

# Konstruktion eines Waldlysimeters zur Untersuchung des Stickstoffhaushaltes mit $^{15}\text{N}$

A. KRENN, G. HABERHAUER und M.H. GERZABEK

## Abstract

Construction of a forest lysimeter for investigation of N-dynamics by the  $^{15}\text{N}$  tracer method

The design of a lysimeter for a  $^{15}\text{N}$  tracer study in a forest ecosystem for estimation of nitrate leaching is described. The zero tension lysimeter consists of a soil monolith surrounded by a fiberglass cylinder with a cross section of  $0.5\text{ m}^2$  and a height of  $0.65\text{ m}$ . On the bottom of a soil pit a metal frame was pressed horizontally into the subsoil. Soil material between the frame was removed and a stainless steel tank for leachate collection was placed into the tunnel inside the frame, which was afterwards refilled. The fiberglass cylinder was stepwise sunk into the ground. This technique made it possible to install a lysimeter on a site hardly accessible by car or truck and to minimize danger of preferential flow due to stones and large plant roots.

First results show quite high  $\delta^{15}\text{N}$  values in leachate already within three months after application of the tracer. The amount of nitrogen leached is smaller than  $0.1\%$  of total nitrate-N in the leachate and does not influence transformation processes in soil.

## 1. Einleitung

Als Teilprojekt des von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt koordinierten Vorhabens der „Bilanzierung von Stoffflüssen in einem Waldökosystem im Kalkalpin unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffflüsse“ wird auch ein Lysimeterversuch durchgeführt. Ziel des Gesamtprojektes ist einerseits die Erstellung einer Wasserbilanz des ausgewählten Versuchsgebietes am Mühlegger Köpfl bei Achenkirch in Tirol und andererseits die Quantifizierung der Stickstoffflüsse im Gesamtsystem unter Einbeziehung des Inputs, der Verlagerung

und Umsetzung im Boden und der Verluste durch Versickerung.

Im Lysimeterversuch im speziellen wird  $^{15}\text{N}$ -markiertes Nitrat als Tracer eingesetzt. Die Verhältnisse des stabilen Isotops des Stickstoffes sollen helfen, die Herkunft des Nitrates im Sickerwasser aufzuklären und Rückschlüsse, gemeinsam mit den Ergebnissen der anderen Versuche, auf Transformationsprozesse im Boden zuzulassen. Insbesondere soll der Exaktversuch im Lysimeter Daten Grundlagen für die Interpretation der Ergebnisse der Bodenwassergewinnung in vier ungestörten Bodenprofilen am selben Standort liefern.

### 1.1 Lysimetertechnik

Lysimeterversuche in Waldökosystemen sind eine häufig in Studien anzutreffende Methode. Es gibt jedoch eine große Anzahl unterschiedlichster Konstruktionen, die dabei als Lysimeter bezeichnet werden/wurden. Zu erwähnen sind z.B. Versuche von HAINES et al., 1982, die in einem Laubwald in den Appalachen durchgeführt wurden. Dabei wurden Ionenzusammensetzungen von Bodenlösungen zweier unterschiedlicher Lysimetertypen verglichen, nämlich einerseits „Zero Tension Lysimeter“ nach der Bauart nach JORDAN, 1968, und andererseits keramische Saugplatten mit konstant angelegten  $100\text{ hPa}$  Wasserspannung. Die sehr unterschiedlichen Ergebnisse zeigten, wie auch jene von VAN DER PLOEG et al., 1977, daß keine Abschätzung des Durchflusses mit den gewählten nicht umschlossenen Konstruktionen erreichbar war. Es hatte sich dabei um horizontal von Profilgruben aus in die ungestörten Böden eingebrachte Wannen bzw. Saugplatten gehandelt. Schon JORDAN, 1968, hat durch einen  $2\text{ cm}$  hohen Rahmen, der von unten in den Boden gedrückt wurde und mit der Sammelkonstruktion verbunden war, eine Verbesserung der Ergebnisse

