

Sind die Wirkungen des Klimawandels auf den Boden anhand von Langzeit-Lysimeteruntersuchungen nachweisbar?

Janine Köhn^{1*}, Ralph Meißner^{2,3}, Holger Rupp³ und Frido Reinstorf¹

Zusammenfassung

Die Veränderung der meteorologischen Situation durch den Klimawandel wirkt sich langfristig auf den Wasser- und Nährstoffhaushalt des Bodens aus. Um eventuell bereits heute erkennbare Tendenzen festzustellen, wurden die Sickerwasser- und Nährstoffausträge von nicht wägbaren Grünlandlysimetern der UFZ-Lysimeterstation Falkenberg in Sachsen-Anhalt untersucht. Die von 1984 bis 2015 aufgenommenen Messreihen wurden mithilfe von verschiedenen statistischen Tests analysiert. Dabei zeigten sich in einem 31-jährigen Zeitraum trotz steigender Lufttemperaturen und Evaporation, noch keine statistisch signifikanten Trends. Entgegen der Erwartung nahm die Sickerwasserrate sogar tendenziell zu, während die Stickstoff- und Phosphorausträge insgesamt abnahmen.

Schlagwörter: Klimawandel, Trend, Bodenwasserrückhalt, Nährstoffrückhalt

Summary

It is postulated that climate change will affect the water and solute balance of soils. To check this hypothesis long-term data sets regarding leaching behaviour and nutrient seepage from non-weighable grassland lysimeters from the UFZ-Lysimeter station Falkenberg have been investigated. The time series of measurements from 1984 to 2015 were analysed by using different statistical tests. In a 31-year period air temperature and evapotranspiration increased significantly, but no significant trends could be found in seepage water and nutrient leaching. Contrary to the expectations the rates of seepage water amount increased slightly while the discharge of nitrogen and phosphorous decreased.

Keywords: climate change, trend, soil water retention, nutrient retention

Einleitung

Der Boden erfüllt wichtige Funktionen für Mensch und Umwelt. Er dient unter anderem als Speicher- und Regulationsmedium für Wasser und Nährstoffe sowie als Lebensraum für Pflanzen und Bodenorganismen. Er ist damit für die Wasser-, Land- und Forstwirtschaft eine der wichtigsten Ressourcen. Veränderungen seiner Eigenschaften gilt es möglichst frühzeitig zu erkennen, um mittel- und langfristig durch angepasstes Ressourcenmanagement reagieren zu können. Die Bodeneigenschaften zu denen z.B. die Bodenqualität und -aktivität gehören, sind in großem Maße von den klimatischen Bedingungen abhängig (Scheffer & Schachtschabel 2002). Insbesondere die Temperatur und der Niederschlag sind bestimmende Faktoren für die Bodenentwicklung (Blum 2005). Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden sind daher Gegenstand der aktuellen Forschung. Die Bodenveränderungen sind aufgrund regionaler und lokaler Prozesse jedoch schwierig abzuschätzen (Yadav & Malanson 2007). Prognosen für das Bundesland Sachsen-Anhalt gehen unter anderem von einem veränderten Bodenwasser- und Nährstoffhaushalt aus (Kropp & Roithmeier et al. 2009). Aktuelle Untersuchungen deuten auf eine zukünftig verringerte Bodenwasserverfügbarkeit hin, wobei insbesondere im Frühjahr und Sommer

mit einer steigenden Bodenwasserzehrung zu rechnen ist (Fischer et al. 2007). Auch werden Verringerungen des Anteils organischer Bodensubstanz und eine damit verbundene Senkung der Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit prognostiziert (Mathews 2011). Mit Hilfe von Daten aus Langzeit-Lysimeteruntersuchungen soll geprüft werden, ob solche Tendenzen bereits zu erkennen sind. Für die Untersuchung wurden meteorologische Daten (Temperatur, Niederschlag) sowie die Messdaten zweier Grünlandlysimeter (Sickerwasser- und Nährstoffaustrag) im Zeitraum von 1984 bis 2015 herangezogen. Die genannten Parameter wurden mithilfe verschiedener statistischer Tests ausgewertet. Ziel der Auswertung war es, Tendenzen des langjährigen Verhaltens des Sickerwasser- und Nährstoffaustrags zu ermitteln und die daraus resultierenden Bodenentwicklungen unter dem Aspekt der klimatischen Veränderungen zu interpretieren.

Material und Methoden

Die Untersuchungen fanden an der vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ betriebenen Lysimeterstation Falkenberg in Sachsen-Anhalt statt (52°51'N, 11°48'E). Für die Trendanalyse wurden zwei nicht wägbare, manuell befüllte Lysimeter (Oberfläche = 1 m²; Tiefe = 1,25 m) un-

¹ Hochschule Magdeburg Stendal, Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit, Lehrgebiet Hydrologie und Geographische Informationssysteme, Breitscheidstraße 2, D-39114 MAGDEBURG

² Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Naturwissenschaftliche Fakultät III, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Julius-Kühn-Straße 23, D-06112 HALLE (Saale)

³ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Lysimeterstation, Falkenberg 55, D-39615 ALTMÄRKISCHE WISCHE

