

Lysimeterforschung an ART – dem Nitrat auf der Spur

Volker Prasuhn, Ernst Spiess, Clay Humphrys und Christiane Vögeli Albisser
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich

Zusammenfassung

Die Gruppe Gewässerschutz von Agroscope Reckenholz-Tänikon ART betreibt derzeit vier Lysimeteranlagen (2 in Zürich-Reckenholz, 1 in Tänikon/Aadorf, 1 in Eschikon/Lindau) mit insgesamt 97 Gross-Lysimetern. Schwerpunkt sämtlicher Untersuchungen ist die Nitratauswaschung bei unterschiedlicher landwirtschaftlicher Nutzung. Dabei stehen praxisnahe Fragestellungen im Vordergrund. Die Resultate sollen dem Prozessverständnis, der Entwicklung und Validierung von Modellen und der Ableitung von Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis dienen. Die technischen Daten und die derzeit laufenden Versuche der vier Lysimeteranlagen werden nachfolgend präsentiert.

Abstract: Lysimeter research at ART - tracing nitrate

The water protection group of Agroscope Reckenholz-Tänikon ART is operating 4 lysimeter facilities (2 at Zurich-Reckenholz, 1 at Tänikon/Aadorf and 1 at Eschikon/Lindau) with a total of 97 lysimeters. Focus of all research activities is on nitrate leaching from agricultural land with special attention given to practice-oriented issues. Results should give an insight into processes and serve for model validation and for deriving recommendations for farmers. Technical data and current experiments of the four lysimeter facilities are reported.

Keywords: lysimeter, nitrate leaching, agriculture, fertilisation

1. Einleitung

Lysimeter dienen schon seit historischen Zeiten der Umweltforschung. Nach Literaturrecherchen von KOHNKE et al. (1940) und BASF (1976) fanden erste Untersuchungen mit Lysimetern bereits 1688 statt. Erste wägbare Lysimeter wurden 1906 in Deutschland konstruiert. Die Lysimeterforschung hat auch in der Schweiz eine lange Tradition. Schon 1922 wurden erste Lysimeterversuche angelegt (GEERING 1943). Seit Anfang der 1970er Jahre gibt es verschiedene Gross-Lysimeteranlagen in der Schweiz. Der Prototyp dieser Lysimeter wurde nach BGS (1989) von PRIMAULT (1970) von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt in Zürich entwickelt. Der technische Fortschritt hat vor allem bei der Befüllung mit Boden grosse Veränderungen bzw. Verbesserungen gebracht. Während früher die Böden meist schichtweise von Hand eingefüllt wurden, werden sie heute meist ungestört entnommen, d.h. monolithisch gestochen oder gefräst. Die Präzision der Wägung sowie die messtechnische Ausstattung mit verschiedenen Sonden haben sich weiterhin stark verbessert.

Die BGS gründete 1977 eine Arbeitsgruppe Lysimeter. Im BGS-Dokument Nr. 4 (BGS 1989) wurden die Lysimeteranlagen der Schweiz aufgelistet und beschrieben. Drei dieser Anlagen mit insgesamt 213 Lysimetern wurden inzwischen aufgegeben. Sechs Anlagen mit insgesamt 33 Lysimetern sind weiterhin in Betrieb und fünf Anlagen mit insgesamt 151 Lysimetern sind neu dazugekommen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über uns bekannte bestehende und aufgehobene Lysimeteranlagen in der Schweiz. Hierbei wurden nur sogenannte Gross-Lysimeter berücksichtigt, die eine Oberfläche von etwa 1 m² haben. Einige wenige Lysimeter werden nur für hydrologische oder meteorologische Zwecke genutzt. Die meisten Anlagen werden bzw. wurden von landwirtschaftlichen Forschungsanstalten betrieben. Bei diesen Anlagen werden zusätzlich Untersuchungen zum Nähr- und Schadstofftransport durchgeführt. Die Zusammenstellung zeigt, dass von den insgesamt noch in Betrieb befindlichen 184 Lysimetern 97 von der Gruppe Gewässerschutz von ART betrieben werden.

