



Juli 2016

Runoffmodellierung an der Fuhse

Im Auftrag des NLWKN 2016

Dr. Dieter Steffen

Abschlussbericht

Michael Bock - Helge Dietrich - Tobias Kawohl - Lars Landschreiber - Sandra Wendland

Prof. Dr. Jürgen Böhner

Lehrstuhl (W3) Physische Geographie –
Universität Hamburg
CEN Center for Earth System
Research and Sustainability
Institut für Geographie –
Abteilung Physische Geographie
Bundesstr. 55
20146 Hamburg (Germany)
Phone: +49 40 42838 4960
Email: juergen.boehner@uni-hamburg.de
www.uni-hamburg.de/geographie/

Sekretariat: Marion Dohr
Phone: +49 40 42838 4959
Email: marion.dohr@uni-hamburg.de

1. Fragestellung

Durch Untersuchungen des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) im Jahr 2011 konnte eine erhöhte Belastung der Fuhse mit Pflanzenschutzmitteln festgestellt werden. Entsprechend der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie wurden daraufhin Maßnahmen eingeleitet, um den Zustand der Fuhse zu verbessern. Die Maßnahmen werden vom Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Zusammenarbeit mit dem NLWKN durchgeführt. Ein wichtiger Baustein der Maßnahmen ist die folgend vorgestellte Runoffmodellierung, die vom Institut für Geographie, Abt. Physische Geographie, der Universität Hamburg, im Auftrag des NLWKN vorgenommen wurde. Runoff wird, neben möglichen Einträgen über stationäre Punktquellen, als ein bedeutender Eintragspfad von Pflanzenschutzmitteln in Gewässerökosysteme angesehen, da er diffus über Regenereignisse stattfindet. Beeinflussende Faktoren des Runoff sind die jeweiligen Standorteigenschaften wie Schlaggröße, Hangneigung, Bodenbearbeitung, Bewuchs, Dauer und Intensität von Niederschlägen sowie den Eigenschaften des jeweiligen Pflanzenschutzmittels. Durch die Runoffmodellierung können nicht nur besonders gefährdete Gewässerrandstreifen auffindig gemacht werden, es können darüber hinaus auch vorliegende Pflanzenschutz-

mitteldaten auf deren Plausibilität im Hinblick auf mögliche Eintragspfade geprüft werden.

Im Jahr 2013 wurden vom NLWKN weitere Untersuchungen auf 226 Pflanzenschutzmitteluntersuchungen durchgeführt, in die auch die Fuhse bei Peine einbezogen wurde. Im Ergebnis wurden für 81% der untersuchten Stoffe sog. Positivbefunde (Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze) verzeichnet, bei 16% wurden sogar maximale Gehalte von $> 1 \mu\text{g/l}$ gemessen (Steffen 2014). Mit besonderer Besorgnis werden in erwähntem Bericht die Gehalte des Thiacloprids, mit einem Max.-Wert von $13 \mu\text{g/l}$, erwähnt. Thiaclopid gehört zur Stoffgruppe der Neonikotinoiden, die als bienengefährlich eingestuft wird und für die inzwischen weitere Anwendungsbeschränkungen via Durchführungsverordnung seitens der EU erlassen wurden. An diesen Untersuchungen des Jahres 2013 wird folgend beispielhaft die Runoffmodellierung vorgestellt und angewandt.

Die Fuhse ist ein rein niedersächsischer Fluss mit ca. 95 km Lauflänge. Die Fuhse fließt vom nördlichen Harzrand in etwa in nördlicher Richtung und mündet auf dem Gebiet der Stadt Celle in die Aller. Ihr Einzugsgebiet ist knapp 1900 km^2 groß (Abb1). Die Beprobung durch den NLWKN erfolgt in der Nähe des Pegels Peine.

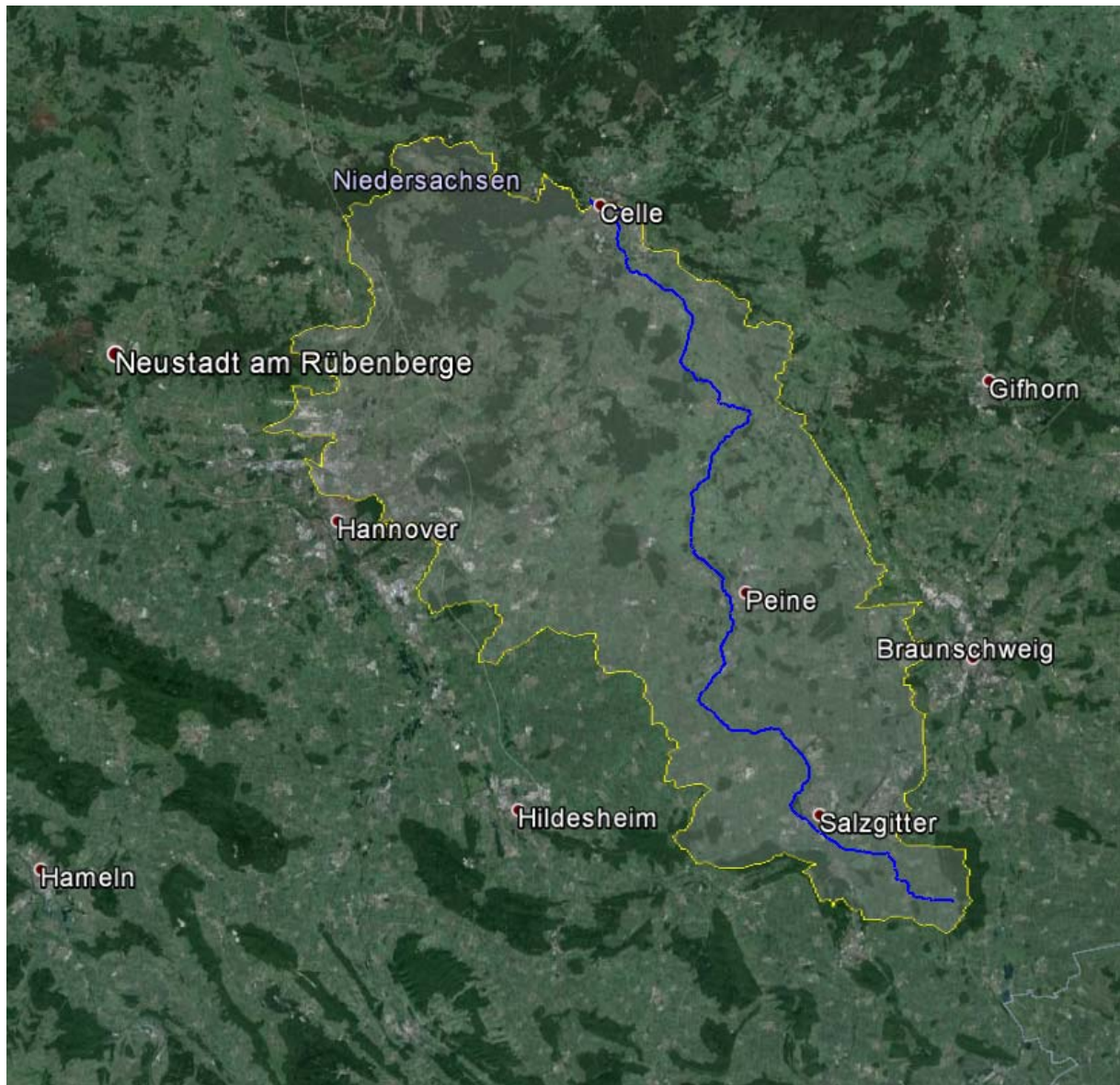


Abbildung 1 Lauf und Einzugsgebiet der Fuhse, Hintergrund Google Earth

Die sich, aufgrund der Befunde, aufdrängende Frage ist die nach der stofflichen Quelle der PSM-Gehalte. Grundsätzlich gibt es für das Auftreten von Pflanzenschutzmitteln in aquatischen Ökosystemen wie Fließgewässer mehrere Möglichkeiten der Herkunft. Nach Blarr et al (2009) sind dies einerseits *diffuse Quellen* und hierbei Spraydrift, Runoff und Erosion, Drainageabläufe sowie Abschwemmung von befestigten Wegen, und andererseits Punktquellen und hierbei Einleitungen von Kläranlagen, Regenentlastungen der Kanalisation, direkte Einleitungen von Landwirtschaftsbetrieben und Einleitung von PSM-Herstellungs- und Formulierungsbetrieben.

Das Verhältnis von Punkt- zu diffusen Quellen wird zwar immer wieder in bestimmten Anteilen angegeben, dürfte tatsächlich aber von Flusseinzugsgebiet zu Flusseinzugsgebiet stark variieren. Wie hoch der tatsächliche Anteil diffuser Stoffquellen am Eintrag ist, ist durch unsachgemäße Handhabung im Umgang mit PSM (nach Blarr et al (2009) die häufigste Ursache für Punktquellen von PSM) überlagert. Bach et al (2005) kommen bei Vergleichen von modellierten diffus eingetragenen Frachten mit abgeschätzten Frachten aus Punktquellen für verschiedene PSM in vier deutschen Flusseinzugsgebieten auf Werte zwischen 0% und 100%.

Die Abteilung Physische Geographie der Universität Hamburg entwickelt seit einigen Jahren ein GIS-Modell, das tagesaktuell und explizit teilflächenspezifisch diffuse Runoffereignisse simuliert. Dabei liegt der Fokus auf der räumlich exakten Modellierung des relativen Beitrags einzelner landwirtschaftlicher Flächen innerhalb eines Einzugsgebiets am gesamten Gebiets-Runoff. Mit Ergebnissen aus solchen Modellläufen kann der Frage nach der Herkunft von PSM in Fließgewässern aus diffusen Quellen – unter Berücksichtigung der räumlichen Genauigkeit der Eingangsdaten – nachgegangen werden. Genaueres zur Modellarchitektur ist nachzulesen in Wendland et al (2015).