* Ansprechpartner: Janine Köhn, janine.koehn@hs-magdeburg.de



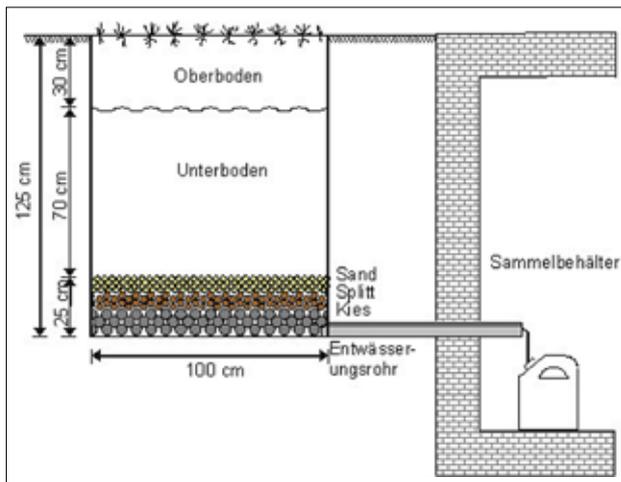


Abbildung 1: Schema des verwendeten Grünlandlysimeters (Godlinski 2005).

tersucht, welche mit einem lehmigen Sandboden gefüllt sind (Abbildung 1). Die Lysimeter werden als echte Wiederholungen mit einer differenzierten Grünlandnutzung betrieben. Kontinuierlich erfasste Daten sind die Erntezeitpunkte, die Bodenbearbeitung, die Art, Menge und Zeitpunkt der Düngung sowie die Grünschnitterträge und Nährstoffzüge (Meissner et. al 2010). Das aus den Lysimetern austretende Sickerwasser wird in Sammelbehältern aufgefangen und in einem monatlichen Turnus beprobt. Daten zu Menge und Beschaffenheit des Sickerwassers werden seit 1982 dokumentiert. Aufgrund der Bodenkonsolidierung in den ersten beiden Jahren nach der Befüllung wurde die Auswertung für den Zeitraum von 1984 bis 2015 vorgenommen. Als Parameter für die statistischen Untersuchungen wurden die Sickerwassermenge, der Austrag von Gesamtstickstoff (N_{ges} = Summe aus Nitrat- ($\text{NO}_3\text{-N}$), Nitrit- ($\text{NO}_2\text{-N}$), Ammonium- ($\text{NH}_4\text{-N}$) und Gesamtphosphor (P_{ges}) genutzt.

Parallel zu den Boden- und Nutzungsparametern wurden meteorologische Daten ausgewertet. Niederschlag, Luft- und Bodentemperatur (Bodentemperatur in 5 cm, 10 cm, 20 cm und 50 cm Tiefe), Luftdruck, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Sonnenscheindauer stammten dabei aus der ca. 8 km entfernt liegenden Meteorologischen Station Seehausen (Altmark) des Deutschen Wetterdienstes

(DWD). Diese lagen als Tageswerte von 1977 bis 2015 vor (Bodentemperatur ab 1992).

Für die primärstatistische Auswertung sind Zeitreihenanalysemethoden (gleitendes Mittel, lineare Regression), Häufigkeitsverteilungen und Signifikanztests (Mann-Kendall) durchgeführt worden. Diese Trendtests sind auf die jährlichen, halbjährlichen und monatlichen Lysimeterdaten und meteorologischen Daten angewendet worden. Um saisonale Effekte zu berücksichtigen, sind die jeweils gleichnamigen Monate miteinander verglichen worden (z.B. Januar 1984 mit Januar 1985 usw.). Für die Ermittlung der Signifikanz wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit α von 0,05 gewählt. Die Ergebnisse wurden in Signifikanzbereiche unterteilt: Eine berechnete Überschreitungswahrscheinlichkeit $p \geq 0,05$ wurde mit „nicht signifikant“, $0,05 > p > 0,01$ mit „signifikant“, $0,01 > p > 0,001$ mit „hoch signifikant“ und $p < 0,001$ mit „höchst signifikant“ bezeichnet (Kropp & Roithmeier et al. 2009).

Ergebnisse und Diskussion

Lufttemperatur

Am Standort Seehausen lag im Untersuchungszeitraum das jährliche Temperaturmittel bei $9,1^\circ\text{C}$, im Sommerhalbjahr bei $14,8^\circ\text{C}$ und im Winterhalbjahr bei $3,4^\circ\text{C}$ (Tabelle 1). Bei einer Betrachtung der mittleren jährlichen und halbjährlichen Lufttemperaturen konnte ein hoch signifikant ansteigender Trend beobachtet werden, im Sommerhalbjahr sogar höchst signifikant (Abbildung 2). Dabei wurde es im untersuchten Zeitraum insgesamt um $1,6^\circ\text{C}$ (d.h. $0,4^\circ\text{C}$ pro Dekade) wärmer. Besonders stark (höchst signifikant) stiegen die April-Temperaturen, im Vergleich zu 1977 um $3,7^\circ\text{C}$. Auch in den Sommermonaten (Juni bis August) konnten signifikante bis hoch signifikante Temperaturerhöhungen nachgewiesen werden.

Die jährlich und monatlich stark steigenden Lufttemperaturen an der Station Seehausen korrespondieren mit den global und lokal in Sachsen-Anhalt beobachteten und prognostizierten Trends (Spekat 2015, Kropp & Roithmeier et al. 2009). Klimaprognosen gehen davon aus, dass es dadurch zukünftig zu einer verstärkten Zehrung des Bodenwassers kommen wird, insbesondere im Frühjahr und Sommer

Tabelle 1: Mittelwerte und Trend der Klima- und Bodenparameter an der DWD Station Seehausen und der Lysimeterstation Falkenberg.

