

LYSIMETER – EIN WICHTIGES HILFSMITTEL IN DER BODEN- UND GEWÄSSER- FORSCHUNG

Ralph Meißner, Hainer Dohrmann, Siegfried Knappe,
Detlef Lazik, Holger Rupp, Peter Schonert, Juliane Seeger

Um Auswirkungen von gegenwärtig und zukünftig in einem Einzugsgebiet stattfindenden Landnutzungsänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt prognostizieren zu können, haben sich Lysimeter seit vielen Jahren als wirksames Hilfsmittel bewährt. Gegenwärtig stehen dem Umweltforschungszentrum meh-

rere Lysimeteranlagen unterschiedlicher Bauart zur Verfügung, die in eigener Regie bzw. in Kooperation mit vorwiegend wasserwirtschaftlich orientierten Landesdienststellen von Sachsen und Sachsen-Anhalt betrieben werden.

Was sind Lysimeter und wie wird mit ihnen gearbeitet

Lysimeter stellen naturnahe Experimentalanlagen dar und bestehen aus einem mit Erdboden gefüllten Behälter sowie Einrichtungen zur Messung der in und durch die Bodensäule sich bewegenden Medien Wasser, gelöste Stoffe und Luft (Bild 1). Sie sind sowohl der pflanzlichen Besiedlung als auch den Witterungsbedingungen, das heißt, Niederschlag, Wind, Strahlungsintensität, Schwankungen der Temperatur und Feuchte ausgesetzt. Grundsätzlich wird zwischen geschütteten und monolithisch gestochenen Lysimetern unterschieden. Bei geschütteten Lysimetern werden repräsentative, in der Natur vorkommende Schichtenfolgen von Bodenprofilen abgegraben und in die Lysimetergefäße eingebaut. Im Gegensatz dazu wird bei den mono-

