

TERENO-SOILCan - Ein Lysimeternetzwerk zur Untersuchung des Klimawandels

Thomas Pütz^{1*}, Ralf Kiese², Ute Wollschläger³, Eckart Priesack⁴, E. Borg⁵, H. Gerke⁶,
Hans Papen² und Harry Vereecken¹

Zusammenfassung

Im Rahmen von TERENO-SoilCan wurden am TERENO Standort Wüstebach im Nationalpark Eifel neun Lysimeter auf einer Waldwiese gefüllt. Sechs Stück dieser Lysimeter wurden in einer hexagonalen Anordnung am Standort installiert und drei Lysimeter wurden an der Lysimeterstation Selhausen aufgebaut. Untersuchungsziel war der mögliche Wettereinfluss auf die DOC- und Nitrat-Gehalte in den Bodenlösungen der verschiedenen Lysimeter. Ein Vergleich der Wetterbedingungen der beiden Standorte zeigte für den zweijährigen Beobachtungszeitraum November 2010 bis November 2012 deutliche Unterschiede bei der Lufttemperatur und dem Niederschlag. Die DOC-Konzentrationen der Bodenlösungen aus 10, 30 und 50 cm Tiefe zeigten an beiden Standorten einen vergleichbaren Verlauf, während die Verläufe der Nitrat-Konzentrationen in den Bodenlösungen der beiden Standorte Unterschiede aufwiesen.

Schlagwörter: DOC, Nitrat, Wetter, Bodenlösung, Saugkerzen

Einleitung

Im Rahmen von TERENO (TERrestrial ENvironmental Observatories) wurden vier Observatorien zur Langzeitbeobachtung des Klimawandels eingerichtet. Diese vier Observatorien liegen in Gebieten Deutschlands, die negativ vom Klimawandel betroffen sein werden (GLASER, 2008). Zur besseren Vernetzung der Observatorien untereinander wurde das Projekt TERENO-SoilCan initiiert – ein Lysimeternetzwerk, das nach einheitlichen technischen Vorgaben aufgebaut wurde. Zielsetzung von TERENO-SoilCan ist es, den Einfluss des Klimawandels auf den Stoff- und Wasserhaushalt zu untersuchen.

Lysimeter-Netzwerk

Das Lysimeternetzwerk besteht aus 126 monolithisch befüllten Lysimetern an 13 verschiedenen Standorten in Deutschland, wobei die Herkunftsstandorte sowohl ackerbaulich

oder als Wiesen/Weiden genutzt werden. Zur Simulation des erwarteten Klimawandels wurde ein Teil der Lysimeter entlang eines Temperatur- und Niederschlagsgradienten innerhalb der jeweiligen TERENO-Observatorien bzw. auch zwischen den Observatorien nach dem Prinzip „space for time“ transportiert. Zur Vereinheitlichung der ackerbaulichen Bewirtschaftung besteht die Fruchtfolge aus den Gliedern Winterweizen - Erbsen - Wintergerste - Winterraps mit reduzierter Bodenbearbeitung. Die Intensität der Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen für alle Nutzungsarten richtet sich nach den jeweiligen Standortbedingungen. An den zentralen Lysimeterstationen Selhausen (ca. 10 km südlich von Jülich) und Bad Lauchstädt (ca. 20 km südwestlich von Halle), mit atlantischem bzw. kontinentalem Klima, wurden Lysimeter aus allen vier Observatorien zusammengeführt. Um während des Transportes unerwünschte Erschütterungen und Vibrationen, die Stauchungen und Verdichtungen der Monolithen verursachen konnten, zu minimieren, erfolgte der Transport mit Spezialfahrzeugen. Zur Erfassung von Erschütterungen während des Transportes wurde jedes Lysimeter mit Schocksensoren ausgestattet (Abbildung 1). Nach der Fertigstellung und dem Probetrieb wurde Ende 2010 mit dem Routinebetrieb der Lysimeter begonnen. Die Laufzeit dieses Experimentes ist entsprechend der TERENO-Laufzeit für mindestens 15 Jahre geplant.