	Seehausen (1977-2015)		Falkenberg* ¹ (1985-2015)		
	Mittelwert Lufttemp. [°C]	Summe Niederschlag [mm]	Summe SWR [mm]	Summe N_{ges} -Austrag [kg/ha]	Summe P_{ges} -Austrag [g/ha]
Jahresmittel	9,1	560	86	4,6	36,4
Sommerhalbjahresmittel	14,8	314	3	0,2	0,5
Winterhalbjahresmittel	3,5	245	82	4,5	35,9
Mittel Frühjahr (März-Mai)	8,7	41	13	2,2	11,3
Mittel Sommer (Juni-August)	17,4	59	0	0,0	0,1
Jährl. Trend (Mann-Kendall)	+++	+	+	-	+

*¹ Auswertung Lysimeter 1

Legende: +++ Hoch signifikant steigend
 ++ Signifikant steigend
 + Steigend (nicht signifikant)
 --- Hoch signifikant sinkend
 -- Signifikant sinkend
 - Sinkend (nicht signifikant)

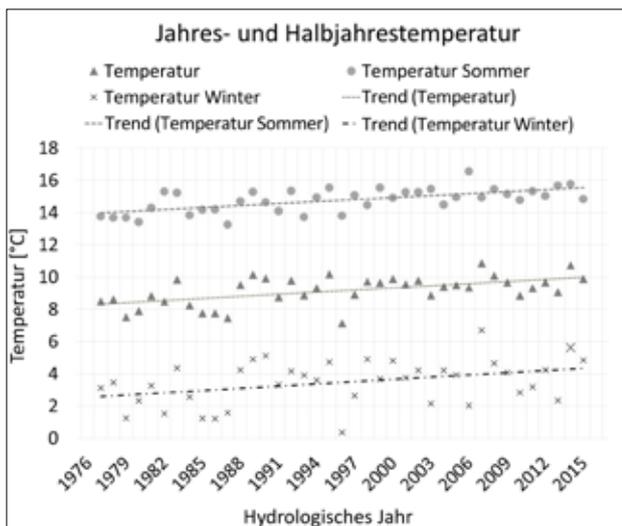


Abbildung 2: Jahres- und Halbjahrestemperaturen der Station Seehausen mit linearen Trend.

Tabelle 2: Mittlere Jahres- und Halbjahresbodentemperaturen in vier Tiefen.

	Bodentemperatur			
	5 cm Tiefe [°C]	10 cm Tiefe [°C]	20 cm Tiefe [°C]	50 cm Tiefe [°C]
Jahr	10,9	10,8	10,8	10,8
Sommer	17,5	17,4	17,1	16,4
Winter	4,1	4,2	4,4	5,0
Jährl. Trend (Mann-Kendall)	+	+	+	++

Legende: ++ Signifikant steigend
+ Steigend (nicht signifikant)

(Rowell & Jones 2006). Zusätzlich kann infolge fehlender Niederschläge und geringer Bodenwasserverfügbarkeiten vermehrt Trockenheit auftreten.

Bodentemperatur

Die mittlere Jahresbodentemperatur lag im Untersuchungszeitraum bei etwa 10,8°C. Im langjährigen Mittel unterschieden sich die Temperaturen mit zunehmender Tiefe kaum. Halbjährlich kam es zu einem mittleren Temperaturunterschied von etwa 1°C zwischen der oberen und unteren Bodentiefe (Tabelle 2). Für die unterschiedlichen Tiefen konnten über den Beobachtungszeitraum mit Hilfe des Mann-Kendall-Tests durchweg ansteigende Tendenzen ermittelt werden. In 50 cm Tiefe war diese sogar signifikant. Die mittleren monatlichen Werte deuten darauf hin, dass insbesondere die Herbstmonate von Veränderungen betroffen gewesen sind. Vor allem im November wurden in 10 cm, 20 cm und 50 cm signifikant steigende Bodentemperaturen beobachtet. Auch für den September und Oktober konnten in 20 cm und 50 cm Tiefe signifikante Erhöhungen ermittelt werden. In diesem Zusammenhang wurde auch eine Verringerung der Frosttage im Boden beobachtet (Abbildung 3). Demgegenüber war die Anzahl an warmen Tagen, d.h. Tage mit einem (mittleren Tages-)Temperaturoptimum von 20-30°C (Musso 2007) (optimales Pflanzenwachstum unter der Voraussetzung einer ausreichenden Wasserversorgung), kaum von Veränderung betroffen.

