/ha	19,89	15,89	16,42	22,76		14,15	13,75
Ertrag dt/ha (red. Var.)	66,21	79,90	50,07	63,40			
Ertragsunterschied soll/red. dt/ha	-0,65					77,8	88,7
in %	0,98%	4,02%	5,89%	-2,12%		2,75%	1,50%
Triticalepreis (€/dt)		15,60	18,00	17,00			
Roggenpreis (€/dt)						18,62	16,08
Erlösdifferenz	- 11,28 €	- 57,85 €	- 62,43 €	24,79 €		- 41,71 €	- 21,71 €
Erlös abzgl. Einsparung Düngung	8,61 €	- 41,97 €	- 46,01 €	47,55 €			
Ausgleichsbetrag					22,04 €	26,48 €	2,31 €

Quelle: eigene Erhebung; Blaubücher der Jahre 17/18 bis 19/20 der LWK Niedersachsen

Die betriebswirtschaftlichen Ansätze bei der Berücksichtigung der Düngung bewegen sich im Blaubuch (LWK 2020) im Bereich von etwa 14,00 bis 21,82 €/ha in den Jahren 2018 und 2019 bei den beiden Kulturen Wintergerste und Weizen. Im MuP wurden Werte von 15,23 bis 24,34 €/ha ermittelt. Im Blaubuch sind auch Ansätze für die Einsparung bei der Phosphatdüngung berücksichtigt worden. Im MuP wurden diese Anpassungen nicht umgesetzt.

Tendenziell sind die ermittelten Werte bei der Einsparung der N-Düngung im Blaubuch geringer als die im MuP ermittelten Werte. Dabei

muss aber berücksichtigt werden, dass der Projektzeitraum in zwei von drei Versuchsjahren durch Extremwetterlagen geprägt war. Aufgrund der regional sehr unterschiedlichen Erträge ist ein Vergleich in der Versuchsdauer nur bedingt möglich. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass sich aufgrund der im Boden befindenden N-reserven erst nach mehreren Jahren ein neues Düngungsgleichgewicht einstellt. Die Demonstrationsflächen und der Exaktversuch hätten für die Ermittlung der Beziehung zwischen N-Düngung und Ertrag über längere Zeiträume durchgeführt werden müssen.

Zudem werden im Blaubuch auch Einsparungen bei den Maschinenkosten in Ansatz gebracht. Im MuP wurden auf den reduzierten Varianten jeweils die gleiche Anzahl an Düngungsmaßnahmen wie auf den mit Sollwert gedüngten Varianten durchgeführt. Auch die organische Düngung wurde, wenn sie erfolgte, im gleichen Umfang in den Varianten vorgenommen. Die reduzierte Düngung erfolgte in der Regel durch reduzierte Düngungsmaßnahmen wie zwei ASS- und/oder KAS-Gaben. Die hieraus abzuleitenden geringeren Maschinenkosten dürften einen zu vernachlässigenden Umfang einnehmen, so dass dieser Ansatz im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt wurde. Einflussfaktoren auf die Höhe

der Entschädigungszahlungen nach absteigender Bedeutung waren:

- Höhe des Ertragsrückgangs
- Getreideverkaufspreis
- Düngerkosten
- Reduzierte Düngermengen
- Maschinenkosten

Die Auswirkungen der Düngerkosten über die reduzierten Düngermengen auf den Ausgleichsbetrag waren relativ klein und vorrangig abhängig vom Düngerpreis. Keine Auswirkung hatte eine eventuell geringere Qualität des Erntegutes, da z.B. der Rohproteingehalt des Getreides vom Handel vor Ort nicht bewertet und vergütet wurde.

10.3 Übertragung der betriebswirtschaftlichen Ergebnisse auf potentielle Ausgleichszahlungen im Wasserschutzgebiet

Entsprechend der Darstellung in der folgenden Tabelle beträgt die landwirtschaftliche Fläche mit Düngungsbeschränkungen im WSG Belm-Nettetal rund 400 Hektar. Bei den Getreideflächen nimmt der Wintergerstenanbau mit rund 25 % den größten Anteil an der Gesamt-LF ein.

Der Anteil von Winterweizen beträgt rund 20 % und die Triticale liegt im Bereich von 5 bis 9 %. In Summe nehmen diese drei Getreidearten rund 50 % der Flächennutzung im WSG-Bereich mit Düngebeschränkungen ein.

Tabelle 18: Berechnung potentieller Ausgleichsbeträge auf Grundlage der Nutzungen im WSG Belm-Nettetal mit Düngebeschränkungen sowie den errechneten Verlusten bei verschiedenen Getreidenutzungen

Hauptfrucht		Nutzungen im Bereich mit Düngebeschränkungen in ha	Anteil	potentieller Ausgleichsbetrag je ha	Entschädigung ø je ha	
2017	Wintergerste	84,89	22,2%	59,19 €	5.024 €	
	Wintertriticale	21,00	5,5%	41,97 €	881 €	
	Winterweichweizen	74,56	19,5%	28,07 €	2.093 €	
	Gesamtfläche 2017	383,24		Summe:	7.999 €	44,33 €
2018	Wintergerste	92,05	23,1%	73,53 €	6.768 €	
	Wintertriticale	21,43	5,4%	46,01 €	986 €	
	Winterweichweizen	80,06	20,1%	106,34 €	8.513 €	
	Gesamtfläche 2018	399,24		Summe:	16.267 €	84,05 €
2019	Wintergerste	101,23	25,5%	21,00 €	2.126 €	
	Wintertriticale	35,62	9,0%	- €	- €	
	Winterweichweizen	76,81	19,3%	44,24 €	3.398 €	
	Gesamtfläche 2019	397,02		Summe:	5.524 €	25,86 €

Quelle: Auszüge Agrarförderung der Jahre 2017 bis 2019; eigene Auswertung

Werden die oben errechneten Verluste durch die reduzierten Stickstoffdüngungen mit den Nutzungen verrechnet, ergeben sich gebietsbezogen jährliche Ausgleichszahlungen von etwa 5.500 € bis über 16.000 €. Bezogen auf die bewirtschaftete Fläche liegen die durchschnittlichen Ausgleichsbeträge bei ca. 44 €/ha im Jahr 2017, 84 €/ha im Jahr 2018 und 26 €/ha im Jahr 2019. Hier dürften auch der geringe Stichprobenumfang und Witterungseinflüsse der einzelnen Jahre zum Ausdruck kommen.