2. Messwerte ausgewählter PSM an bestimmten Zeitpunkten 2013

An acht Terminen im Jahr 2013 wurden im Rahmen einer größeren Probenahmekampagne am Pegel Peine Gewässerproben aus der Fuhse entnommen, die zum Teil stark erhöhte Gehalte ausgewählter Pflanzenschutzmittel enthielten. Die Probenahmetermine waren 04.02., 07.03., 02.04., 02.05., 11.06., 01.07., 06.08., 04.09.

Die genauen Messergebnisse sind nachzulesen bei Steffen (2014).

3. Eingangsdaten zur Modellierung: Vorbehandlung und Prozessierung

Das verwendete Runoffmodell ist in erster Linie ein GIS-Modell, d.h. es modelliert Oberflächenprozesse in der Fläche und räumlich hochauflösend. Dafür werden folgende Eingangsdaten benötigt.

DGM

Zur Abbildung der Geländeoberfläche im Runoffmodell wird ein Digitales Geländemodell (DGM) benötigt. Ein DGM ist ein regelmäßiges Raster aus Höhenwerten, die zusammen in digitaler Form gespeichert sind. Im Bundesland Niedersachsen

ist seit Jahren das sog. „DGM5“ des LGN der Stand der Entwicklung. Die „5“ im Namen ist dabei kein Hinweis auf die Kantenlänge der Rasterzellen, sondern rührt vom Zuschnitt der Einzeldateien entsprechen der Deutschen Grundkarte 1:5.000 her. Im Original besitzt der Datensatz eine Rasterzellengröße von 12,5*12,5m, was einen Kompromiss darstellt. Einigen wenigen Gebieten mit Laserscanmessungen, die eine höhere räumliche Auflösung zuließen, stehen andere Gebiete mit einer Datendichte von stellenweise 25*25m oder sogar 50*50m gegenüber. Die Ursache dafür ist der Umstand, dass das DGM5 aus verschiedenen Datenquellen (Photogrammetrische Luftbilddauswertung, Isohypsen der Deutschen Grundkarte, Laserscanmessung) zusammengestellt wurde. Der Datensatz wird seit mehreren Jahren fortgeführt und wurde zuletzt durch Böschungskanten und andere markante Geländeformen verdichtet. Im Zuge dieser Bearbeitung wurde auch eine Interpolation auf das vorliegende 5*5m-Raster durchgeführt, die unserer Meinung nach in der Fläche nicht durch die Informationsdichte des Datensatzes gerechtfertigt ist. Trotz dieser Weiterentwicklung kann das DGM5 im bundesweiten Vergleich nicht mithalten, da alle anderen Flächenstaaten inzwischen laserscanbasierte Datensätze für ihre Landesfläche besitzen. Diese Laser-DGM sind dem DGM5 bezüglich der tatsächlichen räumlichen Auflösung weit überlegen, da ihre Originalauflösung zwischen 0,5 und wenigen Metern liegt. Da das laserscanbasierte DGM für das Bundesland Niedersachsen allerdings nicht vor 2018 fertiggestellt sein wird, musste für diese Modellierung auf das DGM5 zurückgegriffen werden. Aus Abb. 2 geht die kleinräumige Differenzierung eines lokalen Reliefparameters (abgeleitet aus dem DGM5) für das Fuhsegebiet hervor. Sie lässt sich auf die verwendeten Datenquellen (Laser, photogrammetrische Luftbilddauswertung/ Isohypsen) zurückführen:

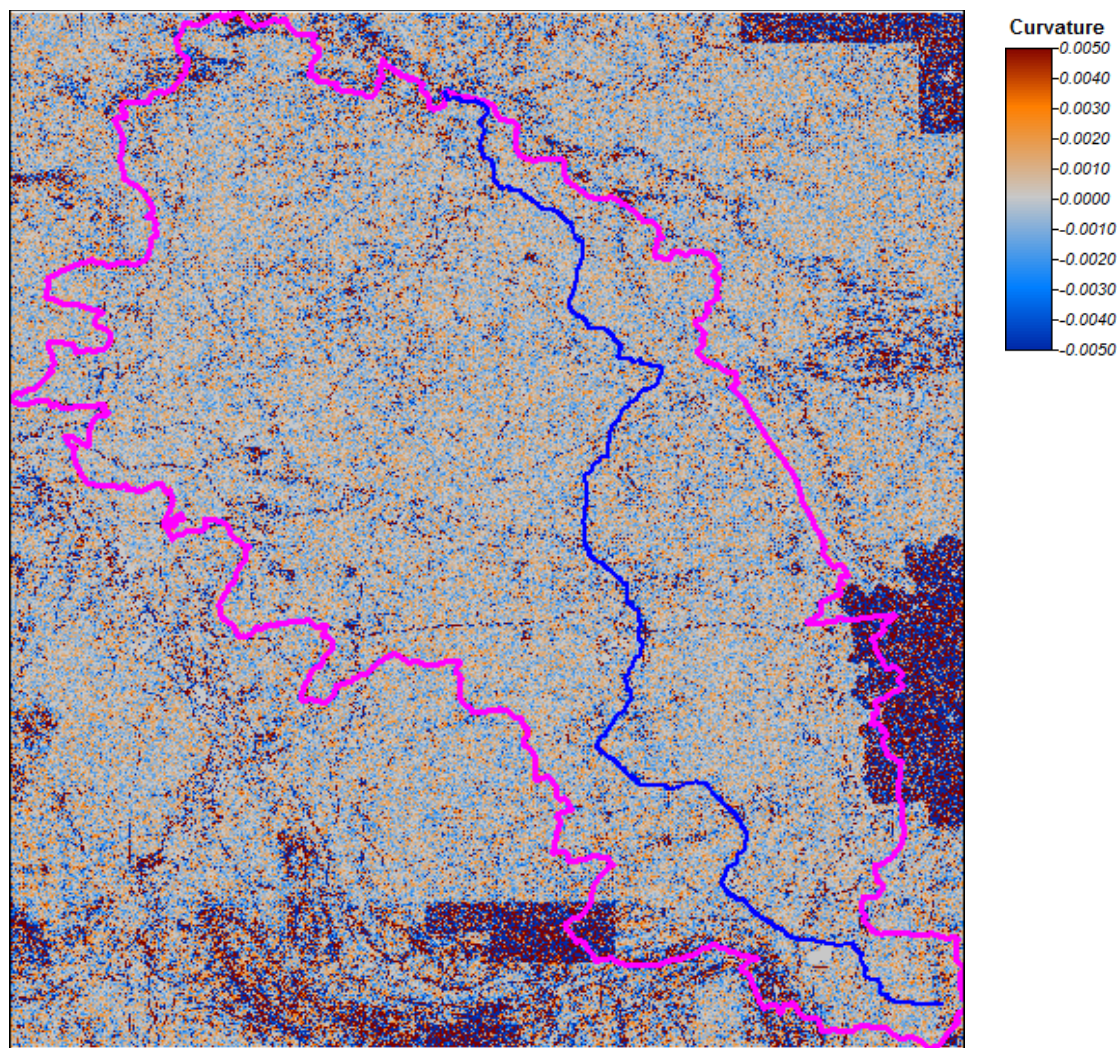


Abbildung 2 Räumliche Differenzierung des lokalen Reliefparameters Wölbung, abgeleitet aus dem DGM5 für das oberirdische Einzugsgebiet der Fuhse (pinke Grenze). Dieser Reliefparameter spielt für die Modellierung keine Rolle, zeigt aber gut, wie Gebiete mit hoher Datendichte (Lasergebiete Stadt Braunschweig, westlich Salzgitter, östlich Celle) vereinzelt in Gebieten geringerer Datendichte vorkommen.

Neben der geringen räumlichen Auflösung des DGM spielen auch Interpolationsartefakte eine gewisse Rolle. In Abbildung 3 ist in einem kleineren Ausschnitt des Ge-

bietes dargestellt, wie sich die Artefakte von photogrammetrischer Luftbildmessung bzw. Isohypseninterpolation lokal auswirken.

