

Wasserhaushalt und Stickstoffaustrag einer mehrjährigen Schwarzbrache im Vergleich zur landwirtschaftlichen Bewirtschaftung - Lysimeterbeobachtungen und Modellierung

Ulrike Haferkorn^{1*}, Beate Klöcking² und Anke Winkler¹

Zusammenfassung

Die Verringerung der Stickstoffeinträge in die Gewässer setzt das Verständnis des Stickstoffumsatzes und -transports in der ungesättigten Bodenzone voraus. Seit November 2006 wird hierzu in der Großlysimeteranlage Brandis der Versuch „Schwarzbrache nach mehr als 30jähriger Bewirtschaftung“ durchgeführt. Aus der veränderten Dynamik der Sickerwasserraten und der damit verbundenen Stickstoffausträge werden Informationen zu den in der vorhergehenden Bewirtschaftung aufgebauten Stickstoff-Pools der Böden erwartet. Die Messungen werden durch Simulationen mit einem Wasser- und Stoffhaushaltsmodell begleitet. Sowohl die Messungen, als auch die Berechnungen zeigen, dass die Mineralisierung des organischen Bodenstickstoffs ein wesentliches Glied des Stickstoffhaushaltes von Ackerstandorten darstellt. Unter Schwarzbrache kommt es durch den veränderten Wasser- und Wärmehaushalt zu einer verstärkten Stickstoffmobilisierung, was bei gleichzeitig fehlendem Pflanzenentzug zu hohen Stickstoffauswaschungen führt. Besonders der tiefgründige Löss zeigte dabei außergewöhnlich hohe Sickerwasserraten und N-Frachten, die mit den bisher angenommenen hydraulischen Bodeneigenschaften nicht erklärbar sind.

Schlagwörter: Stickstoffaustrag, Lysimeter, Landwirtschaft, Schwarzbrache, Modellierung

Summary

The reduction of the Nitrogen input in water bodies requires an understanding of the nitrogen transformations and fluxes in the unsaturated soil profile. A fallow ground experiment was launched at the Brandis lysimeter station in November 2006. New insights in the soil-nitrogen pools formed in 30 years of intensive agriculture are expected from the investigation of changes in leachate bound nitrogen discharges. The measurements are supported by simulations using the deterministic model ArcEGMO-PSCN. Both the measured and the simulated data show that the mineralization of the organic nitrogen-pool plays an important role in the nitrogen balance of agricultural systems. Changes in moisture and heat conditions underneath fallow ground support an increasing N-mobilization. Combined with the missing nitrogen uptake by plants this leads to high leachate bound nitrogen discharges. Particularly the deep loess shows high percolation and nitrogen leaching rates which cannot be described by the commonly used hydraulic parameters for this soil.

Einleitung

Zur Beurteilung einer sachgemäßen Düngung und zur Abschätzung des Belastungspotentials von Stickstoffausträgen in die Gewässer kommen Stickstoffsalden zur Anwendung. Dabei werden für eine Fläche (Schlag) den Stickstoffeinträgen aus organischer/mineralischer Düngung, meist ohne Berücksichtigung der Deposition, die Stickstoffentzüge über das Erntegut gegenüber gestellt. Stickstoff unterliegt im Boden jedoch verschiedensten Transformationsprozessen. Deshalb reicht eine ausschließliche Quantifizierung des anorganischen Stickstoffpools vor allem in den niederschlagsarmen Regionen („mit einem langen Gedächtnis der Böden“) vermutlich nicht aus, um die aktuellen Nitratausträge über das Sickerwasser zu erklären und zu steuern. Um Stickstoff-Umsatzprozesse zu beschleunigen und um Kenntnisse über Ursache-Wirkungsbeziehungen zu erhalten,

kommt in der Brandiser Lysimeteranlage seit November 2006 eine Versuchsanstellung in Form einer dauerhaften Schwarzbrache zur Anwendung.

Nach knapp 30 Jahren praxisnaher Bewirtschaftung werden Lysimeter mit lehmigem Sand und tiefgründigem Löss nicht mehr bearbeitet und von Bewuchs frei gehalten. Parallel dazu erfolgt auf den gleichen Böden weiterhin eine landwirtschaftliche Bewirtschaftung. Bei einer Schwarzbrache entfallen die bewirtschaftungsbedingten N-Einträge, aber auch der Wasser- und Stoffentzug durch die Pflanzen. Die erwartungsgemäß höheren Sickerwassermengen führen zu höheren N-Austrägen. Ziel der Untersuchungen ist, den bewirtschaftungsbedingten, standortabhängigen N-Pool der Böden und seine Auswirkungen auf den jährlichen N-Austrag zu quantifizieren. Hinweise auf die Existenz dieses N-Pools lieferten Bilanzrechnungen über mehr als

¹ Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL), Kleinsteinberger Str. 13, D-04821 BRANDIS

² Büro für Angewandte Hydrologie (BAH), Murnauer Str. 102a, D-81379 MÜNCHEN

* Ansprechpartner: Dr. Ulrike Haferkorn, ulrike.haferkorn@smul.sachsen.de



Tabelle 1: Bodenformen, Profilaufbau und Entnahmeorte der untersuchten Böden (LfUG, 2001) sowie Messwerte für die Jahre 1981-2013.