11 Kontrolle der Stickstoffdüngebeschränkung im Rahmen der WSG-Verordnung unter dem Aspekt der Eignung und Rechtssicherheit

Zum Zeitpunkt des Erstellens der Projektskizze zum MuP 2015 existierte kein rechtssicheres Verfahren zur Kontrolle von Stickstoffdüngebeschränkungen aufgrund von Schutzbestimmungen in WSG-VO auf Betriebs- und Einzelschlagenebene. Folgende Indikatoren wurden daher untersucht:

- Düngeplanung
- Schlagbilanzierung
- Nährstoffvergleich
- Hoftorbilanz

- Herbst-N_{min}-Untersuchung

Nach der aktuellen DüV besteht seit 2018 die Pflicht zur Aufzeichnung und Meldung des vorab ermittelten Düngebedarfs und zur Dokumentation der tatsächlich durchgeführten Düngemaßnahmen auf Schlagebene. Von dieser Pflicht ausgenommen sind lediglich Kleinbetriebe unter 15 ha LF mit einer Düngung von weniger als 50 kg/ha oder 30 kg P₂O₅/ha oder einem Gesamt-N-Anfall aus eigener Viehhaltung von weniger als 750 kg/ha.

Aufzeichnungspflichten bei der Dokumentation der durchgeführten Düngemaßnahmen (§ 10 (1) und (2) DüV)

- Vor der Düngung ist der Stickstoff- und Phosphat-Düngebedarf auf der Einzelfläche zu ermitteln und aufzuzeichnen.
- Die Düngebedarfsermittlung muss bis zum 31.03. des Folgejahres gemeldet werden (ENNI)*.
- Spätestens zwei Tage nach jeder Düngungsmaßnahme ist für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit die Art und Menge der aufgetragenen Stickstoff- und Phosphatdünger aufzuzeichnen.
- Bei organisch / organisch-mineralischen Düngemitteln ist neben der Menge an Gesamtstickstoff auch die Menge an verfügbarem Stickstoff aufzuführen.
- Bei der Weidehaltung sind die Zahl der Weidetage und die Art und Anzahl der auf der Weide gehaltenen Tiere zu dokumentieren.
- Die aufgetragenen Nährstoffmengen müssen bis zum 31.03. des Folgejahres zu einem gesamtbetrieblichen Nährstoffeinsatz aufsummiert werden.
- Die Aufzeichnungen der Düngungsmaßnahmen müssen nicht gemeldet werden.
- Die Düngebehörde stellt eine Excel-Datei zur Aufzeichnung der durchgeführten Düngung zur Verfügung.
- Die Aufzeichnungen und Belege sind sieben Jahre aufzubewahren.

*Mit Änderung der Düngeverordnung (DüV veröffentlicht am 30.04.2020) ist auch die Pflicht zur Meldung der Düngebedarfsermittlung weggefallen, so dass es voraussichtlich erst zum 31. März 2022 wieder eine Meldepflicht für das Düngejahr 2021 geben wird. Die Vorgabe gemäß DüV, dass der Düngebedarf vor einer Düngung ermittelt und dokumentiert werden muss, bleibt unabhängig davon bestehen.

Durch die Meldepflicht des Düngebedarfes auf Einzelflächen kann die überwachende Behörde im Nachhinein einen Abgleich mit der Dokumentation der tatsächlichen Düngung vornehmen. Belege über den Düngemittleinkauf, die Wirtschaftsdüngeraufnahme oder -abgabe, die ebenfalls meldepflichtig ist, können ebenso wie Frühjahrs-N_{min}- und Nährstoffanalysen herangezogen und somit die Aufzeichnungen auf Plausibilität geprüft werden. Bei Überschreitung des Düngebedarfes, einer fehlenden oder feh-

lerhaften Dokumentation besteht die Möglichkeit einer rechtssicheren Ahndung. Zudem ist ein Verstoß gegen die Dokumentations- und Meldepflicht Cross Compliance-relevant und führt zu Abzügen bei der Auszahlung der Agrarprämie.

Darüber hinaus besteht ab bestimmter Grenzen (N-Anfall, GV-Besatz/ha) eine gesamtbetriebliche Aufzeichnungspflicht.

Aufzeichnungspflicht nach der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBiV, BMEL 2018)

- Die Nährstoffzufuhren und Nährstoffabgaben sind spätestens 3 Monate nach der jeweiligen Zufuhr und Abgabe aufzuzeichnen.
- Spätestens 6 Monate nach Ablauf des Bezugsjahres sind die Ausgangsdaten und Ergebnisse aufzuzeichnen.
- Die Bewertung (Stickstoff) der Stoffstrombilanz erfolgte erstmals nach drei Jahren Aufzeichnung.
- Die Aufzeichnungen der Stoffstrombilanz müssen nicht gemeldet werden.
- Die Aufzeichnungen und Belege sind sieben Jahre aufzubewahren.

Der Nährstoffvergleich entfällt ab dem Wirtschaftsjahr 2019/2020 und ist nicht mehr Bestandteil der Düngerechtsüberprüfung. Die Einhaltung der 170 kg N-Grenze § 6 (4) DüV wird bei düngerechtlichen Kontrollen jedoch weiterhin geprüft. Ermittelt wird die N-Aufbringung mit der durchschnittlich gehaltenen Anzahl der Tiere in Verbindung mit deren in der DüV festgelegten N-Ausscheidungswerten je belegtem Platz. Die Aufzeichnung/Einhaltung der Betriebsobergrenze muss nicht gemeldet werden. Mit Änderung der DüV zum 1. Mai 2020 (BMEL 2020) sind Flächen, auf denen die N-Düngung beschränkt oder verboten ist, bei der 170 kg N-Berechnung zu berücksichtigen. Derartige Restriktionsflächen gehen dabei entsprechend ihrer Auflagen in die Berechnung ein (z. B. Flächen mit der Auflage gem. WSG-VO von max. 120 kg N/ha aus organischer Düngung).