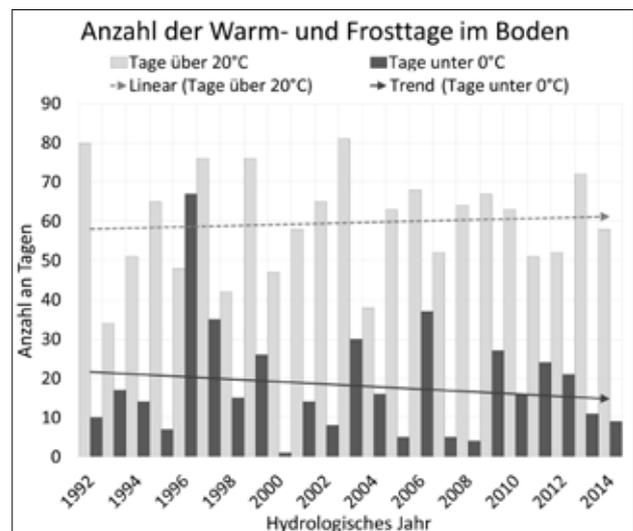


Abbildung 3: Anzahl der Warm- (Tagesmitteltemperatur > 20°C) und Frosttage (Tagesmitteltemperatur < 0°C) im Boden (10 cm).

Für die Auswertung der Bodentemperaturen standen 23 Beobachtungsjahre zur Verfügung. Für eine statistische Auswertung ist dieser Zeitraum vergleichsweise kurz. Die nachfolgenden Auswertungen sind daher als Orientierung zu betrachten. Für die Bodentemperatur konnte im Gegensatz zur Lufttemperatur ein nur wenig signifikanter Trend festgestellt werden. Der Boden ist allerdings im Vergleich zur Luft ein träges System, d.h. es ist naturgemäß eine langsamere Reaktion zu erwarten. Auffällig war jedoch, dass Luft- und Bodentemperatur innerhalb des Jahres unterschiedlich reagieren. Wärmere Bodentemperaturen waren vor allem im Herbst zu erwarten. Die Lufttemperaturen stiegen jedoch besonders im Frühjahr und Sommer an. Außerdem konnte man erkennen, dass vor allem die tieferen Bodenschichten von signifikanten Änderungen betroffen waren (s. Tabelle 2). Für die Bodenschicht in 50 cm Tiefe konnten sowohl für das Jahr, als auch für das Sommerhalbjahr signifikant ansteigende Bodentemperaturen beobachtet werden. In der Folge fand eine Verschiebung des Temperaturverhältnisses zwischen Ober- und Unterboden statt. Während in den 90'er Jahren die Jahresmitteltemperatur des Unterboden noch unterhalb der des Oberbodens lag, so wechselte dieses Verhältnis ab 2007 (Abbildung 4). Der Unterboden erwärmte sich also deutlich stärker. Aufgrund des kürzeren Untersuchungszeitraumes wiesen die Ergebnisse jedoch nur eine vorläufige Tendenz auf und sind in Folgeuntersuchungen weiter zu prüfen.

Niederschlag

Im Untersuchungszeitraum herrschte ein mittlerer Jahresniederschlag von 560 mm. Dieser teilte sich in das etwas niederschlagsreichere Sommerhalbjahr mit 314 mm und das Winterhalbjahr mit 245 mm (vgl. Tabelle 1). Im Untersuchungszeitraum konnte keine signifikante Änderung des jährlichen, halbjährlichen und monatlichen Niederschlags festgestellt werden. In der Tendenz nahm der Niederschlag jährlich sowie auch im Sommerhalbjahr zu, im Winterhalbjahr dagegen leicht ab. Dabei sanken die Niederschläge tendenziell im März, April und Juni, während sie im Mai, Juli und August in ähnlichem Maße zunahmen.

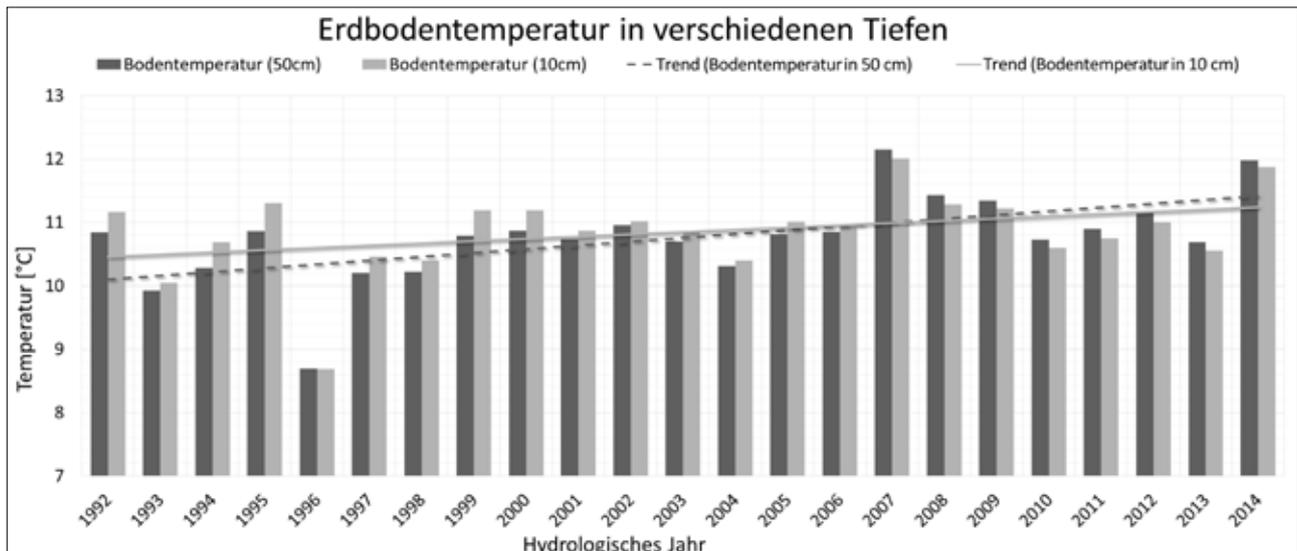


Abbildung 4: Mittlere jährliche Bodentemperaturen in 50 cm und 10 cm Tiefe mit Trendlinie.