Jeweils sechs Lysimeter wurden ringförmig um einen zentralen Serviceschacht angeordnet (Hexagon). Die Lysimeter mit einer Tiefe von 1,5 m und 1 m² Oberfläche wurden an drei Punkten an Wägezellen aufgehängt und mit TDR-Sensoren, Tensiometern, Matrixpotentialsensoren, Bodenwärmeflussensoren und einem CO₂-Sensor instrumentiert. Die Wägedaten wurden in 1-Minuten-Intervallen und die übrigen Daten der Messsonden in 10-Minuten-Intervallen erfasst. Zur Steuerung der unteren Randbedingung wurden in die Lysimetersohlen Saugkerzenrechen eingebaut. In Verbindung mit einer bidirektionalen Pumpe, einem wägbaren Perkolatbehälter und Steuertensiometern innerhalb der Lysimeter sowie in den ungestörten Kontrollflächen konnten die Lysimeter anhand von realen Feld- oder frei wählbaren Vorgaben gesteuert werden. Zur Beobachtung des Stofftransportes wurden die Bodenlösung (Saugker-

¹ Agrosphere Institute, Research Center Jülich, FZJ, D-52425 JÜLICH

² Atmospheric Environmental Research Division, Karlsruhe Institute of Technology, KIT

³ Centre for Environmental Research Leipzig-Halle, UFZ

⁴ Institute of Soil Ecology, German Research Center Environment and Health, HMGU

⁵ DLR Neustrelitz German Aerospace Center, DLR

⁶ Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF)

* Ansprechpartner: Dr. Thomas Pütz, t.puetz@fz-juelich.de



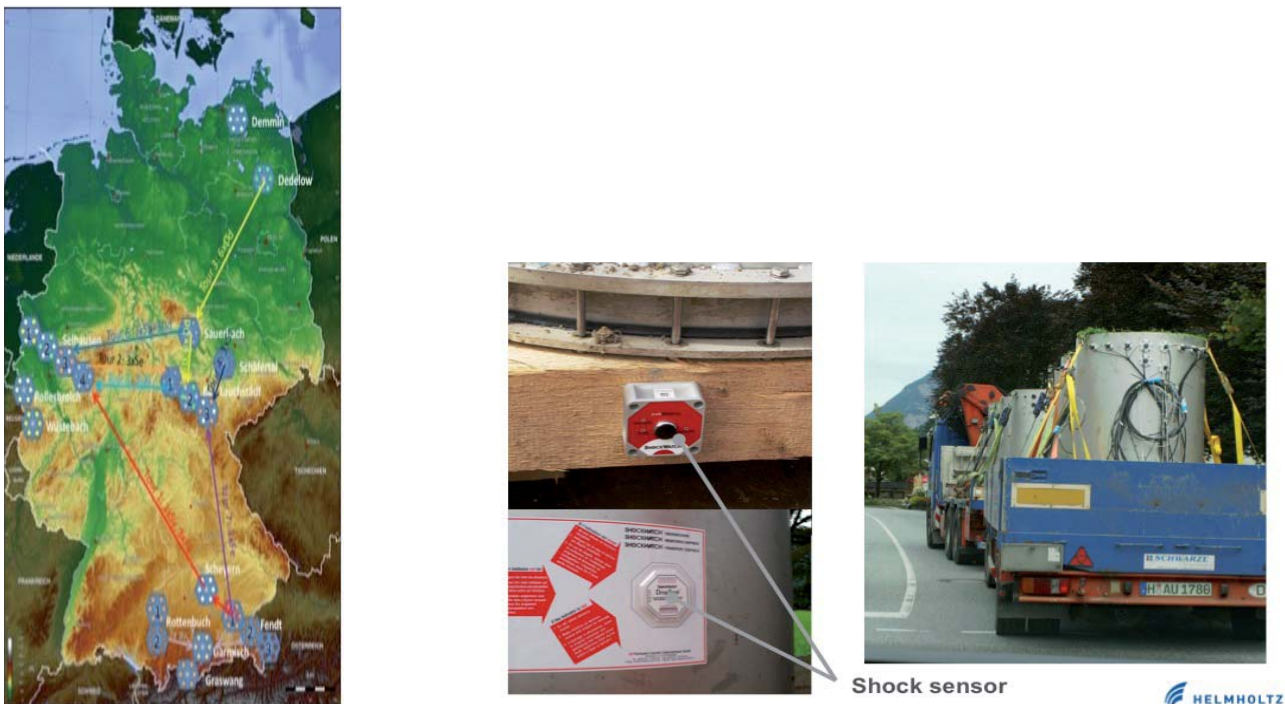


Abbildung 1: Übersicht der TERENO-SoilCan-Stationen sowie die jeweiligen Lysimetertransporte (links) und der Lysimetertransport (rechts) mit den zur Transportkontrolle verwendeten Schocksensoren (Mitte).

zenprobenahme) und das Perkolat (By-Pass-Beprobung) in Abständen von ca. 14-Tagen regelmäßig beprobt. An die Saugkerzen wurde hierbei ein maximaler Unterdruck von 100 hPa angelegt, um den Wasserhaushalt nur geringfügig zu stören. Durch das geringe Vakuum wurden vor allem während der trockenen Phasen eines Jahres bzw. an Standorten mit geringeren Jahresniederschlägen keine Proben gewonnen. In den gewonnenen Wasserproben wurden folgende Größen analysiert: Volumen, pH-Wert, Redoxpotential, DOC, Gesamtstickstoff, Nitrat, Ammonium, Chlorid, Phosphat, Sulfat, Aluminium, Calcium, Eisen, Kalium, Magnesium, Mangan und Natrium. Weitere technische Details des Lysimeternetzwerkes sind bei PÜTZ et al. (2011) zusammengestellt.