Wie oben beschrieben, weisen die Bilanzen auf Betriebsebene (Nährstoffvergleich, Hoftorbilanz) nur sehr geringe Unterschiede bei reduzierter Düngung und Düngung nach Bedarfswert auf. Dies gilt umso mehr, je geringer der Anteil der reduziert zu düngenden Flächen im WSG an der gesamten Betriebsfläche ist.

Auch die Ergebnisse der Nachernte- und Herbst-N_{min}-Untersuchungen weisen nur geringe, statistisch nicht nachweisbare Unterschiede auf (s. Kap. 7.3). Über diese Instrumente ist daher kein rechtssicherer Nachweis für die Einhaltung oder Nicht-Einhaltung der Düngebeschränkungen zu erbringen. Es können bei überhöhten Werten allenfalls ergänzende Hinweise auf eine N-Düngung über dem Bedarf gewonnen werden. Der Fokus ist eher auf den Einzelflächen bezogenen Nachweis der Düngung zu legen.

Grundsätzlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass die schlagbezogenen Aufzeichnungen zwar den erforderlichen gesetzlichen Auflagen entsprechen, diese aber nicht in vollem Umfang die tatsächliche Düngung wiedergeben. Die im Modell- und Pilotprojekt von den Landwirten mit Unterstützung der Beratung vorgenommene Düngebedarfsermittlung, Düngeplanung und Dokumentation erwiesen sich in Verbindung mit den vorliegenden Frühjahrs-N_{min}- und Nährstoffanalysen der eingesetzten Wirtschaftsdünger jedoch als plausibler und belastbarer Nachweis der N-reduzierten Düngung.

12 Zusammenfassende Diskussion und Fazit

Das Modell- und Pilotprojekt Belm-Nettetal hatte zum Ziel, Grundlagen für die Umsetzung ordnungsrechtlicher N-Düngungsbeschränkungen anhand mehrerer Indikatoren im Rahmen eines Exaktversuchs in einem Festgesteinsgebiet zu ermitteln. Als Indikatoren wurden der N_{\min} -Vorrat zum Vegetationsende, N-Bilanzen, die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, sowie die Nitratfrachten ausgewählt. Begleitend wurden die N-Düngebeschränkungen auf Demonstrationsflächen im WSG untersucht.

Es wurde die Hypothese erstellt, dass eine Reduzierung der N-Düngung nach Sollwert um 10 % zu Getreide/Raps bzw. um 20 % zu Mais zu niedrigeren N_{\min} -Bodenvorräten zum Vegetationsende, geringen N-Überschüssen, sowie zu einer Verbesserung der Sickerwasserqualität führt.

Der Exaktversuch wurde auf einer langjährig organisch gedüngten Fläche mit hohem N-Nachlieferungspotential angelegt. In Kombination mit den extremen Witterungsbedingungen während des Versuchszeitraums führte dies zu hohen Nitratausträgen, insbesondere im ersten und zweiten Versuchsjahr.

Die reduzierte N-Düngung führte nicht zu signifikant reduzierten Erträgen bzw. einer Beeinträchtigung der Qualität des Ernteguts (z. B. Proteingehalt). Allerdings ergaben sich bei der Bilanzierung sowohl für die Düngung nach Sollwert, als auch für die reduzierte Düngung häufig N-Überschüsse, teils über dem Saldo von 50 kg N/ha.

Ein deutlicher Zusammenhang zwischen niedrigeren N_{\min} -Bodenvorräten im Herbst durch die reduzierte Sollwert-Düngung konnte im Exaktversuch nicht festgestellt werden. Für die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und die Nitratfrachten wurden jedoch insbesondere zu Beginn der Sickerwasserperiode über alle drei Versuchsjahre um 26,12 mg/l Nitrat geringere Werte bei reduzierter Sollwert-Düngung beobachtet.

Dennoch wurde der Trinkwasser-Grenzwert von 50 mg/l im Sickerwasser mit durchschnittlich 81,8 mg/l Nitrat über alle Jahre und Kulturen für die reduziert gedüngte Variante deutlich überschritten. Es zeigte sich im Versuchszeitraum, dass insbesondere in Jahren mit extre-

men Witterungsbedingungen vor allem Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie die Fruchtfolgeplanung und der Zwischenfruchtanbau zu einer Verbesserung der Sickerwasserqualität beitragen können. Dies konnte anhand der Indikatoren gezeigt werden.

Ergänzend zum Exaktversuch wurden Demonstrationsstreifen auf landwirtschaftlichen Flächen angelegt und von den teilnehmenden Betrieben in Kooperation mit der Hochschule Osnabrück und der LWK projektgemäß bewirtschaftet. Mit den gewonnenen Daten konnten die Auswirkungen der Düngebeschränkungen anschaulich demonstriert werden. Dabei zeigten sich die oben genannten Ergebnisse im Wesentlichen auch in der Praxis.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen konnten anhand der Düngungskosten und Erlösergebnisse der Demonstrationsflächen aufgezeigt werden. 2017 und 2018 fielen die Erlösdifferenzen bei reduzierter N-Düngung gegenüber dem Blaubuch (LWK 2020) deutlich geringer aus. Somit wären auch die gebietsbezogenen, jährlichen Ausgleichszahlungen geringer als nach dem Blaubuch gewesen. 2019 erfolgte eine Neubewertung im Blaubuch. Im Vergleich zu diesen Werten fielen die im Projekt ermittelten gebiets-spezifischen Beträge deutlich höher aus.

Zur rechtssicheren Kontrolle der Einhaltung der N-Düngebeschränkungen eignen sich die von den Betrieben nach DüV durchzuführenden N-Düngebedarfsermittlungen und Aufzeichnungen auf Schlagebene, ergänzt um die nach der DüV erforderlichen Nachweise. Hierbei ist eine Plausibilitätsprüfung vorzunehmen.

N-Bilanzen auf Betriebsebene wie auch N_{\min} -Ergebnisse können ergänzende Hinweise zur Einhaltung der Beschränkungen geben. Die Unterschiede in der schlagbezogenen N-Düngung finden sich in den Betriebsbilanzen in der Regel jedoch nicht verlässlich wieder.

