

# Wägbare Lysimeter mit definierter unterer Randbedingung (Lysimetersohle)

TH. PÜTZ, F. FÜHR und H. VERECKEN

## 1. Zusammenfassung

Das Lysimeter wird für vielfältige Fragestellungen in der Umweltforschung eingesetzt, um möglichst realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten. Aufgrund der geringen Länge weisen die bisher eingesetzten Lysimeter einen vom natürlichen Feldstandort erheblich abweichenden Wasserhaushalt auf. Zur Optimierung des Wasserhaushaltes wurde ein 2,5 m langer Lysimetertyp gebaut, der zur Verbesserung der Lysimetersohle eine unterdruckgesteuerte Edelstahlintermetallplatte besitzt. Die insgesamt 10 Lysimeter werden in einer unterkellerten Anlage auf je eine Brückenwaage mit einem Wägebereich von 0-12 t mit einer Auflösung von 100 g m<sup>-2</sup> aufgestellt. Die Temperierung des Lysimeterkellers erfolgt in Anlehnung an eine Referenztemperatur des Feldstandortes in Merzenhausen.

## 2. Einleitung

Die Vorhersagbarkeit des Verhaltens anthropogen eingetragener organischer Schadstoffe im Boden stellt eine der wesentlichen Aufgaben im Rahmen des Bodenschutzes dar. Ausgehend von oberirdisch aufgestellten, mit gestörtem Boden befüllten Lysimetern wurde in den 80er Jahren die Lysimeterstation des Instituts für Agrosphäre in zwei Phasen auf 50 ebenerdig versenkte Lysimeter verschiedener Größen und Formen, befüllt mit Monolithen repräsentativer Bodentypen, erweitert. Lysimeterexperimente implizieren produktionstechnische Besonderheiten der landwirtschaftlichen Praxis (Düngung, Fruchtfolge, Pflanzenschutzmittelbehandlungen, etc.). Heute ist so z.B. der Lysimeterversuch mit <sup>14</sup>C-markierten Wirkstoffen integraler Bestandteil bei der Prüfung von Pflanzenschutzmitteln hinsichtlich ihrer Mobilität und ihres Metabolisierungsverhaltens im Rahmen des Zulassungsverfahrens (BBA, 1990). Anfang der 90er Jahre wurde im Institut für

Agrosphäre das Lysimeterkonzept komplettiert, indem ein über dem Lysimeter aufgebauter Windkanal zur Untersuchung der Verflüchtigung von organischen Stoffen entwickelt und mit der Feldrealität verglichen wurde. So lassen sich realitätsgerechte Stoffdaten zur Pflanzenaufnahme, zum Verbleib im Boden einschließlich einer Verlagerung in Richtung Grundwasser und zur Verflüchtigung erarbeiten (FÜHR et al. 1998).

Von zentraler Bedeutung für den Verbleib anthropogener Stoffeinträge im Boden ist der **Wasserhaushalt**, beeinflusst durch Niederschlag, Evapotranspiration, Oberflächenabfluss und Versickerung (Abbildung 1). Charakteristika des Stofftransportes im Boden wie Massenfluss, Diffusion, Carrier- und Co-Transport werden durch Komponenten des **Wasserhaushaltes** wesentlich bestimmt. Prognosen zum Gefährdungspotential anthropogener Stoffeinträge in

das Grundwasser müssen deshalb alle Transportformen berücksichtigen, wenn sie dem Anspruch einer belastbaren Vorsorge genügen sollen (Abbildung 1). Vor diesem Hintergrund wurden folgende zusätzlichen Ansprüche an die neue Lysimeteranlage gestellt:

- Möglichkeit zur kontinuierlichen Erfassung der Perkolatbildung
- Ausreichende Länge der Bodenmonolithen (hydraulische Wasserscheide innerhalb des Lysimeters)
- Bodenmonolithe mit Kapillaranchluss
- Neugestaltung der Lysimetersohle
- Erfassung der Evapotranspiration bzw. kontinuierliche Wägung der Lysimeter
- Einsatz von Radiotracer