Um den Einfluss der Wetterbedingungen auf die Böden der Lysimeter zu untersuchen, wurden die Lysimeter vom Standort Wüstebach näher betrachtet (Abbildung 1). Der Standort Wüstebach liegt im Mittelgebirge Eifel auf ca. 620 m ü.NN im Südwesten des Nationalparks Eifel in der Nähe der deutsch-belgischen Grenze. Die Lysimeter wurden auf einer Wildwiese eines 60-jährigen Fichtenbestandes gefüllt. Sechs Lysimeter wurden in räumlicher Nähe (ca. 300 m Entfernung) auf einer Waldlichtung in einem Hexagon aufgebaut. Drei weitere Lysimeter wurden zur Lysimeteranlage Selhausen (ca. 104 m ü.NN) transportiert und dort in einem Hexagon mit drei Lysimetern des Standortes Rollesbroich aufgebaut. Der Boden in den Lysimetern wurde als eine sehr schwach podsolige, durch Hangwasser schwach pseudovergleyte Braunerde angesprochen, die mit mullartigem Moder überdeckt wurde. Es wurden keinerlei pflanzenbauliche Maßnahmen (keine Düngung, Pflanzenschutz oder Mahd) auf den Lysimetern durchgeführt. Das direkte Umfeld der Lysimeter am Standort Wüstebach ent-

wickelte innerhalb des ersten Jahres eine standorttypische krautige Vegetation, während am Standort Selhausen eine Grünland-Saatmischung (Gras-, Klee- und Luzerne-Samen) eingesät wurde.

Wetter

Das langjährige Mittel der Lufttemperatur (berechnet für den Zeitraum von 1979-1999) beträgt am Standort Wüstebach ca. 7,5 °C und am Standort Selhausen 10,0 °C. Für die Beobachtungsperiode betrug diese in Wüstebach 8 °C mit einem Minimum von -12,9 °C und einem Maximum bei 25,9 °C (FRIEDRICH 2012). In Selhausen wurde für den gleichen Zeitraum im Mittel eine Temperatur von 10,9 °C mit einem Maximum von 28,8 °C und einem Minimum von -8,3 °C erfasst (Abbildung 2).

Die Spannen der Bodentemperaturen in den Bodentiefen 10, 30 und 50 cm der jeweiligen Lysimeter an den beiden Standorten Wüstebach sowie Selhausen sind in *Abbildung 3* und in *Tabelle 1* zusammengestellt. Bei den Minimal- und Maximalwerten wiesen die Lysimeter vom Standort Selhausen die geringsten bzw. höchsten Werte auf. Für den Beobachtungszeitraum lagen die arithmetischen Mittel der Bodentemperaturen in den verschiedenen Tiefen für Selhausen gegenüber Wüstebach um etwa 1,6 bis 2,0 °C höher. Die etwas geringeren Temperaturen in den Lysimetern in Selhausen sind auf die exponierte Lage der Station und auf eine fehlende Schneedecke zurückzuführen, die die Lysimeter am Standort Wüstebach vor Tiefsttemperaturen schützte.

Im langjährigen Mittel (berechnet für den Zeitraum von 1979-1999) fielen an der Lysimeterstation im Wüstebach ca. 1200 mm und an der Station in Selhausen ca. 720 mm Niederschlag pro Jahr. Im Beobachtungszeitraum wurden

