

TERENO-SOILCan - Ein Lysimeter Netzwerk in Deutschland

Thomas Pütz^{1*}, Ralf Kiese², Steffen Zacharias³, Heye Bogena¹, Eckart Priesack⁴,
Ute Wollschläger³, Mike Schwank⁵, Hans Papen², Georg von Unold⁶ und Harry Vereecken¹

TERENO

Im Rahmen der HGF-Forschungsinitiative TERENO (TERrestrial ENvironmental Observatories) wurden in vier Regionen Deutschlands Observatorien eingerichtet, die zur Langzeitbeobachtung des Klimawandels mit modernster Messtechnologie instrumentiert wurden (*Abbildung 1*). Jedes TERENO-Observatorium umfasst ein mesoskaliges Wassereinzugsgebiet (1000-5000 km²) und mehrere Intensivmessstandorte. Die bisher ausgewählten vier Observatorien repräsentieren Regionen Deutschlands, die besonders sensitiv auf prognostizierte Klimaänderungen reagieren werden (GLASER 2008). Als zentrale Forschungsziele

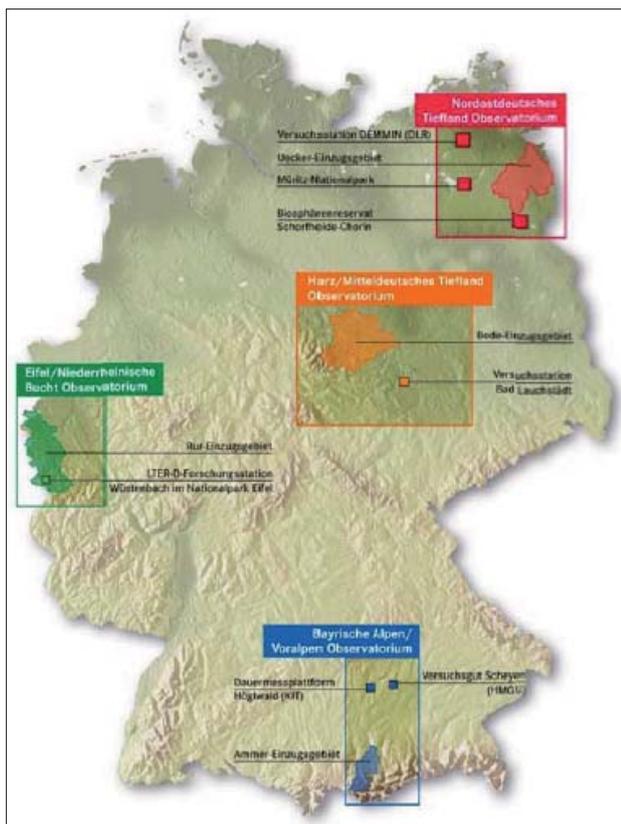


Abbildung 1: Die TERENO-Observatorien in Deutschland.

im Rahmen von TERENO wurden die Untersuchung der Wechselwirkung und Rückkopplung zwischen den Kompartimenten Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Pedosphäre mittels eines integrativen Ansatzes aus Messung, Modellierung und Management definiert.

Konzept des TERENO-SOILCan-Netzwerkes

Im Rahmen von TERENO wurde ein Lysimeternetzwerk mit insgesamt 126 Lysimetern an 13 verschiedenen Standorten aufgebaut. Ausgangspunkt für das Netzwerk waren Vorarbeiten im Observatorium Bayerische Alpen/Voralpen, die das Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführt hatte. Um Folgen prognostizierter Klimaänderungen auf das Boden-Atmosphären-System im Experiment zu simulieren, wurden in TERENO-SOILCan die Lysimeter entsprechend des Klima-Feedback-Konzeptes des IMK-IFU entlang eines Temperatur- und Niederschlagsgradienten deutschlandweit getauscht, so dass die Bodenmonolithe an den Zielstationen im Vergleich zu den Stationen an den Entnahmeorten stets trockeneren und wärmeren Versuchsbedingungen ausgesetzt sind (*Abbildung 2*). Die Lysimeter wurden teilweise mit Bodenmonolithen aus ackerbaulicher Nutzung oder Wiesen-/Weidennutzung befüllt. An den zentralen Versuchsstandorten Selhausen mit atlantischem und Bad Lauchstädt mit kontinentalem Klima wurden Lysimeter aus allen vier Observatorien zusammengeführt.