## 3. Lysimetergebäude

Am 18.08.98 erfolgte der erste Spatenstich zum Bau des Lysimeterkellers aus

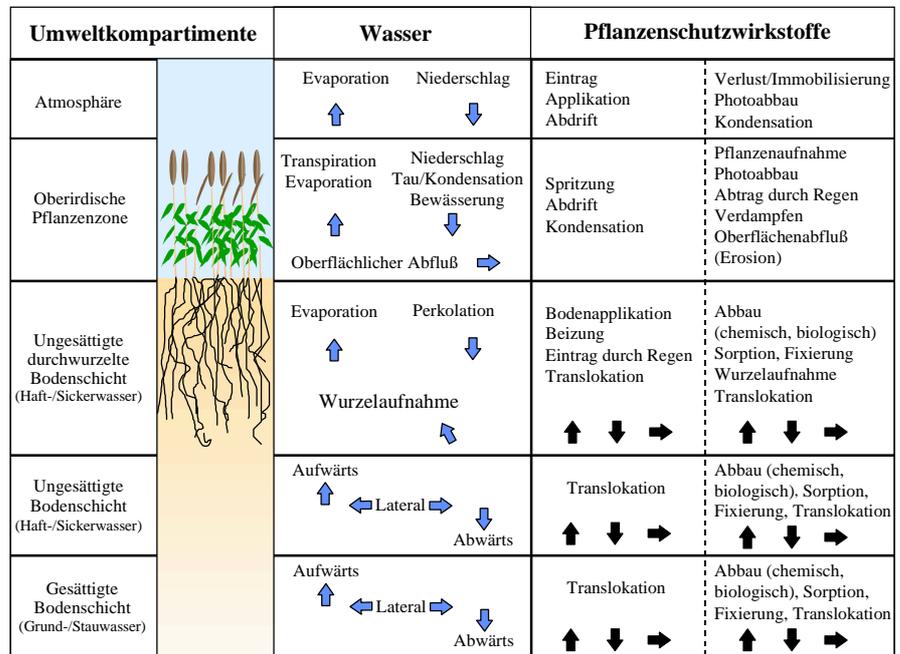


Abbildung 1: Eintrag von Chemikalien in die Umwelt und die Prozesse, die den Verbleib dieser Stoffe in Wasser, Boden, Pflanze und Luft nachhaltig beeinflussen (verändert nach CHENG und KOSKINEN 1986).

**Autoren:** Dr. Thomas PÜTZ, Dir. Prof. Dr. Fritz FÜHR und H. VERECKEN, Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre IV: Agrosphäre, Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 JÜLICH



Abbildung 2: Aufsicht auf den Lysimeterkeller während der Bauarbeiten. Montage der Distanzringe auf die Lysimeterpositionen.

wasserdichtem Beton. Dem Lysimeterkeller vorgelagert, befindet sich der Treppenabgang mit einem Lastenaufzug. Der Zugang vom Treppenabgang zum Lysimeterkeller ist mit einer isolierten Tür verschlossen, um so möglichst konstante Klimabedingungen zu garantieren. Der Keller teilt sich in vier Bereiche: die Zugangsschleuse, den Lysimeterkeller, den Technikraum und die Kontrollwarte. Der Lysimeterkeller besteht aus einem Hauptraum mit einer Länge von 23,5 m und einer Breite von 11,0 m. In diesen Raum werden 10 Lysimeter mit einem Abstand von 2,0 m in zwei parallel laufenden Reihen mit je 5 Lysimetern eingesetzt. Die Raumhöhe beträgt 3,3 m. Die Statik der Kellerdecke ist so ausgelegt, dass die Decke selbsttragend ist, also keine Zwischenpfeiler benötigt werden. Der Zugang zu jedem einzelnen Lysimeter ist somit ungehindert möglich, um die notwendigen Pflege- und Wartungsarbeiten, aber speziell auch Messungen, ungehindert vornehmen zu können. Auf die kreisförmigen Deckendurchbrüche des Lysimeterkellers für die Lysimeter wurden 0,7 m hohe Edelstahlringe befestigt und abgedichtet (Abbildung 2). Anschließend wurden auf der Kellerdecke rechts und links neben den Edelstahlringen Drainagerohre verlegt, mit Kiespackungen abgedeckt und ca. 0,6 m Boden aufgefüllt. Dieser Bereich