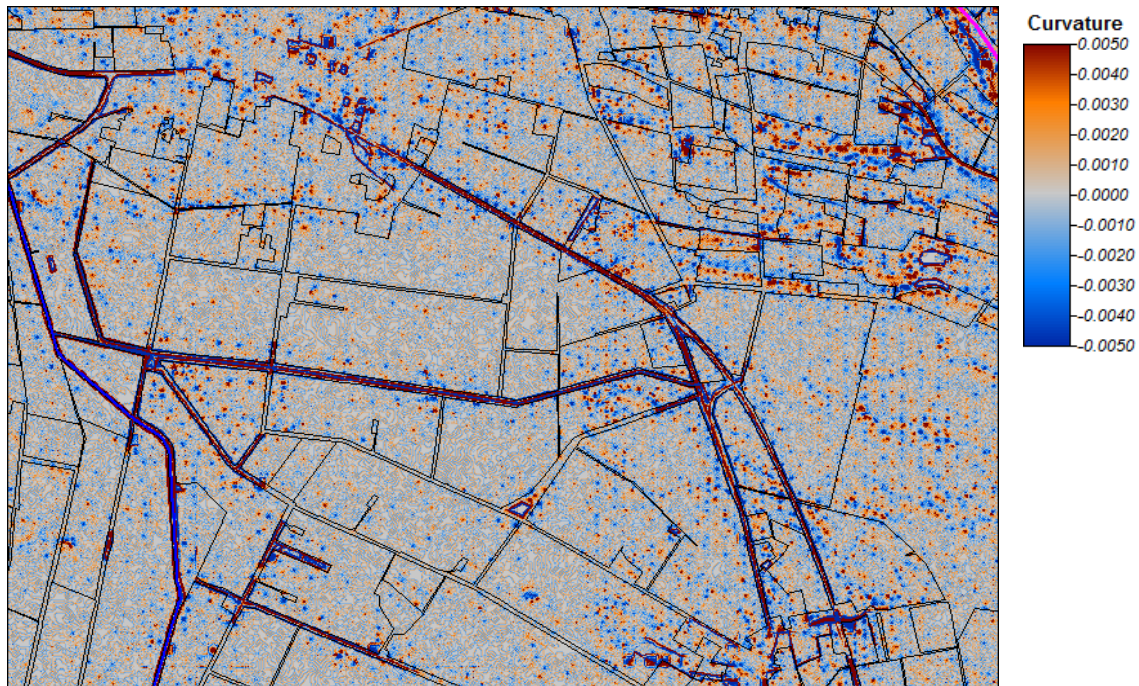


Abbildung 3 Ausschnittsvergrößerung des lokalen Reliefparameters Wölbung. Zur Verdeutlichung sind noch Grenzen von Feldblöcken sichtbar. Deutlich zu sehen sind die bei sehr flachen Hangneigungswerten immer mehr zu Tage tretenden Artefakte der photogrammetrischen Luftbildmessung (rote und blau Punkte). Diese bilden kleine Trichter bzw. Aufwölbungen in der Oberfläche des DGM. Sie gehen vollständig auf das Verfahren der Datengewinnung zurück und haben keine Entsprechung im natürlichen Gelände.

Insgesamt ist die Situation in Bezug auf das DGM in Niedersachsen nicht optimal. In sehr flachen Gebieten und solchen mit geringer Originalmessdatendichte kommt es aufgrund der dargelegten Einschränkungen bei der Runoffsimulation zu unplausiblen Ergebnissen. In anderen Bereichen allerdings, sowie auf ausgewählten Testflächen innerhalb des EZG Fuhse, die in naher Zukunft als Basis einer Kooperation mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und anrainenden Landwirten intensiv hinsichtlich diffuser Austräge überwacht werden sollen, ist die Qualität der Inputdaten durchaus akzeptabel.

Als Inputdatensatz für den Modellbetrieb ist das DGM selbst der wichtigste Parameter. Im Verlauf des Modellbetriebes stützen sich viele Berechnungen direkt darauf.

Wenige weitere Ableitungen müssen im Vorfeld durchgeführt werden: Benötigt wird die Berechnung des Parameters Sediment Delivery Ratio (SDR) nach Ali & DeBoer (2010), der die Fließstrecke und Fließgeschwindigkeit von jeder Rasterzelle ausgehend in ein Fließgewässernetz parametrisiert (Abb. 4) sowie die Ermittlung der Anzahl der auf diesem Weg passierten Grenzen landwirtschaftlicher Schläge (Fields visited). Diese beiden Reliefparameter, die bereits andere Geodaten (linienhafte Vektordaten von Fließgewässern, Polygone von landwirtschaftlichen Schlägen) zur Berechnung integrieren, werden als Gewichte in der Postprozessierung, also nach der eigentlichen Runoffmodellierung mit den Ergebnissen verrechnet.

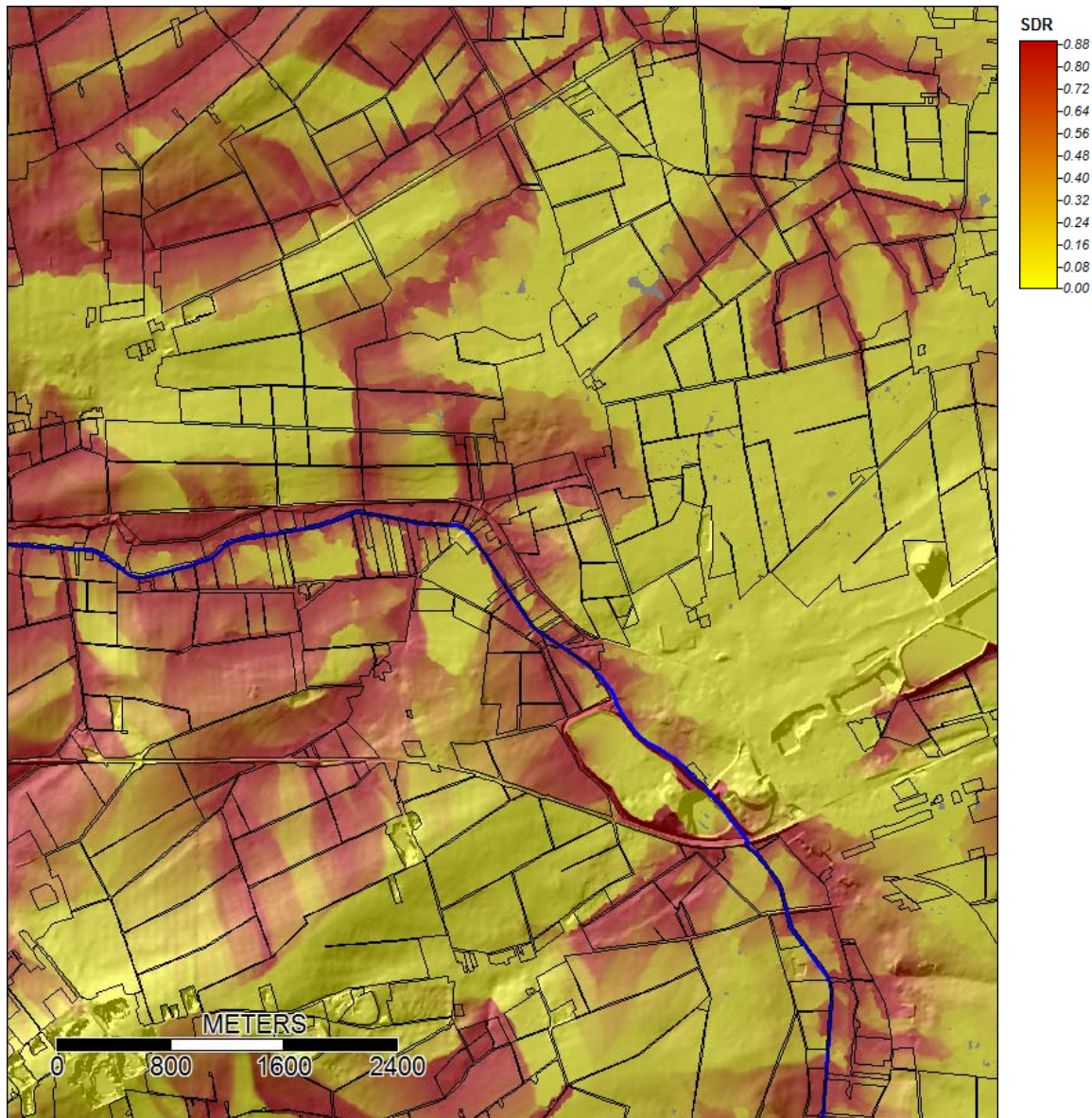


Abbildung 4 Ausschnitt aus dem Reliefparameter SDR vom Mittellauf der Fuhse bei Lengede. Gelbe Flächen beschreiben Gebiete, deren Anschluss an das Fließgewässernetz von hoher Distanz und/oder geringer Neigung geprägt ist. Je röter desto schneller und/oder kürzer ist der oberflächliche Weg bis zum Eintritt in ein Fließgewässer. Die schwarzen Randlinien begrenzen Feldblöcke, die in Niedersachsen meist aus mehreren Schlägen bestehen.

Digitale Bodendaten

Räumlich hochauflösende digitale Informationen zum Boden und vor allem zu seinen physikalischen Eigenschaften sind bei einer Modellierung, die das Materialtransport- und Prozessgeschehen an der Erdoberfläche simuliert, häufig ein kritischer Punkt. Es gibt in Deutschland keine einheitliche Basis für derartige Datensätze. Jedes Bundesland hat den gesetzlichen Auftrag für die flächendeckende Vorhal-

tung solcher Informationen anders interpretiert, der Bund hingegen ist erst ab der Maßstabsebene 1:200.000 zuständig und hält eine inzwischen lückenlose Bodenübersichtskarte (BUEK200) vor, die aber für schlagbezogene Modellierung erheblich zu ungenau ist.

Für das Gebiet der Fuhse konnten als bodenkundlichen Flächeninformationen Daten der Bodenschätzung gewonnen werden. Diese Daten liegen in ganz Nieder-

sachsen in digitaler Form vor und bilden die Datengrundlage mit der räumlich besetzten Flächen. Allerdings ist zu beachten, dass die Bodenschätzung aufgrund ihrer abweichenden Zielfunktion, nämlich der Abschätzung der Tragfähigkeit landwirtschaftlicher Flächen zum Zwecke der Besteuerung, nicht ohne Einschränkung zur Ableitung bodenphysikalischer Größen benutzt werden kann. Die ist in erster Linie dem abweichenden Klassifikationssystem für Bodenarten, also Korngrößen des Mineralbodens geschuldet. Solange der Boden im Modell als eine Einheit begriffen wird, d.h. auf Simulation von Wasserbewegung im Boden verzichtet wird, ist die Verwendung der übersetzten Bodenschätzung als Datengrundlage unkritisch, aufgrund dieser Einschränkung aber auch

ten Auflösung für landwirtschaftliche nicht optimal. Für die geplante Erweiterung des Modells um eine Bodenwasserhaushaltskomponente ist die Frage nach zu verwendenden Bodeninformationen also erneut zu diskutieren.