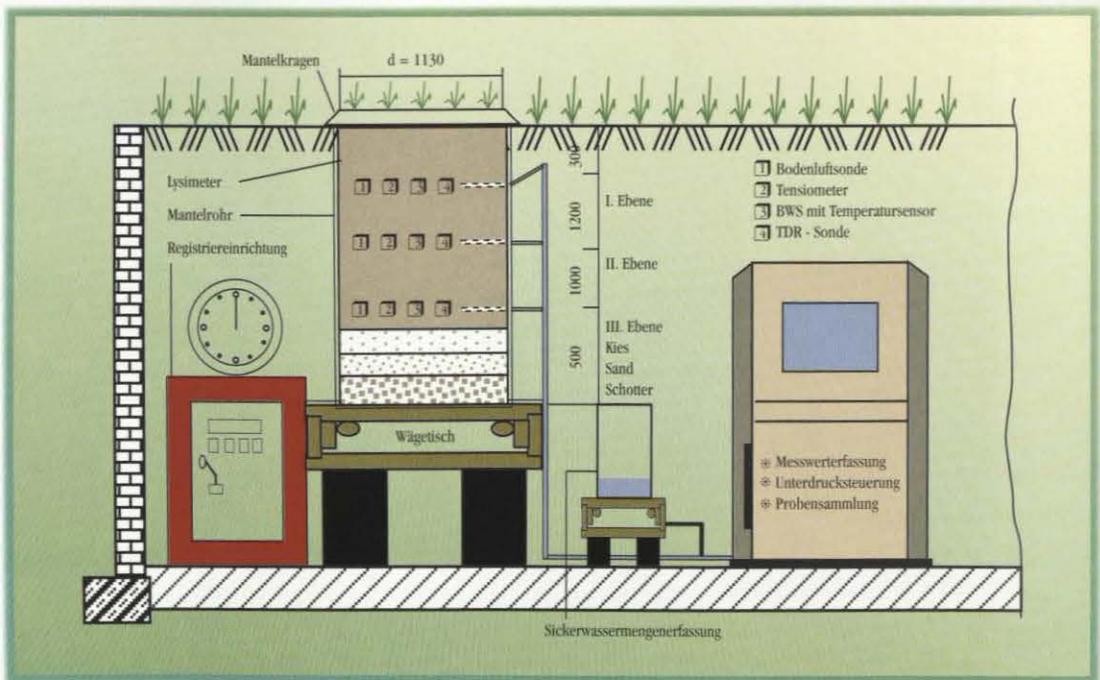


Bild 1: Prinzipieller Aufbau eines wägbaren Lysimeters in der Lysimeteranlage Brandis. Einrichtung zur Erfassung des Sickerwassers, Waage zur Messung der Bodenwasservorratsänderung in der Bodensäule, Instrumentierung mit Bodenluftsonden, Tensiometern, Bodenwassersaugsonden, TDR-Sonden zur Messung der Bodenfeuchte und der dazugehörigen Computertechnik zur Steuerung und Erfassung der Messwerte.



Bild 2a: Bodenprofil am Lysimeterentnahmeort »Rekultivierte Braunkohlentagebaukuppe Espenhain« bei Rötha. Die ausgegrenzte Fläche (Bezeichnung Lys.1) kennzeichnet den Profilaufbau im Lysimeterquerschnitt.

lithisch gestochenen Lysimetern das Lysimetergefäß um einen in natürlicher Lagerung bestehenden Bodenkern herum eingetrieben, seitlich freigegeben und nach unten hin abgedichtet.

Lysimeter liefern kontinuierlich ermittelte, durchfluss- und volumenbezogene Mittelwerte von Stoffkonzentrationen. Aufgrund der Vielzahl von Größen, die den Prozess der Wasser- und Stoffbewegung im Boden beeinflussen, sind zusätzliche Untersuchungen zur Separierung von sensiblen Parametern, das sind Parameter, die bei Änderung eine eindeutige Reaktion des stofflichen Systems hervorrufen, erforderlich. Um Informationen über die Prozesse als Grundlage einer späteren Modellierung zu erhalten, werden deshalb Säulenexperimente zur Ermittlung von dynamischen Kenngrößen durchgeführt wobei eine eingeschränkte Anzahl von Parametern variiert wird. Die durch die Säulenexperimente gewonnenen Erkenntnisse sollen in Kombination mit den aus Lysimeteruntersuchungen ermittelten Zeitreihen sowohl zu Aufklärung von Stofftransportprozessen im Boden beitragen als auch einen wesentlichen Baustein zur Übertragung dieser mikroskalig gewonnenen Ergebnisse auf größere Flächen darstellen.

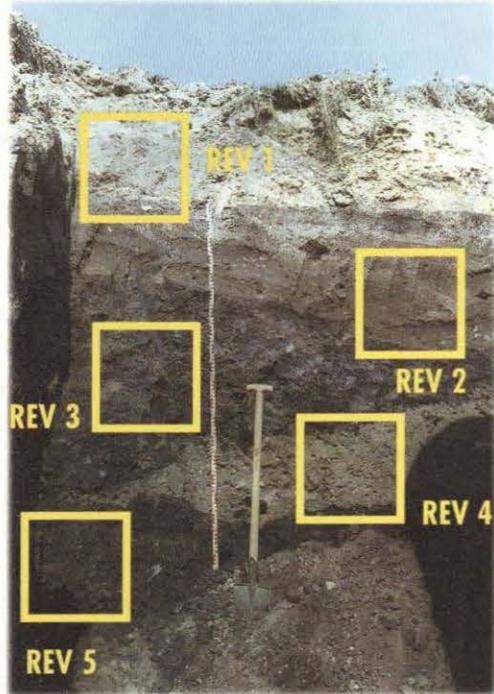


Bild 2b: Gleiches Bodenprofil wie in Bild 2a. Lysimeterentnahmeort »Rekultivierte Braunkohlentagebaukuppe Espenhain« bei Rötha. Die ausgegrenzten Flächen (REV 1-5) kennzeichnen den Profilaufbau für die entnommenen Bodensäulen.

