

Die neue Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz

Volker Prasuhn^{1*}, Ernst Spiess¹ und Manfred Seyfarth²

Zusammenfassung

Am Standort Zürich-Reckenholz ist auf dem Gelände der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART eine neue Groß-Lysimeteranlage gebaut worden. Sie umfasst 72 Lysimetergefäße mit jeweils 1 m² Oberfläche und 150 cm Tiefe. Die Anlage ist unterkellert, alle Gefäße sind also von unten zugänglich. Die 72 Böden wurden alle monolithisch genommen. Es wurden drei verschiedene Ackerböden (lehmmige Parabraunerde über Schotter, sandig-lehmige Parabraunerde über Grundmoräne, lehmig-schluffige, pseudovergleyte Braunerde über Grundmoräne) eingesetzt. 12 Lysimeter sind wägbare und mit folgenden Messsonden ausgestattet: Tensiometer, Temperatur, Bodenfeuchte und Saugkerzen in jeweils vier Bodentiefen (10, 30, 60 und 90 cm) und zweifacher Wiederholung. Die restlichen 60 Lysimeter sind nicht wägbare und es wird nur die Sickerwassermenge über Kippwaagen erfasst. Alle Lysimeter werden für agronomische Versuche genutzt. Im Vordergrund stehen Untersuchungen zum Sickerwassertransport und zur Nitratauswaschung bei verschiedenen Anbausystemen, Bodenbearbeitungsverfahren, Düngungsvarianten und Bodentypen. Alle Versuche sollen in dreifacher Wiederholung durchgeführt werden. Der Bau der Anlage ist Ende 2008 abgeschlossen worden, erste Versuche werden ab Frühjahr 2009 durchgeführt.

Schlagwörter: Nitratauswaschung, Wassertransport, Sickerwasser, Bodenmonolith, Lysimetertechnik

Summary

At the Zürich-Reckenholz location a new lysimeter station was built at the campus of the Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Center ART. Altogether 72 lysimeters were monolithically excavated, each with 1 m² surface area and a depth of 150 cm. All lysimeters can operate from a walkable basement. Three different agricultural soils (loamy luvisol over gravel, sandy-loamy luvisol over ground moraine, loamy-silty gleyic cambisol over ground moraine) were installed. 12 of the lysimeters are weighable and were instrumented with tensiometers, temperature sensors, suction cups and TDR-probes in four depths (10, 30, 60, and 90 cm), each with two replicates. 60 lysimeters are non-weighable and the seepage water is measured by a tipping counter. All lysimeters are used for agronomic experiments. The main focus is the water flow and nitrate leaching by different cropping systems, cultivation, fertilization, and soil types. All experiments have three replicates. The construction of the lysimeter station was finished by the end of 2008. The first experiments will start in spring of 2009.

Keywords: nitrate leaching, water transport, seepage water, soil monolith, lysimeter technique

Einleitung

Lysimeterforschung hat in der Schweiz eine lange Tradition (GEERING 1943). Nach 1970 wurden in der Schweiz Lysimeterstationen an verschiedenen Orten von unterschiedlichen Institutionen gebaut und mit verschiedenen Zielsetzungen betrieben. Die Zusammenstellung von BGS (1989) weist 9 Standorte mit 247 Lysimetern, davon 158 Lysimeter mit einer Oberfläche von ≥ 1 m² auf. Bei fast allen dieser Lysimeter wurde der Boden schichtweise eingefüllt, nur drei Lysimeter wurden monolithisch genommen. Einige dieser Anlagen sind mittlerweile in die Jahre gekommen und wurden bereits aufgegeben. Im März 2009 wurde die Lysimeteranlage in Bern-Liebefeld mit 64 Lysimetern ebenfalls endgültig aufgegeben. Als Ersatz hierfür ist an der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART in Zürich eine neue, hochmoderne Lysimeteranlage mit 72 Gefäßen gebaut worden. Damit setzt die Gruppe Gewässerschutz von ART bei ihren zukünftigen Schwerpunkten in der Forschung verstärkt auf Lysimeter. Die neue Anlage wird nicht nur die Anlage in Bern-

Liebefeld ersetzen, sondern soll zusammen mit weiteren Lysimeteranlagen in Eschikon und Tänikon, die die Gruppe Gewässerschutz kürzlich übernommen hat, eine umfassende Bearbeitung aktueller Problemfelder im Bereich Landwirtschaft - Gewässerschutz - Nitratauswaschung ermöglichen. Neben der nachfolgend beschriebenen neuen Lysimeteranlage werden die bestehenden 12 wägbaren Lysimeter (3,1 m² Oberfläche) am Standort Reckenholz, 4 wägbare Lysimeter (3,1 m²) am Standort Eschikon und 9 Feld-Lysimeter (1 m²) am Standort Tänikon zukünftig von der Gruppe Gewässerschutz ART wissenschaftlich genutzt.