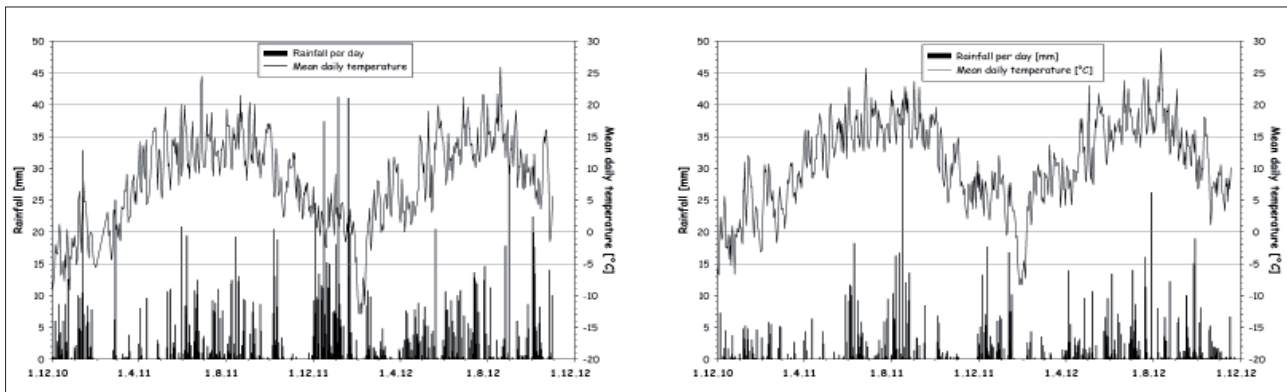


Abbildung 2: Temperaturverlauf und Niederschlagsverteilung an den Standorten Wüstebach (links) und Selhausen (rechts).

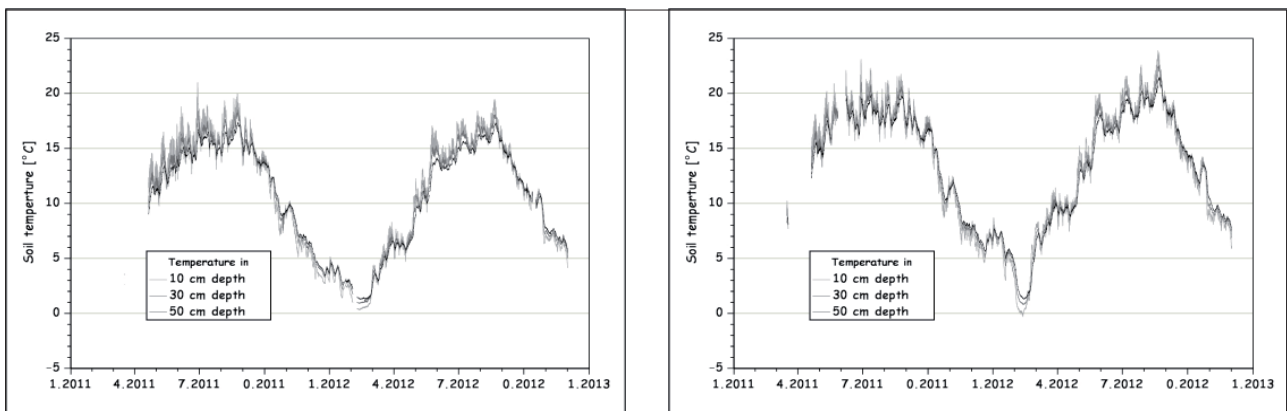


Abbildung 3: Verlauf der Bodentemperatur in den Tiefen von 10, 30 und 50 cm an den Standorten Wüstebach (links) und Selhausen (rechts).

Tabelle 1: Übersicht der Bodentemperaturen der Wüstebach-Lysimeter in den Tiefen 10, 30 und 50 cm an den Standorten Wüstebach (sechs Lysimeter) und Selhausen (drei Lysimeter).

Standort	Tiefe	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Mittelwert [°C]
Wüstebach	10 cm	- 0,1 - 0,0	20,4 - 22,0	11,0
	30 cm	0,0	18,4 - 18,8	11,0
	50 cm	0 - 1,6	17,2 - 17,7	10,9
Selhausen	10 cm	- 0,8 - 0,0	22,2 - 24,1	12,6
	30 cm	0,0	22,4 - 22,9	12,9
	50 cm	0,0	20,3 - 21,5	12,9

in Wüstebach 1804,6 mm und in Selhausen 1039,6 mm Niederschlag gemessen (Abbildung 2). Auf Basis des lang-jährigen Mittels wurden in der Summe beider Jahre deutlich geringere Niederschläge erfasst, die zu Wasserdefiziten von etwa 25 % am Standort Wüstebach und von etwa 28 % am Standort Selhausen führten. Die maximalen Niederschläge pro Tag betragen für Wüstebach 41,2 mm und für Selhausen 37,8 mm. Die Berechnung der Evapotranspiration auf Basis der Lysimeter- und Perkolatwägedaten befindet sich noch in der Validierungsphase.