dient als Kontrollfläche für Pflanzenversuche. Für die Temperierung des Lysimeterkellers wird die Referenztemperatur in 1,5 m Bodentiefe auf dem intensiv landwirtschaftlich genutzten Feldstandort in Merzenhausen (ca. 10 km nordwestlich von Jülich) vorgegeben.

Die Referenztemperatur wird on-line über eine Telefonstandleitung an die Temperatursteuerung des Lysimeterkellers übertragen. Wahlweise ist auch eine manuell einstellbare Temperaturvorgabe möglich. Auf dem Feldstandort in Merzenhausen befindet sich eine Wetterstation, die eine Vielzahl von Klimaparametern (Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Bodentemperatur, Niederschlag, Bodenoberflächentemperatur, Einstrahlungsintensität Wärmeleitfähigkeit im Boden, etc.) erfasst. Für die Lysimeteranlage wurde eine Genehmigung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen erteilt.

Aus Gründen des Personenschutzes ist eine Belüftung des Lysimeterkellers notwendig. Im Technikraum befindet sich die Infrastruktur für die Versorgung des Kellerraumes und der Lysimeter, wie die Lüftungsanlage, die Temperierungsaggregate, Kompressor, Vakuumpumpe, Wasserversorgung und Hebeanlage für Abwasser. In der Kontrollwarte wurden die Datenerfassung und das Steuerungssystem der Lysimeteranlage installiert.

#### 4. Aufbau der Lysimeter

Die Lysimeter bestehen aus  $V_2A$ -Edelstahlzylindern, besitzen eine Höhe von 2,50 m und eine Oberfläche von 2,0 m<sup>2</sup>. Die Wandstärke der Lysimeterzylinder beträgt 10 mm. An der Unterkante des Lysimeterzylinders ist eine Sintermetall-Bodenplatte angeschraubt. Die Lysimeter werden zur Perkolaterfassung in Wannen platziert, deren Auffangfläche in acht Segmente unterteilt ist (Abbildung 3). Jedes einzelne Segment ist mit einem 20 L Edelstahlbehälter verbunden. Zur kontinuierlichen Messung der Sickerwasserspenden ist zentral in jeden Behälter ein Ultraschallsensor eingebaut. Um einen Unterdruck an die Lysimetersohle anzulegen, wird die Perkolatwanne mit einer pressluftgefüllten Dichtung gegen den Lysimeterzylinder abgedichtet. Über die Edelstahlbehälter wird dann ein vorgegebener Unterdruck an die Lysimetersohle angelegt und so ein Matrixpotential einer unter dem Bodenmonolithen befindlichen Bodenschicht simuliert. Hierbei kann jedes Lysimeter individuell angesteuert werden.

Jede Lysimereinheit, bestehend aus Lysimeterzylinder, Bodenplatte und Lysimeterwanne steht auf einer Brückenswaage Typ 20000 VE/329 (Bizerba, Bochum) mit einem Wägebereich von 0-12 t und einer Auflösung von 200 g über den gesamten Messbereich. Dies ent-