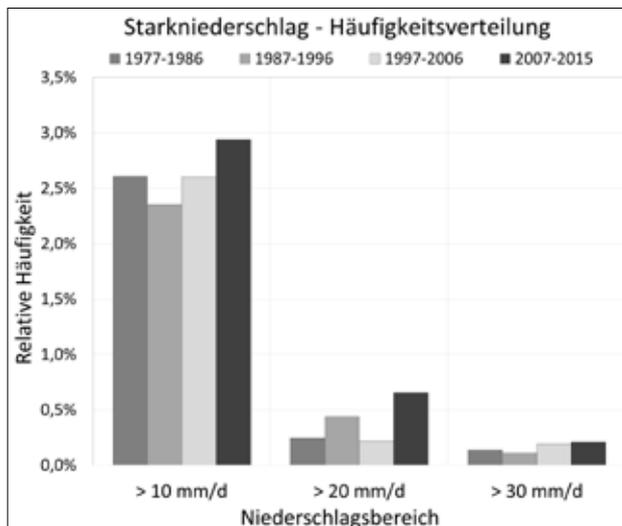


Abbildung 5: Verteilung der Starkniederschlagstage von 1977-2015 in Abschnitten von jeweils 10 Jahren (Niederschlagsbereiche schließen einander aus, d.h. „> 10 mm/d“ größer gleich 10 mm/d und kleiner als 20 mm/d usw.).

Die Auswertung ergab zudem, dass die Anzahl der jährlichen Trockentage (Tage ohne Niederschlag) annähernd konstant geblieben ist. Im Sommer nahmen die Trockentage in den Tendenz minimal um etwa 1 Tag pro Dekade ab. Im Winter nahm die Trockentagzahl um etwa 2 Tage pro Dekade zu. Im Gegensatz zu den Trockentagen, welche im Mittel an 193 Tage im Jahr auftraten, war die Anzahl an Starkniederschlagstagen mit Niederschlagsmengen >10 mm/d (Spekat 2015) deutlich geringer. Sie betrug etwa 12 Tage im Jahr. Grundsätzlich konnte eine Erhöhung der Starkniederschlagstage festgestellt werden, welche jedoch nicht signifikant war. Besonders in dem Bereich >20 mm/d war der Anstieg am deutlichsten zu erkennen (Abbildung 5).

Im Gegensatz zu den Klimaprognosen konnten für den Untersuchungsraum aktuell noch keine deutlichen Veränderungen im Niederschlagsverhalten festgestellt werden. Interessant war jedoch die Beobachtung der steigenden



Abbildung 6: Sickerwasserrate (Sommer- und Winterhalbjahr) mit Jahrestrend und Niederschlag.

halbjährlichen Sommerniederschläge, obwohl in einigen Klimamodellen (z.B. WETTREG (Kropp & Roithmeier et al. 2009)) sinkende Niederschläge im Sommer prognostiziert werden. Aktuell zeichnen sich somit für den Raum Seehausen feuchtere Bedingungen im Sommer und trockenere Bedingungen im Frühjahr ab. Zudem kam es in den letzten 30 Jahren häufiger zu Starkniederschlagsereignissen.

Sickerwasser

Die mittlere jährliche Sickerwasserrate der untersuchten Grünlandlysimeter betrug 86 mm. Diese wurde, wie für den mitteleuropäischen Raum üblich, hauptsächlich im Winter und Frühjahr gebildet. Im Winterhalbjahr lag die Rate bei durchschnittlich 83 mm, im Sommerhalbjahr bei 3 mm. In den Monaten Juni bis Oktober fand aufgrund der hohen Verdunstung kaum Sickerwasserbildung statt. Jährlich, halbjährlich und monatlich war für die Menge an Sickerwasser kein signifikanter Trend erkennbar. In der Tendenz nahm jedoch die Sickerwassermenge jährlich sowie im

Winterhalbjahr leicht zu (*Abbildung 6*). Im Sommerhalbjahr war dagegen eine Reduktion zu beobachten. Differenziert betrachtet, fand eine nicht signifikante Abnahme vor allem im Frühjahr, besonders in den Monaten April und Mai statt. Ein nicht signifikanter Anstieg der Sickerwasserrate war von November bis Januar zu beobachten.