LG ¹⁾	Bodenform	Tiefe [cm] Profilaufbau	nFK _{We} ²⁾ [mm]	Sickerwasser [mm]	Humus (Ackerkrume) [%]	K _f [m/s]	Entnahmeort
8	Parabraunerde/ Braunerde (D3)	0-70 Sandlöß 70-150 Fließerde (sandiger Lehm) 150-300 Mittel- und Feinsand	89 (142)	150	2,0 - 2,2	5*10 ⁻⁵ n.g. 1,5*10 ⁻⁷	westl. Brandis, Mulden- talkreis
9	Parabraunerde (L63)	0-205 lehmiger Schluff 205-300 Schmelz- wassersand	170 (350)	58	2,2-2,6	9*10 ⁻⁶ 3*10 ⁻⁴	Sornzig, bei Oschatz

¹⁾LG-Lysimetergruppe aus jeweils 3 Lysimetern; ²⁾Mittelwerte (Maximalwerte von Einzeljahren)

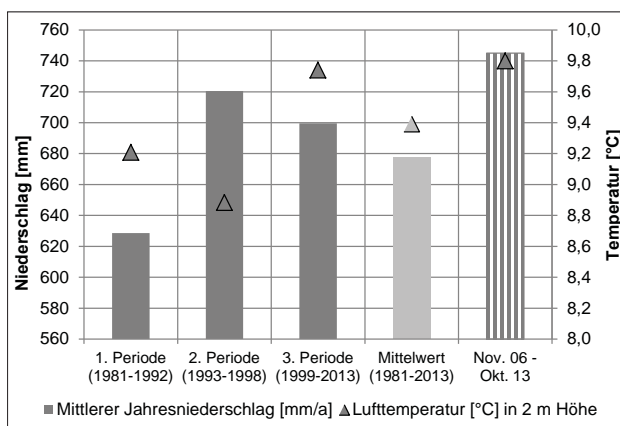


Abbildung 1: Mittlerer Jahresniederschlag und Jahresmittel der Lufttemperatur (hydrologische Jahre) während unterschiedlicher Bewirtschaftungsperioden.

drei Jahrzehnte. Dabei wurden den jährlichen Stickstoff-Einträgen aus Deposition und Überschuss-Salden, die jährlichen N-Austräge über das Sickerwasser in 3 m Tiefe gegenüber gestellt. Verluste durch gasförmige Austräge in die Atmosphäre in Form von Ammoniak (NH₃) und Distickstoffoxid (N₂O) wurden geschätzt. Der Versuch wird durch den Einsatz des Modells ArcEGMO-PSCN (PFÜTZNER 2002, BECKER et al. 2002, KLÖCKING 2009) begleitet.

Material und Methoden

Die Untersuchungen zum Wasser- und Stickstoffhaushalt unter Schwarzbrache wurden in der von der BfUL betriebenen Lysimeteranlage Brandis (LfUG, 2001) an zwei Böden mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften (Tabelle 1) durchgeführt.

Dabei handelt es sich um eine Parabraunerde-Braunerde mittlerer Entwicklungsstufe aus Sandlöß (Lysimetergruppe LG 8) und eine tiefgründige Parabraunerde aus Löß (LG 9) mit einem sehr hohen Nachlieferungsvermögen von Bodenwasser und darin gelösten Pflanzennährstoffen. Die Lysimeter erfassen auf Grund ihrer Größe (1 m² Oberfläche, 3 m Tiefe) und der natürlichen Struktureigenschaften der ungestörten Bodenmonolithe, neben der Wurzelzone auch

die obere Dränzone. Sie bieten Raum für die hier ablaufenden chemischen und mikrobiellen Umsatzprozesse.

Auf jeweils einem Lysimeter (Lys. 8/4 und Lys. 9/2) wurde im November 2006 mit der Schwarzbrache begonnen, während die zwei verbleibenden Lysimeter der Gruppe weiterhin der Bewirtschaftung unterlagen.

Von 1981 bis zum Beginn der Schwarzbrache im Jahr 2006 wurden auf allen Lysimetern und dem umliegenden Feld nacheinander drei verschiedene, für Mitteleuropa typische Bewirtschaftungsformen realisiert (KNOBLAUCH et al. 2013). Im Zeitraum von **1981 bis 1992 (Intensive landwirtschaftliche Nutzung)** wurden im Mittel der Jahre alle Böden mit rd. 133 kg/ha N mineralisch gedüngt. Hinzu kamen eine N-Deposition von 49 kg N/ha/a und eine Zufuhr von industriell hergestellten organischen Substraten in hohen Einzelgaben. Es verblieb kein Erntegut auf den Lysimetern (bzw. Feld). Bedarfsweise wurden Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel aufgebracht.

In den Jahren 1993 bis 1995 wurden **Stilllegungs- und Grünbrachemaßnahmen** realisiert, danach 3 Jahre **ökologischer Landbau**. Es erfolgte keine mineralische Düngung, nur 1996 je Lysimeter mit der Herbstfurche eine Stallunggabe von 200 dt/ha, die im Folgejahr mit 60 kg N/ha angerechnet wurde. Die symbiotische N-Bindung bei Rotklee wurde mit 170 kg/ha berücksichtigt.

Seit 1999 wird die erste Gabe des jährlichen, fruchtarten- und bodenspezifischen Düngedarfs auf Basis von N_{min}-Untersuchungen und weiteren Bodenuntersuchungen mit Hilfe des Düngungsberatungsprogramms „BEFU“ ermittelt. In der Region ist ein intensiver Marktfruchtanbau mit deutlichem Trend zur Fruchtartenkonzentration, insbesondere auf Winterweizen und Winterraps, zu verzeichnen. Auf Grund des geringen Tierbesatzes wird vorwiegend mineralisch gedüngt. Je nach Fruchtart verbleibt ein Teil des Erntegutes auf der Fläche (Lysimeter). Bedarfsweise werden Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel aufgebracht.

Der Untersuchungsstandort Brandis liegt in der mitteldeutschen Trockenregion des Norddeutschen Tieflandes mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,4 °C und einem Jahresniederschlag von 678 mm/a (Reihe 1981-2013). Die erste Bewirtschaftungsperiode von 1981 bis 1992 ist im Mittel durch vergleichsweise geringe Niederschläge

Tabelle 2: Jahreswerte der Verdunstung und Sickerwasserbildung von Schwarzbrache im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Böden der Station Brandis (2007-2013).