Tab. 1: Zusammenstellung von Lysimeteranlagen in der Schweiz.

Betreiber/Ort	Laufzeit	Anzahl	Oberfläche / Tiefe	Anzahl wägbar	Anzahl Monolithen
In Betrieb					
ART / Zürich-Reckenholz (ZH)	2009 -	72	1,0 / 1,5	12	72
ART / Zürich-Reckenholz (ZH)	1980 -	12	3,1 / 2,5	12	0
ART / Tänikon Aadorf (TG)	1998/2007 -	9	1,0 / 1,5	0	9
ART / Eschikon Lindau (ZH)	1976 -	4	3,1 / 2,3	4	0
Uni Bern / Sierre (VS)	2010 -	1	0,5 / 1,0	1	1
Uni Basel / Basel Binningen (BL)	1977 -	1	3,1 / 2,1	1	0
ETHZ / Rietholzbach (SG)	1975 -	1	3,1 / 2,5	1	0
EPFL / Ecublens (VD)	1986 -	6	1,1 / 2,2	6	0
WSL / Birmensdorf (ZH)	2000 -	20/22	3,0 / 1,5	0	0
ETHZ / Horw (LU)	2005 -	8	18 / 1,0	0	0
Hauert / Suberg (BE)	1987/93 -	28	0,8 / 1,0	0	0
Aufgehoben					
ART (FAC, IUL) / Bern-Liebefeld	1983-2009	64	1,0 / 1,5	3	3
ACW (RAC) / Changins Nyon	1974/75-2000	92	1,0 / 1,0	0	0
ACW (RAC) / Changins Nyon	1974/75-2000	56	4,0 / 1,0	0	0
SMA / Zürich	1971-1984	1	3,1 / 2,0	1	0

2. Die Lysimeteranlagen von ART

2.1 Zürich-Reckenholz – 72er-Anlage

Im Herbst/Winter 2008 wurde in Zürich-Reckenholz eine neue Lysimeteranlage mit 72 Lysimetern gebaut (Abbildung 1) (PRASUHN et al. 2009). Im Frühjahr 2009 wurden die als Monolithe gefrästen Ackerböden erstmals mit verschiedenen Kulturen für diverse Versuchsfragen bewirtschaftet. Die Versuchsfragen orientieren sich primär an praxisrelevanten Problemen bezüglich Nitratauswaschung.

- Koordinaten: 681 350 / 253 600
- Höhe über Meer: 443 m
- mittlerer Jahresniederschlag: 1'042 mm
- Gefäßanzahl und -art: 12 wägbare und 60 nicht wägbare Lysimeter
- Baujahr: 2008/09
- Gefäßgrösse: 1,5 m langer Edelstahlzylinder, 1 m² Oberfläche und ca. 3'300 kg Gewicht
- Zugang: unterirdischer, isolierter Kellerraum
- Gefäßinhalt: monolithisch gefräste Ackerböden über einer Sickerhilfe aus Quarzsand und Kies
- Böden: (A) 48 x Braunerde (schwach pseudogleyig, tonhüllig, sandiger Lehm) auf Grundmoräne; (B) 12 x Braunerde (pseudogleyig, Lehm über tonigem Lehm) auf Grundmoräne; (C) 12 x Parabraunerde (ausgeprägt, sandiger Lehm über Lehm) auf Schotter
- Messgrössen: Menge des Sickerwassers; Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser; Gewichtsänderung gegenüber Referenzwert,

Bodenwassergehalt (FDR), Wasserspannung (Tensiometer), Bodentemperatur, alle in jeweils 4 Tiefen und zweifacher Wiederholung

- Messfrequenz: 5-minütig, Nährstoffkonzentrationen 14-täglich
- Wetterdaten: werden in ca. 20 m Entfernung von der amtlichen Messstation erhoben.