Das versuchstechnische Vorgehen und die Prüfung der wesentlichen Indikatoren zur Erfolgskontrolle können eine wesentliche Grundlage für die Umsetzung von Schutzbestimmungen für die Landwirtschaft im Rahmen von WSG-VO sowie für die Gewässerschutzberatung sein. Es wurde aber auch deutlich, dass 3-jährige Untersuchungszeiträume insbesondere bei langjäh-

rig organisch gedüngten Flächen nicht genügen, um Effekte von N-Reduzierungsmaßnahmen sicher ermitteln zu können. Im vorliegenden Versuch zeigten sich erst im dritten und letzten Versuchsjahr deutlichere Beziehungen zwischen N-Düngung, N-Ertrag und N-Frachten im Grundwasser. In zukünftigen Versuchen zur Bemessung der Auswirkung von N-Reduktionen sollte deshalb insbesondere auf langjährig organisch gedüngten Flächen eine Versuchsdauer von mindestens 5 Jahren eingeplant werden.

Das Zusammenspiel von Exaktversuch und Demonstrationsflächen auf Praxisflächen im WSG hat sich besonders bewährt. Die Erkenntnisse aus dem Exaktversuch und der Demonstrationsflächen konnten direkt in der praktischen Landwirtschaft diskutiert und weiterverbreitet werden.

Die im Verlauf des Projektes entstandene Praxis, die Düngerausbringung mit hochwertiger Technik vorzunehmen, hat sich als sehr vorteilhaft für eine exakte Verteilung und nachvollziehbare Mengensteuerung erwiesen. Auf diese Weise bestünde auch die Möglichkeit, die Düngerausbringung mit der Schlagdokumentation technisch zu verknüpfen. Unter Umständen könnte bei der Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger auch die NIRS-Technik (Nah-Inf-

rarot-Spektroskopie) zur permanenten Messung insbesondere des Stickstoffgehaltes zum Einsatz kommen. Eine Förderung dieser Technik im Trinkwasserschutz über freiwillige Vereinbarungen bietet sich an.

Durch die gute Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Landwirten, der Hochschule Osnabrück und der LWK Niedersachsen, dem Wasserverband Wittlage und dem NLWKN sowie dem begleitenden Arbeitskreis wurden die wesentlichen Fragen des Modell- und Pilotprojekts trotz der schwierigen Rahmenbedingungen erfolgreich bearbeitet.

Der Exaktversuch am Standort in Belm konnte im konventionellen Landbau nicht fortgeführt werden. Die Saugkerzenanlage wird in einem Projekt zu den Auswirkungen von Fruchtfolgen auf die Stickstoffausträge im ökologischen Landbau weiterverwendet. Der von der Hochschule Osnabrück betreute Exaktversuch ist jetzt Bestandteil der landesweiten Aufgaben zum kooperativen Grundwasserschutz gemäß § 28 NWG. Auf Demonstrationstreifen wird die mechanische Beikrautregulierung in unterschiedlichen Intensitäten sowohl im ökologischen wie auch im konventionellen Landbau erprobt und hinsichtlich der Wirkung auf den Nmin-Gehalt und andere Parameter untersucht.

12 Literaturverzeichnis

NLWKN (2013) Handlungshilfe Teil II „Praxisempfehlungen für Niedersächsische Wasserversorgungsunternehmen und Wasserbehörden“ <https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/trinkwasserschutz/leitfaden-wasserschutzgebiete-niedersachsen-117530.html>

Landkreis Osnabrück (2017) Wasserschutzgebietsverordnung „Belm-Nettetal“ vom 19.06.2017 (<https://www.landkreis-osnabrueck.de/fachthemen/umwelt/umweltinformationen>).

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2020) Blaubuch - Ausgleichsleistungen in Wasserschutzgebieten gemäß § 93 NWG <https://www.lwk-niedersachsen.de/> Webcode 01014776

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2017) Wasserschutzversuche 2016 – Versuchsbericht <https://www.lwk-niedersachsen.de/> Webcode 01011564

BMEL (2018) Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen "Stoffstrombilanzverordnung vom 14. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3942; 2018 I S. 360)"

BMEL (2017) Düngeverordnung (DüV), BGBl Nr. 32 vom 01.06.2017 S. 1350

BMEL (2020) Düngeverordnung (DüV), BGBl Nr. 20 vom 30.04.2020 S. 846

Bundessortenamt (2000) Richtlinie für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen.

de Mendiburu F (2014) agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. <http://cran.r-project.org/package=agricolae>. Zugriff am 12.08.2012.

DWD (2020) Deutscher Wetterdienst: Climate dataset - archive data station 342 Belm. <http://www.dwd.de>. Zugriff am 20.08.2020.

Engel N, Müller U, Schäfer W (2012) BOWAB - Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. In: LBEG (ed) GeoBerichte 20: Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. LBEG, Hannover, pp 85–98.

Müller U, Waldeck A (2011) Verzeichnis der Verknüpfungsregeln. In: LBEG (ed) GeoBerichte 19: Auswertungsmethoden im Bodenschutz. pp 82–389.

R Core Team (2016) R: A Language and Environment for Statistical Computing R. Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>.

Wessolek G, Kaupenjohann M, Renger M (2009) Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis. Bodenökologie und Bodengenese 40:1–82.

Anhang

Verzeichnis

Tabelle A1: Ergebnisse der Grundnährstoffanalyse (Gehaltsklassen), sowie pH-Wert, Humusgehalt und C/N-Verhältnis im Februar 2018 für die Varianten in allen Blöcken im Exaktversuch.

Abbildung A1: N_{\min} -Vorräte in den Versuchsvarianten differenziert nach Bodenschichten für die Zusatzbeprobung im Dezember 2018 (Summe in 0-90 cm als Zahlenwerte).

Tabelle A2: Monatsweise summierte Niederschläge, aktuelle Verdunstung (ETa) und Sickerwasserraten (SWR) für die Blöcke im Exaktversuch von Anfang Oktober 2016 bis Ende März 2020.

Tabelle A3: Übersicht aller Indikatoren pro Variante nach Raps (2017/2018 und 2018/2019) bzw. Hafer (2019/2020) über die gesamte Versuchslaufzeit. *: keine Ernte

Tabelle A4: Übersicht aller Indikatoren pro Variante nach Mais über die gesamte Versuchslaufzeit.