Jahresmittel [mm/Jahr]	lehmiger Sand (LG 8)		tiefgründiger Löß (LG 9)	
	Schwarzbrache	mit Bewuchs	Schwarzbrache	mit Bewuchs
korrigierter Niederschlag	735	743	738	740
Verdunstung	485 / 468*	591 / 584*	451 / 449*	703 / 612*
Sickerwasser	250 / 262*	152 / 146*	287 / 275*	37 / 116*

* ArcEGMO-PSCN Simulationswert

(628 mm) und eine Jahresmitteltemperatur von 9,2 °C gekennzeichnet (*Abbildung 1*). Während des ökologischen Landbaus (1993-98) ist es mit 8,9°C und 718 mm sehr kühl und niederschlagsreich. Die dritte Bewirtschaftungsperiode (1999-2013) zeigte sich mit 9,7 °C als wärmste der drei Perioden. Das Jahresmittel des Niederschlags lag bei 700 mm, zugleich wurde eine deutliche Zunahme der Sommerniederschläge (meist als Starkregen) beobachtet. Im Zeitraum mit Schwarzbrache von November 2006 bis Oktober 2013 war es sehr niederschlagsreich (752 mm), das Jahresmittel der Lufttemperaturen lag bei 9,8°C.

Untersuchungsergebnisse

Verdunstung und Sickerwasserbildung

Seit Beginn der Schwarzbrache im November 2006 resultiert die Höhe der Verdunstung ausschließlich aus der Evaporation. Diese wird durch die meteorologischen Randbedingungen gesteuert, bodenphysikalische Eigenschaften spielen eine untergeordnete Rolle. Auf beiden Böden wird eine vergleichsweise hohe Evaporation gemessen, die jedoch deutlich unter der Verdunstung der bewirtschafteten Referenzlysimeter liegt (*Tabelle 2*).

Infolge der geringeren Verdunstung der Schwarzbrache (November 2006 bis Oktober 2013) erhöhte sich die Sickerwassermenge im Vergleich zur bewirtschafteten Variante, sowohl im Winter- als auch im Sommerhalbjahr. Dabei fällt der Zuwachs an Sickerwasser beim Lößboden entsprechend hoch aus. Im Jahr 2010, mit einem Niederschlag von 933 mm, zeigte sich, dass der vollständig gesättigte tiefgründige Lößboden (LG 9) mehr Sickerwasser liefern kann, als der lehmige Sandboden (LG 9_{Schwarzbrache}: 535 mm, LG 8_{Schwarzbrache}: 456 mm).

Auf den bewirtschafteten Lysimetern (2007: Winterweizen, 2008: Wintergerste, 2009: Winterraps, 2010: Winterweizen, 2011: Wintergerste, 2012: Winterraps, 2013: Winterweizen) wurde im gleichen Zeitraum eine durchschnittliche Verdunstung von 703 mm/Jahr (LG 9: hohe Erträge) bzw. 591 mm/Jahr (LG 8: geringere Erträge) registriert.

Nitrat-Austrag mit dem Sickerwasser

Die im November 2006 begonnene Schwarzbrache bewirkt beim **lehmigen Sand (LG 8)** am Lysimeterauslauf in 3 m Tiefe bereits im Jahr 2007 eine erhebliche Zunahme der Nitratkonzentration im Sickerwasser. Im gesamten 7jährigen Untersuchungszeitraum (außer im Frühjahr 2009 und Winter 2010) liegen die Stickstoff-Frachten deutlich über denen der bewirtschafteten Referenzlysimeter (*Abbildung*

2). So werden mit dem Sickerwasser unter dem Standort mit Schwarzbrache im Zeitraum von November 2006 bis Oktober 2013 im Mittel 114 kg N ha⁻¹a⁻¹ ausgetragen, obwohl als N-Eintrag nur die Deposition (14 kg N/ha/Jahr) von Einfluss ist (*Tabelle 3*). Der summarische Austrag in dieser Zeit betrug 798 kg N/ha (Summe der Deposition 98 kg N/ha).

Der **tiefgründige Löß (LG 9)** ist bei entsprechender landwirtschaftlicher Bewirtschaftung durch hohe Erträge und niedrige N-Salden gekennzeichnet. Daraus resultieren eine hohe Verdunstung, eine sehr geringe, teils fehlende Sickerwasserbildung und letztlich auch sehr geringe N-Austräge mit dem Sickerwasser (*Abbildung 3*).

Auf diesem Standort bewirkt die Schwarzbrache Ende des hydrologischen Jahres 2007 eine Sickerwasserbildung und ab 2008 einen extremen Anstieg der Nitratkonzentration, der bis zum Jahr 2010 anhält. Während bei der bewirtschafteten Variante von 2007 bis 2013 mit dem Sickerwasser jährlich nur 1 kg N/ha ausgetragen werden, sind es im gleichen Zeitraum unter Schwarzbrache 121 kg N/ha/a. Obwohl auch hier als N-Eintrag nur die Deposition (14 kg N/ha/Jahr) von Einfluss ist (*Tabelle 3*). Der summarische Austrag betrug 847 kg N/ha.

Bilanzierung des N-Pools

Beide Standorte liefern unter Schwarzbrache sehr hohe Stickstoff-Frachten, die nicht aus den zeitgleichen Einträgen zu erklären sind. Nachfolgend werden die N-Einträge aus Deposition und Überschuss-Salden den N-Austrägen über das Sickerwasser seit Beginn der Bewirtschaftung im Jahr 1981 gegenüber gestellt.

Wie aus *Abbildung 4* hervorgeht, summieren sich die N-Einträge (mineralisch/organische Düngung minus Pflanzenentzug) beim **lehmigen Sand (LG 8)** von 1981 bis zum Beginn der Schwarzbrache im Jahr 2006 auf rd. 2400 kg/ha (1500 kg/ha aus N-Salden plus 900 kg/ha aus N-Deposition). Dem steht von 1981 bis 2006 ein summarischer N-Austrag von nur 800 kg/ha gegenüber. Demzufolge verblieben im Verlauf der Bewirtschaftung von 1981 bis zum Jahr 2006 knapp 70 % der eingetragenen N-Mengen (1600 kg N/ha) im Boden. Werden mögliche gasförmige Emissionen berücksichtigt, reduziert dies bilanzseitig die im Boden verbliebenen N-Mengen. So schätzt FELDWISCH (1999) die auf den Einsatz von Mineraldüngern zurückzuführende durchschnittliche, jährliche N-Emissionsrate auf 3,8 bis 7,6 kg N/ha. Bei einer angenommenen jährlichen Rate von 7,6 kg N/ha summieren sich die Verluste innerhalb von 26 Jahren auf rd. 200 kg/ha.