16 Verfahren zu fünf verschiedenen Hauptfragestellungen wurden in dreifacher Wiederholung auf Boden A angelegt. Vier dieser Verfahren werden zusätzlich auf den Böden B und C wiederholt. Die Bewirtschaftung wird von Hand durchgeführt. Alle Versuche sind als Fruchfolgeversuche über mehrere Jahre konzipiert.

- **Fragestellung 1:** Einfluss der Höhe der Stickstoff-Düngung und der Düngungstechnik (0%, 70%, 100%, 130% der empfohlenen Stickstoff-Normdüngung sowie CULTAN-Düngung)
15 Lysimeter, alle Boden A
- **Fragestellung 2:** Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren (Mulchsaat, Pflug)
18 Lysimeter, je 6 mit Boden A, B, C
- **Fragestellung 3:** Vergleich des biologischen Landbaus mit Anbau nach Ökologischem Leistungsnachweis (ÖLN), zwei Fruchfolgen, eine intensiver und zeitversetzt doppelt geführt, eine extensivere nur biologisch
18 Lysimeter, je 6 mit Boden A, B, C,
6 Lysimeter, alle Boden A
3 Lysimeter, alle Boden A
- **Fragestellung 4:** Einfluss des Umbruchtermins einer Zwischenkultur (November versus März)
6 Lysimeter, alle Boden A

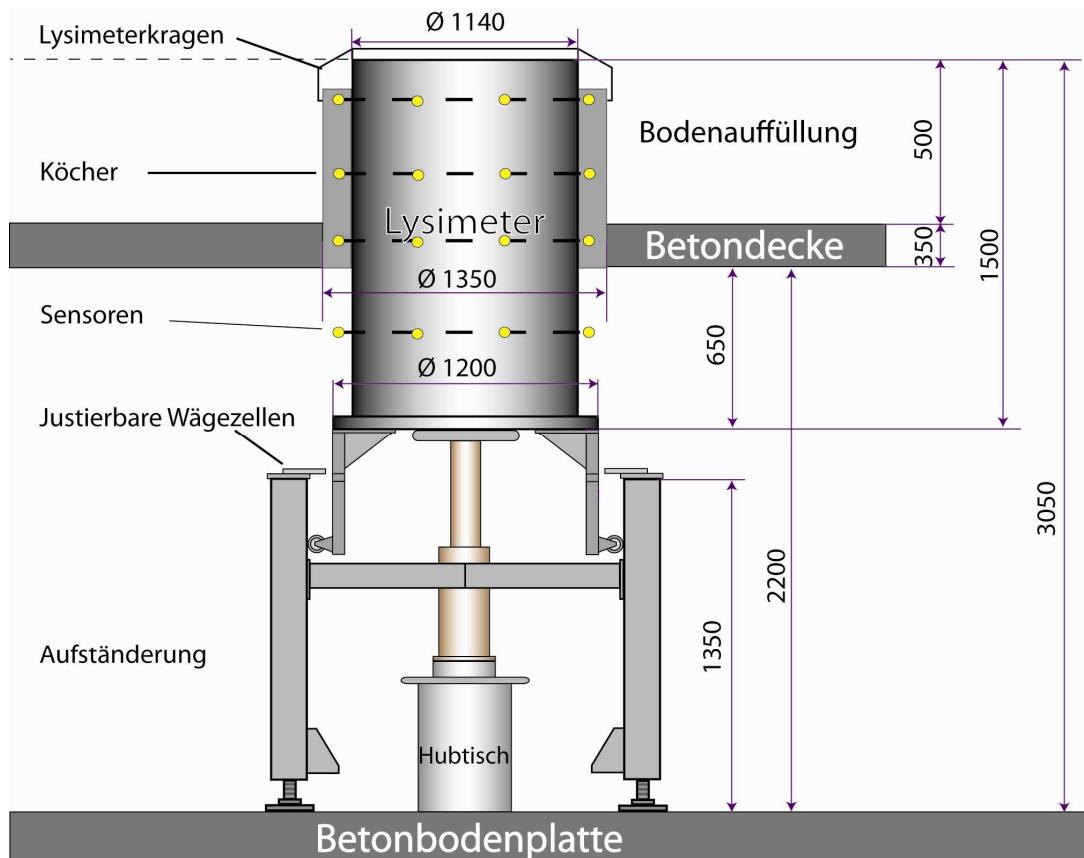


Abbildung 1: Schema und Masse eines wägbaren Lysimeters der 72er-Anlage in Zürich-Reckenholz.