Als Beispiel für die Kopplung von Lysimeter- und Säulenexperimenten wird in Bild 2a ein Bodenprofil am Lysimeterentnahmeort »Braunkohlentagebaukuppe Espenhain« bei Rötha mit projiziertem Lysimeterquerschnitt gezeigt. Ersichtlich ist die deutlich ausgeprägte Folge unterschiedlicher Böden und Kippensubstrate. Der volumetrische Anteil, den jedes Substrat im gestochenen Lysimeter einnimmt, ist nicht bekannt. Unbekannt sind auch die hydraulischen und geochemischen Eigenschaften der einzelnen Böden und Kippenmaterialien. Für die Ermittlung substrattypischer Parameter wurden deshalb Stechzylinder und Bohrkerne aus dem ungestörten Bodenmaterial entnommen, die ein repräsentatives Elementarvolumen (REV) des entsprechenden Substrates (Bild 2b) beinhalten. Diese als Umlauf- oder Durchlaufsäulen aufgebauten Kernproben werden unterschiedlichen Elutionsszenarien unter Aufzeichnung der Milieuentwicklung (Temperatur, pH-Wert, Redoxpotential, Leitfähigkeit, Sauerstoffpartialdruck) unterworfen. Die Entwicklung der Messgrößen in den Eluat, die aus den mit unterschiedlichen Substraten gefüllten Säulen stammen, wird dann mit den Abläufen aus den Lysimetern verglichen und zur Bilanzierung der am geochemischen Prozess beteiligten Stoffe genutzt.

Lysimeterstation Falkenberg Repräsentation des nördlichen sachsen-anhaltinisch-branden- burgischen Raumes

In der Lysimeterstation Falkenberg befinden sich zwei Lysimeteranlagen, die mit insgesamt 144 Lysimetern unterschiedlicher Bauart ausgerüstet sind (Bild 3). Bei der größeren Anlage handelt es sich um 120 nichtwägbare Lysimeter mit einer quadratischen Oberfläche von 1,0 m mal 1,0 m und einer Tiefe von 1,25 m. Es werden 117 Gefäße als Gravitationslysimeter und 3 Lysimeter mit Unterdruck betrieben. 2 Lysimeter aus dieser Anlage sind mit einer Sickerwasserentnahmeeinrichtung aus differenzierten Bodentiefen ausgestattet; bei einem erfolgt der Betrieb automatisiert. Um repräsentative Gebietsaussagen zu erhalten, wurden die Füllböden mit den Bodenarten Sand, lehmiger Sand, Lehm und Löß an typischen Lockergesteinsstandorten mit hoher Grundwasserneubildung und gleichzeitiger intensiver landwirtschaftlicher Bewirtschaftung gewonnen und in Falkenberg manuell eingebaut. Gegenwärtig werden diese Lysimeter für die Untersuchung des Einflusses von Maßnahmen der Flächenstilllegung und Extensivierung auf den Wasser- und Stoffhaushalt des Bo-



Bild 3: Blick auf die Lysimeteranlage in Falkenberg. Im Vordergrund 120 Lysimeter, gefüllt mit repräsentativen Bodenarten aus dem Einzugsgebiet der Elbe und differenzierter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung. (Foto: Holger Rupp)

dens genutzt. Außerdem wird an der Übertragung dieser Lysimeterergebnisse auf ein in der Nähe der Station befindliches, vorwiegend landwirtschaftlich genutztes Einzugsgebiet (ca. 2500 Hektar) – dem »Schaugraben« (Nebenfluss der Elbe) – gearbeitet.