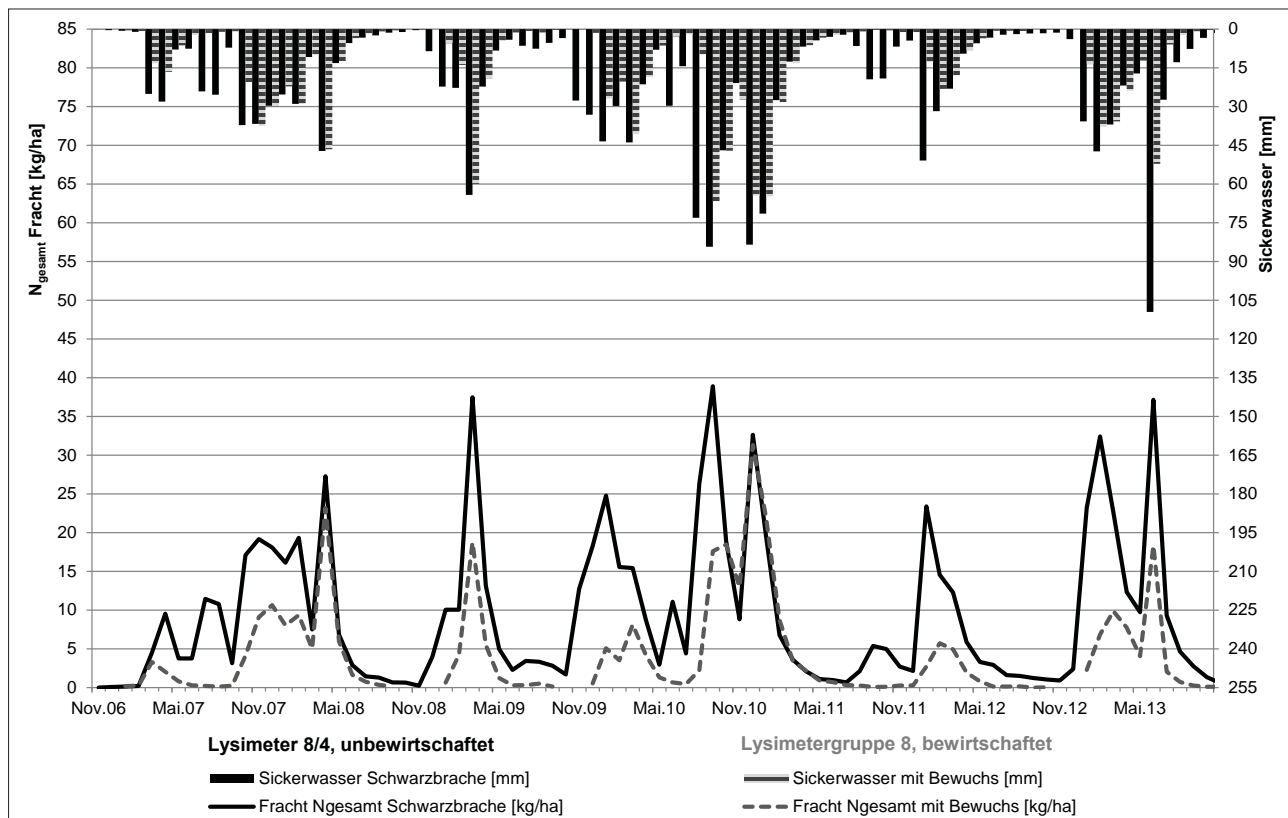


Abbildung 2: Monatswerte von Sickerwassermenge und N_{gesamt} -Austrag in 3 m Tiefe unter lehmigem Sand (LG 8) bei Schwarzbrache und bei landwirtschaftlicher Bewirtschaftung.

Tabelle 3: Deposition, N-Düngung, N-Pflanzenentzug und N-Austrag mit dem Sickerwasser in 3 m Tiefe von Schwarzbrache im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Böden der Station Brandis von November 2006 bis Oktober 2013.

Jahresmittelwerte [kg N/ha/Jahr]	lehmiger Sand (LG 8)		tiefgründiger Löß (LG 9)	
	Schwarzbrache	mit Bewuchs	Schwarzbrache	mit Bewuchs
Deposition	14	14	14	14
Düngung (mineralisch)	-	160	-	150
Pflanzenentzug	-	93	-	140
Austrag mit dem Sickerwasser in 3 m Tiefe	114 / 99*	47 / 73*	121 / 37*	1 / 8*

* ArcEGMO-PSCN Simulationswert

Ab 2006 entfällt auf der Schwarzbrache der bewirtschaftungsbedingte N-Saldo (Düngung minus Pflanzenentzug) und als N-Eintrag ist bis Oktober 2013 nur noch die Deposition (in Höhe von rd. 100 kg N/ha) wirksam. Trotzdem wird in diesem Zeitraum mit dem Sickerwasser soviel Stickstoff ausgetragen (798 kg/ha) wie im gesamten Zeitraum von 1981 bis zum Beginn der Schwarzbrache (800 kg/ha). Unterliegt der Boden dagegen weiterhin einer landwirtschaftlichen Bewirtschaftung werden von November 2006 bis Oktober 2013 in Summe nur 329 kg N/ha (im Mittel 47 kg N/ha/a) ausgewaschen.

Auf dem **Lößboden** (LG 9) summiert sich der bewirtschaftungsbedingte N-Eintrag von 1981 bis zum Beginn der Schwarzbrache auf Grund der zahlreichen Jahre mit negativem N-Saldo nur auf rd. 100 kg N/ha (Abbildung 5). Der summarische N-Eintrag über die Deposition schlägt auch hier bis 2006 mit 900 kg/ha zu Buche, die geschätzte N-Emission mit rd. 200 kg/ha.

Obwohl der N-Eintrag vor Beginn der Schwarzbrache sehr gering war, ist der summarische, sickerwassergebundene N-Austrag während der Schwarzbrache in Höhe von 847 kg N/ha unter dem tiefgründigen Löß (LG 9) noch größer als beim lehmigen Sand (LG 8). Bilanzseitig rekrutiert sich dieser N-Austrag ausschließlich aus den Einträgen über die Deposition.