Für die Runoffmodellierung sind aus den Daten der beschreibenden Grablöcher der Bodenschätzung zunächst folgende Parameter abgeleitet worden:

- Feldkapazität in der Boden-Entwicklungstiefe [mm]. Diese wurde unter Anwendung empirisch ermittelter Regressionsfunktionen nach Friedrich et al (2008) direkt aus Ackerzahl und Zustandsstufe abgeleitet (Abb. 5).

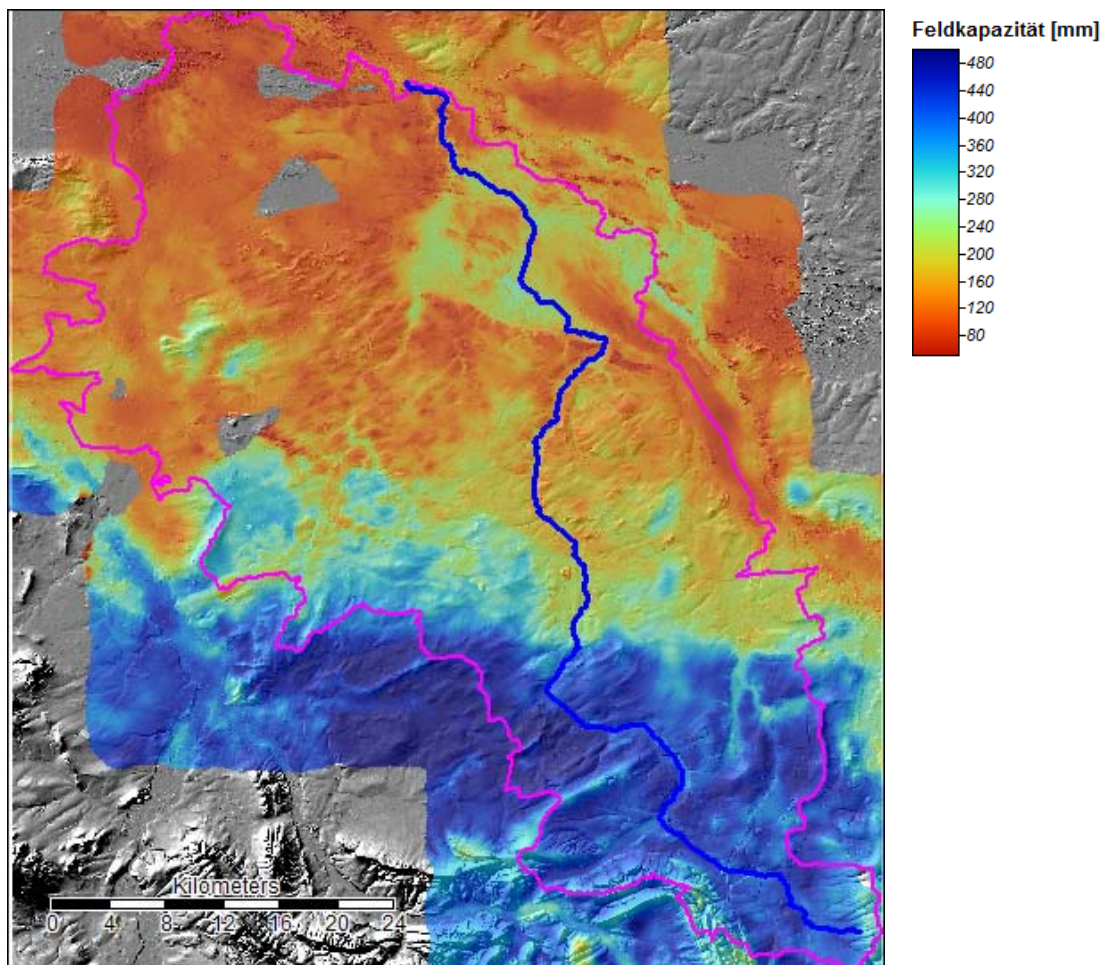


Abbildung 5 Feldkapazität im Einzugsgebiet der Fuhse. Das Raster wurde aus Punktdaten der Bodenschätzung regionalisiert. Die grauen Flächen ohne Werte innerhalb des Gebietes sind größere Waldflächen, für die keine Daten vorliegen. Gut zu sehen ist die Zweiteilung des Gebietes in ein südliches mit höheren Werten für FK und ein nördliches mit insgesamt eher niedrigen Werten.

- Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) sowie der mittlere Korngrößendurchmesser (MD). Auf den Verhältnissen der verschiedenen Korngrößenfraktionen basiert die Integration bodenhydrologischer Eigenschaften. Diese dienen als Grundlage für die Erstellung eines Rasterdatensatzes mit Werten der daraus abgeleiteten maximalen Infiltrationsleistung des Bodens. Die im Vergleich zur Bodenartklassifikation nach bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5) abweichende Definition der Korngrößengrenzen der Bodenschätzung macht es erforderlich die Klassen nach Bodenschätzung in die Nomenklatur der KA5 zu übersetzen. Als Schlüssel dient die Vorgabe des Mecklenburgischen Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG 2005). Aus den sich ergebenden gewichteten Mittelwerten der Korngrößenverhältnisse einer Bodenartklasse berechnet sich MD nach Gleichung 1. (1):

$$MD = \frac{S[\%]}{100} \times 0,2 \text{ mm} + \frac{U[\%]}{100} \times 0,063 \text{ mm} + \frac{T[\%]}{100} \times 0,002 \text{ mm}$$

Diese nun numerischen Attribute der Grablöcher wurden einzeln mit dem Reliefparameter TCl_{low} (Bock et al 2007) als Prädiktor mit Hilfe des geostatistischen Schätzverfahrens Universal Kriging regionalisiert. Mit Rasterdatensätzen zu Sandgehalt [%], Tongehalt [%], dem mittlerer Korndurchmesser [mm] und dem Reliefparameter Hangneigung [°] wird die maximale Infiltrationsleistung in mm pro Stunde in einer Funktion berechnet, die auf empirische Daten des USDA zurückgeht.

- Wetter Für die Beschreibung des täglichen Wetterverlaufs konnten Flächendaten (Rasterdaten in 250*250m Rasterweite) verwendet werden, die durch ein anderes Forschungsprojekt (Waldproduktivität-

Kohlenstoffspeicherung- Klimawandel, gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) der Abteilung Physische Geographie der Universität Hamburg erzeugt wurden. Diese Flächendaten der Parameter Temperatur (Tagesmittelwert), Niederschlag (Tagessumme) und Sättigungsdampfdruckdefizit (Tagesmittelwert) basieren auf sämtlichen Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und sind für den Zeitraum 01.01.1961 bis 31.12.2013 in täglicher Auflösung vorhanden. Sie wurden nach folgender Methodik regionalisiert:

- **Temperatur:** Die eigentliche Modellbildung zur Erzeugung der Flächendaten umfasste als ersten Schritt eine Geographisch Gewichtete Regression (GWR) unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden Stationen. Modellbildende Prädiktoren für alle Temperaturkenngrößen bildeten das DGM und die daraus abgeleitete integrierte Leewirkung (Exponiertheit). Im zweiten Schritt wurden empirisch gestützte, expositionsbedingte Temperaturzu- und -abschläge vorgenommen. Im dritten Schritt wurde eine Residualkorrektur und abschließend eine finale Kaskadenkorrektur durchgeführt, um sicherzustellen, dass Tagesmaximumtemperaturen immer über den Mittel-, und Mittel- immer über Minimumtemperaturen liegen.
- **Niederschlag:** Eingang in die tägliche Niederschlagsberechnung fanden alle Stationen, die an dem jeweiligen Tag gemessen hatten. Die Niederschlagshöhen wurden anhand einer empirischen Formel von ihrer Stationshöhe auf Mee-

reshöhe reduziert. Die Punktdaten wurden mit einer GWR und dem Windeffekt als Prädiktor auf ein 250 m Raster interpoliert. Der Windeffekt wurde für jeden Tag aus den NCEP/NCAR Reanalyse-daten im 850hPa Niveau berechnet. Nach der GWR erfolgte eine Residualkorrektur. Die dann vorlie-

genden flächenhaften Niederschlagshöhen wurden dann auf Meeresniveau mit der erwähnten empirischen Formel invers auf die jeweilige Höhe im DGM gebracht. Abbildung 6 zeigt die Monatssummen des Niederschlags im Jahr 2013.