Tabelle A5: Übersicht aller Indikatoren pro Variante nach Weizen über die gesamte Versuchslaufzeit.

Tabelle A6: Übersicht aller Indikatoren pro Variante nach Gerste über die gesamte Versuchslaufzeit.

Tabelle A7: Übersicht aller Indikatoren pro Variante unter Brache über die gesamte Versuchslaufzeit.

Tabelle A8: N-Düngebedarfsermittlung Betrieb A 2019

Tabelle A9: N-Schlagbilanzen Demonstrationsflächen 2019

Tabelle A1: Ergebnisse der Grundnährstoffanalyse (Gehaltsklassen), sowie pH-Wert, Humusgehalt und C/N-Verhältnis im Februar 2018 für die Varianten in allen Blöcken im Exaktversuch.

	pH (CaCl ₂)	P mg/100g	K mg/100g	Mg g/100g	Humus %	C/N-Ver- hältnis
Block 1						
0	6.4	6	6	4	1.5	8.0
50	6.6	5	7	5	1.5	7.8
100	6.3	7	8	5	1.7	7.9
sw0	6.4	7	8	5	1.6	8.0
sw0-	6.5	7	8	5	1.5	7.7
150	6.3	7	8	5	1.5	8.0
Block 2						
0	6.3	9	11	5	1.5	7.9
50	6.5	8	12	5	1.6	8.1
100	6.3	8	8	5	1.5	7.9
sw0	6.3	8	9	5	1.5	7.7
sw0-	6.3	8	8	5	1.5	7.8
150	6.3	9	8	5	1.5	8.0
Block 3						
0	6.4	8	9	4	1.5	8.1
50	6.3	7	10	5	1.6	8.0
100	6.2	7	9	5	1.6	8.2
sw0	6.1	8	9	5	1.5	7.7
sw0-	6.2	8	9	5	1.6	8.0
150	6.2	7	9	5	1.7	8.2
Block 4						
0	6.0	9	10	6	1.6	8.0
50	6.1	9	10	6	1.8	7.9
100	6.1	10	12	6	1.6	8.0
sw0	6.2	11	10	5	1.7	8.0
sw0-	6.2	9	10	6	1.7	8.0
150	6.4	9	11	7	1.5	7.7
Block B						
0	6.1	8	6	4	1.5	7.9

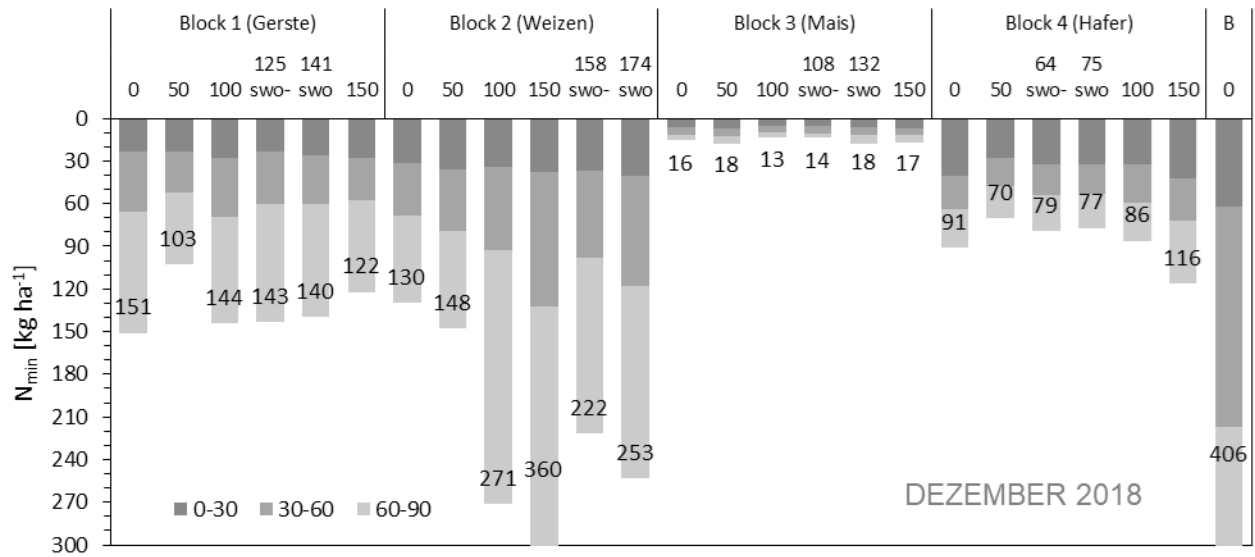


Abbildung A1: N_{min} -Vorräte in den Versuchsvarianten differenziert nach Bodenschichten für die Zusatzbeprobung im Dezember 2018 (Summe in 0-90 cm als Zahlenwerte).

Tabelle A2: Monatsweise summierte Niederschläge, aktuelle Verdunstung (ETa) und Sickerwasserraten (SWR) für die Blöcke im Exaktversuch von Anfang Oktober 2016 bis Ende März 2020.