Simulationsergebnisse

Im Fokus der Modellierung mit dem ökohydrologischen Modell ArcEGMO-PSCN standen der Wasserhaushalt, der N-Umsatz und N-Transport mit dem Sickerwasser. Für beide Böden mit Schwarzbrache konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen simulierten und gemessenen Verdunstungs- und Sickerwassermengen, sowohl hinsichtlich der Jahressummen, als auch der zeitlichen Dynamik erreicht werden (Tabelle 2, Abbildung 6 und 7). Trotz unterschied-

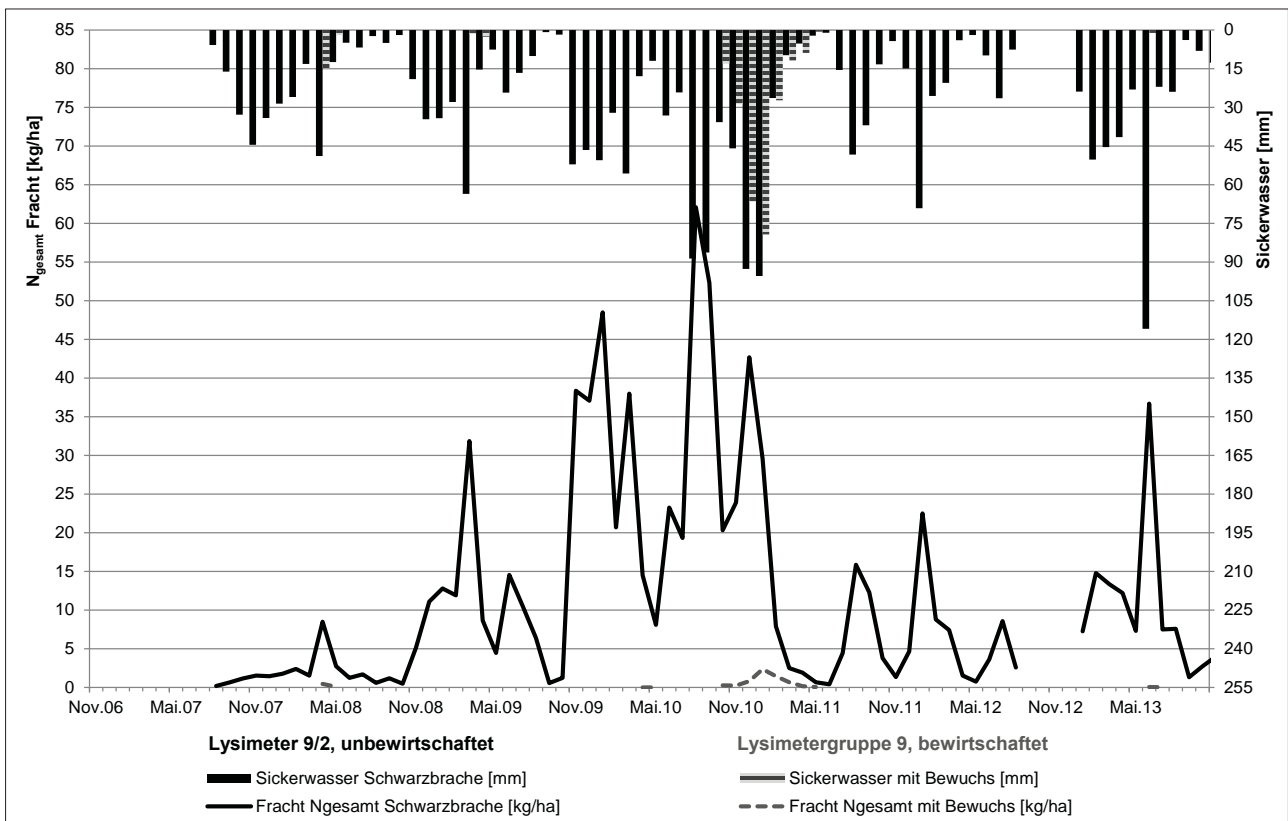


Abbildung 3: Monatswerte von Sickerwassermenge und N_{gesamt} -Austrag in 3 m Tiefe unter tiefgründigem Löß (LG 9) bei Schwarzbrache und bei landwirtschaftlicher Bewirtschaftung.