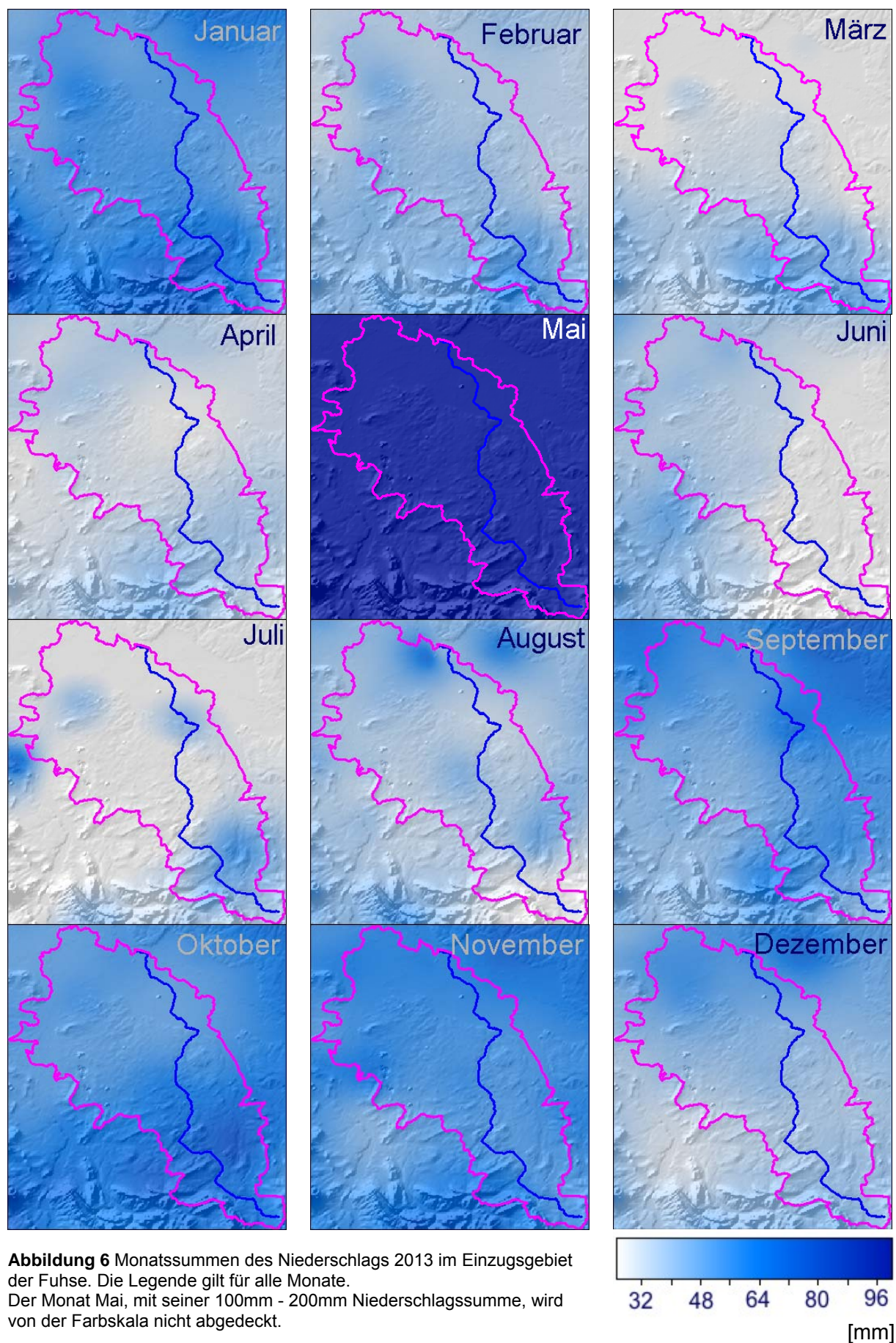


Abbildung 6 Monatssummen des Niederschlags 2013 im Einzugsgebiet der Fuhse. Die Legende gilt für alle Monate. Der Monat Mai, mit seiner 100mm - 200mm Niederschlagssumme, wird von der Farbskala nicht abgedeckt.

Die gefallenen Niederschläge im Jahr 2013, die sich über das Jahr und bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet in Bezug auf die statistische Kenngröße Jahressumme unauffällig verhalten, sind allerdings räumlich und zeitlich sehr un-

terschiedlich verteilt. Dies wird auch durch die Abbildung 7 belegt, die die Regenmenge pro Regentag zum Inhalt hat. Beachtlich wieder der Monat Mai, dessen 4.Quartil mit den höchsten Werten bis knapp 40mm reicht.

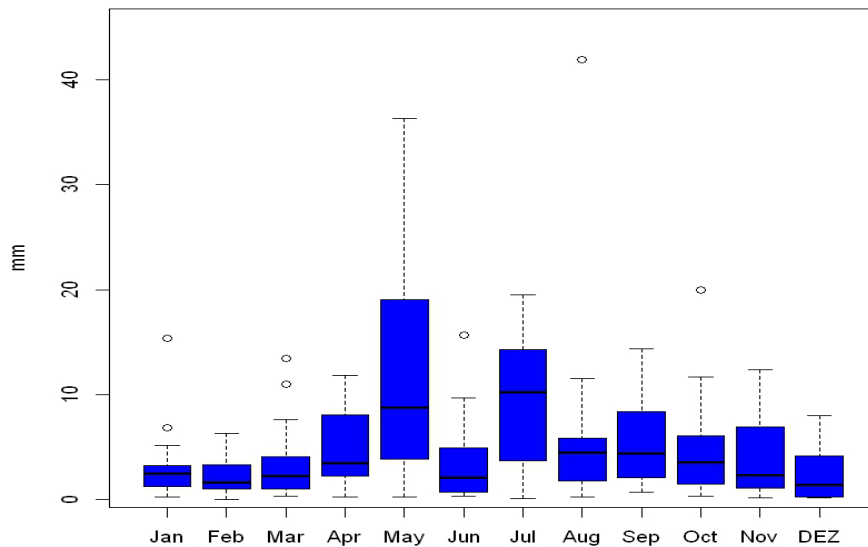


Abbildung 7 Boxplots der Regenmenge pro Regentag in den Monaten des Jahres 2013.

Das Sättigungsdampfdruckdefizit wurde mittels des Prädiktors der korrigierten Tagesmitteltemperaturen geschätzt und abschließend ebenfalls residualkorrigiert. Der Sättigungsdampfdruck wurde nach der

Formel von MAGNUS (aus Zmarsly et al., 2007) berechnet und aus beiden Größen (Sättigungsdampfdruck und Sättigungsdampfdruckdefizit) die relative Luftfeuchte in Prozent abgeleitet.

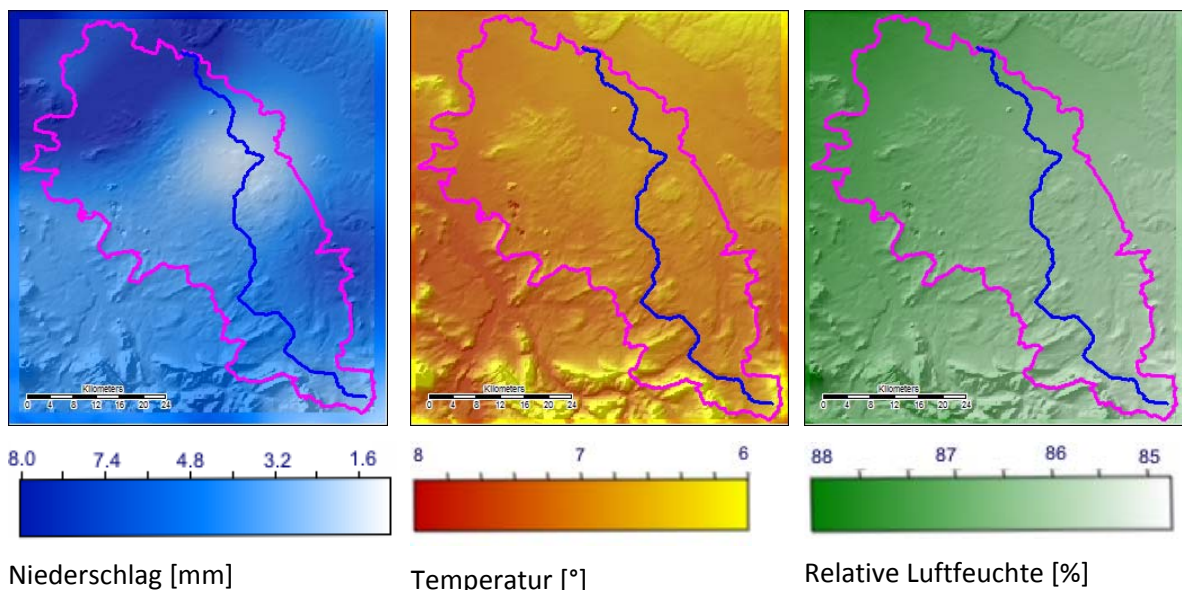


Abbildung 8 Beispiel für die drei Wetterparameter in täglicher Auflösung. Dargestellt ist der 10. April 2013

4. Modellauf

Nachdem alle Präprozessierungsschritte durchgeführt sind, kann das Modell starten. Für eine genauere Darstellung der Vorgänge während des Modellbetriebes sei hier erneut auf Wendland et al (2015) verwiesen. An dieser Stelle erfolgt lediglich eine kurze Zusammenfassung:

Nach einer Initialisierung werden dem Modell für den zu modellierenden Zeitraum (z.B. ein Jahr) die regionalisierten Wetterdaten in täglicher Auflösung übergeben, d.h. jeder Tag wird mit seinem Wetter- und Runoffgeschehen einzeln simuliert. Bei einer täglichen Niederschlagssumme über einem bestimmten Grenzwert (z.Zt. 10mm) wird zunächst ermittelt, ob ein Starkregenereignis stattgefunden hat. Hierfür sind für alle Termine ERA Interim Daten analysiert worden, da diese in 6-Stunden-Blöcken vorliegen. Auf die relativen Anteile dieser 6h-Werte wird zusätzlich eine Poisson-Verteilung gelegt, so dass am Ende für jede Rasterzelle die Tagessumme in 24h-Werte diskretisiert ist. Jeder dieser 24h-Werte wird nun mit der maximalen Infiltrationsrate des Bodens verglichen. Wird von einer der 24h-Werte die maximale Infiltrationsrate überschritten, kommt es zu einem sog. Horton Abfluss (Horton-Runoff, benannt nach dem US-Hydrologen Robert Elmer Horton), also zu einem Oberflächenabfluss unabhängig vom aktuellen Wassergehalt des Bodens. Nach Ende der Starkregenfunktion wird zunächst die Evapotranspiration für den Tag berechnet und für jede Rasterzelle wird aus dieser und dem Niederschlag ermittelt, ob ein Wasserüberschuss oder -defizit entsteht. Beides ändert den Wert des aktuellen Bodenwassergehaltes. Wird dieser während des Modellaufes größer als die Gesamtwasserspeicherkapazität des Bodens (im Moment der Wert der Feldkapazität) kommt es zu einem Sättigungsabfluss (Sättigungsrunoff nach Dunne). Für beide Runofftypen gilt, dass sie sich nach der

Geländeform in der Fläche ausbreiten und während des Passierens von Gebieten mit ungesättigten Bodenwasserspeichern auch wieder zum Erliegen kommen können. In der Regel erreichen sie aber das Fließgewässernetz und speisen somit die Oberflächengewässer. Mit dem Eintritt in ein Oberflächengewässer ist die Modellierung für diesen Tag beendet und der nächste Tag wird bearbeitet. Die Werte für die Runoffereignisse werden als Rasterdatensatz ausgegeben, nachdem sie noch mit SDR und der gewichteten, invertierten Anzahl der übertretenen Schlaggrenzen (Feldblockgrenzen) verrechnet wurden.