Die Anlage wurde 1995 um 4 nichtwägbare Lysimeter mit separatem Grundwasseranstauesystem und einer Oberfläche von 1m² sowie einer Tiefe von 1,75 m erweitert (Bild 4). Sie wurden mit Kippenböden aus ehemaligen Braunkohle Tagebauen im Raum Leipzig gefüllt und sind Bestandteil des oben bereits erwähnten Komplexversuches zur Über-

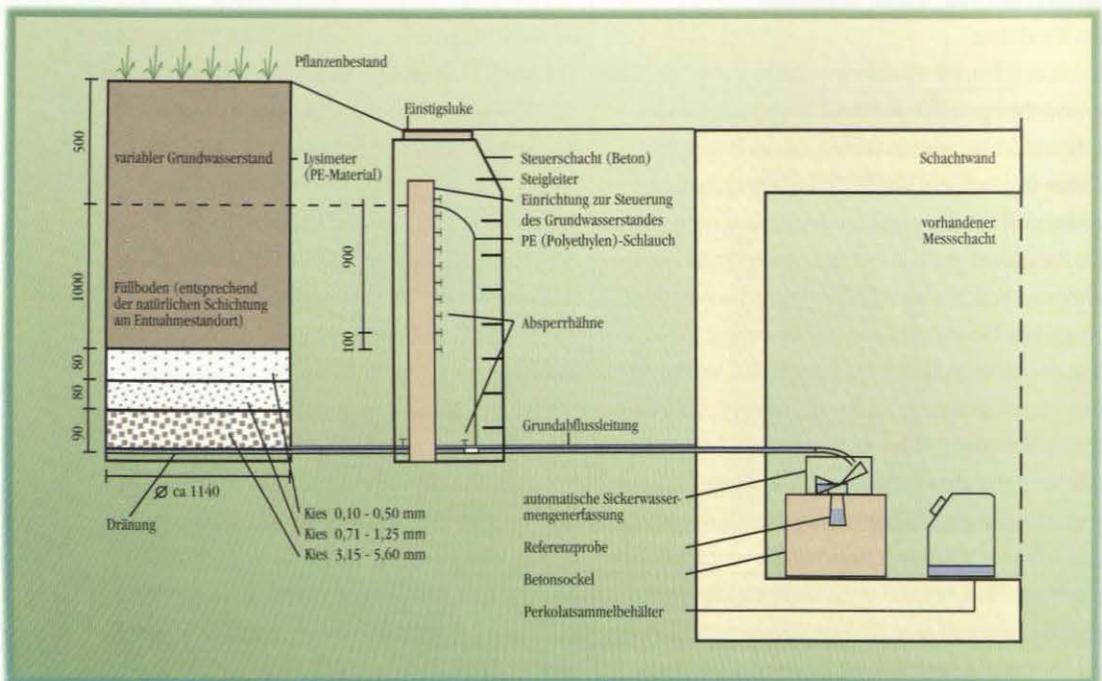


Bild 4: Prinzipskizze der Gravitationslysimeter mit variabel einstellbarem Grundwasserstand am Standort Falkenberg. Die Lysimeter sind mit Kippenböden gefüllt und werden zur Untersuchung des Wasser- und Stoffhaushaltes von Bergbaufolgelandschaften genutzt.

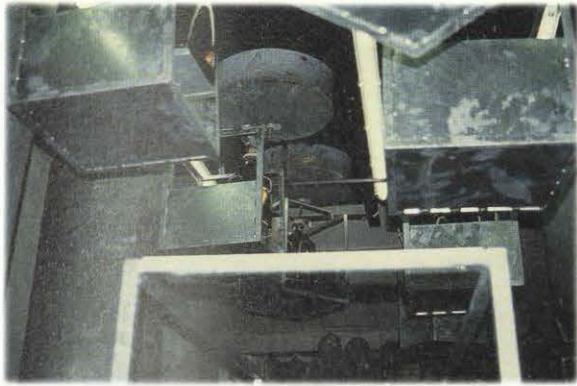


Bild 5a: Innenansicht der tiefengestaffelten Lysimeteranlage in Falkenberg. 20 Lysimeter mit Bodentiefen von 0,25 bis 3 m werden zur Aufklärung von Stoffverlagerungsprozessen genutzt. (Foto: Holger Rupp)

tragbarkeit von Säulen- und Lysimeterergebnissen auf Bergbaufolgefächern.