Die Sickerwassermenge spiegelt die Wechselwirkungen von Temperatur bzw. Evapotranspiration und Niederschlag wieder. Da sich über einen langen Zeitraum die steigenden Niederschläge und die signifikant wärmeren Lufttemperaturen bzw. die dadurch verursachte höhere Verdunstung ausglich, konnte bisher kein signifikanter Trend bezüglich der Sickerwassermenge beobachtet werden. Infolgedessen war die untersuchte Sickerwassermenge im Raum Falkenberg trotz eines klimatischen Wandels langfristig nur wenig von Veränderung betroffen. Prognosen deuteten jedoch im Bereich des Flämings (Sachsen-Anhalt) zukünftig auf einen Rückgang der Sickerwasserrate hin (Paul 2014). In den Frühlingsmonaten zeichnete sich an den Falkenberger Lysimetern aufgrund der höheren Temperatur und des sinkenden Niederschlags eine leichte Abnahme der Sickerwassermengen ab. Im Gegensatz dazu war im Winterhalbjahr auffällig, dass trotz deutlich steigender Temperaturen und sinkender Niederschläge, die Sickerwasserrate nicht abnahm, sondern

tendenziell sogar anstieg. Dies könnte mit der Abnahme der Frosttage zusammenhängen, d.h. durch einen seltener gefrorenen Boden mehr Wasser versickert. Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes im Sommerhalbjahr, speziell in den Monaten Juni bis September, waren jedoch aufgrund der geringen Sickerwassermengen kaum zu erfassen. Aufgrund der höheren Verdunstung im Sommer fand hier hauptsächlich eine Zehrung des Bodenwasservorrats statt, welche jedoch messtechnisch bisher nicht nachgewiesen werden konnte. Zukünftig soll dies mit Hilfe einer Wasserhaushaltsbilanzrechnung geprüft werden.

Stickstoffaustrag

Stickstoffaustragsmengen sind in hohem Maße vom Sickerwasser abhängig. So waren in den Monaten, in denen keine bzw. nur geringfügig Sickerwasser gebildet wurde, entsprechend kein bzw. geringe Nährstoffausträge zu beobachten. Der mittlere Stickstoffaustrag (N_{ges}) lag bei 4,6 kg/ha. Hauptsächlich fand ein Austrag im Winterhalbjahr mit durchschnittlich 4,4 kg/ha statt. Im Sommerhalbjahr wurden im Mittel 0,2 kg/ha Stickstoff aus dem Boden ausgetragen. Für die jährlichen und halbjährlichen Austragsmengen sind keine signifikanten Änderungen ermittelt worden

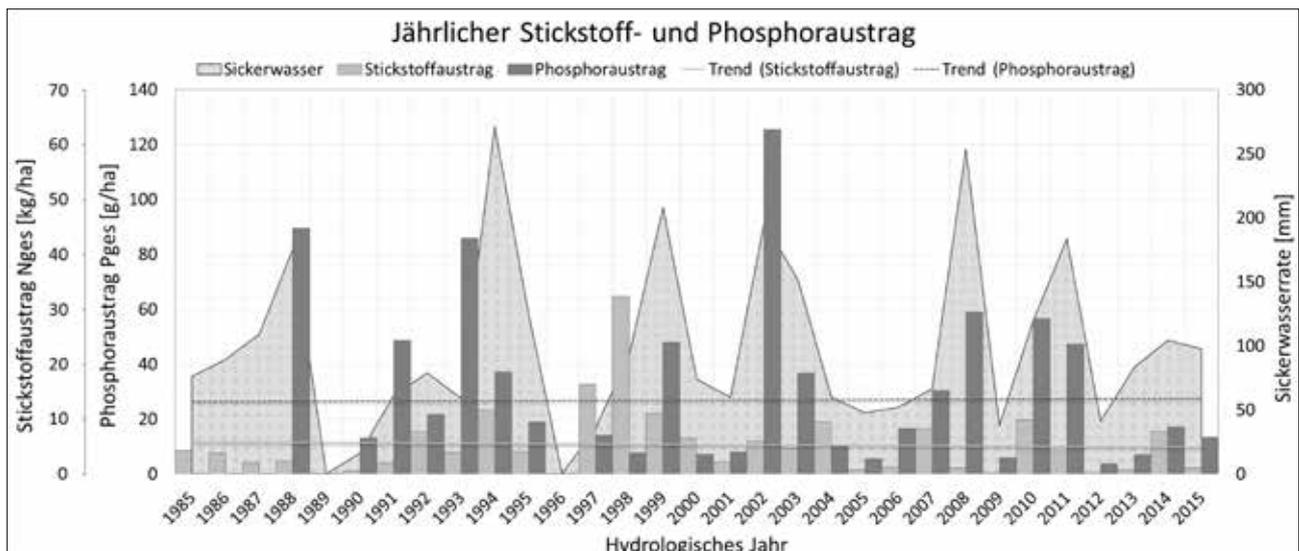


Abbildung 7: Jährlicher Stickstoff- und Phosphoraustrag mit Trend.



Abbildung 8: Häufigkeit des Stickstoffaustrages in unterschiedlichen Klassen und Zeiträumen.

(Abbildung 7). Allerdings hoben sich bei den monatlichen Austragsmengen der April durch hoch signifikant sinkende und der Mai durch signifikant sinkende Stickstoffausträge deutlich von den restlichen Monaten ab. Die Häufigkeitsverteilung (Abbildung 8) zeigte zudem, dass sich der monatliche Austrag in bestimmten Größenbereichen innerhalb von 30 Jahren verändert hat. Im ersten Jahrzehnt 1984-1993 kam es in seltenen Fällen zu extremen Austrägen von bis zu 12 kg/ha. In der zweiten Dekade von 1994-2003 wurden bereits geringere Stickstoffausträge in Bereichen oberhalb von 7 kg/ha verzeichnet. In den letzten 10 Jahren konnte eine deutliche Veränderung festgestellt werden. Ca. 40% mehr Stickstoffausträge wurden im Mengenbereich von 0 bis 0,5 kg/ha verzeichnet, in den Bereichen bis 2,5 kg/ha nahm die Häufigkeit hingegen deutlich ab. Höhere Austräge > 2,5 kg/ha wurden gar nicht mehr verzeichnet.