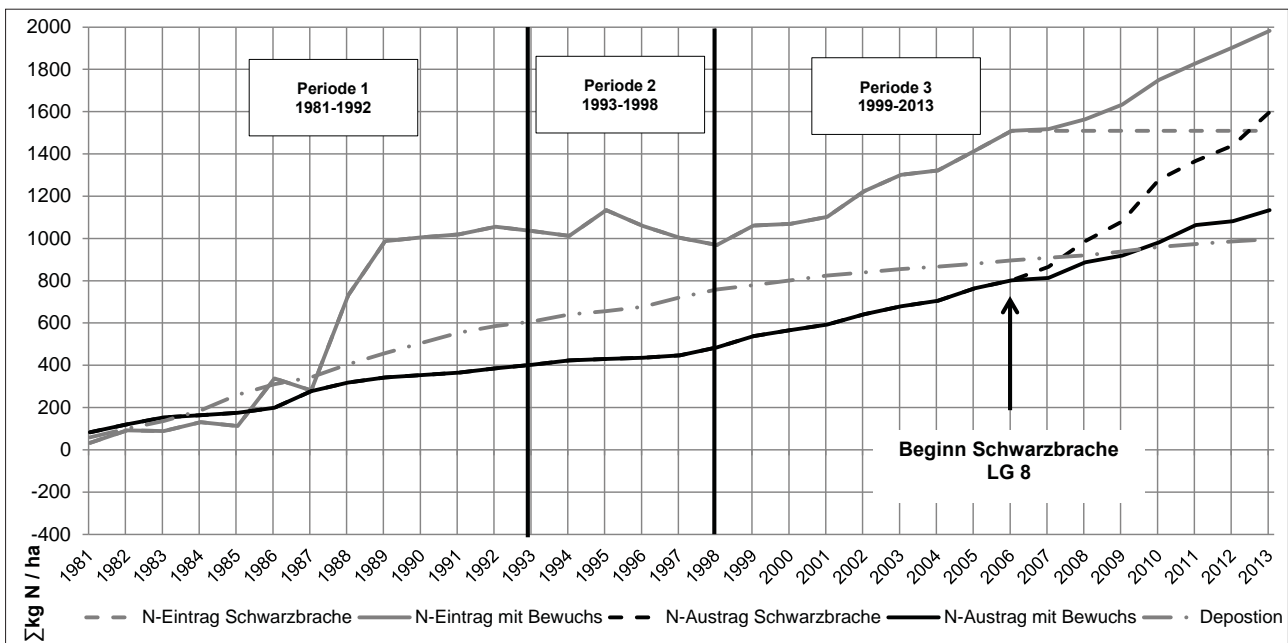


Abbildung 4: Summenkurven von atmosphärischer N-Deposition, bewirtschaftungsbedingtem N-Eintrag und N-Austrag in 3 m Tiefe bei einem lehmigen Sand (LG 8) - ein Lysimeter seit November 2006 als Schwarzbrache.

licher Bodeneigenschaften sind die Verdunstungsmengen unter Schwarzbrache für LG 8 und LG 9 auf gleichem Niveau, mit deutlichen Unterschieden zur Verdunstung

der landwirtschaftlichen Bestände. Bei Bewuchs wird die reale Verdunstung auf dem tiefgründigen Löß (LG 9) unter- und die Sickerwasserspense entsprechend überschätzt.

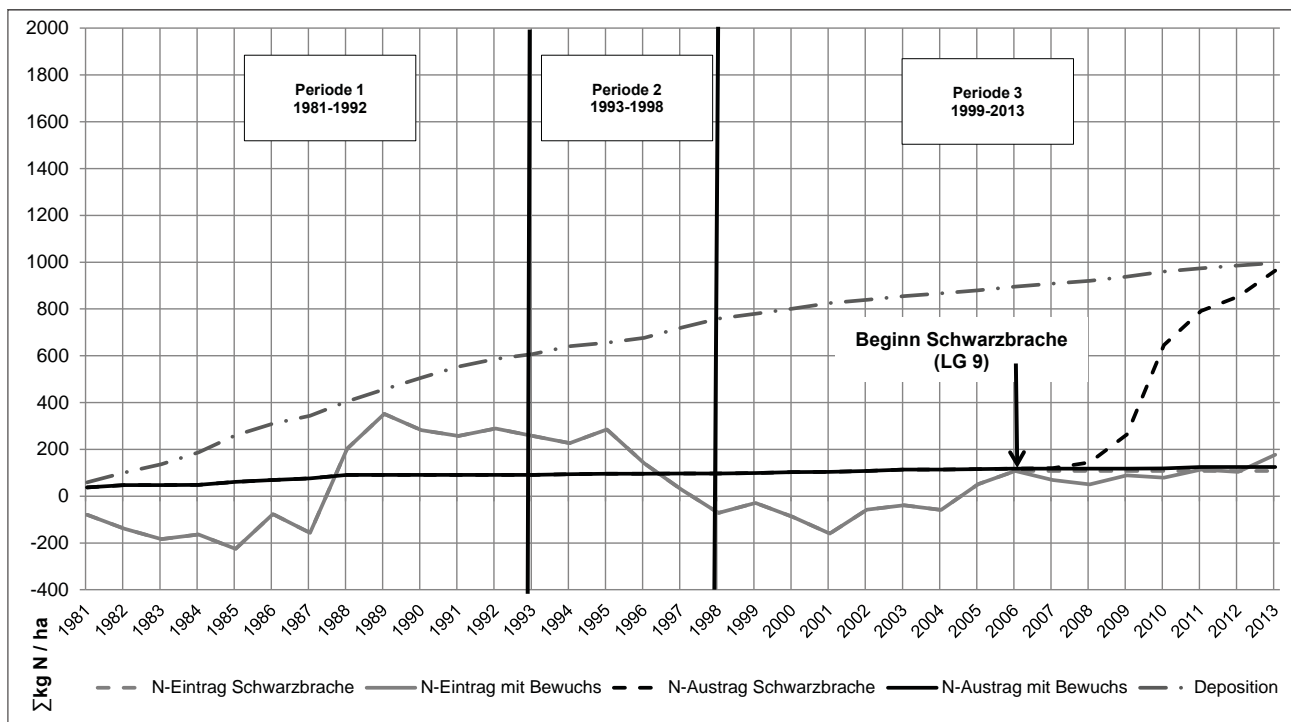


Abbildung 5: Summenkurven von atmosphärischer N-Deposition, bewirtschaftungsbedingtem N-Eintrag und N-Austrag in 3 m Tiefe bei einem tiefgründigen Löß (LG 9) - ein Lysimeter seit November 2006 als Schwarzbrache.

Wie schon in vorangegangenen Untersuchungen festgestellt (KLÖCKING et al. 2013), erfordern die besonderen Wachstumsbedingungen auf diesem ertragsstarken Standort eine Spezifizierung der im Modell genutzten allgemeinen Vegetationsparameter.

Infolge der Schwarzbrache kommt es bei den simulierten Stickstofffrachten zu einem deutlichen Anstieg. Der Unterschied zwischen bewirtschafteten Lysimetern und Schwarzbrache ist jedoch deutlich geringer als beobachtet (s. Tabelle 3). Die Übereinstimmung zwischen simulierten und beobachteten N-Austrägen ist beim lehmigen Sand (LG 8) besser als beim Lößboden (LG 9), auch wenn diese in der ersten Phase nach der Stilllegung durch das Modell überschätzt werden (Abbildung 6). Da die beiden bewirtschafteten Lysimeter der LG 8 sehr unterschiedliche N-Austragsraten trotz eigentlich identischer Standortbedingungen aufweisen, wurde zugunsten der Übersichtlichkeit auf deren Darstellung in Abbildung 7 verzichtet.

Beim Löß (LG 9) werden die Stickstoffausträge im Zeitraum von zwei bis vier Jahren nach Beginn der Brache durch das Modell unterschätzt (Abbildung 7).