- Fragestellung 5:** Einfluss einer Gölledüngung im Winter auf Grasland (1 Göllegabe bei günstigen Bedingungen im Winter + 3 Göllegaben im Sommer versus 4 Göllegaben im Sommer), 6 Lysimeter, alle Boden A.

2.2 Zürich-Reckenholz – 12er-Anlage

Auf der älteren Lysimeteranlage am Standort Reckenholz mit 12 wägbaren Lysimetern wurde anfangs 2010 ein neues Projekt gestartet. Im Auftrag des BAFU wird der Einfluss von Klimawandel und Bewässerung auf die Grundwasserqualität untersucht. Die Lysimeteranlage wurde dazu überdacht, um den Wasserhaushalt steuern und den Hitzesommer 2003 simulieren zu können. Drei Verfahren (Trockenstress, optimale Bewässerung, übermässige Bewässerung) werden während drei Jahren mit Mais, Kartoffeln und Gemüse verglichen.

- Koordinaten: 681 350 / 253 600
- Höhe über Meer: 443 m
- mittlerer Jahresniederschlag: 1'042 mm
- Gefäßanzahl und -art: 12 wägbare Lysimeter
- Baujahr: 1979/80
- Gefäßgrösse: 2,5 m langer Kunststoffzylinder mit 2 m Durchmesser, $3,14 \text{ m}^2$ Oberfläche, 7'300 Liter Inhalt und ca. 14'000 kg Gewicht

- Zugang: unterirdischer, isolierter Kellerraum
- Gefäßinhalt: Bodenmaterial, 1979 schichtweise eingefüllt über einer Sickerhilfe aus Sand und Kies (Quarzporphy)
- Böden: 6 x sandig lehmige Braunerde auf Schotter, 6 x lehmige Braunerde auf Moränenlehm
- Messgrössen: Menge des Sickerwassers; Nährstoff- und Pestizidkonzentrationen im Sickerwasser; Gewichtsänderung gegenüber Referenzwert
- Messfrequenz: 5-minütig, Nährstoffkonzentrationen 14-täglich
- Wetterdaten: werden in ca. 40 m Entfernung an amtlicher Messstation erhoben und innerhalb der Überdachung.

2.3 Aadorf / Tänikon

Am Standort Tänikon wurden 2007 die sechs von T. Anken gebauten Feldlysimeter (ANKEN 2004) von der Gruppe Gewässerschutz ART übernommen. Drei zusätzliche Lysimeter wurden im bestehenden Bio-Verfahren 2007 monolithisch gestochen und installiert.

Zürich-Reckenholz – 72er-Anlage



Lysimeteranlage mit Blick auf einen Teil der 72 Lysimeter mit 1 m^2 Oberfläche (vorne mit Wintergerste).



Lysimeterkeller mit wägbaren Lysimetern, Kippwaagen für Sickerwassermessung, Probenahmeflaschen und Messsonden.

Im laufenden Versuch werden die drei Anbauverfahren Pflug, Direktsaat und Bio bezüglich Nitratauswaschung unter sonst weitgehend gleichen Bedingungen bei praxisüblicher Bewirtschaftung miteinander verglichen. Der Vorteil der Feldlysimeter liegt in der Einbettung der Lysimeter in die bewirtschaftete Parzelle. Dadurch werden störende Randeinflüsse ausgeschaltet, und eine Bewirtschaftung mit praxisüblichen Geräten wird möglich.