Ziel von TERENO-SOILCan ist es, langfristige Datensätze zu klimawandelbedingten Veränderungen terrestrischer Systeme zu gewinnen, wobei der Schwerpunkt der Untersuchungen auf den Stoff- und Wasserflüssen bzw. Bilanzen im Boden liegt. Derartige Langzeitdaten sind weltweit kaum verfügbar, aber unbedingt notwendig für die Entwicklung und Verbesserung von Modellen zur Beschreibung und Quantifizierung von Austauschprozessen zwischen Biosphäre, Atmosphäre und Hydrosphäre. Basierend auf der Beobachtung langfristiger Effekte des Klimawandels stellt sich TERENO-SOILCan eine Reihe von wissenschaftlichen Herausforderungen im Hinblick auf ein verbessertes Verständnis der terrestrischen Umwelt:

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

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

³ Center for Environmental Research Leipzig-Halle, UFZ

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

⁵ Helmholtz Center Potsdam, German Research Center for Geosciences, Potsdam, GZF

⁶ UMS, Gmunderstr. 37, D-81379 MÜNCHEN

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

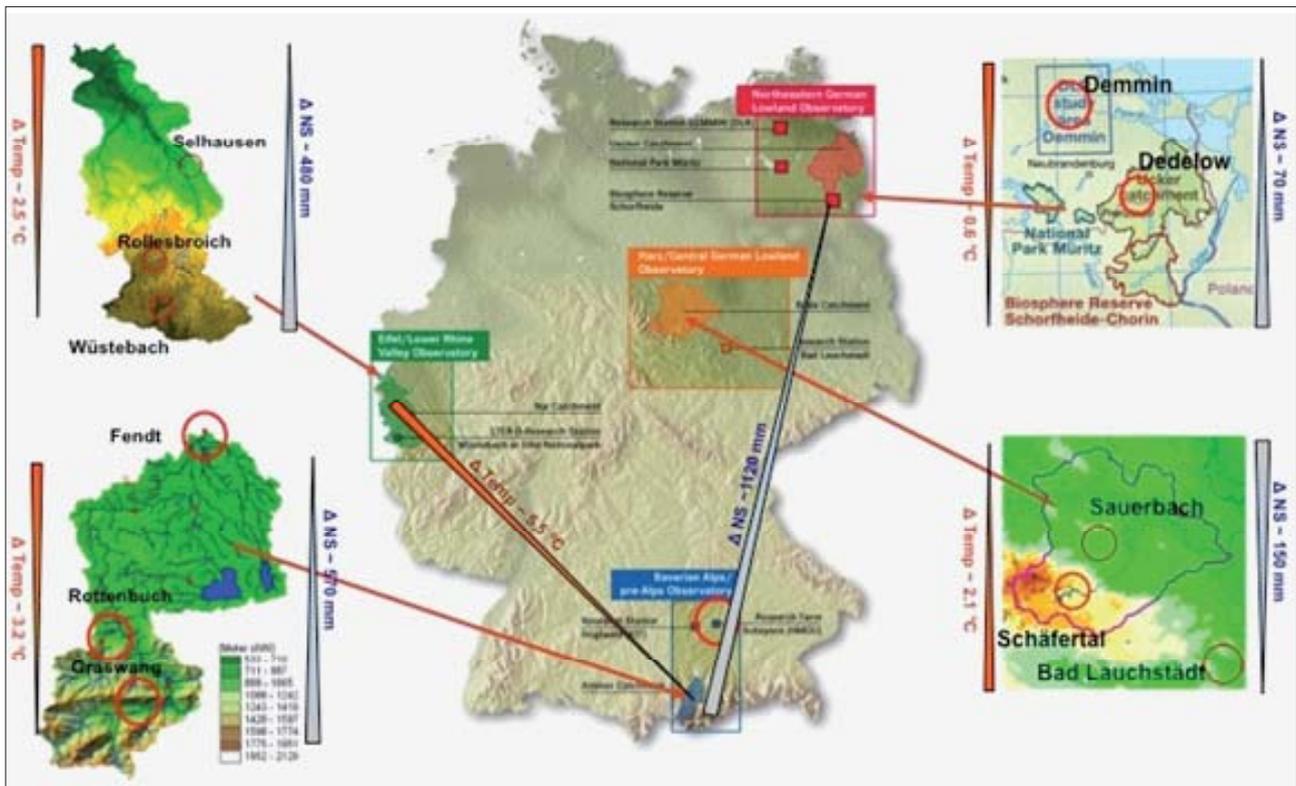


Abbildung 2: Temperatur- und Niederschlagsgradienten innerhalb und zwischen den Observatorien.

Tabelle 1: Standorte der TERENO-SOILCan-Lysimeter und die Jahresmittelwerte für Temperatur und Niederschlag am jeweiligen Standort.

| Observatorium | Standort | Stück | Jahresmittelwerte Temperatur/Niederschlag |
|-------------------------------|----------------|-------|--|
| Eifel/Niederrheinische Bucht | Selhausen | 24 | 10°C / 720 mm |