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die langjährigen Untersuchungen in der Lysimeteranlage Brandis zeigen auch für mehrjährige Salden kaum einen Zusammenhang zwischen aktueller Bewirtschaftung (Höhe der N-Salden) und Höhe der N-Mengen, die in Richtung Grundwasser verlagert werden (KLÖCKING et al. 2013, KNOBLAUCH et al. 2013). Die Höhe der in 3 m Tiefe gemessenen N-Austräge lässt sich nur erklären, wenn auch Veränderungen des N-Pools der Böden Berücksichtigung

finden. Auf Grund der praxisorientierten Bewirtschaftungsformen, die nacheinander realisiert wurden, kann nicht von einem Fließgleichgewicht der C/N-Vorräte ausgegangen werden. Die N-Gehalte variieren standortbezogen und in Abhängigkeit von den jährlichen hydrologischen Bedingungen, aber vor allem sehr langfristig als Folge veränderter Bewirtschaftung, wie es bei den vorgestellten Untersuchungen der Fall war. Deshalb bedarf es sowohl für die Bewertung der N-Salden als auch zur Erklärung der gemessenen N-Austräge mit dem Sickerwasser, detaillierter Kenntnisse über die Wirkung des N-Pools der Böden.

Die mehrjährige Schwarzbrache bewirkte auf beiden Böden eine deutliche Veränderung des Bodenwasser- und Stickstoffhaushaltes. Das Fehlen der Transpiration führte zu höheren Bodenwassergehalten und zur verstärkten Mobilisierung des mineralischen N-Pools durch die höheren Sickerwasserraten. Bei einem hohen Wasserdargebot werden Bereiche des Bodenprofils durchströmt, die sonst selten am Transport und der Befruchtung des Sickerwassers beteiligt sind.

Gleichzeitig erhöht sich die Stickstoffmineralisierung, da die Bedingungen für den mikrobiellen C/N-Umsatz im Oberboden günstiger sind, als unter einem abschattenden Bestand (höhere Bodenfeuchten und Bodentemperaturen). Eine Erweiterung des Messprogramms zur besseren Unter- setzung dieser Entwicklungen ist geplant.

Ziel der versuchsbegleitenden Berechnungen mit dem Modell ArcEGMO-PSCN ist es, die mittels Lysimeteruntersuchungen aufgezeigten Entwicklungen detailliert zu quantifizieren. Die Berechnungen zeigen, dass ein Teil des organischen N-Pools durch Mineralisierung wieder pflan-

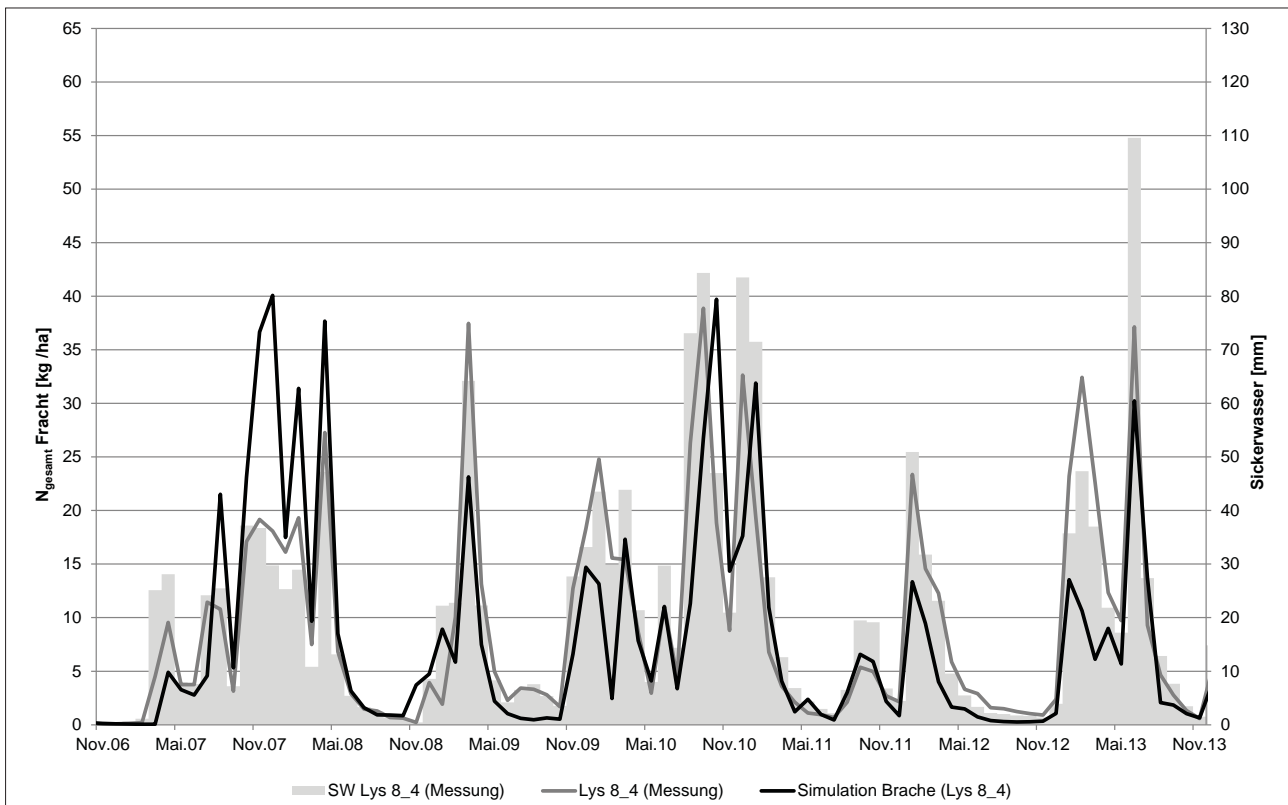


Abbildung 6: Simulierte und gemessene N_{gesamt} -Austräge in 3 m Tiefe bei einem lehmigen Sand (LG 8) bei Schwarzbrache mit Sickerwasserdynamik.