Im Ergebnis entstehen also neben diversen Protokolldateien vor allem Rasterdatensätze für jedes einzelne Runoffereignis. Wenn der Tagesniederschlag sehr hoch ist und mehrere Stundenwerte die maximale Infiltrationsleistung überschreiten, können auch mehrere Runoffereignisse pro Tag auftreten. Zusätzlich kann auch ein Sättigungsabfluss am gleichen Tag stattfinden. In der Mehrzahl der Tage kommt es aber zu keinem Abflussgeschehen.

Das Modell ist im Moment noch mit programmtechnischen Defiziten behaftet, da noch nicht alle beteiligten physikalischen Prozesse befriedigend im Modell abgebildet sind. Als elementares Beispiel sei hier der Wasserhaushalt des Bodens genannt. Der Bodenkörper ist im Modell als Einheit abgebildet, die eine bestimmte Wassermenge enthalten kann. Wasserbewegung im Boden findet nicht statt. Diese zu simulieren, würde eine erheblich differenziertere Betrachtung des Bodens voraussetzen, die im Moment nicht realisiert ist. Trotzdem ist das Modell bereits mit Einschränkungen in der Lage valide Ergebnisse zu liefern.

5. Modellergebnisse

Runoff wurde für das Jahr 2013 an 94 Tagen modelliert. Ob diese Zahl realistisch ist, kann im Moment nicht beantwortet werden, da das Modell noch nicht abschließend validiert wurde. Die Ereignisse (Tage) mit den höchsten Werten sind alle aus dem Frühjahr 2013 und hier vor allem aus dem Zeitraum Ende Mai. Dies ist aufgrund der Niederschlagsverteilung auch plausibel.

Das Modell liefert für solche Ereignisse teilflächenspezifische Ergebnisse in der Fläche, die landwirtschaftlichen Flächen als Stoffquelle zugeordnet werden können. Als Beispiel für ein solches Ergebnis hier ein Ausschnitt vom 26. Mai 2013, einem Tag mit dem höchsten Oberflächenabfluss des Jahres (Abb 9):

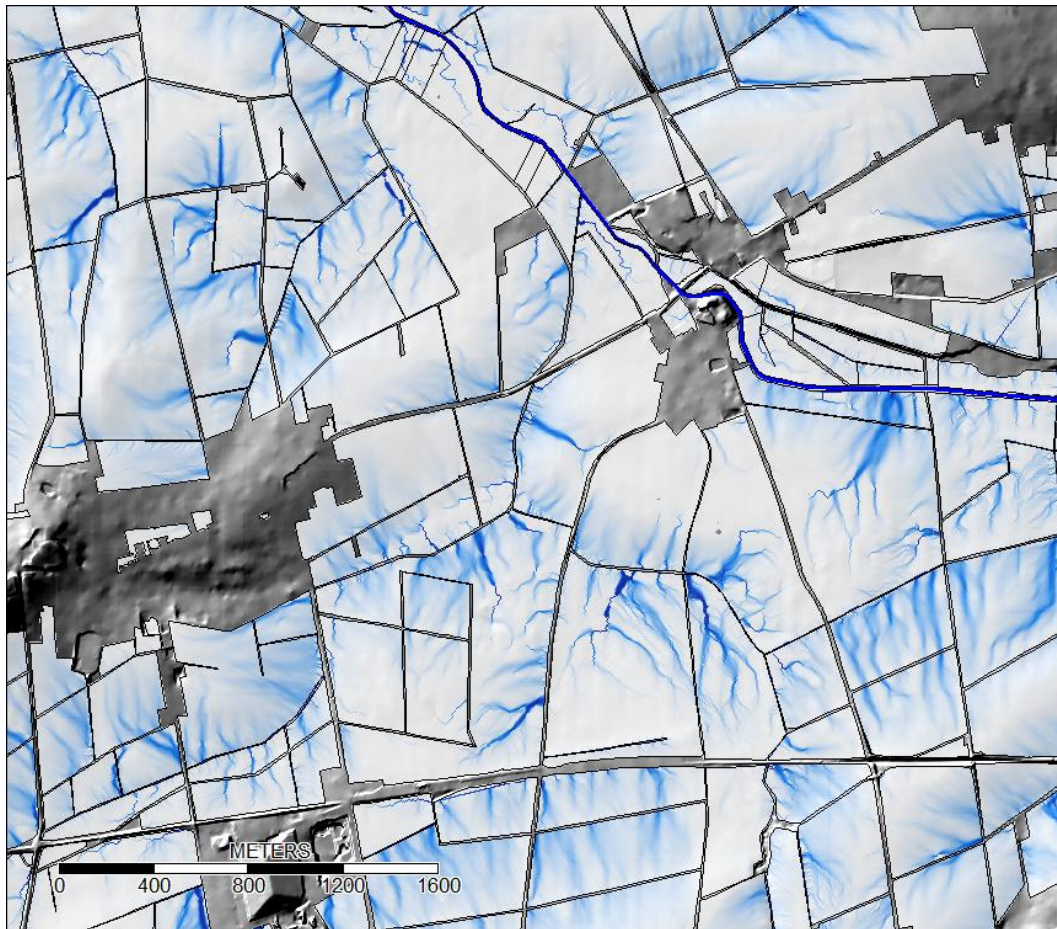


Abbildung 9 Ausschnitt aus dem Runoffergebnis vom 26.05.2013 an der Fuhse. Deutlich sind die oberirdischen Abflussbahnen auf den landwirtschaftlichen Flächen zu sehen. Zur Verdeutlichung sind die Grenzen der Feldblöcke eingezeichnet.

Für die Termine der PSM-Funde an der Fuhse in den Proben des Jahres 2013 liefert das Modell keine Hinweise auf diffuse Einträge, was als Ausschluss der Beteiligung von landwirtschaftlichen Flächen an den Einträgen in die Fuhse zu diesen Zeitpunkten gewertet werden kann. Zur

differenzierten Darstellung der relevanten Termine werden im Folgenden für die einzelnen Probenahmezeitpunkte gleich skalierte Graphiken gezeigt, die den Modeloutput der vorherigen 12 Tage visualisieren:

- 04.02.2013 (Abb. 10)
Für diesen Termin sind im Vorfeld einige Tage mit Runoff zu verzeichnen. Allerdings ist es für die-

sen Termin auf der anderen Seite unwahrscheinlich, dass PSM auf Flächen im Einzugsgebiet appliziert wurden.

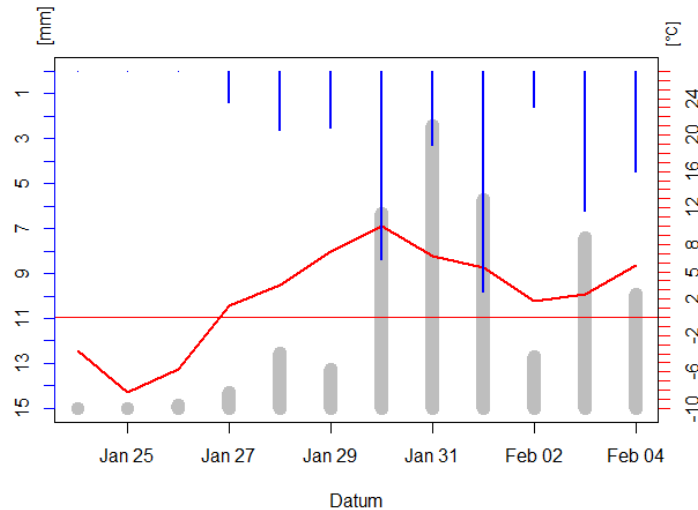


Abbildung 10 Temperatur (rot), Niederschlag (blau) und modelliertes Runoffgeschehen (grau) an der Fuhse vom 24.01.2013 bis zum 04.02.2013 (Termin der Probenahme). Die Einheiten des Runoff sind nicht ausgewiesen, da sie nur relative Größen darstellen.

- 07.03.2013 (Abb. 11)
Die leichten Regenfälle am Tag der Probenahme führen nicht zu Oberflächenabfluss. In der gesamten

Woche vorher sind keine Niederschläge und somit auch kein Runoff zu verzeichnen.