| | Rollesbroich | 6 | 8°C / 1150 mm |
| | Wüstebach | 6 | 7,5°C / 1200 mm |
| Bayerische Alpen/Voralpen | Scheyern | 6 | 7,4°C / 803 mm |
| | Fendt | 18 | 8,2°C / 1030 mm |
| | Rottenbuch | 12 | 5,5°C / 1400 mm |
| | Grasswang | 6 | 4,5°C / 1600 mm |
| Harz/Mitteldeutsches Tiefland | Bad Lauchstädt | 18 | 8,8°C / 487 mm |
| | Sauerbach | 6 | 9°C / 530 mm |
| | Schäfertal | 6 | 6,9°C / 630 mm |
| Nordostdeutsches Tiefland | Demmin | 6 | 8,1°C / 555 mm |
| | Dedelow | 6 | 8,7°C / 483 mm |

- Veränderungen der gekoppelten Kohlenstoff-Stickstoff-Kreisläufe und deren Speicherdynamik.
- Biosphären-Atmosphären-Austausch von klimarelevanten Spurengasen.
- Veränderungen der Vegetation und Biodiversität.
- Änderungen aller Komponenten der terrestrischen Hydrologie, wie beispielsweise Wasserbilanz, Verdunstung, Niederschlagsvariabilität, Wasserrückhaltekapazität.
- Überbrückung des Skalensprungs von Punkt- zur Feldskala (Up-Scaling).
- Ergänzende Instrumentierung der Intensivmessflächen innerhalb der TERENO-Observatorien. Die Lysimeter

wurden als Intensivmessflächen in die jeweiligen Ökosysteme integriert.

Aufbau des Lysimeternetzwerkes

In der *Tabelle 1* sind die jeweiligen Standorte der Lysimeterstationen sowie die Jahresmittelwerte des Niederschlages und der Lufttemperatur aufgeführt. Hier werden die zum Teil erheblichen Klimaunterschiede der verschiedenen Standorte deutlich.

Jeweils sechs Lysimeter sind ringförmig um einen zentralen Mess- und Serviceschacht angeordnet (*Abbildung 3*). Im zentralen Messschacht dieses Hexagons ist die gesamte