Monat	Niederschlag			Block 1		Block 2		Block 3		Block 4		Block B (Brache)		
	langj. Mittel	2016-2020	% langj. Mittel	ETa	SWR	ETa	SWR	ETa	SWR	ETa	SWR	ETa	SWR	
	[mm]													
2016	10	76	44	58%	14	0	14	0	14	0	12	0	12	0
	11	78	51	66%	7	0	7	0	7	0	7	0	7	27
	12	86	29	34%	5	10	5	10	5	10	5	12	5	24
2017	1	88	54	61%	4	42	4	42	4	42	4	42	4	42
	2	64	54	84%	10	47	10	47	10	47	10	47	10	47
	3	72	38	53%	29	28	29	28	35	26	37	25	27	30
	4	49	19	38%	31	0	33	0	48	0	50	0	33	0
	5	61	45	74%	52	0	57	0	83	0	77	0	57	0
	6	74	65	87%	86	0	92	0	66	0	69	0	63	0
	7	79	149	188%	86	25	93	8	76	0	101	0	58	64
	8	83	49	59%	80	0	46	1	50	4	50	0	50	8
	9	73	66	91%	41	0	35	6	33	5	26	0	26	9
Summe	883	663	75%	446	151	424	141	431	134	449	125	351	251	
2017	10	76	64	84%	20	18	27	43	27	43	24	38	20	53
	11	78	70	90%	7	67	7	66	7	66	7	66	7	67
	12	86	76	88%	6	53	6	53	6	53	6	53	6	53
2018	1	88	92	105%	8	83	8	83	8	83	8	83	8	83
	2	64	15	23%	9	29	8	29	8	29	8	29	8	29
	3	72	42	58%	26	12	25	14	25	14	25	14	19	19
	4	49	38	77%	65	0	41	0	66	0	63	0	42	0
	5	61	56	92%	76	0	65	0	80	0	85	0	70	0
	6	74	27	36%	90	0	82	0	85	0	83	0	59	0
	7	79	26	33%	36	0	69	0	33	0	34	0	81	0
	8	83	40	48%	31	0	38	0	36	0	33	0	36	0
	9	73	32	44%	20	0	24	0	24	0	25	0	21	0
Summe	883	578	65%	394	262	401	288	405	288	401	283	377	304	
2018	10	76	41	53%	30	0	26	0	28	0	28	0	24	0
	11	78	19	25%	9	0	9	0	9	0	9	0	9	0
	12	86	91	106%	8	0	8	8	8	0	8	0	8	16
2019	1	88	75	85%	7	70	7	71	7	67	7	68	7	71
	2	64	23	36%	15	18	15	18	15	18	15	18	15	18
	3	72	93	129%	32	59	34	58	24	64	24	64	24	64
	4	49	30	60%	65	4	69	3	44	9	48	9	45	9
	5	61	25	41%	55	0	50	0	43	0	67	0	47	0
	6	74	44	59%	78	0	86	0	97	0	82	0	81	0
	7	79	19	24%	26	0	19	0	32	0	28	0	39	0
	8	83	71	85%	44	0	47	0	52	0	42	0	46	0
	9	73	76	103%	46	0	35	0	52	0	46	0	35	0
Summe	883	606	69%	417	152	405	159	413	158	405	159	381	178	
2019	10	76	123	162%	27	40	21	54	21	35	27	40	19	65
	11	78	61	78%	7	42	7	42	7	44	7	42	7	44
	12	86	59	69%	9	56	9	56	9	56	9	56	9	56
2020	1	88	31	35%	9	20	9	20	9	20	9	20	9	20
	2	64	148	230%	18	123	18	123	18	123	18	123	18	123
	3	72	68	94%	31	52	38	52	40	51	35	52	29	54

Tabelle A3: Übersicht aller Indikatoren pro Variante nach Raps (2017/2018 und 2018/2019) bzw. Hafer (2019/2020) über die gesamte Versuchslaufzeit. *: keine Ernte

Raps/Hafer		Indikator			
Jahr	Variante	Herbst N _{min}	Mittlere NO ₃ im Sickerwasser	Jährliche	N-Bilanz
		[kg ha ⁻¹]	[mg l ⁻¹]	NO ₃ -N-Fracht* [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
2017/2018	0	84	26	32	0
	50	89	60	42	50
	100	-	-	-	100
	swo-	84	29	33	90
	swo	96	34	36	100
	150	-	-	-	150
2018/2019*	0	26	77	22	-
	50	33	104	27	-
	100	37	-	-	-
	swo-	45	103	28	-
	swo	48	81	22	-
	150	34	-	-	-
2019/2020	0	39	31	19	-55
	50	36	25	17	-21
	100	69	-	-	23
	swo-	42	29	22	-7
	swo	42	43	30	-1
	150	68	-	-	72

Tabelle A4: Übersicht aller Indikatoren pro Variante nach Mais über die gesamte Versuchslaufzeit.

Mais		Indikator			
Jahr	Variante	Herbst N _{min}	Mittlere NO ₃ im Sickerwasser	Jährliche	N-Bilanz
		[kg ha ⁻¹]	[mg l ⁻¹]	NO ₃ -N-Fracht* [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
2017/2018	0	88	56	36	-153
	50	75	61	35	-144
	100	-	-	-	-135
	swo-	80	52	27	-122
	swo	80	69	40	-61
	150	-	-	-	-103
2018/2019	0	56	152	65	-64
	50	72	209	85	-50
	100	127	-	-	4
	swo-	67	80	29	35
	swo	140	221	100	56
	150	138	-	-	68
2019/2020	0	50	54	30	-43
	50	61	46	28	-17
	100	64	-	-	45
	swo-	72	92	48	47
	swo	78	174	80	70
	150	110	-	-	74

Tabelle A5: Übersicht aller Indikatoren pro Variante nach Weizen über die gesamte Versuchslaufzeit.

Weizen		Indikator			
Jahr	Variante	Herbst N _{min}	Mittlere NO ₃ im Sickerwasser	Jährliche	N-Bilanz
		[kg ha ⁻¹]	[mg l ⁻¹]	NO ₃ -N-Fracht* [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
2017/2018	0	108	98	61	-56
	50	116	157	92	-35
	100	-	-	-	-14
	swo-	123	88	67	23
	swo	106	122	82	33
	150	-	-	-	12
2018/2019	0	72	128	35	-51
	50	55	152	59	-39
	100	63	-	-	-39
	swo-	76	110	35	30
	swo	65	209	75	31
	150	61	-	-	-23
2019/2020	0	41	88	49	-35
	50	41	95	55	-19
	100	37	-	-	-1
	swo-	38	75	45	34
	swo	47	84	47	26
	150	33	-	-	-18

Tabelle A6: Übersicht aller Indikatoren pro Variante nach Gerste über die gesamte Versuchslaufzeit.

Gerste		Indikator			
Jahr	Variante	Herbst N _{min}	Mittlere NO ₃ im Sickerwasser	Jährliche	N-Bilanz
		[kg ha ⁻¹]	[mg l ⁻¹]	NO ₃ -N-Fracht* [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
2017/2018	0	113	105	66	-53
	50	104	78	64	-46
	100	-	-	-	-7
	swo-	116	109	53	25
	swo	101	108	70	43
	150	-	-	-	31
2018/2019	0	30	136	41	-44
	50	31	189	56	-27
	100	33	-	-	-10
	swo-	36	211	66	36
	swo	30	170	56	48
	150	55	-	-	10
2019/2020	0	20	7	3	-23
	50	23	3	2	14
	100	25	-	-	19
	swo-	27	3	2	67
	swo	28	5	4	78
	150	23	-	-	41

Tabelle A7: Übersicht aller Indikatoren pro Variante unter Brache über die gesamte Versuchslaufzeit.