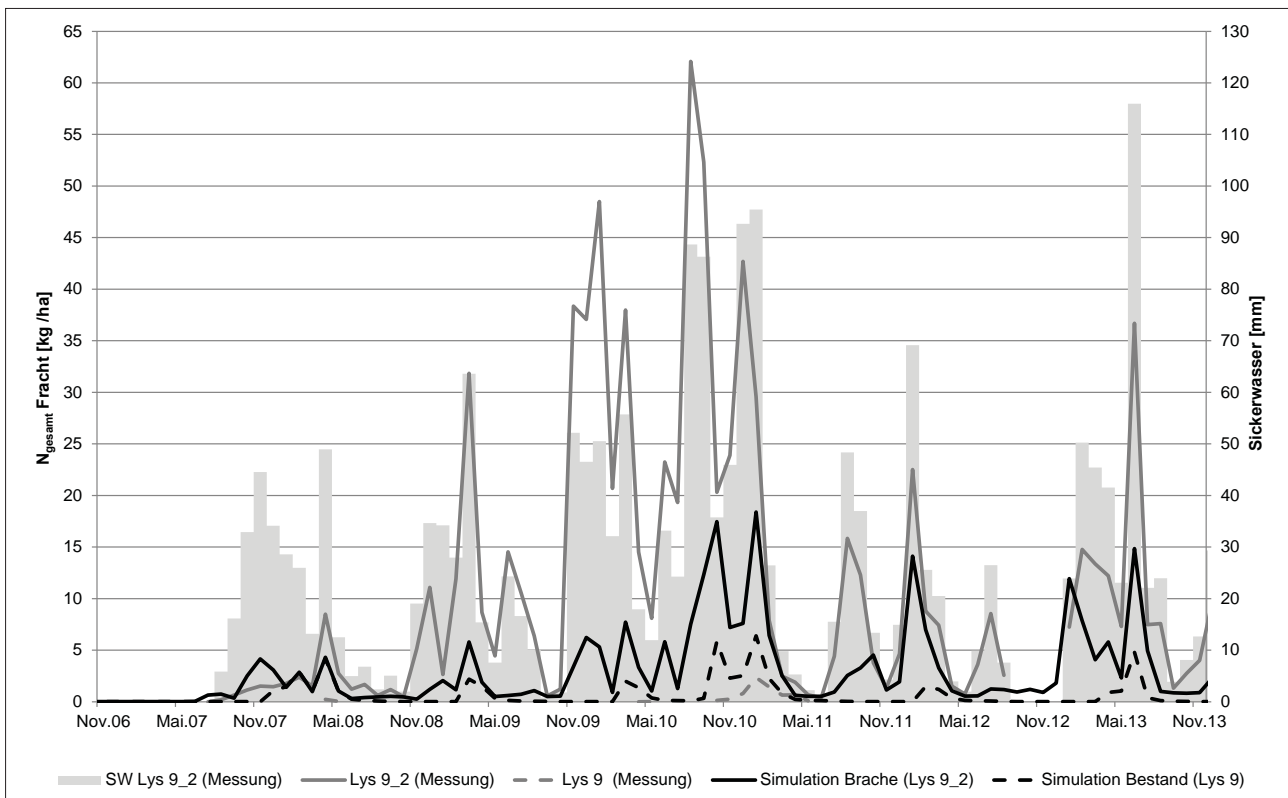


Abbildung 7: Simulierte und gemessene N_{gesamt} -Austräge in 3 m Tiefe unter tiefgründigem Löß (LG 9) bei Schwarzbrache und bei Bewirtschaftung und gemessene Sickerwasserdynamik unter Schwarzbrache.

zenverfügbar wird, aber nur anteilig und standortabhängig durch den aufwachsenden Pflanzenbestand verwertet werden kann. Ein großer Anteil des NO_3/NH_4 geht in Lösung und wird dann vor allem während der Schwarzbrache verstärkt ausgewaschen. Defizite bei der Modellierung zeigen sich beim Lößstandort. Auf Grund des großen Bodenwasserspeichers weist er unter den gegebenen klimatischen Bedingungen sehr spezielle Eigenschaften in Bezug auf das Pflanzenwachstum auf und zeigt bei Schwarzbrache eine außergewöhnlich hohe Wasserleitfähigkeit und N-Auswaschung. Hier bedarf es weiterer Untersuchungen der Bodensubstanz, um eine adäquate Abbildung der Wachstums-, N-Transport- und N-Umsatzprozesse dieses Standortes im Modell zu erreichen.

Literatur

- BECKER, A., B. KLÖCKING, W. LAHMER and B. PFÜTZNER, 2002: The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: *Mathematical Models of Large Watershed Hydrology* (Eds.: Singh, V.P. and Frevert, D.K.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado, 321-384. ISBN 1-887201-34.
- FELDWISCH, N., 1999: Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. ecomed Verlagsgesellschaft. In: Frede, H.-G., Dabbert, S. (Hrsg.) ISBN: 3-609-65272-1.
- HAFERKORN, U., K. MÜLLER, U. MELLENTIN und J. FAHL, 2003: Möglichkeiten und Grenzen der Stofftransportmodellierung (Nitrat) am Beispiel des Parthegebietes, UFZ-Bericht, Nr. 14, 87 Seiten. ISSN 0948-9452.
- KLÖCKING, B., 2009: Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebietsmodells ArcEGMO, [online verfügbar: <http://www.arcegmo.de/PSCN.pdf>].
- KLÖCKING, B., U. HAFERKORN, F. REINICKE und H. IHLING, 2013: Abschätzung künftiger Entwicklungen des Grundwassers hinsichtlich Menge und Beschaffenheit - Modellierung und Lysimeterbeobachtungen. 15. Gumpensteiner Lysimetertagung, ISBN-13: 978-3-902559-90-6, 63-68.
- KNOBLAUCH, S. (Hrsg.), 2013: Kooperation Lysimeter- Mehrländerprojekt, Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung. [online verfügbar: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/20214>].
- PFÜTZNER, B. (Hrsg.), 2002: Modelldokumentation ArcEGMO. Online 2002. <http://www.arcegmo.de>. ISBN 3-00-011190-5.