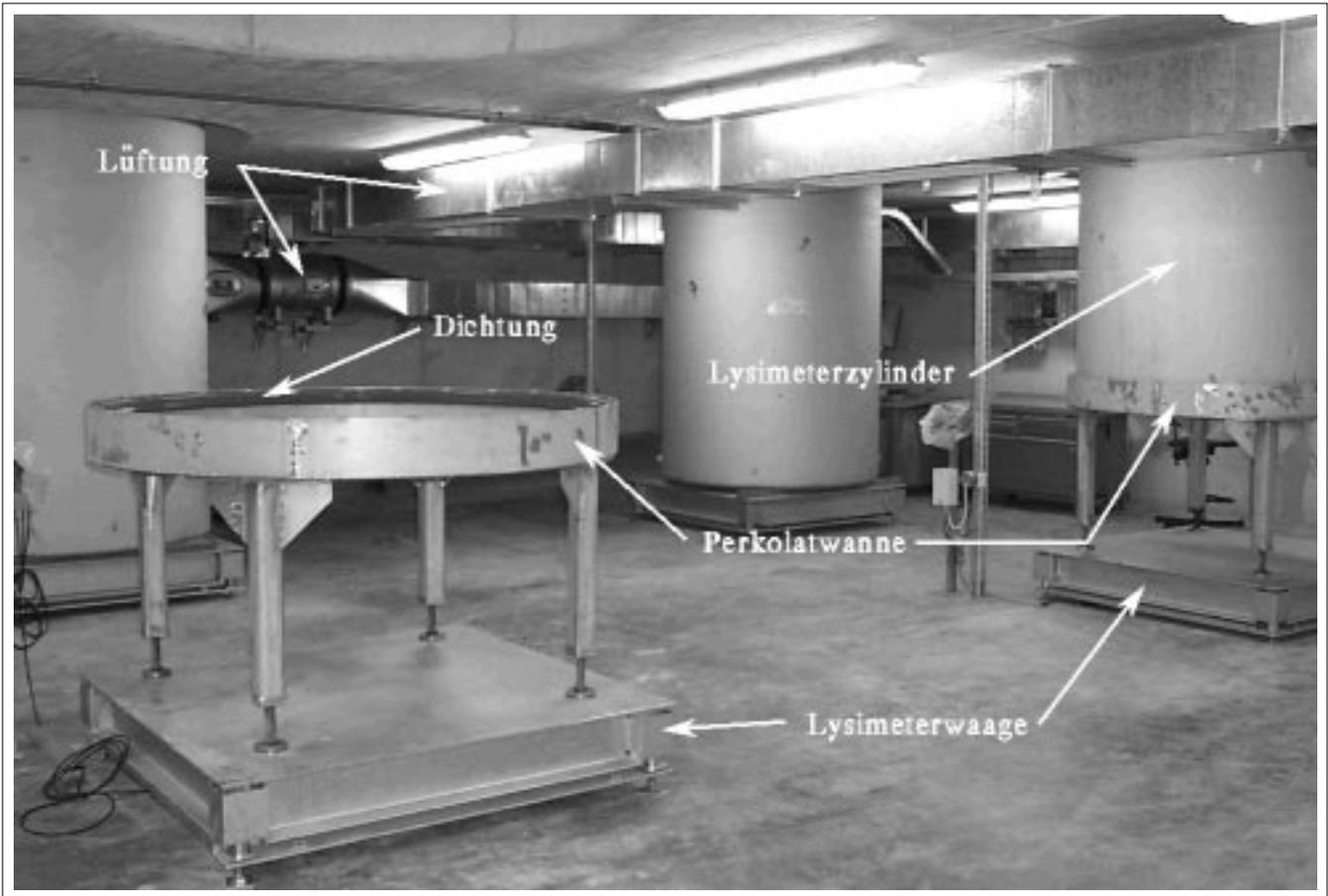


Abbildung 3: Blick in den Lysimeterkeller mit Lysimeterwaage, Lysimeterwanne und Lysimeterzylinder.

spricht einer Messauflösung von  $100 \text{ g m}^{-2}$  bei einer Lysimeteroberfläche von  $2,0 \text{ m}^2$ . Bohrungen zur Installation von Messsensoren (TDR-Sonden, Temperaturfühler, etc.) bzw. Beprobungssystemen (Saugkerzen) werden individuell, auf das entsprechende Versuchsde-

sign abgestimmt erstellt. Das Datenerfassungssystem INTERMAC (Schühle, Ravensburg) ist standardmäßig so ausgelegt, das für jedes Lysimeter in einem separaten Verteilergehäuse standardmäßig Klemmplätze für 20 Messfühler zur Verfügung stehen.