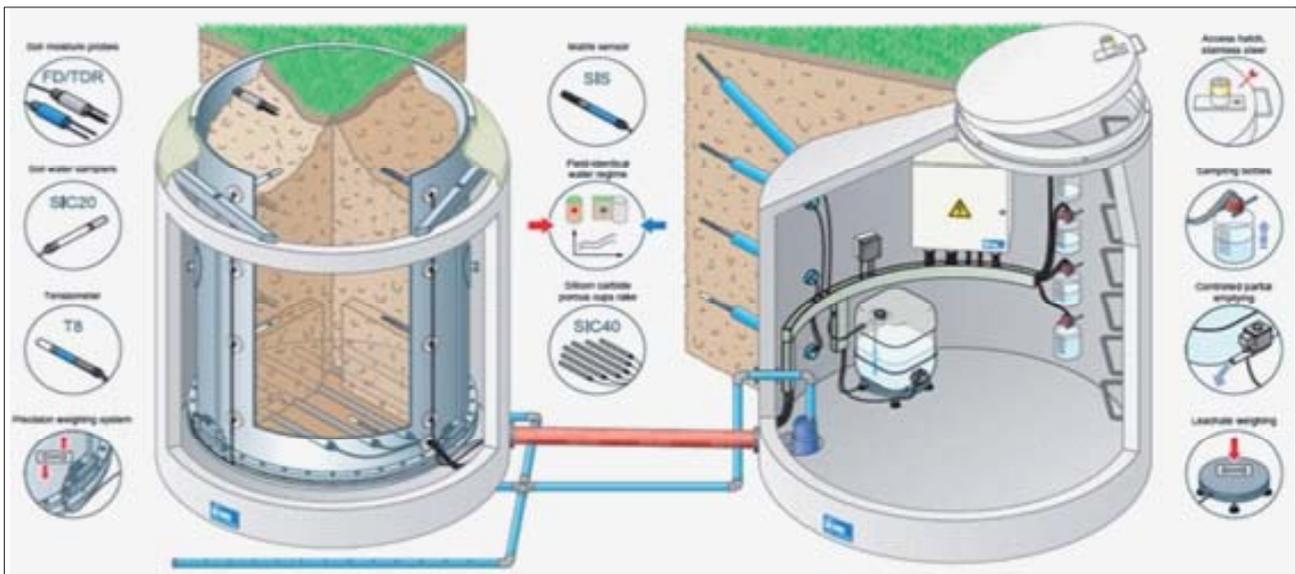


Abbildung 3: Ausschnitt eines Lysimeterhexagons.



Abbildung 4: Lysimeter mit aufgesetztem Druckstempel (links) und manuelle Nachbearbeitung im Bereich der Lysimeterschneider (rechts).

Infrastruktur wie die Perkolatsammelgefäße, Stromversorgung, Datenlogger, Pumpen, etc. untergebracht. Nach dem Bauabschluss sind nur Belüftungsrohr, Serviceschachtdeckel und Blitzschutzstangen sichtbar. Die monolithischen Lysimeter besitzen eine Oberfläche von 1 m^2 und eine Tiefe von $1,5 \text{ m}$ und wurden sowohl auf ackerbaulich genutzten Flächen, als auch auf Wiesen- bzw. Weidenflächen gefüllt. Da die Standorte zum Teil wegen ihrer geogenen Beschaffenheit (steiniger Unterboden) für die Lysimeterfüllung sehr schwierige Randbedingungen aufwiesen, wurde während der Befüllung besonderer Wert auf die Kontrolle der Lysimeterschneidbedingungen gelegt. Zur Füllung wurde der Lysimeterzylinder auf die ausgewählte Fläche gestellt. Der Bodenmonolith wurde kontrolliert gewonnen, indem der Lysimeterzylinder sukzessive über einen von vier Auslegern geführten zentralen Druckstempel in den Boden gedrückt wurde (Abbildung 4). Unterhalb der Pflugfurche (tiefer ca. $0,20 \text{ m}$) wurden im weiteren Verlauf des Stechvorganges sukzessiv Bereiche von $0,2\text{-}0,3 \text{ m}$ Tiefe mit einem Mini-

bagger freigegraben, per Hand nachgearbeitet und dann der Zylinder weitergeführt (Abbildung 4). Dieser Ablauf wurde wiederholt bis zum Abschluss der Lysimeterfüllung. Anschließend wurde die Abschervorrichtung angesetzt, das Lysimeter abgeschert und aus der Baugrube gehoben. Die hier verwendete schichtweise Präparation des Bodens hat sich bestens bewährt, denn erst dieses Verfahren garantierte die annähernd störungsfreie Gewinnung der Bodenmonolithen.