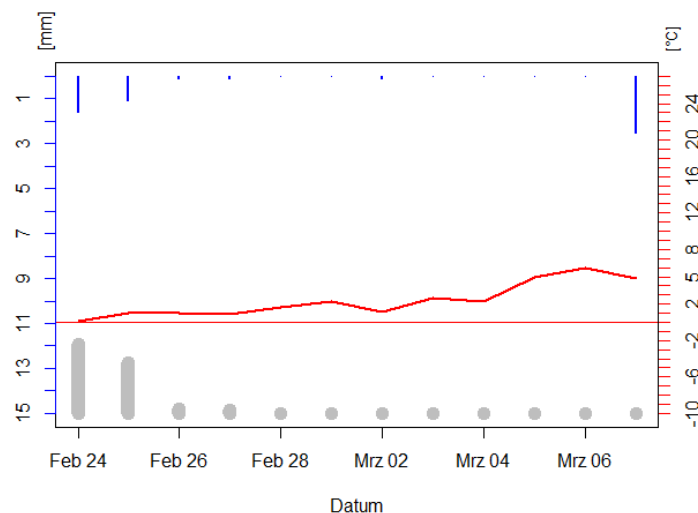


Abbildung 11 Temperatur (rot), Niederschlag (blau) und modelliertes Runoffgeschehen (grau) an der Fuhse vom 24.02.2013 bis zum 07.03.2013 (Termin der Probenahme). Die Einheiten des Runoff sind nicht ausgewiesen, da sie nur relative Größen darstellen.

- 02.04.2013 (Abb. 12)
Aufgrund des Temperaturverlaufes (10 Tage lang Frost) ist für den Termin kein Runoffgeschehen realistisch. Da im Modell die Akkumulation von Niederschlägen als Schnee nicht realisiert ist, ist Run-

off in Folge von Schneeschmelze im Moment nicht abzubilden. Diese Prozesse sind allerdings für die Zielstellung des Modells auch weniger relevant. Die Runoff-ergebnisse für 28. bis 30. März sind deshalb nicht realistisch.

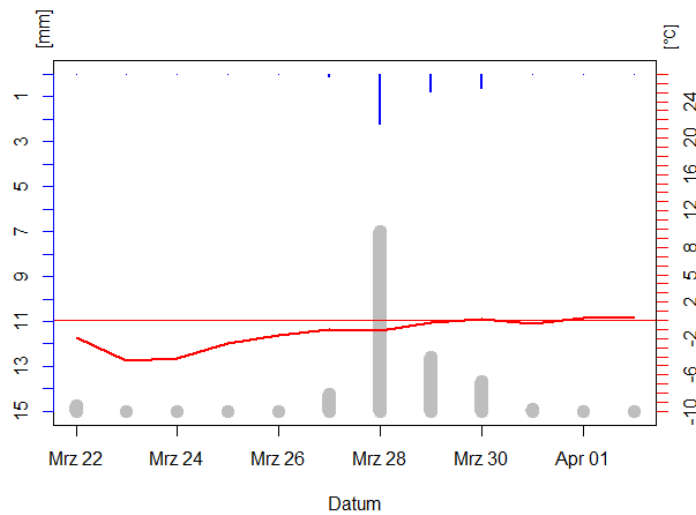


Abbildung 12 Temperatur (rot), Niederschlag (blau) und modelliertes Runoffgeschehen (grau) an der Fuhse vom 22.03.2013 bis zum 02.04.2013 (Termin der Probenahme). Die Einheiten des Runoff sind nicht ausgewiesen, da sie nur relative Größen darstellen.

- 02.05.2013 (Abb. 13)
Die stärkeren Niederschläge vom 26. April haben im Modell kein Runoffereignis ausgelöst. Unab-

hängig davon ist der Termin der Probenahme erst eine Woche später und ein so langer Verbleib von PSM unwahrscheinlich.

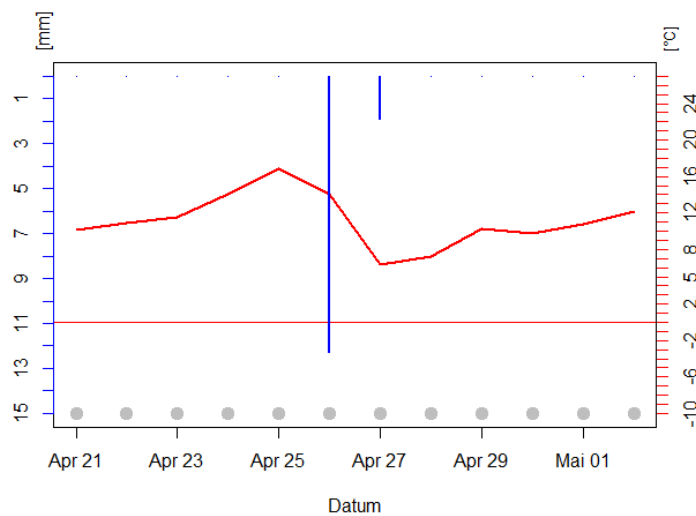


Abbildung 13 Temperatur (rot), Niederschlag (blau) und modelliertes Runoffgeschehen (grau) an der Fuhse vom 21.04.2013 bis zum 02.05.2013 (Termin der Probenahme). Die Einheiten des Runoff sind nicht ausgewiesen, da sie nur relative Größen darstellen.

- 11.06.2013 (Abb. 14)

Probenahmetermin am Ende einer Trockenperiode von 11 Tagen.

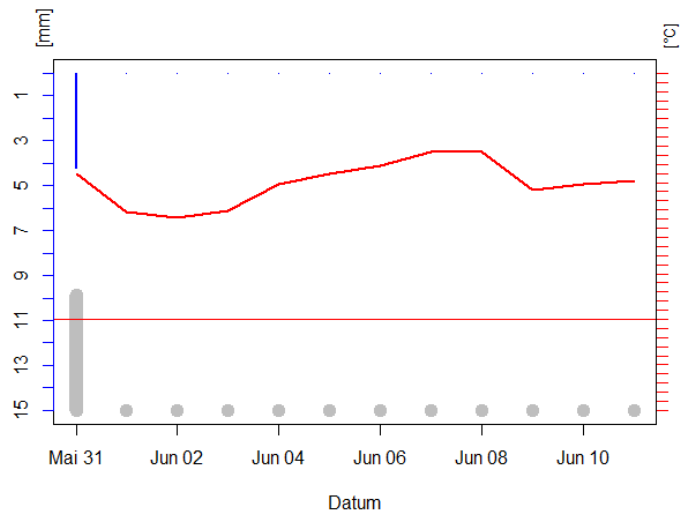


Abbildung 14 Temperatur (rot), Niederschlag (blau) und modelliertes Runoffgeschehen (grau) an der Fuhse vom 31.05.2013 bis zum 11.06.2013 (Termin der Probenahme). Die Einheiten des Runoff sind nicht ausgewiesen, da sie nur relative Größen darstellen.

- 01.07.2013 (Abb. 15)
Leichte Niederschläge im Verlauf der 12 Tage vor der Probenahme.

Kein Oberflächenabfluss im Modell generiert.

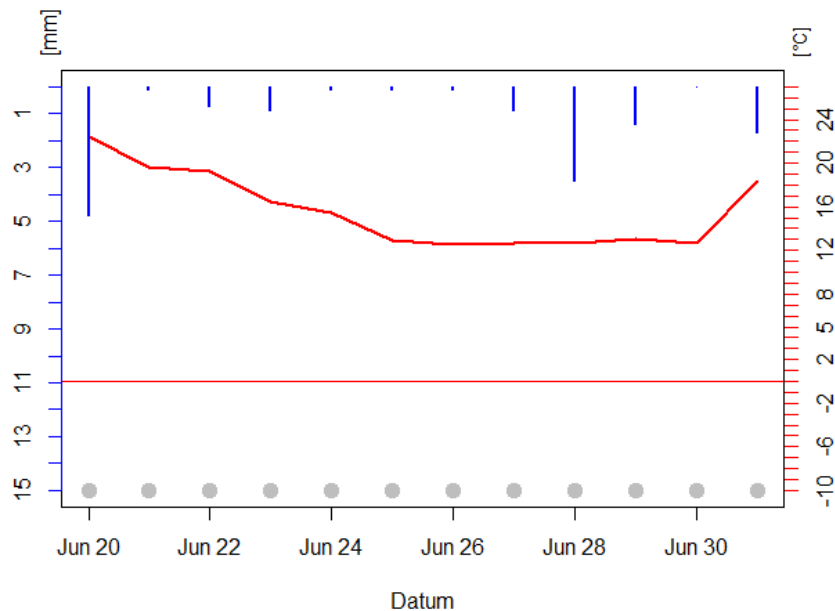


Abbildung 15 Temperatur (rot), Niederschlag (blau) und modelliertes Runoffgeschehen (grau) an der Fuhse vom 22.06.2013 bis zum 01.07.2013 (Termin der Probenahme). Die Einheiten des Runoff sind nicht ausgewiesen, da sie nur relative Größen darstellen.