## 5. Lysimeterfüllung

Die Lysimeterfüllung erfolgt nach dem Stechzylinderprinzip, das bereits 1990 vom Landesumweltamt NRW (Essen) entwickelt und erfolgreich eingesetzt wurde (DELSCHEN 1991). Hierbei werden zwei Doppel-T-Träger horizontal exakt eingemessen und an beiden Enden mit Betongewichten beschwert. Anschließend wird der Lysimeterzylinder platziert und die hydraulische Einpressvorrichtung aufgesetzt und mit den Trägern verbunden. Nach dem vollständigen Einpressen des Lysimeterzylinders wird die Einpressvorrichtung abgebaut und der Lysimeterzylinder freigegeben. Im nächsten Schritt wird die Abscher- vorrichtung angesetzt und horizontal ausgerichtet (Abbildung 4). Die runde Bodenplatte wird in einen mit einer Schneide versehenen Schlitten und mit zwei Kettenzügen von je 6 t unter den mit einem Bodenmonolithen gefüllten Zylinder gezogen. Anschließend wird die Bodenplatte an den Lysimeterzylinder geschraubt und der gefüllte Lysimeter zur Lysimeteranlage in Jülich transportiert. Dort wird die komplette Lysime-

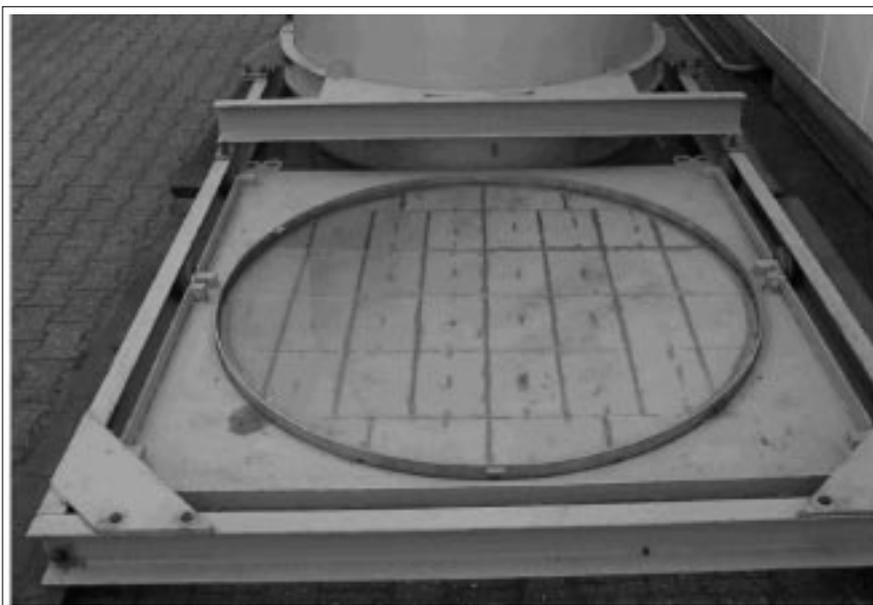


Abbildung 4: Bodenplatte im Schlitten des Schneidrahmens.



Abbildung 5: Blick auf die neue Lysimeteranlage im Freigelände - Kontrollbereich.

tereinheit mit einem Kran in die gewünschte Position gesetzt (Abbildung 5).

## 6. Datenerfassung

Die Datenerfassungseinheit ist in einem Schaltschrank in der Steuerwarte untergebracht und besteht aus einem INTERMAC-Basismodul, einer Ethernet-Schnittstelle, 12 Analog-Multiplexern, 10 PID-Reglern, 11 RS 485 Netzwerkknoten und Blitzschutz für jeden einzelnen Kanal (Schühle, Ravensburg). Die Philosophie dieses Datenerfassungssystems ist ein weltweiter Zugriff via Internet.