Die Gewinnung der 72 Bodenmonolithe und der Bau der Lysimeteranlage – der wohl größten Lysimeteranlage dieser Art in Europa – sollen im Folgenden beschrieben werden.

Gewinnung von 72 Bodenmonolithen

Zur Gewinnung exakter Bodenmonolithe wurden die speziell entwickelten und national sowie international bewährten Verfahren der Umwelt-Geräte-Technik GmbH eingesetzt (SEYFARTH et al. 2001; MEISSNER et al. 2004, 2005,

¹ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstraße 191, CH-8046 ZÜRICH

² Umwelt-Geräte-Technik GmbH (UGT), Eberswalderstraße 58, D-15374 MÜNCHENBERG

* Ansprechpartner: volker.prasuhn@art.admin.ch

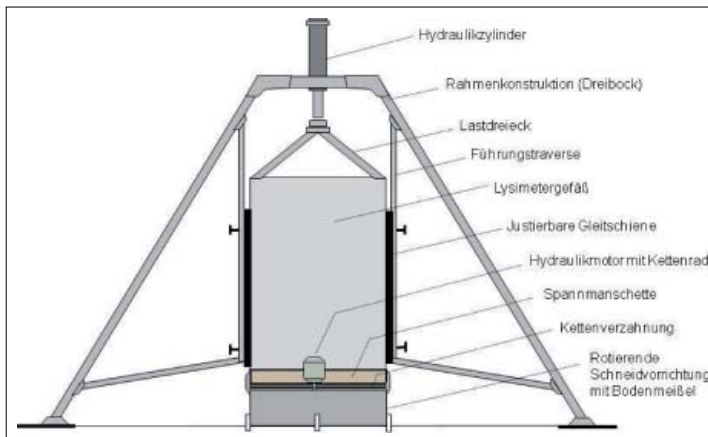


Abbildung 1: Gewinnungstechnik für die Bodenmonolithe.



Abbildung 2: Abschervorrichtung für Bodenmonolithe.

2007, 2008). Die Entnahme von Bodensäulen mit hoher Präzision und ungestörter Bodenstruktur wird dabei ohne Einsatz schwerer Gewinnungstechnik ermöglicht. Sie erfolgte an drei verschiedenen Standorten in der Schweiz (12 Monolithen in Schafisheim: lehmige Parabraunerde über Schotter; 48 Monolithen in Grafenried: sandig-lehmige Parabraunerde über Grundmoräne; 12 Monolithen in Zürich-Reckenholz: lehmig-schluffige, pseudovergleyte Braunerde über Grundmoräne).

Die Stechvorrichtung (Abbildung 1) gewährleistet eine lotrechte Führung des Lysimetergefäßes bis zur Entnahmetiefe des Monolithen und schneidet mit Hilfe einer Fräsvorrichtung, die mit dem Lysimetergefäß fest verbunden ist, die Kontur des Bodenmonolithen vor. Durch die stirnseitig an das Lysimetergefäß angebrachte Umlaufschneide wird die Endkontur des zu gewinnenden Bodenmonolithen ausgebildet. Das Lysimetergefäß nimmt dabei formgetreu die Bodensäule in sich auf. Durch die Reduzierung der Mantelreibung infolge des Fräsvorgangs werden nur geringe axiale Kräfte zum Stechen der Lysimeter benötigt. Der Bodenmonolith wird bei der Gewinnung daher nicht deformiert und behält so seine natürliche Struktur.

Beim Erreichen der Entnahmetiefe wird mittels eines hydraulisch angetriebenen Scherblechs oder mittels Scherlamellen die Bodensäule vom umgebenden Bodenbereich abgetrennt. Wegen des möglichen Steinbesatzes im Unterboden wurde die Scherblechtechnik favorisiert. Nachdem das Scherblech den Monolith vollständig abgeschert hat, dient es durch die Profilhalterung an der Abschervorrichtung gleichzeitig als temporärer Verschluss des Lysimetergefäßes, so dass der Monolith nach dem Abtrennen gesichert aus der Entnahmegrube gehoben werden kann (Abbildung 2).