Brache		Indikator			
Kultur	Variante	Herbst N _{min}	Mittlere NO ₃ im Sickerwasser	Jährliche	N-Bilanz
		[kg ha ⁻¹]	[mg l ⁻¹]	NO ₃ -N-Fracht* [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
2017/2018	0	-	81	58	-
2018/2019	0	144	200	86	-
2019/2020	0	51	70	42	-

Tabelle A8: N-Düngebedarfsermittlung Betrieb A 2019

Schlag	BW-T Sollwe	BW-T Reduzie	BW-GBO Sollw	BW-GBO Reduzi	BW-K Sollwe	BW-K Reduzi	BW-H Sollwe	BW-H Reduzi
Hauptfrucht 2019	W.gerste	W.gerste	W.triticale	W.triticale	W.gerste	W.gerste	W.weizen	W.weizen
Sorte	<i>KWS Orbit</i>	<i>KWS Orbit</i>	<i>Barolo</i>	<i>Barolo</i>	<i>KWS Orbit</i>	<i>KWS Orbit</i>	<i>Johnny</i>	<i>Johnny</i>
Vorfrucht 2018	W.gerste	W.gerste	W.gerste	W.gerste	W.triticale	W.triticale	W.raps	W.raps
N-Bedarfswert kg/ha	180	180	190	190	180	180	210	210
Ertragserswartung dt/ha	70	70	70	70	70	70	80	80
(+) Ertragszuschlag	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Nmin 0 - 90 cm	24	23	16	16	14	18	33	43
(-) N-Nachlieferung Gülle Vorjahr	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) N-Nachlieferung Vorfrucht	0	0	0	0	0	0	10	10
(=) N-Bedarf	156	157	174	174	166	162	167	157
(-) N-Reduzierung 10 %		15,7		17,4		16,2		15,7
(=) N-Düngebedarf kg/ha	156,0	141,3	174,0	156,6	166,0	145,8	167,0	141,3