## 7. Konzeption der ersten Versuche

Nach baubehördlicher Abnahme des Lysimeterkellers werden zur Zeit die ersten Versuche in der neuen Anlage vorbereitet.

Im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Landwirtschaftszentrum Monheim (BAYER AG) soll ein Beprobungssystem für den Einsatz im Feldmaßstab entwickelt werden, das die Wirkstoffverlagerung im Sickerwasser realitätsnah unter Berücksichtigung der Bodenvariabilität erfasst. Im Rahmen des Projektes soll der Schwerpunkt auf Saugkerzen liegen, ohne weitere alternative Messsysteme

auszuschließen. Geplant ist die Verwendung von Saugkerzen eines neuen Bautyps, bei dem die untere Hälfte des Keramikkörpers der Saugkerze versiegelt ist und so nur abwärtsgerichtetes Sickerwasser erfasst wird. Neben Aussagen über die Langzeitstabilität der eingesetzten Probenahmesysteme soll das Projekt Ergebnisse bzgl. der räumlichen Variabilität der Wirkstoffkonzentrationen im Bodenwasser liefern. Hierbei soll geklärt werden, inwieweit Variabilitäten auf das Beprobungssystem oder auf unterschiedliche Bodeneigenschaften zurückzuführen sind. Im Versuch sollen die mittels der Saugkerzenbeprobung im Feld gewonnenen Daten zum Stofftransport gegen Ergebnisse wägbarer, tensiometergesteuerte Lysimeter mit installierten Saugkerzen abgeglichen und hinsichtlich ihrer Aussagekraft bewertet werden.

In Kunststoff-Lysimetern wird das im Forschungszentrum Jülich entwickelte nicht-invasive Verfahren MERIT (Magneto-Electrical Resistivity Imaging Technique) zur Erfassung und Charakterisierung von Fließ- und Transportprozessen in Böden eingesetzt. Das MERIT-Verfahren basiert auf der simultanen Messung und Auswertung elektrischer Potential- und Magnetfeldverteilungen, die durch, dem Boden gezielt aufgepräg-

te Stromsysteme, erzeugt werden. Mit Hilfe tomographischer Inversionsalgorithmen werden die punktuell am Lysimeter gewonnenen Messdaten in räumliche Bilder der elektrischen Leitfähigkeit im Bodenmonolithen umgerechnet. Ziel ist es, Erkenntnisse hinsichtlich der räumlichen Variabilität der Bodenfeuchte und auch der Ausbildung präferentieller Fließwege bei Stofftransportprozessen zu gewinnen.

## 8. Literatur

- Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 1990: Lysimeteruntersuchungen zur Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln in den Untergrund. Richtlinie für die Prüfung von Pflanzenschutzmitteln im Zulassungsverfahren Teil IV, 4-3, Saphir-Verlag, Braunschweig.
- CHENG, H. H. und W. C. KOSKINEN, 1986: Processes and factors affecting transport of pesticides to ground water. In: Garner, W. Y., Honeycutt, R. C. & Nigg, H. N.: Evaluation of Pesticides in Ground Water. ACS Symposium Series **315**, 2-13.
- DELSCHEN, TH., 1991: Neue Lysimeteranlage für Schadstoffuntersuchungen in Betrieb genommen. LÖLF-Mitteilungen **4**, 24-25.
- FÜHR, F., P. BURAUDEL, M. DUST, W. MITTELSTAEDT, T. PÜTZ, G. REINKEN und A. STORK, 1998: Comprehensive trace studies on the environmental behaviour of pesticides: the lysimeter concept. In: Führ, F., Hance, R. J., Plimmer, J. R. & Nelson, J. O.: The Lysimeter Concept - Environmental Behaviour Of Pesticides. ACS-Symposium Series **699**, 1-20.