Bei den zylindrischen SOILCan-Lysimetern kann das Matrixpotential an der Lysimetersohle (untere Randbedingung) mittels eines im ungestörten Bereich des Lysimeterhexagons installierten Steuertensiometers bzw. eines frei wählbaren Unterdruckes über den Saugstangenrechen ferngesteuert (manuell oder automatisch) geregelt werden. Hierfür wurden die Lysimeter nach der Befüllung gedreht, im unteren Bereich eine etwa 10 cm breite Bodenschicht entnommen und zwischengelagert. In diesem freigearbeiteten Raum der Lysimetersohlen wurden jeweils 6 poröse Saugstangen



Abbildung 5: Einbau des Saugstangenrechens in ein Lysimeter (links), Schemazeichnung eines Lysimeters mit steuerbarer unterer Randbedingung (rechts).

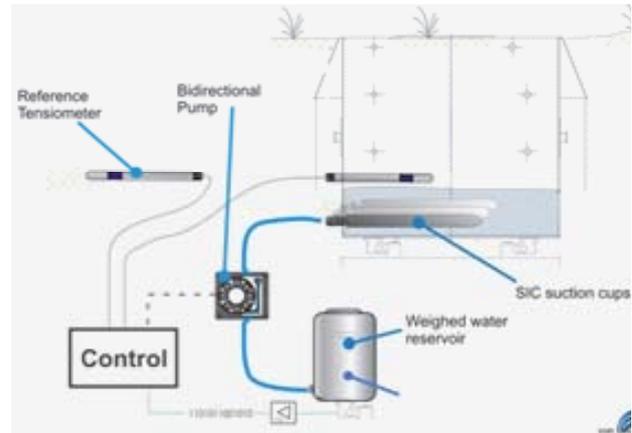


Tabelle 2: Instrumentierung der SOILCan-Lysimeter.

| Sensoren pro Lysimeter | Anzahl | Einbautiefe (cm) |
|------------------------------|--------|--------------------|
| Tensiometer | 3 | 30 / 50 / 140 |
| Matrixpotentialsensor | 4 | 2 x 10 / 30 / 50 |
| TDR-Sonde | 3 | 10 / 30 / 50 |
| Temperatursensor | 6 | 10 / 30 / 50 / 140 |
| Wärmeflussensor | 1 | 10 |
| CO ₂ -Gassensor | 1 | 10 |
| Waagen (Perkolat, Lysimeter) | 2 | - |
| Saugkerzen | 3 | 10 / 30 / 50 |

(sog. Saugstangenrechen) aus Siliziumcarbid eingelegt, die Schlauchanschlüsse aus den Lysimeterzylindern herausgeführt und mit dem entnommenen Feinmaterial der jeweiligen Lysimeterböden wieder restlos verfüllt (Abbildung 5). Anschließend wurden jeweils eine Lysimeterdichtung eingelegt und der Lysimeterboden aufgeschraubt.

Jedes Lysimeter hängt an drei hoch empfindlichen Wägezellen (Messgenauigkeit 100 g i.e. 0.1mm), so dass Evapotranspiration und Niederschlag präzise und zeitlich hoch aufgelöst erfasst werden. Um möglichst umfassende Informationen über den Bodenzustand in den Lysimetern zu erhalten, wurden verschiedene Sensoren in allen Lysimetern installiert (Tabelle 2, Abbildung 6).

Da neben dem Wasserhaushalt auch Erkenntnisse zu Stoffflüssen in den Lysimetern erarbeitet werden sollen, wurden neben der Sickerwasserbeprobung Saugkerzen in drei verschiedenen Tiefen installiert. Hierbei erfolgt die Steuerung der angelegten Saugspannung für die Bodenlösungsprobenahme in Abhängigkeit vom Matrixpotential des umgebenden Bodens. Die Sickerwässer werden in 50 Liter Edelstahlbehältern gesammelt, wobei Aliquote des anfallenden Sickerwassers in Probenahmeflaschen gewonnen werden. Jeder Sickerwasserbehälter ist mit einer Waage ausgestattet, um die Dynamik der Sickerwasserspende zu dokumentieren. An die Sickerwasserbehälter ist ein ansteuerbarer Rückfluss in das jeweilige Lysimeter angeschlossen, um über den Saugkerzenrechen bei aufsteigender Wasserfront Sickerwasser in die Lysimeter zurückzuführen. Die Respirationsaktivität wird über einen installierten CO₂-Gassensor erfasst.