Des weiteren befindet sich am Standort in Falkenberg eine tiefengestaffelte Lysimeteranlage (Bild 5a, 5b). Hierbei handelt es sich um insgesamt 20 nichtwägbar, runde Lysimeter mit einer Oberfläche von 0,2 m² und Tiefenabstufungen von 0,25 m, 0,5 m, 1,0 m, 2,0 m und 3,0 m. Seit 1989 sind jeweils 10 Gefäße mit einem Sand- und einem lehmigen Sandboden gefüllt. Auf diesen Lysimetern wird gegenwärtig ein Multitracerversuch zur Untersuchung der Abhängigkeit der Nitratverlagerung von der Wasserbewe-

gung im Boden durchgeführt. Außerdem werden diese Lysimeter seit November 1995 zur Untersuchung der Verlagerung von relevanten organischen Schadstoffen (Fluoranthen, Benzo-a-pyren, α -HCH, β -HCH, Methoxychlor) mit dem Sickerwasser genutzt.

Lysimeterstation Brandis Repräsentation des Mittel- deutschen Trockengebietes bei Leipzig

Die Anlage Brandis (Bild 6) umfasst 43 Lysimetergefäße mit einer Oberfläche von je 1 m². 24 Lysimeter mit einer Profiltiefe von 3 m sind wägbar, 19 Lysimeter mit Profiltiefen von 2,0 - 2,2 m sind nicht wägbar. Die Lysimeter wurden monolithisch gewonnen und repräsentieren mit acht verschiedenen Bodenformen die für das Mitteldeutsche Trockengebiet wichtigsten Böden. Zur exakteren Erfassung des Wasser-, Stoff- und Gashaushaltes der Böden wurden in den letzten Jahren Tensiometer, Saugkerzen und Bodenluftsammler in unterschiedlichen Tiefen einiger Lysimeter eingebaut (vgl. Bild 1).

Im Interesse des Nachweises der Repräsentativität von Lysi-

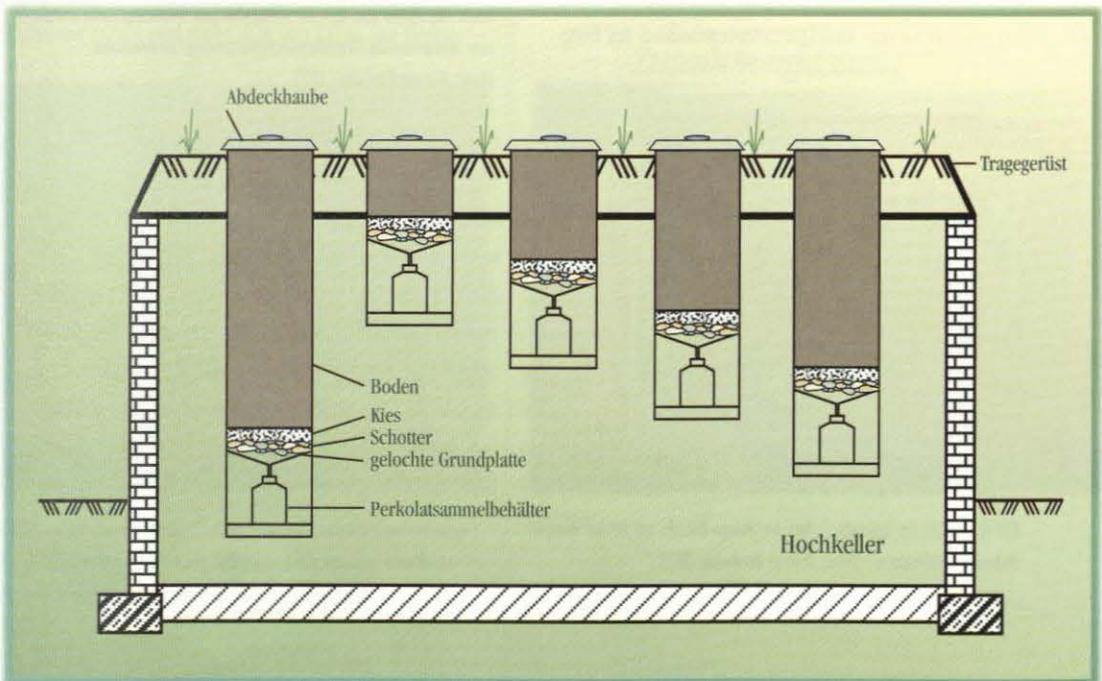


Bild 5b: Prinzipskizze der tiefengestaffelten Lysimeteranlage in Falkenberg. 20 Lysimeter mit Bodentiefen von 0,25 bis 3 m werden für Tracerversuche und zur Aufklärung der Verlagerung von organischen Schadstoffen genutzt.