Die im Vergleich zum Standort Wüstebach geringeren Niederschläge in Selhausen wurden auch durch den Verlauf der

TDR-Daten in den Lysimeter in den Tiefen 10, 30 und 50 cm abgebildet (Abbildung 4). Während die Lysimeter am Standort Wüstebach über längere Perioden des Beobachtungszeitraumes in allen drei Tiefen Wassergehalte größer 35 Vol.-% aufwiesen, wurden in den Lysimetern am Standort Selhausen nur während der Wintermonate in 10 cm Tiefe Wassergehalte nahe 35 Vol.-% gemessen (Abbildung 4). Im Vergleich zwischen den beiden Standorten zeigten die Lysimeter in Selhausen deutlich geringere Wassergehalte.

Die deutlich geringeren Niederschlagsmengen am Standort Selhausen wirkten sich entsprechend auf die Gewinnung der Bodenlösung und auf den Perkolat austrag aus. Die Perkolatmengen je Lysimeter am Standort Wüstebach beliefen sich auf 983 – 1094 L mit einem Mittelwert von 1075 L (Mittelwert von fünf Lysimetern). Aufgrund eines technischen Defektes des Magnetventils am Perkolatbehälter des Lysimeters 5 kam es zu erheblichen Fehlmessungen, so dass diese Werte bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt wurden. Die erfassten Perkolat austräge je Lysimeter in Selhausen betragen nur 72 – 227 L mit einem Mittelwert von 188 L (Mittelwert von drei Lysimetern). Damit betragen die Perkolat austräge am Standort Selhausen nur 17,5 % im Vergleich zum Standort Wüstebach.

Stoffkonzentrationen der Bodenlösung

Da der Kohlenstoff- und Stickstoff-Haushalt im Boden erheblich vom Bodenwassergehalt und der Bodentemperatur

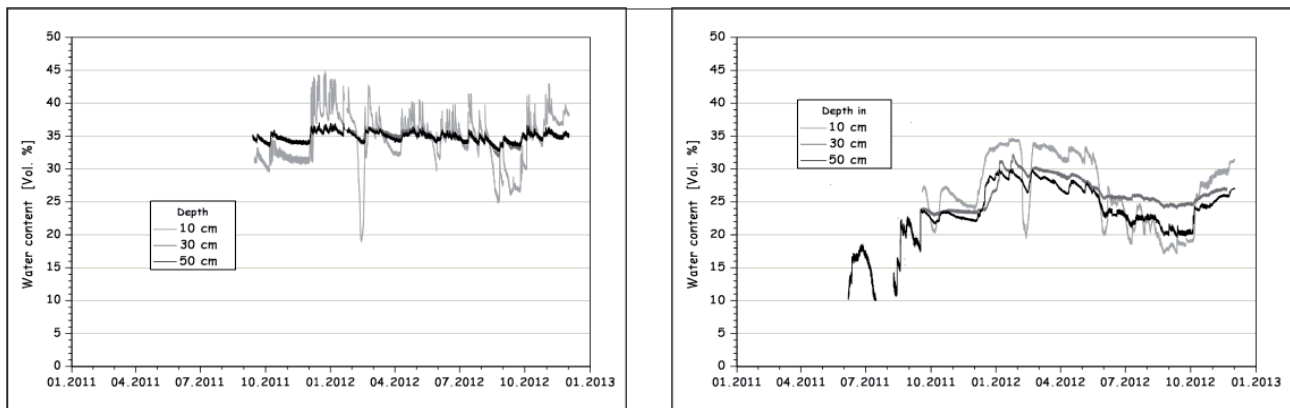


Abbildung 4: Verlauf der Wassergehalte in den Bodentiefen von 10, 30 und 50 cm an den Standorten Wüstebach (links) und Selhausen (rechts).