Insgesamt wird durch den Einsatz leichter Technik der Gewinnungsstandort nur minimal beeinträchtigt, und es werden keine besonderen Anforderungen an die Beschaffenheit des Geländes gestellt.

Parameter der Lysimeter-Entnahmetechnologie

- Vermeidung von Randläufigkeiten zwischen Bodenmonolith und Lysimetergefäß durch speziell bodenangepasste Werkzeuge (Meißel und Scherlamellen).

- Keine Beeinträchtigung der monolithischen Bodenstruktur durch Stauchung oder Pressung (keine Deformationen) bzw. Gefügeveränderungen durch Schlagen mit der Baggerschaufel.
- Axiale Führung des ausgerichteten Lysimetergefäßes bis zur Entnahmetiefe, Vermeidung von Grundbrüchen im Monolith.
- Einsatz leichter mobiler Entnahmetechnik als Voraussetzung für den Einsatz unter schwierigen Geländebedingungen sowie hohe Produktivität und Kostenersparnis durch Maschineneinsatz.
- Erkennen von Hindernissen wie Steine, Einlagerungen o.a. durch die Möglichkeit der visuellen Beobachtung, Aufzeichnung und Eingriff über den Frässpalt.
- Leichte Umsetzbarkeit der Entnahmetechnik z.B. bei Antreffen qualitätsbeeinträchtigender Hindernisse wie größere Steine, Einlagerungen o.a. am Standort.
- Gut sichtbares Bodenprofil durch intakte Entnahmegruben. Möglichkeit zur Profilansprache, Bodenkartierung und Entnahme von Bodenproben für chemische und physikalische Bodenuntersuchungen nach Entnahme des Monolithen.
- Minimale Beeinträchtigung des Standortes durch die Entnahmetechnologie. Es müssen, um den Monolithen überhaupt gewinnen zu können, keine umlaufenden Bodengruben ausgehoben werden, die den Standort um ein Mehrfaches des Monolithvolumens beeinträchtigen.

Bei der Entnahme von 48 Bodenmonolithen am Standort Grafenried mit der UGT-Entnahmetechnologie wurden diese Vorteilswirkungen erfolgreich umgesetzt und eine Minimierung des Flächenverbrauchs erreicht. In Abbildung 3 ist das Entnahmeschema für diese Bodenmonolithe angegeben und zeigt, dass die Entnahmegruben für die Monolithe praktisch unmittelbar von zwei Seiten angrenzend bis zu einem Abstand von nur 50 cm angeordnet werden können (Abbildung 4). Damit wird einerseits verfolgt, dass die Bodenmonolithe in ihrer Horizont-Ausbildung vom Ansatz her recht einheitlich und damit gut vergleichbar aufgebaut sind - zum anderen wird erreicht, dass der Flächenverbrauch minimiert ist. Durch das Anlegen zweier Entnahme-Transecte minimieren sich weiterhin die zurückzulegenden Wegstrecken und damit die Beeinträchtigungen

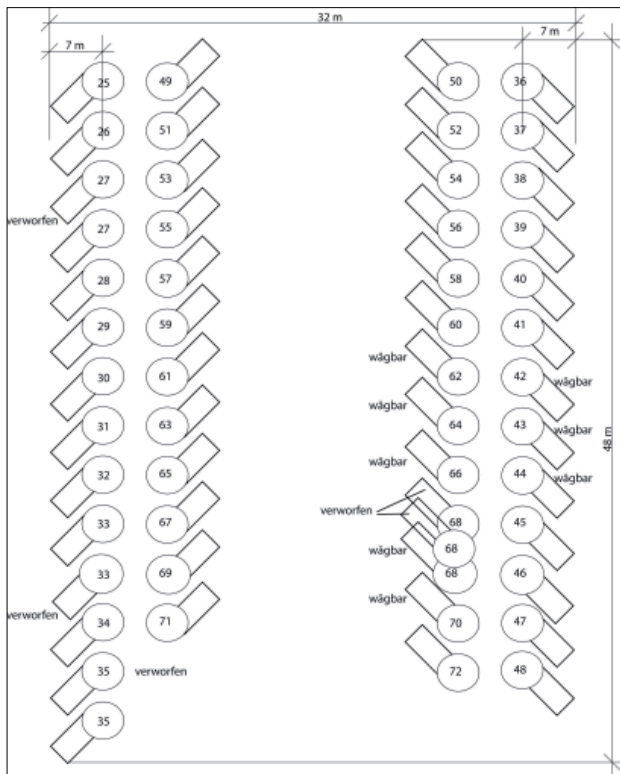


Abbildung 3: Schema der Monolithentnahme für 48 Monolithe am Standort Grafenried.