meteruntersuchungen erfolgte 1994 die schichtenweise Zerlegung von 3 Lysimetern, die mehr als 15 Jahre genutzt wurden. Aufbauend auf den dabei gewonnenen Ergebnissen konnten wesentliche Schlussfolgerungen in Hinblick auf die Methoden der Lysimetrie und vor allem auf die Übertragbarkeit von Lysimeterergebnissen auf Landschaftseinheiten gezogen werden.

Die Lysimeter wurden bis 1992, einschließlich der umliegenden Fläche, einer intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung unterzogen. Danach erfolgte neben der Prüfung der Auswirkungen von Flächenstilllegungsmaßnahmen auf den Wasser- und Stoffhaushalt, die Anlage von Varianten des ökologischen Landbaus.

Die Lysimeteranlage Brandis ist Bestandteil eines hydrologischen Messfeldes im Einzugsbereich der Parthe (Fluss bei Leipzig). An der Übertragung der Lysimetermessergebnisse auf größere Gebietseinheiten wird gegenwärtig gearbeitet. Am Beispiel des Partheinzugsgebietes wurde mit der zeitgleichen Simulation der Grundwasserstände und Oberflächenabflüsse die Funktionstüchtigkeit eines gekoppelten Grund- und Oberflächenwassermodells nachgewiesen (Modell PART). Gegenwärtig wird an einer Kopplung dieses Grundwassermodells mit einem Wasser- und Stofftransportmodell für die ungesättigte Zone (Modell CANDY) gearbeitet.

In Hinblick auf die bereits erwähnte interdisziplinäre Zusammenarbeit bei einem Komplexversuch zur Übertragbarkeit von Säulen- und Lysimeterergebnissen auf Berg-



Bild 6: Ansicht des Lysimeterkellers der Anlage Brandis mit 24 auf Waagen stehenden Lysimetern. (Foto: Norma Neuheiser, UFZ)



Bild 7: Im Lysimeterkeller von Brandis eingebautes Lysimeter von der »Braunkohlentagebaukippe Espenhain« bei Rötha (korrespondierendes Bodenprofil siehe Bild 2). Es sind die Wägeeinrichtung, die Sickerwassermengenerfassung, einzelne, auf unterschiedliche Ebenen verteilte, eingebaute Messfühler und Teile der dazugehörigen Steuerung sowie das Gefäß zum Wassereinstau (Grundwasserwiederanstieg) zu erkennen. (Foto: Norma Neuheiser, UFZ)

baufolgefächern erfolgte im Jahre 1995 die Einrichtung von drei, 3 m tiefen, 1 m² großen, wägbaren, monolithisch entnommenen Lysimetern. Die Lysimeter sind mit Messensorik (Tensiometer, Saugkerzen, TDR-Sonden und Bodenluftsammler) in drei Tiefen und mit einer Einstauvorrichtung zur Simulation des Grundwasserwiederanstiegs ausgestattet (Bild 7). Mit diesen Lysimetern sollen retrospektive und Langzeitbetrachtungen zum Wasser- und Stoffhaushalt rekultivierter Bergbaufolgefächern durchgeführt werden.

Lysimeterstation Colbitz Repräsentation eines typischen Wald- und Heidestandortes im Lockergesteinsbereich der Elbe bei Magdeburg

In der näheren Umgebung des Wasserwerkes Colbitz wurden zur Bestimmung von Wasserhaushaltsgrößen zwei separate Lysimeteranlagen installiert.