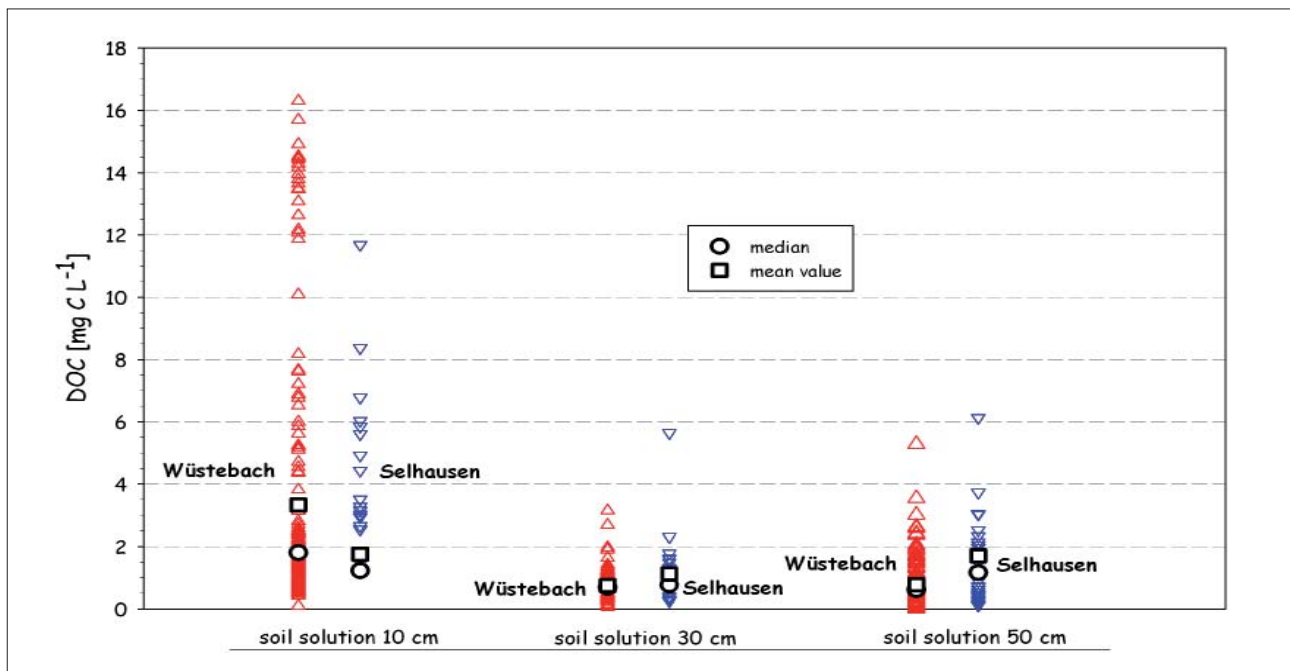


Abbildung 5: DOC-Konzentrationen in den Bodenlösungen der Wüstebach Lysimeter an den Standorten Wüstebach und Selhausen sowie der Median und der Mittelwert.

beeinflusst wird, wurden diese als Zielgrößen zur Untersuchung eines möglichen Einflusses des Klimawandels ausgewählt. Die direkten Messgrößen in der Bodenlösung waren der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) und die Nitrat-Konzentrationen. In den *Abbildungen 5* und *6* entspricht jedes Dreieck einer einzelnen Bodenlösungsprobe, so dass der größere, niederschlagsbedingte Probenanfall am Standort Wüstebach und die Messspanne aller Beprobungstiefen verdeutlicht wird. In *Abbildung 5* sind die DOC-Konzentrationen für die drei Beprobungstiefen 10, 30 und 50 cm an beiden Standorten dargestellt. Typisch sind die höheren DOC-Konzentrationen in der Bodenlösung aus 10 cm gegenüber den tieferen Bodenschichten. Sie weist hier für den Standort Wüstebach eine deutlich größere Konzentrationsspanne auf. Da die DOC-Konzentrationen stärker variierten, wurde neben dem arithmetischen Mittel und auch der Median bestimmt.

Im Vergleich zum arithmetischen Mittelwert ist der Median „robuster“ gegenüber Ausreißern, also deutlich abweichenden Beobachtungswerten der Messreihen. Auf Basis der Mediane waren die DOC-Konzentrationen in 10 cm Tiefe am Standort Wüstebach geringfügig höher als am Standort Selhausen, während dies für die Proben in 30 cm in etwa gleich war, kehrte sich dies in 50 cm sogar um. Aufgrund der in Lysimeter 6 am Standort Wüstebach beobachteten hohen DOC-Konzentrationen in 10 cm Tiefe würde dies also bei alleiniger Anwendung des arithmetischen Mittels zu einer Überschätzung der DOC-Konzentrationen in der Bodenlösung führen. Summarisch kann man für die Zielgröße DOC keinen Unterschied zwischen den beiden Standorten feststellen. Problematisch wirkt sich hier aber die geringe Probenzahl aufgrund der geringen Niederschläge und der damit verbundenen geringen Wassergehalte der Lysimeter des Standortes Selhausen