Abbildung 4: Flächenverbrauch bei der Monolithengewinnung am Standort Grafenried.

des Standortes von der Entnahmestelle bis zur Position des Abtransports der Monolithe. Die insgesamt in Anspruch genommene Fläche am Standort Grafenried beschränkt sich auf 32 x 48 m. Der Standort selbst ist nach geringfügiger Bodenauffüllung im Bereich der Entnahmegruben bereits wieder in landwirtschaftlicher Nutzung.

Noch vor Ort werden die gewonnenen Monolithe basal verfiltert. Zum Einsatz kam ein dreistufiger Filteraufbau in den Korngrößen 0,1 - 0,5 mm; 0,71 - 1,25 mm; 3,15 - 5,6 mm. Das zertifizierte Quarzsand-Filtermaterial ist inert und durch Vorbehandlung (Glühen und Waschen) so gereinigt, dass die Sickerwässer in ihrer stofflichen Zusammensetzung



Abbildung 5: Monolith-Schwenkvorrichtung.

zung nicht verfälscht werden. Zum Einbau der Filterung werden die Monolithe mit Hilfe einer speziell entwickelten hydraulischen Schwenkvorrichtung um 180° axial gedreht (Abbildung 5). In dieser Position werden 15 cm Boden aus dem unteren Bereich des Lysimeters manuell entfernt und durch den dreistufigen Kiesfilter ersetzt. Danach erfolgt der Verschluss des Lysimeterbodens, der Monolith wird um 180° zurückgedreht und ist zum Abtransport vom Standort bereit.

Zu je sechs Einheiten wurden die je rund 3,2 t schweren Monolithe auf luftgefederten LKW-Sattelaufliegern unter Einsatz spezieller Transportsicherungen zur Lysimeterstation nach Zürich-Reckenholz gefahren und mittels Auto-drehkran in die Lysimeteranlage eingestellt.

Bau der Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz

Die Lysimeteranlage ist entsprechend der zukünftigen Aufgabenstellung für 72 Bodenmonolithe konzipiert worden. Die Lysimeteraufständerung erfolgt in zwei unterschiedlichen Varianten und erfüllt die Anforderungen sowohl für die wägbaren und gleichzeitig absenkbaaren Lysimeter sowie für die Lysimeter, die nur zur Sickerwassergewinnung dienen.

Die wägbaren Lysimeter stehen auf Stahltraversen, die in drei Ebenen justierbar sind und es ermöglichen, dass die Lysimetergefäße mit den Bodenmonolithen problemlos aus der Wägeposition mit Hilfe eines Spezial-Hubtisches in die Absenkposition gefahren werden können. Arretiert von