Insgesamt konnten keine signifikanten Veränderungen des Stickstoffaustrags nachgewiesen werden. Im Frühjahr war mit sinkenden Sickerwasserraten eine deutliche Abnahme des Stickstoffaustrags zu beobachten. Auffällig war jedoch, dass sich der monatliche Stickstoffaustrag besonders im letzten Jahrzehnt verringert hat. Dies könnte auf eine Verringerung der atmosphärischen Stickstoffdeposition, infolge der Einstellung der nahegelegenen Tierproduktionsanlagen zurückzuführen sein.

Phosphoraustrag

Der mittlere jährliche Phosphoraustrag im Untersuchungsraum betrug 26,8 g/ha. Größtenteils fand ein Austrag im Winterhalbjahr mit 26,0 g/ha statt. Im Sommer lagen im Mittel Werte von 0,8 g/ha vor. Austragsstarke Monate waren der Februar und März, bedingt durch die hohen Sickerwasserraten und die geringe Aufnahme durch die Vegetation. Der langjährige Verlauf des Phosphoraustrages wies sowohl jährlich, als auch halbjährlich keinen eindeutigen Trend auf (Abbildung 9). Die Phosphorausträge im Frühjahr waren insgesamt abnehmend, im Mai sogar signifikant abnehmend, während im Januar und Februar eher eine Zunahme zu beobachten war. Ähnlich wie beim Stickstoffaustrag war auch beim Phosphor eine Verschiebung der Verteilung zu erkennen. Auch hier nehmen die Austräge im Bereich von >0 bis 5 g/ha innerhalb der letzten 20 Jahre um etwa 45% deutlich zu, während größere Austräge >35 g/ha im letzten Jahrzehnt nicht mehr auftraten.

Die Trends des Stickstoff- und Phosphoraustrages waren vergleichsweise ähnlich. Es fiel auch hier, insbesondere im

Winterhalbjahr, der entgegengesetzte Trend zum Sickerwasser auf. Veränderte atmosphärische Einträge könnten ein möglicher Grund dafür sein. Zu beachten ist jedoch, dass weder für die jährliche Sickerwasserrate noch für die jährlichen Nährstoffausträge statistisch signifikante Trends vorlagen.

Schlussfolgerungen

Bei der Auswertung der meteorologischen Daten der Wetterstation Seehausen konnte eine signifikante Steigerung der jährlichen und halbjährlichen Lufttemperatur nachgewiesen werden. Signifikante Trends für den Boden konnten mithilfe der Lysimeteruntersuchungen dagegen nicht belegt werden. Im Frühjahr konnte eine Reduzierung der Sickerwassermenge festgestellt werden, bedingt durch signifikant steigende Lufttemperaturen und verringerte Niederschläge. Hieraus ergibt sich eine zunehmende Tendenz zur Trockenheit des Bodens. Um den Folgen entgegenzuwirken wird der Beregnungsbedarf steigen, besonders bei Böden mit geringerer Wasserspeicherkapazität. Bei einer ausreichenden Wasserversorgung können wärmere Bedingungen auch optimalere Wachstumsbedingungen darstellen. Höhere Bodentemperaturen könnten die Zeitpunkte für Aussaat und Ernte begünstigen. Andererseits muss unter den feuchtwarmen Bedingungen im Sommer mit einem erhöhten Befall durch Pilze und Krankheiten an Nutzpflanzen sowie einen erhöhten Befall durch Pflanzenschädlingen infolge besserer Entwicklungsbedingungen gerechnet werden. Dies würde wiederum einen erhöhten Aufwand an Pflanzenschutzmitteln erfordern und damit ökonomische und ökologische Nachteile bewirken. Ein erhöhter Nährstoffaustrag, z.B. infolge des Abbaus organischer Substanz, konnte nicht belegt werden.

Die vorliegenden langjährigen Lysimeterdaten bilden eine herausragende Datenbasis. Anhand der ausgewerteten Daten konnten allerdings bei keiner der untersuchten Bodenparameter statistisch signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Allerdings ist auch bekannt, dass die Bodenparameter im Vergleich zu den atmosphärischen Größen mit höherer Trägheit reagieren, sodass sich signifikante Effekte erst später zeigen können.

Als weitere Schritte in der Auswertung ist geplant, die Messergebnisse mit den Ergebnissen von Klimasimulationen zu vergleichen. Die derzeit verfügbaren regionalen Klimamodelle berechnen die Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1985 – 2100. Damit lässt sich die Güte der