- 06.08.2013 (Abb. 16) Oberflächenabfluss im Modell generiert.
 Nur leichte Niederschläge an vier Tagen vor der Probenahme. Kein
 Tagen vor der Probenahme. Kein

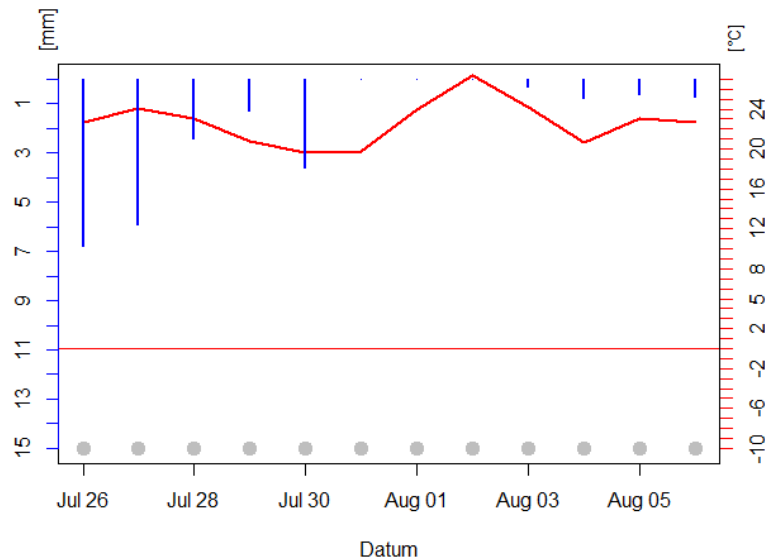


Abbildung 16 Temperatur (rot), Niederschlag (blau) und modelliertes Runoffgeschehen (grau) an der Fuhse vom 26.07.2013 bis zum 06.08.2013 (Termin der Probenahme). Die Einheiten des Runoff sind nicht ausgewiesen, da sie nur relative Größen darstellen.

- 04.09. 2013 (Abb. 17) nahme. Kein Oberflächenabfluss im Modell generiert.
 Sehr leichte Niederschläge im Verlauf der 12 Tage vor der Probe-

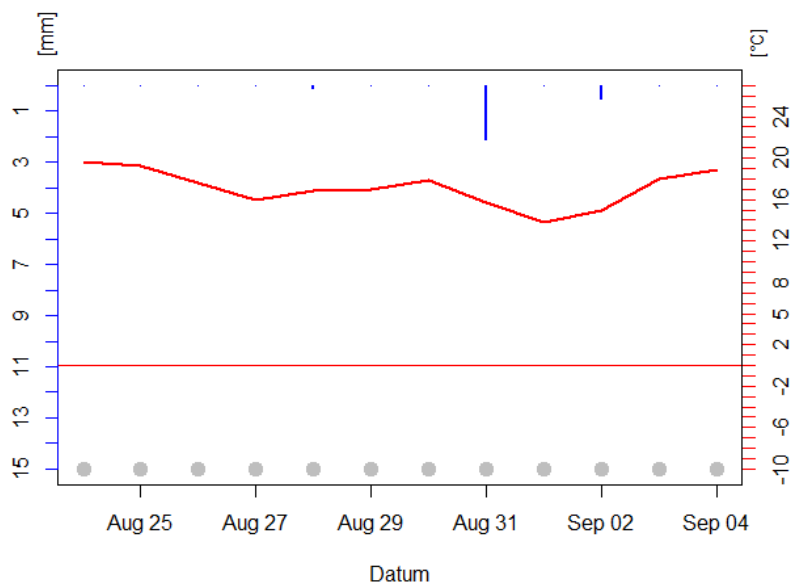


Abbildung 17 Temperatur (rot), Niederschlag (blau) und modelliertes Runoffgeschehen (grau) an der Fuhse vom 24.08.2013 bis zum 04.09.2013 (Termin der Probenahme). Die Einheiten des Runoff sind nicht ausgewiesen, da sie nur relative Größen darstellen.

6. Zusammenfassung

Untersuchungen des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) im Jahr 2011 hatten eine erhöhte Belastung der Fuhse mit Pflanzenschutzmitteln festgestellt. Entsprechend der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurden daraufhin Maßnahmen eingeleitet, um den Zustand der Fuhse zu verbessern. Ein wichtiger Baustein der durchgeführten Maßnahmen ist die vorliegende Runoffmodellierung, die vom Institut für Geographie – Abteilung Physische Geographie – der Universität Hamburg im Auftrag des NLWKN vorgenommen wurde.

Als Eingangsdaten berücksichtigt das Modell Höhendaten eines digitalen Geländemodells, Bodendaten (insbesondere Bodentextur und Feldkapazität), sowie täglich aufgelöste Witterungsdaten (Niederschlag, Temperatur, Solarstrahlung, Feuchte, Windgeschwindigkeit) des Jahres 2013.

Es wurde der Modellauf beschrieben und es wurden beispielhaft die Modellergebnisse von Untersuchungen des Jahres 2013 betrachtet und präsentiert, bei denen vom NLWKN Untersuchungen auf insgesamt 226 Pflanzenschutzmittelwirkstoffe durchgeführt wurden. Bei diesen Untersuchungen konnte eine erhöhte Belastung festgestellt werden, insbesondere mit Thiaclopid (Max.-Wert von 13 µg/l), einem zur Stoffgruppe der Neonikotinoiden gehörender Wirkstoff, der als bienengefährlich angesehen wird.

Die Runoffmodellierung kommt zu dem folgenden Ergebnis:

Für die Termine der Pflanzenschutzmittel-Funde an der Fuhse in den Proben des Jahres 2013 lieferte das Modell keine Hinweise auf wesentliche diffuse Einträge, was als Ausschluss der Beteiligung von landwirtschaftlichen Flächen an den Einträgen in die Fuhse zu diesen Zeitpunkten

gewertet werden kann. Eine Erklärung für die im Jahr 2013 in der Fuhse bei Peine gemessenen stark erhöhten Pflanzenschutzmittelgehalte kann somit nicht gegeben werden, wobei Einträge durch Runoff aus wissenschaftlicher Sicht mit an Sicherheit angrenzender Wahrscheinlichkeit für diese bestimmten Termine ausgeschlossen werden kann.

Die weitere Modellentwicklung sieht vor, teilflächenspezifischen Runoff nicht nur in relativen Mengen darzustellen, sondern durch detaillierte Einbeziehung der vertikalen Flüsse innerhalb der ungesättigten Bodenzone einen mengenmäßig exakten Output der absoluten Wassermengen modellieren zu können. Aus diesen Informationen plus der daraus abzuleitenden tatsächlichen aktuellen Fließgeschwindigkeit der Runoff-Wassersäule lassen sich beispielsweise Rückschlüsse auf eventuelle Verdünnungseffekte und Lösbarkeiten verschiedener Pflanzenschutzmittel, und damit verbundene Risiken für angrenzende (Gewässer-) Ökosysteme ziehen. Ebenso wird die bereits zum jetzigen Stand der Modellentwicklung mögliche Simulation von Schutzmaßnahmen, wie beispielsweise das Anlegen von Grünstreifen an kritischen Standorten oder der Einfluss verschiedener Bearbeitungsweisen der Ackerschläge, weiter verbessert, erweitert und präzisiert. Auch der Bedeckungsgrad verschiedener Feldfrüchte im jahreszeitlichen Verlauf mit ihrer jeweils entsprechenden Runoff-Bremswirkung, bzw. Erosions-Schutzfunktion, sowie die Möglichkeit bereits durchgeführte Maßnahmen in der schlagspezifischen Modellierung zu berücksichtigen, sollen integriert werden. Übersetzt in Web-GIS-Applikationen soll das Modell die Auswahl geeigneter Managementstrategien im Rahmen der landwirtschaftlichen Beratung unterstützen und trägt damit zur präventiven Minderung von Produktionsrisiken sowie zum Erhalt von Bodenfruchtbarkeit und Ökosystemfunktionen bei.

Literatur:

Ali, K. F., De Boer, D. H. (2010): Spatially distributed erosion and sediment yield modeling in the upper Indus River basin. *Water Resources Research*, 46(8)

Bach, M., Röpke, B., & Frede, H.-G. (2005). Pesticides in rivers – Assessment of source apportionment in the context of WFD, *European Water Management Online*, 1–14.

Blarr, A. S., Eyring, J., Bach, M., & Frede, H.-G. (2009). Identifizierung und Vermeidung der hot spots von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer – Erkennung und Quantifizierung punktueller Einträge. Abschlussbericht, BMELV – BLE – Projekt 05HS022

Bock, M., Böhner, J., Conrad, O., Köthe, R. & Ringeler, A. (2007): Methods for creating Functional Soil Databases and applying Digital Soil Mapping with SAGA GIS. - In: Hengl, T., Panagos P., Jones, A. & Tóth, G. (Eds.): Status and prospect of soil information in south-eastern Europe: soil databases, projects and applications. - EUR 22646 EN, 149-163, Scientific and Technical Research series, Office for Official Publications of the European Communities; Luxemburg.

Friedrich, K., Goldschmitt, M., Krzyzanowski, J., Miller, R., Peter, M., Sauer, S., Schmanke, M. & Vorderbrügge, T. (2008): Großmaßstäbige Bodeninformationen für Hessen und Rheinland-Pfalz. Auswertung von Bodenschätzungsdaten zur Ableitung von Bodenfunktionen und –eigenschaften. Wiesbaden

Landesamt für Umwelt, Naturschutz, und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.) (2005): Böden in Mecklenburg-Vorpommern. Abriss ihrer Entstehung, Verbreitung und Nutzung. Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Güstrow

Steffen, D. (2014): Orientierende Untersuchungen niedersächsischer Oberflächengewässer auf aktuell in Deutschland zugelassener Pflanzenschutzmittel und auf Stoffe der sog. Metaboliten-Liste. Bericht des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Hildesheim

Wendland, S., Bock, M., Böhner, J. & Lembrich, D. (2015). Towards the development of a modeling framework for the spatially-explicit assessment of soil erosion and runoff risks on agricultural fields. Eingereicht.

Zmarsly, E., Kuttler, W. Pethe, H. (2007): Meteorologisch-klimatologisches Grundwissen. UTB (Eugen Ulmer). Stuttgart.