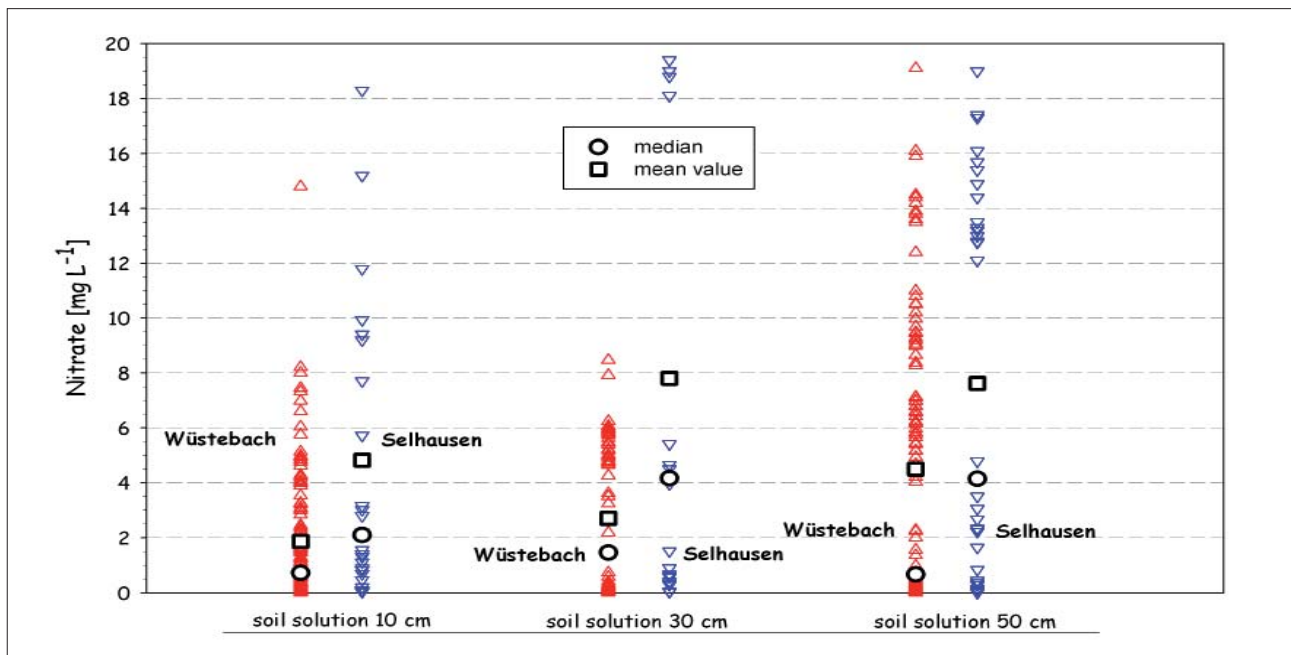


Abbildung 6: Nitrat-Konzentrationen in den Bodenlösungen der Wüstebach Lysimeter an den Standorten Wüstebach und Selhausen sowie der Median und der Mittelwert.

aus. Die Stoffausträge mit dem Perkolat befinden sich noch in der Auswertung.

Im Gegensatz zur eher ausgeglichenen Verteilung der DOC-Konzentrationen in den Bodenlösungen stellten sich die Nitrat-Konzentrationen hiervon abweichend dar. Es wurden in allen drei Beprobungstiefen an beiden Standorten etwa ähnliche Nitrat-Konzentrationen gemessen (Abbildung 6). Ein Vergleich der arithmetischen Mittelwerte für die verschiedenen Beprobungstiefen zeigen jedoch deutlich höhere Nitrat-Konzentrationen am Standort Selhausen. Auch ein Vergleich der Mediane für die beiden Standorte unterstreicht diesen Trend. Die einzelnen Konzentrationsverläufe in den verschiedenen Tiefen betrachtet für den Beobachtungszeitraum wiesen einen ausgeprägten „priming effect“ auf, vor allem in den Tiefen 30 und 50 cm. Nach anfänglich hohen Werten nahmen die NO_3^- -Konzentrationen im Verlauf des Herbstes 2011 bei allen Lysimeter auf konstant geringe Werte ab. Jahresgänge der NO_3^- -Konzentrationen in den Bodenlösungen wurden nicht beobachtet.

Diskussion

Um einen möglichen Effekt des Klimawandels auf den Boden zu simulieren, wurden Lysimeter, die am Standort Wüstebach gewonnen wurden, an den etwa 47 km Luftlinie entfernten Standort Selhausen transportiert. Es war zu klären, ob das Wetter der beiden Beobachtungsjahre Unterschiede zwischen den beiden Standorten Selhausen und Wüstebach aufwies. Als Größen wurden der Niederschlag und die Lufttemperatur ausgewählt. Die Lufttemperatur zeigte an beiden Standorten zwar einen vergleichbaren Jahresgang, aber die Mittelwerte für den Beobachtungszeitraum belegten eine Differenz von $2,9\text{ }^\circ\text{C}$ zwischen den beiden Standorten. Somit waren die Lysimeter in Selhausen durch die Umsetzung höheren Temperaturen ausgesetzt.