Das Großlysimeter (Bild 8) weist eine Oberfläche von 660 m^2 (Durchmesser $29,0 \text{ m}$) und eine mittlere Tiefe von $4,0 \text{ m}$ auf. Es wurde mit dem am Standort anstehenden Bodensubstrat Sand lagenweise gefüllt und entsprechend der Umgebung mit zweijährigen Kiefernsetzlingen bepflanzt. Mit dem aufwachsenden Kiefernbestand verringerte sich die Grundwasserneubildung und kam nach 18 Jahren fast vollständig zum Erliegen. Deshalb wurden im Jahre 1995 sowohl im Lysimeter als auch in der näheren Umgebung Saugsonden und Tensiometer eingebaut, um Informationen über Folgewirkungen von Durchforstungsmaßnahmen und zwischenzeitlich oberflächlich deponierten Substanzen aus atmosphärischen Einträgen auf den Wasser- und Stoffhaushalt zu erhalten.

Die auf einer Waldlichtung befindliche wägbare Lysimeteranlage (Bild 9) besteht aus 12 Gefäßen mit einer Oberfläche von $1,0 \text{ m}^2$ und einer Tiefe von $2,0 \text{ m}$. Die Boden-

monolithe repräsentieren typische Standorte der Colbitz-Letzlinger Heide. Im Frühjahr 1993 wurde eine Präzisierung der bis dahin laufenden Versuche vorgenommen. Es erfolgte die Anlage von typischen Vegetationsszenarien der



Bild 9: Blick in den Lysimeterkeller der mit unterschiedlicher Heidevegetation bedeckten wägbaren Lysimeteranlage in der Colbitz-Letzlinger Heide (Foto: Holger Rupp)

dort etablierten Heidelandschaft auf den Lysimetern, um Strategien für die künftige Bewirtschaftung dieses Gebietes unter Gewährleistung einer ausreichenden quantitativen und qualitativen Versorgung der Stadt Magdeburg mit Trinkwasser zu erarbeiten.

Zusammenfassung

Lysimeteruntersuchungen liefern wesentliche Parameter über das Stoffaustragsverhalten bei unterschiedlicher Landnutzung. Für das Verständnis des Wasser- und Stofftransportprozesses im Lysimeter und in der Untersuchungsfläche sind zusätzliche Untersuchungen zur Separierung von Einflussgrößen notwendig. Ein dazu geeignetes Instrumentarium stellt das Säulenexperiment dar. Des Weiteren sind zur Bestätigung von Säulen- und Lysimeterergebnissen zusätzliche Messungen im Grund- und Oberflächenwasser von repräsentativen Einzugsgebieten vorzunehmen.

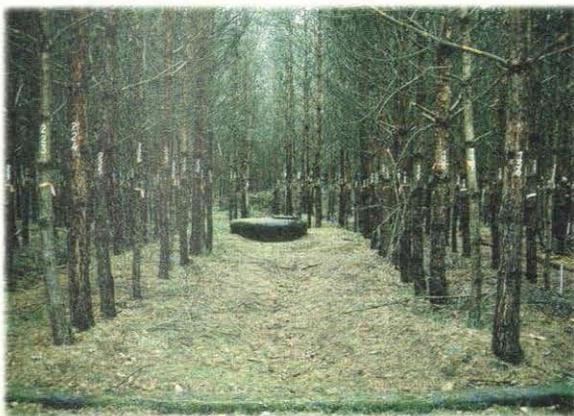


Bild 8: Ansicht des sich in einem aufwachsenden Kiefernbestand befindenden Großlysimeters in der Colbitz-Letzlinger Heide mit einer Oberfläche von 660 m^2 und einer Tiefe von 4 m . (Foto: Holger Rupp)

Literatur

Autorenkollektiv (1996): Ergebnisse der Zerlegung von langjährig genutzten Lysimetermonolithen. Sonderheft des Archives of Agronomy and Soil Science. 40, Nummer 6, 407-514.