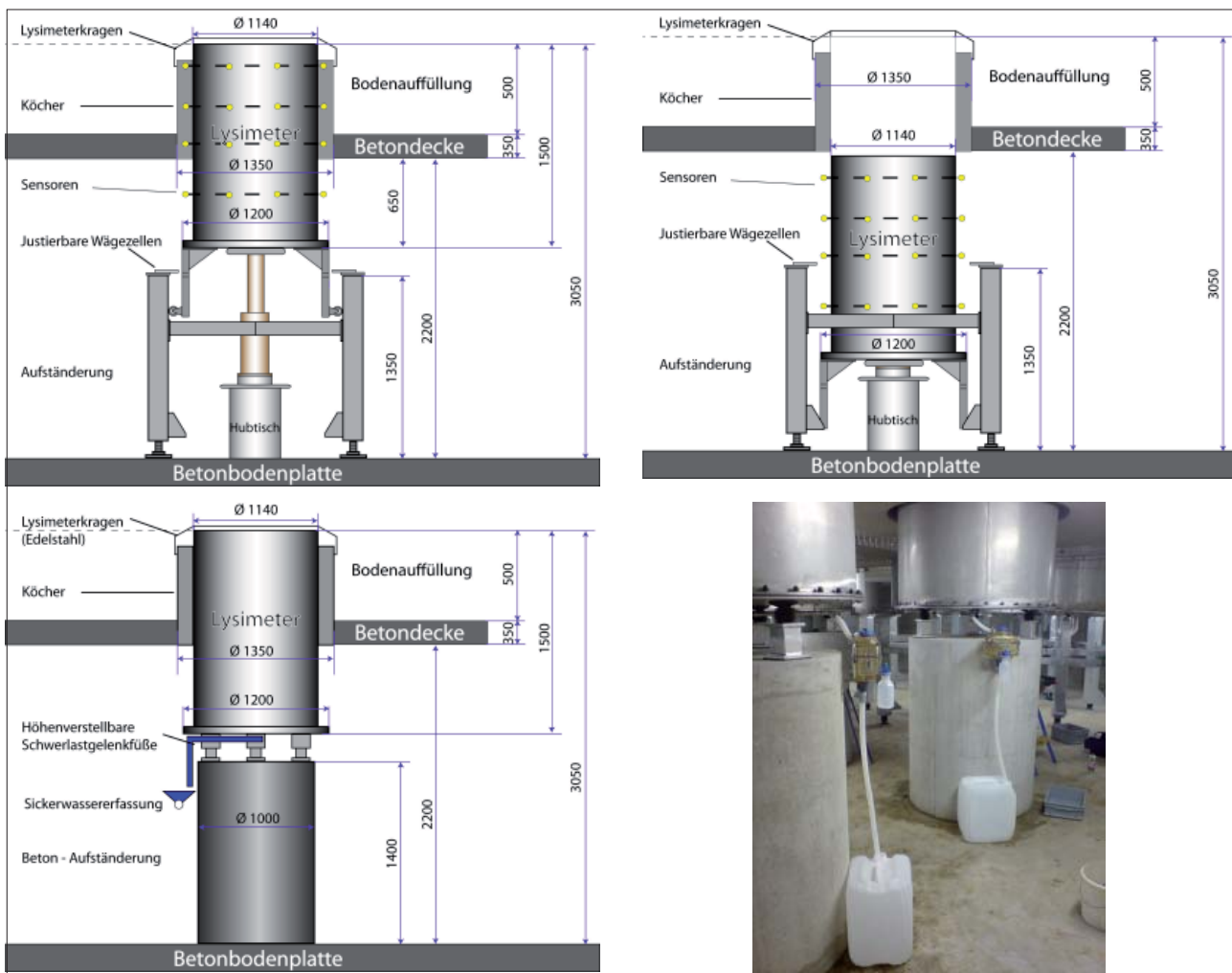


Abbildung 6: Aufständerung für wägbare (oben) und nicht wägbare (unten) Lysimeter.

der unteren Halterung der Stahlständer können so jederzeit technische Inspektionsmaßnahmen an allen Sensoren, den Wägezellen sowie am Pflanzenbestand witterungsunabhängig und ohne großen Aufwand in der Lysimeterstation durchgeführt werden (Abbildung 6). Die nicht wägbaren Lysimeter stehen auf Betonsockeln. Mit je drei einstellbaren Schwerlastgelenkfüßen kann das Lysimeter in drei Ebenen justiert werden (Abbildung 6).

Nach dem Antransport der Bodenmonolithe von insgesamt drei Standorten der Schweiz in das Gelände von ART wurden die Lysimeter in die bauseitig fertig gestellte Lysimeteranlage nach dem Schema in *Abbildung 7* eingestellt. Nach der Montage der Lysimeterkragen und der Ansaat einer Winterbegrünung ist die Lysimeterstation für die inneren Montage- und Installationsarbeiten vorbereitet (*Abbildung 8*).

Messtechnische Ausstattung und Datenerfassung

Die Lysimeter-Instrumentierung ist entsprechend der Aufgabenstellung in zwei technisch unterschiedliche Ausstattungsniveaus ausgeführt. Die für die Sickerwassererfassung vorgesehenen Lysimeter sind mit 100 ml-Kippwaagen

ausgestattet und registrieren die Sickerwasser-Fließrate. Gleichzeitig wird eine Teilprobe für die chemischen Wasseranalysen in einer separaten Probenflasche gewonnen.

Die wägbaren Lysimeter, deren Monolithe alle drei Standorte repräsentieren, sind zusätzlich mit kompletter bodenhydrologischer Messtechnik ausgestattet, um alle Parameter des Wasser- und Stoffhaushalts zu erfassen. In vier Messebenen (10, 30, 60 und 90 cm) werden mit zweifacher Wiederholung die Bodensaugspannung sowie die Bodenfeuchte und Bodentemperatur kontinuierlich erfasst. Eine Saugkerzenanlage ermöglicht für jedes Lysimeter eine tiefen- und tensionsabhängige Perkolatentnahme. Die Sickerwasserrate wird wiederum mittels Kippwaagen realisiert. Die Evapotranspiration wird durch eine hochpräzise Wägung ermittelt. Die Wasserbilanz wird dadurch messtechnisch geschlossen darstellbar.