Dies wirkte sich auf die in den Lysimetern gemessenen Bodentemperaturen aus, die abgeschwächte Unterschiede zwischen den Standorten aufwiesen. Der langjährige Mittelwert der Lufttemperatur wurde an beiden Standorten für die Beobachtungsperiode überschritten.

Auch die Niederschlagsmengen der beiden Standorte zeigten deutliche Differenzen. In Selhausen fiel nur 58 % der in Wüstebach gemessenen Niederschlagsmenge, wobei an beiden Standorten Starkniederschlagsereignisse in einer ähnlichen Größenordnung gemessen wurden. Im Vergleich zum langjährigen Mittel wurde an beiden Standorten eine um etwa 25 % geringere Niederschlagsmenge beobachtet. Der Unterschied zwischen den jeweiligen Regenmengen wirkte sich nachhaltig auf den Wassergehalt in den Lysimetern und auf das Volumen der Sickerwasserspendsen aus. Summarisch kann man auch für den Niederschlag feststellen, dass ein deutlicher Unterschied zwischen den Standorten besteht. Allerdings steht für beide Parameter eine statistische Absicherung aus.

Die Gegenüberstellung der DOC-Gehalte in den Bodenlösungen der Lysimeter zeigten für beide Lysimeterstandorte ähnliche Konzentrationsverläufe. Bedingt durch den höheren Wassergehalt im Boden der Lysimeter am Standort Wüstebach wurden hier mehr Einzelproben gewonnen. Dennoch zeigte sich nur in der Bodenlösung aus 10 cm eine größere DOC-Konzentrationsspanne. Beim Vergleich der Mittelwerte und Mediane stellte sich kein Unterschied zwischen den Standorten dar. Die ähnlichen Werte können durch die DOC-Quelle bedingt sein, da der Fichtenwaldboden nur langsam umsetzbares C-Material besitzt. Der beobachtete Temperaturunterschied ist möglicherweise zu gering, um hier intensivere Umsetzungsprozesse anzuregen. Beim Vergleich der Nitrat-Konzentrationen in den Bodenlösungen der Lysimeter wurden Unterschiede zwischen den

Standorten beobachtet. Diese traten vor allem zu Beginn des Beobachtungszeitraumes auf. Die direkten Vergleiche der arithmetischen Mittelwerte und der Mediane deuteten einen Unterschied hinsichtlich der NO_3^- -Konzentrationen zwischen den Standorten an. Nachdem die NO_3^- -Gehalte in den Bodenlösungen im Herbst 2011 sehr stark abgesunken waren, wurde im folgenden Frühjahr der mit der Erwärmung erwartete Anstieg nicht beobachtet. Da für diesen Boden Stickstoff nur über den Luftpfad eingetragen wurde, konnten die durch die Probenahme, den kleinen mineralisierbaren N-Pool und den durch die sehr feuchte Phase im Herbst/Winter möglichen N_2O -Verluste bedingte NO_3^- -Abnahme nicht durch die im Frühjahr einsetzende N-Mineralisation kompensiert werden. Folglich wurden die NO_3^- -Konzentrationen auf ein Minimum abgesenkt. Darüber hinaus waren durch die großen Schneemengen im Winter 2009/2010 erhöhte N-Zufuhren möglich, die somit zu einem temporären N-Anstieg in den Lysimetern führen konnten. Durch die zufällige zeitliche Übereinstimmung des Schneefalls und des Messbeginns könnte sich dies dann als „priming effect“ darstellen.

Es bleibt festzuhalten, dass wetterbedingte Unterschiede zwischen den beiden Standorten Wüstebach und Selhausen

bestehen. Allerdings ist aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraumes keine gesicherte Aussage möglich, ob diese Standortunterschiede ausreichen, um einen Wittereffekt bei den Lysimetern zu bewirken. Die weitere Beobachtung wird Daten liefern, um eine gesicherte Aussage bzw. die Trends zu belegen.

Ein Tracerversuch auf allen Lysimeter des Lysimeternetzwerkes befindet sich in der Vorbereitung.

Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung des Projektes TERENO-SoilCan bedanken wird uns ganz besonders beim BMBF.

Literatur

- GLASER, R., 2008: Klimageschichte Mitteleuropas - 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- FRIEDRICH, B., 2012: Niederschlagsdaten der Eifelwetter-Station Monschau- Mützenich. <http://www.eifelwetter.de>.
- PÜTZ, Th., R. KIESE, St. ZACHARIAS, H. BOGENA, E. PRIESACK, U. WOLLSCHLÄGER, M. SCHWANK, H. PAPAN, G. von UNOLD und H. VERECKEN, 2011: TERENO-SOILCan - Ein Lysimeter Netzwerk in Deutschland. Proceedings Gumpenstein.