erhalten. Ähnlich gingen RADULOVICH et al., 1987, SWISTLOCK et al., 1990, oder MAYER et al., 1980, in Waldökosystemen vor. Ging es bei den genannten Versuchen um die Beobachtung sämtlicher wichtiger Ionen im Sickerwasser, untersuchten SITAULA et al., 1995, in Lysimetern an einem Waldstandort unterschiedliche N-Düngungs- sowie Versauerungseffekte auf die Lachgas- und Kohlendioxidemissionen. Dabei wurden geschüttete, vollständig umschlossene Lysimeter verwendet. Die umschlossene Ausführung brachte den Vorteil, auch mengenmäßige Abschätzungen über die Wasserbewegungen im Profil zuzulassen. Natürlich brachte die künstliche Schichtung zusätzliche Fehler in die Ergebnisse des Versuches. Wie THEURETZBACHER, 1997, durch Farbtracer gut sichtbar machte, sind speziell Waldböden imstande, wasserwegige Makroporensysteme über alte und aktive Wurzelgänge zu entwickeln, was die Notwendigkeit einer natürlichen Lagerung bei den Untersuchungen nochmals unterstreicht. Gerade bei Waldstandorten ist aber mit starker Durchwurzelung und mit erhöhtem Grobskeletanteil bis hin zu Steinen und Blöcken zu rechnen, was den Einbau von monolithischen Lysimetern deutlich erschwert.

Ein weiterer Punkt der beim Einsatz der Lysimetertechnik speziell in Waldökosystemen zu erwähnen ist, ist das Vorhandensein von unterirdischer und oberirdischer Lateralverlagerung von Wasser. Viele ebenfalls als Lysimeter bezeichnete Rinnen oder Wannen sind in Versuchen, z.B. bei HAINES et al., 1982, oder JOSLIN et al., 1987, für die Erfassung des Lateralflusses eingesetzt worden.

Wäre die Hauptversuchsfrage die Wasserbilanzierung, müßte wie in St. Arnold bei Münster - Westfalen (DVWK, 1980) ein Großlysimeter errichtet werden. Es würde damit auch die starke Heteroge-

**Autoren:** Dipl.-Ing. Andreas KRENN, Dipl.-Ing. Dr. Georg HABERHAUER und Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Martin H. GERZABEK, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Ges.m.b.H., A-2444 SEIBERSDORF

nität durch die großwüchsige Vegetation Berücksichtigung finden.

Für unsere Zwecke ist weder der oberirdische Abfluß noch die unterirdische Lateralverlagerung maßgeblich, obwohl die Versuchsfläche geeignet ist, auch muß nicht die Lysimetergröße so gewählt werden, daß das Wurzelsystem eines ganzen Baumes berücksichtigt werden sollte. Es wurde entschieden, ein vollständig umschlossenes gravimetrisch entwässerndes Lysimeter mit einem Bodenvolumen von 0.5 m<sup>2</sup> x 0.65 m zu errichten. In einem anderen Teilprojekt des oben angeführten Projektes wird auf den Oberflächenabfluß eingegangen.

### 1.2 <sup>15</sup>N-Tracer Technik

Wie in HART et al., 1996 analysiert wurde, sind drei <sup>15</sup>N Techniken zu unterscheiden: (1) Die Verwendung als Tracer, (2) Verdünnungstechniken oder (3) Rückschlüsse aus dem Vergleich natürlicher Stabilisotopenhäufigkeiten. In dem für unser Vorhaben im Lysimeter eingesetzten <sup>15</sup>N-Nitrates wird auf die erste Strategie zurückgegriffen. Die zusätzlichen Untersuchungen von Bodenwasser, gewonnen mit Saugkerzen verwenden Technik (3).

<sup>15</sup>N wird einmalig appliziert. Die im Sickerwasser erhaltenen Mengen und Konzentrationen lassen Rückschlüsse auf den Einbau und die Umsetzung im Bodenprofil zu. Es müssen dabei die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, die applizierte Menge an <sup>15</sup>N, die natürlich vorkommenden  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und die Gesamtmengen an verlagertem Nitrat ermittelt werden.

## 2. Lysimeterversuch

### 2.1 Konstruktion und Einbau

Das Lysimeter (Abbildung 1) besitzt einen monolithischen Probenkörper mit einem runden Querschnitt von 0.5 m<sup>2</sup> und einer mittleren Profiltiefe von 65 cm, was etwa der maximalen Profilmächtigkeit des Rendzina-Braunlehms am Standort entspricht. Der Monolith ist von einem GFK-Mantel umschlossen, der dicht mit dem darunter befindlichen Abscherrahmen aus Stahlblech und der darin befindlichen Wanne verbunden ist. Das obere Stahlblech des Abscherrahmens ist im Bereich unterhalb des Monolithes perforiert. Es kann somit Wasser in die Sammelwanne gelangen. Um

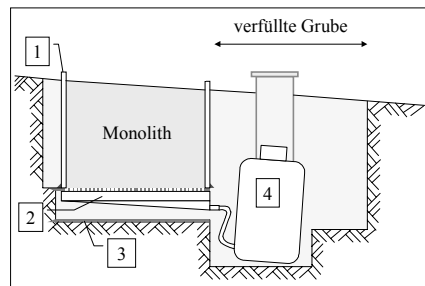


Abbildung 1: Schema von Waldlysimeter; 1 ... GFK-Mantel; 2 ... Wanne; 3 ... Abscherrahmen; 4 ... Sammelbehälter

eine Ausspülung von Feststoffen aus dem Probekörper zu verhindern, ist ein Sandfilter von 1 cm Stärke in die Wanne eingebracht. Aus der Wanne gelangt das Wasser in einen vergrabenen Sammelbehälter, der von außen zugänglich ist und so eine Beprobung zuläßt.