Mit dem Einsatz einer neuartigen Lysimeter-Wägetechnik ist die Präzision, mit der die Monolithmasse bestimmt werden kann, nochmals deutlich angehoben. Das neue Wägesystem umfasst dabei den neuentwickelten digitalen Wägemonitor UGT WM 100 mit großem graphikfähigem LCD-Display (*Abbildung 9*) sowie die neuentwickelten Scherstabwägezellen. Zusätzlich zur zentralen Datener-

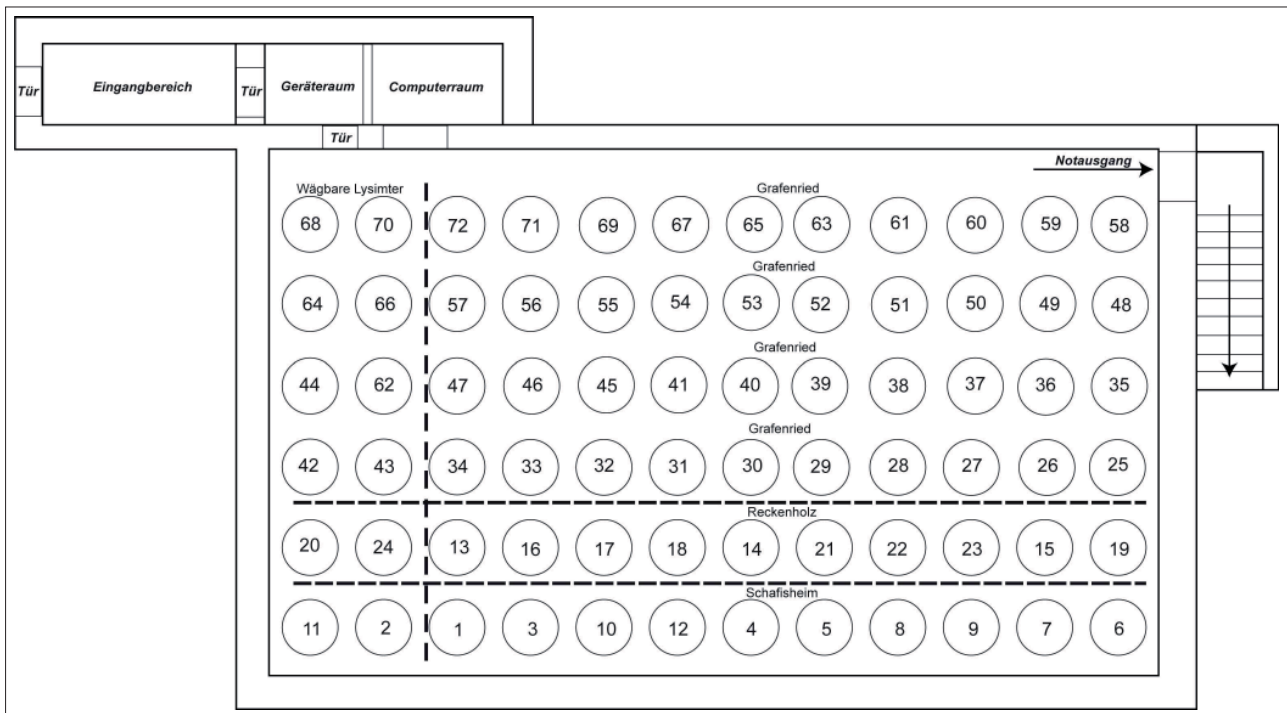


Abbildung 7: Aufstellung der Lysimeter in der Lysimeteranlage.



Abbildung 8: Blick auf die 72 Lysimeter nach Montage der Lysimeterkragen.

fassung ermöglicht der neue Wägemonitor die direkte Kommunikation mit dem angeschlossenen Lysimeter. Im Lysimetermodus können außer wägetechnischen Einstellungen und Messintervall-Veränderungen auch die Messkurven des Masseverlaufs aus zurückliegenden Messperioden graphisch dargestellt werden. Unregelmäßigkeiten sind so direkt bei der Inspektion am Lysimeter erkennbar. Durch den Einsatz einer neuen Generation von Wägezellen, bei denen die Teilungswerte gegenüber den bislang verfügbaren Präzisions-Wägezellen verdoppelt wurden, können Wägeergebnisse praktisch auf unter 10 g genau gesichert werden. Ausschlaggebend ist hierfür nicht nur der hohe Teilungswert, sondern auch der um 80% reduzierte Summenfehler aus Nullpunkttrifft, Temperaturkoeffizient und Kriechfehler.