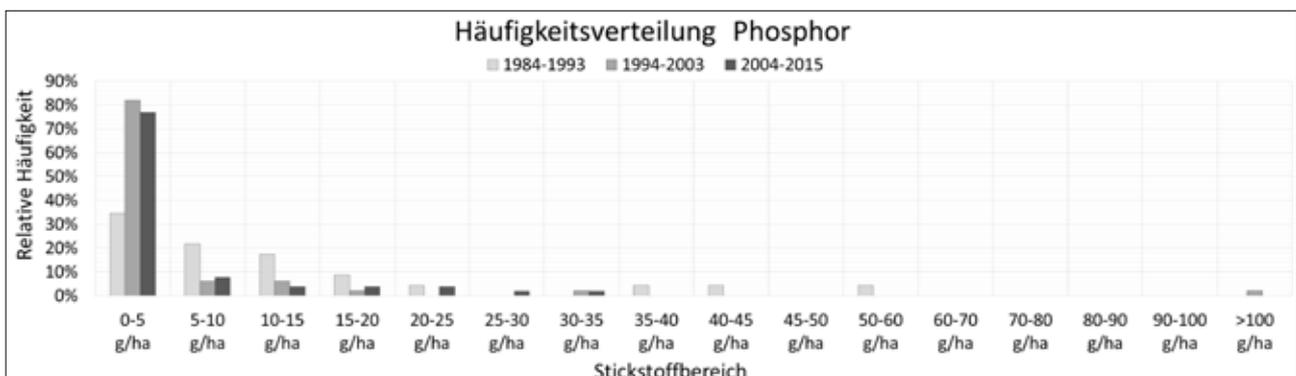


Abbildung 9: Häufigkeit des Phosphoraustrages in unterschiedlichen Klassen und Zeiträumen.

Modelle prüfen. Mit der Verfügbarkeit eines gut angepassten regionalen Klimamodells oder eines geeigneten Modellensembles, soll es möglich sein, die Folgen des Klimawandels über längere Zeiträume besser abzuschätzen.

Bei der Lysimeterauswertung sollen künftig weitere Einflussfaktoren einbezogen werden, welche durch den Grünland-Versuch nicht berücksichtigt wurden, wie z.B. den Einfluss verschiedener Bodenarten, Landnutzungen, Düngemengen und -zeitpunkte oder auch der Bewässerung. Anhand dieser Auswertung werden weitere nützliche Informationen für das Verstehen von Veränderungsprozessen im Boden in Abhängigkeit von sich ändernden Klimafaktoren erwartet.

Literatur

- Blum W.H.E. (2005) Soils and Climate Change. *JSS- J Soils & Sediments* 5(2): 67-68.
- Fischer E.M., Seneviratne S.I., Vidale P.L., Lüthi D. & Schär C. (2007) Soil Moisture-Atmosphere Interactions during the 2003 European Summer Heat Wave. *Journal of Climate* 20(20): S. 5081-5099.
- Godlinski F. (2005) Abschätzung der Phosphorausträge aus der ungesättigten Bodenzone anhand numerischer Interpretationen von Lysimeterversuchen. Dissertation. Universität Rostock.
- Kropp J., Oithmeier O., Hattermann F., Rachimow C., Lüttger A., Wechsung F., Lasch P., Christiansen E.S., Reyer C., Suckow F., Gutsch M., Holsten A., Kartschall T., Wodinski M., Hauf Y., Conrad T., Österle H., Walther C., Lissner T., Lux N., Tekken V., Ritchie S., Kossak J., Klaus M., Costa L., Vetter T. & Klose M. (2009) Klimawandel in Sachsen-Anhalt - Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels. Abschlussbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK).
- Mathews J. (2011) Anpassung an den Klimawandel: Boden. Themenblatt: Anpassung an Klimaänderung in Deutschland, ahu AG Wasser - Boden – Geomatik & Umweltbundesamt, S. 3.
- Meißner R., Rupp H., Seeger J., Ollesch G. & Gee G.W. (2010) A comparison of water flux measurements: passive wick-samplers versus drainage lysimeters. *European Journal of Soil Science* 61.4.
- Musso J.O. (2007) Zum Einfluss der Bodentemperatur auf die Pflanzenentwicklung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, Volume 40, Issue 5-6, Erstveröffentlichung 1935.
- Paul G., Meißner R. & Ollesch G. (2014) Abschätzung von Auswirkungen des Klimawandels auf den Landschaftswasserhaushalt im Fläming. *WasserWirtschaft* 10/2014: 23-28.
- Rowell D.P. & Jones R.G. (2006) Causes and uncertainty of future summer drying over Europe. *Climate Dynamics*: S. 281-299.
- Scheffer F. & Schachtschabel P. (2002) Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Ausg. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.
- Schils R.P., Kuikman J., Liski v. Oijen M., Smith P., Webb J., Alm J., Somogyi Z., v.d. Akker J., Billett M., Emmett B., Evans C., Lindner M., Palosuo T., Bellamy P., Alm J., Jandl R. & Hiederer R. (2008) Review of existing information on the interrelations between soil and climate change - ClimSoil Project. Alterra, Wageningen UR, The Netherlands, CEH, United Kingdom, SYKE, Finland, UNAB, United Kingdom.
- Spekat A., Einfeld T. & Jackisch A. (2015) Klimaanalyse Sachsen-Anhalt 1951 bis 2014. Endbericht. Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH und hydro & meteo GmbH & Co KG im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle (Saale).
- Swift M.J., Andren O., Brussaard L., Briones M., Couteaux M.M., Ekschmitt K., Kjller A., Loiseau P. & Smith P. (1998) Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Global Change Biology* 4(7): 729-743.
- Yadav V., Malanson G. (2007) Progress in soil organic matter research: litter decomposition, modelling, monitoring and sequestration. *Progress in Physical Geography* 31(2): 131-154.