Beim Einbau wurde zunächst mit dem Ausheben einer Grube talseitig des Lysimeterstandortes begonnen. Darin wurde der halbe Abscherrahmen (lxbxh=50x100x50 cm) zusammgebaut und durch 2 Industriewinden (je 10 t Hubkraft), die sich an der talseitigen Grubenwand abstützten in den Untergrund in richtiger Höhe horizontal eingetrieben. Um die Reibung zu verringern, wurde gleichzeitig der Rahmen jeweils von Bodenmaterial befreit. Nach dem Einbringen des halben Rahmens, wurde der zweite Teil dieses Stahlkastens in der Grube an den ersten Teil angeschraubt und ebenfalls in den Boden gepreßt. Die geteilte Ausführung war notwendig, um die Grubengröße zu reduzieren, aber auch um die Einzelteile für den Anstieg zum Standort weniger sperrig zu gestalten. Wurzeln wurden freigelegt und abgeschnitten. Es erfolgte somit ein horizontales Trennen einer Bodenschicht von ca. 65 cm auf einer Fläche von 100 x 100 cm.

Danach wurde eine Hilfskonstruktion an den Kasten geschraubt, die ein genaues Positionieren des nun an die Stelle des Monolithen aufgesetzten GFK-Rohres ermöglichte. Außerhalb der vorgesehenen Stelle wurde in kleinen Tiefenstufen abgegraben. Damit der Zylinder nach unten nachgeschoben werden konnte, mußten Steine entfernt und Wurzeln abgeschnitten werden. Der teilweise verbliebene Hohlraum wurde dabei mit lehmigem Material des anstehenden Bodens verfüllt und der Zylinder nach unten nachgeschoben. Dies wurde solange wie-

derholt, bis der zuvor vergrabene Stahlkasten auch von oben zum Vorschein kam. Der Spalt zwischen Mantel und Stahlkasten wurde durch eine dauerelastische Masse verschlossen.

Nach dem Einbringen der Wanne mit Filtersand in den Abscherrahmen, wurde der verbleibende Hohlraum unterhalb des Lysimeters wieder verfüllt. Die Wanne wurde mit dem Sammelbehälter durch einen Schlauch verbunden und die Grube zugeschüttet. Schon vor dem Ausheben der Grube wurde drauf geachtet, daß der Oberboden mit dem Unterwuchs nicht zerstört wurde. So wurde jetzt beim Verfüllen kaum ein Flurschaden rund um das Lysimeter angerichtet. Ein Zaun in einem Abstand von jeweils 2 Metern schützt das Lysimeter vor Wild.

### 2.2 Applikation von <sup>15</sup>N

Am 23. Juni 1998 wurde die Applikation des <sup>15</sup>NO<sub>3</sub> im Lysimeter durchgeführt. Die Zugabe erfolgte als KNO<sub>3</sub>. Dabei wurde darauf geachtet, möglichst wenig Stickstoff in den Oberboden einzubringen um den Einfluß auf die natürliche N-Dynamik zu minimieren. Es bot sich somit die Verwendung einer hohen <sup>15</sup>N-Anreicherung (58,2%) bei gleichzeitig möglichst geringen Stickstoffmengen (27.7 mgN/0,50 m<sup>2</sup> = 0.5 kg N/ha) an. Das markierte Nitrat wurde als Lösung mit einer Injektionsspritze in ca. 1-2 cm Tiefe des Auflagehumushorizontes eingebracht, um schnelle gasförmige Stickstoffverluste zu vermeiden.

## 3. Erfahrungen und erste Ergebnisse

Diese gewählte Konstruktion bzw. Einbastrategie ist auch bei skelettreichen Böden einsetzbar. Es hat sich gezeigt, daß das stetige Freiräumen der Schneiden ein horizontales Einpressen des Rahmens bis hin zu einem Meter in dem anstehenden an Kalkblöcken reichen Waldboden ermöglichte. Die einseitige Schneide hat zu einem geringfügigen Versatz geführt, so wölbte sich die obere Fläche des Abscherrahmens in der Mitte um ca. 1 cm nach oben bzw. die untere Fläche nach unten. Eine asymmetrische aber zweiseitig abgeschrägte Schneide könnte dieses Problem vermeiden.