Abbildung 9: Wägemonitor UGT WM 100

Zur Erfassung der Wasserspannung im Bodenmonolith werden Tensiometer (Typ 160) in den vorgegebenen Messebenen eingesetzt. Außer zur Berechnung der Gradienten für die Beurteilung der Bodenwasserbewegung im Monolithen dienen die Tensionswerte auch als Steuergrößen für die Saugsondenanlagen. Die Untersuchung von Wasserinhaltsstoffen im Perkolat wird durch den Einsatz von keramischen Saugkerzen ermöglicht. Die Größe des anzulegenden Unterdrucks der Vakuumanlage wird separat aus den aktuellen Saugspannungswerten des Bodens berechnet und über die Mikrorechnersteuerung in der Saugsondenanlage realisiert.

Datenerfassungseinheit

Die Datenerfassung erfolgt direkt mittels Zentral-Computer, der in das Netzwerk von ART eingebunden ist (Abbildung 10). Die Datenerfassungseinheit ermöglicht die Online-

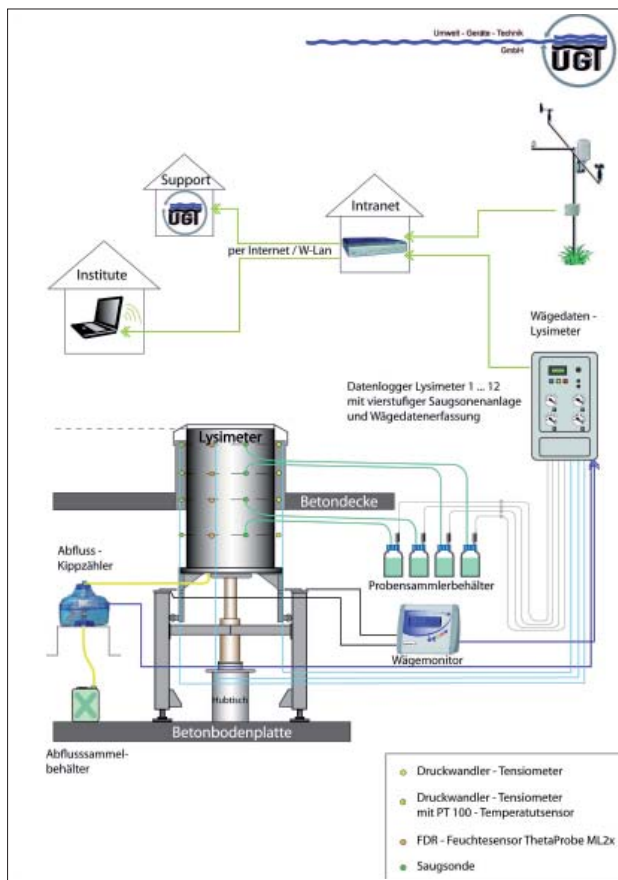


Abbildung 10: Schema des Datenerfassungssystems der neuen Lysimeteranlage.

Aufzeichnung aller Messdaten der Lysimeteranlage und realisiert zudem auch alle notwendigen Steuerungsaufgaben. Pro Lysimeter werden so sämtliche Tensiometer, Bodenfeuchtesonden, Temperatursonden, Kippzähler sowie das Wägesystem zentral verwaltet und auch alle Steuerungs- und Überwachungsaufgaben ausgeführt. Automatisch werden Störungsmeldungen versandt und es besteht die Möglichkeit, über das eingerichtete Netzwerk Steuerungsparameter zu verändern.

Die ermittelten Daten werden in einer komplexen Datenbank verwaltet und stehen Wissenschaftlern je nach Zugriffsberechtigung aufgearbeitet zur Verfügung. Bei der Erarbeitung der Konzeption zur Datenerfassung und -verwaltung wurde berücksichtigt, bestehende Messanlagen von ART wie die vorhandene alte Lysimeteranlage und die Wetterstation mit in das Datennetz einzubinden.