Hier ohne organische Düngung im Vorjahr

Tabelle A9: N-Schlagbilanzen Demonstrationsflächen 2019

lfd. Nr.	TGG-nr.	Nr.	N-Düngung	Fruchtart	Ertrag in dt/ha	Zufuhr N in kg/ha	Zufuhr P2O5 in kg/ha	Zufuhr K2O in kg/ha	Abfuhr N in kg/ha	Abfuhr P2O5 in kg/ha	Abfuhr K2O in kg/ha	Saldo P2O5 in kg/ha	Saldo K2O in kg/ha	Zufuhr N Mineral in kg/ha	Zufuhr P2O5 Mineral in kg/ha	Zufuhr K2O Mineral in kg/ha	Zufuhr WDU in kg/ha	Zufuhr P2O5 WDU in kg/ha	Zufuhr K2O WDU in kg/ha	Abfuhr N Haupternte in kg/ha	Abfuhr P2O5 Nebenert in kg/ha	Abfuhr K2O Nebenert in kg/ha	Abfuhr N Haupternte in kg/ha	Abfuhr P2O5 Nebenert in kg/ha	Abfuhr K2O Nebenert in kg/ha	Mengenverhältnis Haupternte	
1	BW-GBO	Sollwert	Minertitiale 12 % RP		50	124	48	100	105	53,5	106,5	68	-5	-7	174	48	100	0	0	0	82,5	40	30	22,5	13,5	76,5	0,9
2	BW-GBO	reduziert	Minertitiale 12 % RP		52	157	48	104	102	55,6	110,8	48	3	-8	157	48	104	0	0	0	85,8	41,6	31,2	23,4	14	79,6	0,9
3	BW-H	Sollwert	Winterweizen C bis 12 % RP		86	167	40	60	192,3	93,5	153,4	27	52	-91	167	40	60	0	0	0	159,3	70,4	52,8	35,2	21,1	98,6	0,8
4	BW-H	reduziert	Winterweizen C bis 12 % RP		141	141	40	60	192,3	93,5	153,4	-51	-50	-90	141	40	60	0	0	0	157,5	69,5	52,2	34,8	20,9	97,4	0,8
5	BW-H	Betrieb	Winterweizen C bis 12 % RP		77	158	64	60	170,2	80,1	132,4	-20	-16	-72	158	64	60	0	0	0	139,4	61,6	46,2	30,8	18,5	86,2	0,8
6	BW-K	Sollwert	Wintergerste 12 % RP		72	166	40	100	144	72,7	128,9	22	-31	-29	166	40	100	0	0	0	138,8	57,6	43,2	25,2	15,1	85,7	0,7
7	BW-K	reduziert	Wintergerste 12 % RP		70	145	40	100	140	70,7	125,3	8	-7	-25	145	40	100	0	0	0	115,5	56	42	24,5	14,7	83,3	0,7
8	BW-K	Betrieb	Wintergerste 12 % RP		70	148	64	100	140	70,7	125,3	8	-7	-25	148	64	100	0	0	0	136,6	56,4	42	24,5	14,7	83,3	0,7
9	BW-T	Sollwert	Wintergerste 12 % RP		84	156	40	64	168	84,8	150,4	-12	-45	-86	156	40	64	0	0	0	143,6	67,2	50,4	29,4	17,6	100,3	0,7
10	BW-T	reduziert	Wintergerste 12 % RP		87	141	40	64	174	87,9	155,7	-33	-48	-92	141	40	64	0	0	0	143,6	69,6	52,2	30,5	18,3	103,3	0,7
11	BW-T	Betrieb	Wintergerste 12 % RP		78	139	64	64	156	78,8	139,6	-17	-15	-76	139	64	64	0	0	0	128,7	62,4	46,8	27,3	16,4	92,8	0,7
12	HJ-AK	Sollwert	Minertitiale 12 % RP		78	167	47	153	163,8	83,5	166,1	3	-36	-13	167	47	153	0	0	0	128,7	62,4	46,8	27,3	16,4	92,8	0,9
13	HJ-AK	reduziert	Minertitiale 12 % RP		84	147	47	151	176,4	89,9	178,9	-29	-43	-28	147	47	151	0	0	0	138,6	67,2	50,4	27,7	12,8	91,3	0,9
14	HJ-AK	Betrieb	Minertitiale 12 % RP		81	135	47	151	170,1	86,7	172,5	-35	-40	-22	135	47	151	0	0	0	133,7	64,8	48,6	30,5	21,9	123,9	0,9
15	HJ-GB	Sollwert	Winterweizen C bis 12 % RP		90	177	70	78	198,9	93,6	154,8	-32	-24	-77	177	70	78	0	0	0	182,9	72	54	36	21,6	100,8	0,8
16	HJ-GB	reduziert	Winterweizen C bis 12 % RP		83	159	70	78	183,4	86,3	142,8	-24	-16	-65	159	70	78	0	0	0	150,2	66,4	49,8	33,2	19,9	99,1	0,8
17	HJ-GB	Betrieb	Winterweizen C bis 12 % RP		87	164	63	87	192,3	90,5	149,6	-28	-27	-63	164	63	87	0	0	0	157,5	69,6	52,2	34,8	20,9	97,4	0,8
18	HJ-MO	Sollwert	Minertitiale 12 % RP		67	162	69	80	140,7	71,7	142,7	21	-3	-63	162	69	80	0	0	0	110,6	53,6	40,2	30,2	18,1	102,5	0,8
19	HJ-MO	reduziert	Minertitiale 12 % RP		68	143	69	80	140,8	72,8	144,8	0	-14	-65	143	69	80	0	0	0	112,2	54,4	40,8	30,6	18,4	109,1	0,9
20	HJ-MO	Betrieb	Minertitiale 12 % RP		67	139	69	80	140,7	71,7	142,7	2	-3	-62	139	69	80	0	0	0	110,6	53,6	40,2	30,2	18,1	102,5	0,8
21	HJ-P	Sollwert	Minertitiale 12 % RP		54	145	64	120	113,4	57,8	115	42	6	5	145	64	120	0	0	0	89,1	43,2	32,4	24,3	14,6	82,6	0,9
22	HJ-P	reduziert	Minertitiale 12 % RP		54	142	50	120	105	53,5	106,5	37	6	13	142	50	120	0	0	0	82,5	40	30	22,5	13,5	76,5	0,9
23	HJ-P	Betrieb	Minertitiale 12 % RP		52	139	69	120	109,2	55,6	110,8	30	13	9	139	69	120	0	0	0	85,8	41,6	31,2	23,4	14	79,6	0,9
24	HW-L	Sollwert	Wintergerste 12 % RP		91	185	25	176	182	91,9	162,9	-17	-47	-13	185	25	176	0	0	0	150,2	72,8	54,6	31,9	19,1	108,3	0,7
25	HW-L	reduziert	Wintergerste 12 % RP		85	147	25	176	170	85,9	152,2	-23	-61	-24	147	25	176	0	0	0	140,3	68	51	29,8	17,9	101,2	0,7
26	HW-L	Betrieb	Wintergerste 12 % RP		90	143	29	176	180	90,9	161,1	-17	-42	-15	143	29	176	0	0	0	148,5	72	54	31,5	18,9	107,1	0,7
27	HW-ML	Sollwert	Winterweizen C bis 12 % RP		80	185	24	211	176,8	83,2	137,6	8	-59	-73	185	24	211	0	0	0	144,8	64	48	32	19,2	89,6	0,8
28	HW-ML	reduziert	Winterweizen C bis 12 % RP		78	167	24	211	172,4	81,1	134,2	-5	-57	-77	167	24	211	0	0	0	141,2	62,4	46,8	31,2	18,7	87,4	0,8
29	HW-ML	Betrieb	Winterweizen C bis 12 % RP		80	160	20	221	176,8	83,2	137,6	-17	-63	-83	160	20	221	0	0	0	144,8	64	48	32	19,2	89,6	0,8
30	HW-R	Sollwert	Wintergerste 12 % RP		96	167	51	134	196	99	175,4	-29	-48	-41	167	51	134	0	0	0	161,7	78,4	58,8	34,3	20,6	116,6	0,7
31	HW-R	reduziert	Wintergerste 12 % RP		93	148	51	134	186	93,9	166,5	-38	-43	-32	148	51	134	0	0	0	153,5	74,4	58,8	34,6	19,5	110,7	0,7
32	HW-R	Betrieb	Wintergerste 12 % RP		96	140	47	134	192	97	171,8	-52	-50	-36	140	47	134	0	0	0	159,4	76,8	57,6	33,6	20,2	114,2	0,7
33	HW-Z	Sollwert	Wintergerste 12 % RP		95	167	51	157	192	97	171,8	-25	-46	-15	167	51	157	0	0	0	158,4	76,8	57,6	33,6	20,2	114,2	0,7
34	HW-Z	reduziert	Wintergerste 12 % RP		95	154	51	157	190	96	170,1	-36	-45	-13	154	51	157	0	0	0	156,8	76	57	33,3	20	113,1	0,7
35	HW-Z	Betrieb	Wintergerste 12 % RP		96	143	47	157	192	97	171,8	-49	-50	-15	143	47	157	0	0	0	158,4	76,8	57,6	33,6	20,2	114,2	0,7
MW-Sollwert:					79,0	1673	474	1194	164,6	81,7	147,0	1,9	-34,3	-27,6	148,2	33,6	98,7	18,3	20,8	133,8	63,2	47,4	30,8	18,5	99,6		
MW reduziert:					77,8	150,6	463	111,9	162,0	80,4	145,0	-113	-34,2	-33,1	132,2	32,4	91,3	38,3	43,8	20,6	133,7	62,2	46,7	30,4	18,2	98,3	
MW Betrieb:					79,3	1475	521	124,6	165,1	81,9	146,7	-17,6	-29,9	-25,2	124,4	37,7	96,0	23,1	24,4	23,6	134,4	65,4	47,6	30,7	18,4	99,1	