Obwohl der Transport der Einzelteile mühsam war, ist es möglich, durch diesen Aufbau auch an unwegsamem Stel-

len Lysimeter zu errichten. Die verwendeten Einzelteile sind nicht schwerer als ca. 30 kg und sind auch ohne motorische Hilfsmittel zu transportieren.

Wurzeln stellen durch das schrittweise Absenken des GFK-Mantels kein Hindernis dar. Auch das Verfüllen entstehender kleinräumiger Hohlräume war leicht zu bewerkstelligen. Ob es zu einem verstärkten Eindringen des Wassers (+Tracer) nahe der Wandung kommt/kann, kann erst nach Beendigung des Versuches, durch Analysen nach dem Abbau der Anlage abgeschätzt werden.

Erste Sickerwassermessungen aus dem Lysimeter ergaben Nitrat - Gehalte mit hoher  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung. Auch nach drei Monaten konnten noch hohe  $\delta - ^{15}\text{N}$  Werte gefunden werden. Gleichzeitig betrug der Anteil des applizierten  $^{15}\text{N} - \text{NO}_3$  am gesamt  $\text{NO}_3$  in der Bodenlösung in den bis jetzt gemessenen Proben weniger als 0.1 %. Das applizierte  $\text{NO}_3$  sollte also mengenmässig keine Rolle in den im Boden ablaufenden N-Prozessen spielen.

Dies demonstriert, daß die sorgfältige Auswahl bei der Applikation von Substanzmenge und  $^{15}\text{N}$  - Anreicherung es

ermöglicht,  $^{15}\text{N}$  dotiertes  $\text{NO}_3$  im Boden zu verfolgen und gleichzeitig möglichst keine zusätzliche biologische Aktivität durch Applikation eines geringen N-Eintrages zu induzieren.

Die gewonnenen Daten sollen nun genutzt werden, um die Transporteigenschaften von Nitrat in diesem Waldboden abzuschätzen.

#### 4. Danksagung

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft gefördert. Die Projektkoordination obliegt Frau Dr. Herman, FBVA, 1131 Wien.

#### 5. Literatur

DVWK., 1980: Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Hamburg, Berlin, Parey, 114.

HAINES, B.L., J.B. WAIDE and G.C. TOPP, 1982: Soil Solution Nutrient Concentrations sampled with Tension and Zero Tension Lysimeters: Report of Discrepancies. Soil Science Society of America Journal, 46, 658-661.

HART, S.H. and D.D. MYROLD, 1996:  $^{15}\text{N}$  Tracer Studies of Soil Nitrogen Transformations. In: Mass Spectrometry of Soils, T.W. Boutton & S. Yamasaki (Eds.), 225-246, Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong.

JORDAN, C.F., 1968: A simple, tension-free lysimeter. Soil Science, 105, 81-86.

JOSLIN, J.D., P.A. MAYS, M.H. WOLFE, J.M. KELLY, R.W. GARBER and P.F. BREWER, 1987: Chemistry of Tension Lysimeter Water and Lateral Flow in Spruce and Hardwood Stands. J Environ Qual, 16, 152-160.

MAYER, R. and H. HEINRICHS, 1980: Flüssebiplanzen und aktuelle Änderungsraten der Schwermetall-Vorräte in Wald-Ökosystemen des Solling. Zeitschrift f. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 143, 232-246.

RADULOVICH, R. and P. SOLLINS, 1987: Improved Performance of Zero-Tension Lysimeters. Soil Science Society of America Journal, 51, 1386-1388.

SITLAULA, B.K., L.R. BAKKEN and G. ABRAHAMSEN, 1995: N-Fertilization and Soil Acidification Effects on  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{CO}_2$  Emission From Temperate Pine Forest Soil. Soil Biol Biochem, 27, 1401-1408.

SWISTLOCK, B.R., J.J. YAMONA and D.R. DEWALLE, 1990: Comparison of Soil Water Chemistry and Sample Size Requirements of Pan vs Tension Lysimeters. Water, Air, and Soil Pollution, 50, 387-396.

THEURETZBACHER, H., 1997: Die Inhomogenität natürlicher Böden - Darstellung am Kleingebiet Höhenhansl/Pöllau. BAL-Bericht über die 7. Gumpensteiner Lysimetertagung, 51-54.

VAN DER PLOEG, R.R. and F. BEESE, 1977: Model calculation for the extration of soil water by ceramic cups and plates. Soil Science Society of America Journal, 41, 466-470.