Da die Lysimeter zum Teil über große Entfernungen transportiert werden mussten, war der schonende Transport eine zentrale Bedingung, um die natürlichen Bodenstrukturen in den einzelnen Lysimetern zu bewahren. Der Transport der instrumentierten Lysimeter zu den Bestimmungsorten erfolgte auf angefertigten Rahmen mit einem luftgedephten Tieflader. Jedes Lysimeter erhielt nach seiner Befüllung einen Schockalarmsensor. Um etwaige Verdichtungen erkennen zu können, wurde die Höhe der Bodenoberfläche im Zylinder markiert. Der Lysimetertransport durch Deutschland mit insgesamt 15.230 Lysimeterkilometern wurde mit Vibrationsloggern dokumentiert. Es wurden keinerlei Beeinträchtigungen durch den Transport beobachtet. Am Ende des Lysimetertransportes wurden die komplett instrumentierten Lysimeter dann in die jeweiligen Stationen eingesetzt und die Anschlüsse zu Loggern, Pumpen, Sammelflaschen, etc. hergestellt (Abbildung 6).

Die vollautomatisierten Lysimetersysteme besitzen modernste funkbasierte Technologien zur Überwachung und Datenkommunikation, so dass ein zentraler Systemmanager die kontinuierliche Überwachung und Funktionalität aller Systeme übernehmen kann. Nach einer sorgfältigen technischen Datenprüfung werden dann die Lysimeterdaten zur weiteren wissenschaftlichen Bearbeitung in die TERENO-Datenbank eingestellt.

Um lokale, klimatische Besonderheiten zu erfassen, wurde in unmittelbarer Nachbarschaft einer jeden Station eine meteorologische Station, ein Depositionssammler und an ausgewählten Standorten Eddy-Kovarianz-Stationen aufgestellt. Mit Hilfe einer Videokamera wird die Feldsituation kontinuierlich dokumentiert, und es können auch Störungen durch unbetene Besucher, wie Mäuse, Vögel oder auch größere Tiere registriert werden.

Ausblick

Die Laufzeit des Lysimeterexperimentes ist entsprechend der TERENO-Laufzeit auf mindestens 15 Jahren angelegt. Nach ausführlichen Bodenansprachen und Bestimmung der wesentlichen bodenphysikalischen und bodenchemischen Parameter wird zu Beginn des nächsten hydrologischen Jahres ein Tracerversuch auf allen Lysimeter begonnen.



Abbildung 6: **Komplett instrumentiertes Lysimeter (links), Lysimeteranlage in Rollesbroich (Observatorium Eifel/Niederrheinische Bucht) kurz vor der Fertigstellung (rechts).**

Literatur

GLASER, R., 2008: Klimageschichte Mitteleuropas - 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

BOGENA, H., K. SCHULZ und H. VERECKEN, 2006: Towards a network of observatories in terrestrial environmental research. *Adv. Geosci.*, 9, 1-6.

ZACHARIAS, S., H. BOGENA, L. SAMANIEGO, M. MAUDER, R. FUSS, T. PÜTZ, M. FRENZEL, M. SCHWANK, C. BAESSLER, K. BUTTERBACH-BAHL, O. BENS, E. BORG, A. BRAUER, P. DIETRICH, I. HAJNSEK, G. HELLE, R. KIESE, H. KUNSTMANN, S. KLOTZ, J.C. MUNCH, H. PAPAN, E. PRIESACK, H.P. SCHMID, R. STEINBRECHER, U. ROSENBAUM, G. TEUTSCH and H. VERECKEN, 2011: A network of terrestrial environmental observatories in Germany. *Vadose Zone Journal*, submitted.