Ausblick

Alle Lysimeter sollen für agronomische Versuche genutzt werden. Im Vordergrund der Untersuchungen stehen der Sickerwassertransport und die Nitratauswaschung bei verschiedenen Anbausystemen, Bodenbearbeitungsverfahren, Düngungsvarianten und Bodentypen. Damit knüpfen die Versuche inhaltlich an die bisherigen Fragestellungen auf den bestehenden Lysimeteranlagen in Zürich-Reckenholz, Bern-Liebfeld und Tänikon an (STAUFFER 2000, STAUFFER & SPIESS 2001, NIEVERGELT 2002, ANKEN et al.

2004, STAUFFER & SPIESS 2005). So sollen der biologische Landbau und die integrierte Produktion verglichen, Pflügenbau und Mulchsaat/Direktsaat simuliert, verschiedene Düngungsintensitäten und Düngerformen (mineralisch, organisch) untersucht, neue Düngungsverfahren getestet (Cultan) und verschiedene Kulturübergänge (mit und ohne Zwischenkultur) beurteilt werden. Die Versuche sollen vorwiegend in dreifacher Wiederholung zwecks statistischer Sicherheit durchgeführt werden. Weiterhin werden viele dieser Versuche auf drei verschiedenen Ackerböden (lehmige Parabraunerde über Schotter, sandig-lehmige Parabraunerde über Grundmoräne, lehmig-schluffige Braunerde über Grundmoräne – alles typische und weit verbreitete Ackerböden des schweizerischen Mittellandes) durchgeführt. Die Komplexität des zu behandelnden Themas und die Reproduzierbarkeit der Resultate erklären die große Dimension der Anlage mit 72 Gefäßen. Der Bau der Anlage ist Ende 2008 abgeschlossen worden. Nach Abschluss einer ersten umfassenden Testphase zur Verifizierung aller Messergebnisse nimmt die neue Lysimeteranlage planmäßig im Frühjahr 2009 ihren Messbetrieb auf.

Literatur

- ANKEN, T., P. STAMP, W. RICHNER und U. WALTHER, 2004: Pflanzenentwicklung, Stickstoffdynamik und Nitratauswaschung gepflügter und direktgesäter Parzellen. FAT-Schriftenreihe Nr. 63, 101 S.
- BGS (Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz), 1989: Lysimeterdaten von Schweizerischen Messstationen. Bodenwassergehalt, Sickerwasser, Niederschlag und Evaporation. BGS-Dokument 4, 123 S.
- GEERING, J., 1943: Ergebnisse der Oerlikoner Lysimeterversuche. Berichte der Schweiz. Bot. Ges. 53A, 221-245.
- MEISSNER, R. and M. SEYFARTH, 2004: Measuring water and solute balance with new lysimeter techniques. Paper presented at the 3th Australian and New Zealand soil science conference, Sydney, December 2004.
- MEISSNER, R., M. SEYFARTH, H. FRIEDRICH, H. RUPP, M. BEUTER und K. KESSLER, 2005: Vorrichtung zur monolithischen Entnahme von Bodensäulen. Deutsches Patent DE 100,48,089,6, 8 Juli 2005.
- MEISSNER, R., J. SEEGER, H. RUPP, M. SEYFARTH and H. BORG, 2007: Measurement of dew, fog and rime with a high precision gravitation lysimeter. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170, 335-344.
- MEISSNER, R., H. RUPP and M. SEYFARTH, 2008: Advances in outdoor lysimeter techniques, Water, Air, & Soil Pollution: Focus, 8: 217-225.
- NIEVERGELT, J., 2002: Nitrat und Fruchtfolgen 20 Jahre lang beobachtet. Agrarforschung 9, 28-33.
- SEYFARTH, M., R. MEISSNER und H. RUPP, 2001: Verfahren und Vorrichtung zur Entnahme großvolumiger Bodenmonolithen. Bericht über die 9. Lysimetertagung, Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft, 231-232.
- STAUFFER, W., 2000: Sickerwasser und Erträge verschiedener Fruchtfolgen. Agrarforschung 7, 535-540.
- STAUFFER, W. und E. SPIESS, 2001: Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen auf die Nitratauswaschung. Agrarforschung 8, 324-329.
- STAUFFER, W. und E. SPIESS, 2005: Einfluss unterschiedlicher Nutzung und Düngung auf Sickerwassermenge und Nitratauswaschung. In: Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung. Bericht über die 11. Gumpensteiner Lysimetertagung. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irtding, 213-215.