Becker, K.-W.; Meißner, R.; Siebner, C. (1996): Der Wasserhaushalt von Kraut- und Strauchvegetation auf Sandböden der Colbitz-Letzlinger Heide. Zeitschrift Wasser und Boden, 48, Jahrg. 12, 29-34.

Deutschmann, G.; Beese, F.; Meißner, R. (1996): Einfluss von Kiefernaufrüstungen auf den Wasserhaushalt und die Verteilung gelöster Stoffe im Boden im Bereich der Colbitzer Heide. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 79, 309-313.

Franke, U.; Knappe, S.; Uthemann, H. (1995): Interpretation von Lysimeterexperimenten mit Hilfe des Simulationsmodells CANDY. Proceedings 5. Gumpensteiner Lysimetertagung, BAL Gumpenstein / Österreich, 119-122.

Knappe, S.; Keese, U. (1996): Untersuchungen zu ausgewählten chemischen Eigenschaften langjährig landwirtschaftlich genutzter Böden von Lysimetern im Vergleich zu Profilen auf deren Herkunftsflächen, Proceedings 6. Gumpensteiner Lysimetertagung, BAL Gumpenstein / Österreich, 89-92.

Landesamt für Umwelt und Geologie (1995), Materialien zur Wasserwirtschaft, 3.

Meißner, R.; Guhr, H.; Krönert, R. (1996): Zusammenstellung der vom UFZ sowie von Partneereinrichtungen durchgeführten Untersuchungen in repräsentativen Kleinzugsgebieten der Elbe. UFZ-Bericht, 21, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Hrsg.).

Meißner, R.; Rupp, H.; Seeger, J.; Schonert, P. (1995): Experimental Research about the Influence of Agricultural Fallow and Extensivation on Non Point Pollution, Proceedings of the IAWQ Conference Brno and Prague, AGRODAT Prague, Part I, 139-144.

Russow, R.; Knappe, S.; Förstel, H.; Meißner, R. (1995): Doppeltracer – Studie zur Wasser- und Nitratbewegung in tiefengestaffelten Lysimetern. Proceedings der 5. Gumpensteiner Lysimetertagung, BAL Gumpenstein / Österreich, 13-18.

Walther, W. (1995): Über den Stoffhaushalt der Landschaft und über die diffuse Belastung von Böden, Fließgewässern und Grundwasser, dargestellt an ausgewählten Standorten, Mitteilungen des Leichtweiss-Institutes für Wasserbau der TU Braunschweig, 129.

English Abstract

The lysimeter - an important aid to soil and inland water research

For many years lysimeters have been proved to be an effective aid in forecasting the effects of both current and future land use changes occurring in a catchment area on the water and pollutant balance.

The UFZ presently has a number of lysimeter set-ups of various designs at its disposal which it operates both independently and in conjunction with regional government departments in Saxony and Saxony-Anhalt dealing mainly with the water industry.

JAHRESBERICHT / ANNUAL REPORT

1996 - 1997

Gewässerforschung Magdeburg

RS

12-497 MA

Jahresbericht 1996-1997

Herausgeber:

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Mitglied der Hermann von Helmholtz-
Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren
(HGF)
Permoserstraße 15
04318 Leipzig
Telefon 0341/235-0

Konzept und Redaktion:

Dipl.-Chem. Doris Böhme
Dipl.-Agr.-Päd. Susanne Hufe
Telefon 0341/235-2278

Translation:

Abbey & Friedrich GbR
»The english people«, Leipzig

Fotos:

Norma Neuheiser u.a.

Luftbilder S. 118, 128:

Aerokart Delitzsch

Titel- und Layoutgestaltung,

Foto S. 8/16 und Produktion:
Peter Barczewski

Satz:

Silvio Andréé
Karsten Heim
Bernd Jünger
Kerstin Kummer

Belichtung:

Design To Print GmbH

Druck und Verarbeitung:

Messedruck Leipzig GmbH

© August 1998

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige
Verwendung nur nach vorheriger Absprache
mit dem UFZ gestattet.

Gedruckt auf umweltfreundlichem,
chlorfrei gebleichtem Papier

ISSN 0948-6925