- Baujahr: 1998 (6 Gefässe für die Verfahren Pflug und Direktsaat) / 2007 (zusätzlich 3 Gefässe für das Bioverfahren)
- Gefäßgrösse: 1 m^2 Oberfläche, 1,5 m tief
- Zugang: Zwei nicht isolierte Schächte, Zugang nur zu den Wippen für die Wasserprobenahme
- Gefässinhalt: monolithisch gestochene Ackerböden über einer Sickerhilfe aus Quarzsand.

Zürich-Reckenholz – 12er-Anlage



Lysimeteranlage mit Blick auf die überdachten 12 Lysimeter mit $3,1 \text{ m}^2$ Oberfläche und Maisanbau.



Lysimeterkeller mit Wägevorrichtung.

- Böden: Tiefgründige Parabraunerde mit 22% Ton, 34% Schluff, 42% Sand; 10% Skelett, 1,6% organischer C-Gehalt, pH 6,6.
- Fruchtfolge: Silomais, Winterweizen + Gründüngung, Eiweißerbsen, Winterweizen, Wintergerste, Kunstwiese 1, Kunstwiese 2.
- Messgrössen: Menge des Sickerwassers, Nährstoffkonzentration von Nitrat
- Messfrequenz: monatlich.

2.4 Eschikon/Lindau

Die Lysimeteranlage wurde 1976 vom Institut für Pflanzenbau der ETH Zürich in Betrieb genommen (BLUM 1980). Die vier wägbaren Lysimeter wurden 2008 von ART übernommen. Der Einfluss der Düngungs- und Nutzungsintensität von Grasland auf die Nitratauswaschung ist bisher unzureichend geklärt. Extensiv genutzte Wiesen werden als ökologische Ausgleichsflächen gefördert

und in Nitratprojekten (z.B. GSchG. Art. 62a) werden sie als eine mögliche Massnahme zur Nitratverminderung vorgeschlagen. Aus diesen Gründen untersucht ART die Nitratauswaschung unter Grasbeständen, die sich bezüglich Bewirtschaftungsintensität unterscheiden. Zwei Lysimeter wurden mit einer extensiv genutzten 450er Standardmischung mit Blumen (Salvia) angesät. Sie erhalten keine Stickstoffdüngung und werden erstmals nach dem 15. Juni geschnitten. Die zwei anderen Lysimeter wurden mit einer intensiv genutzten 440er Standardmischung (ohne Knaulgras) angesät. Der Bestand wird jährlich 4-5 mal geerntet und nach jedem Schnitt nach den offiziellen Düngungsnormen mit Gülle gedüngt.

- Koordinaten: 693'750 / 256'420
- Höhe über Meer: 550 m ü. M.
- Mittlerer Jahresniederschlag: 1'100 mm

- Gefässanzahl und -art: 4 wägbare Lysimeter
- Baujahr: 1976
- Gefässgrösse: 2,3 m tiefe Zylinder mit 2 m Durchmesser ($3,1 \text{ m}^2$ Oberfläche)
- Zugang: unterirdischer, isolierter Kellerraum
- Gefässinhalt: in der oberen Schicht (bis 1,1 m tief) Bodenmaterial, gefolgt von einer 20 cm dicken Sandschicht, die auf einer Filtermatte eingefüllt wurde. Zuunterst befinden sich Steine mit einem Durchmesser von 30-50 cm
- Böden: skelettreicher Moränelehm (Bodenform Bc2), sandiger Lehm, 3% organische Substanz
- Messgrössen: Menge des Sickerwassers, Nährstoffkonzentration von Nitrat
- Messfrequenz: monatlich.

Aadorf / Tänikon



Eingebauter Feldlysimeter mit 1 m^2 Oberfläche im Direktsaatverfahren mit Winterweizen.



Einbau der oberen Zylinderhülse, die für die maschinelle Bodenbearbeitung abgenommen wurde.

Lindau / Eschikon



Lysimeteranlage; Blick auf die 4 Lysimeter mit $3,1 \text{ m}^2$ Oberfläche und Graslandnutzung.



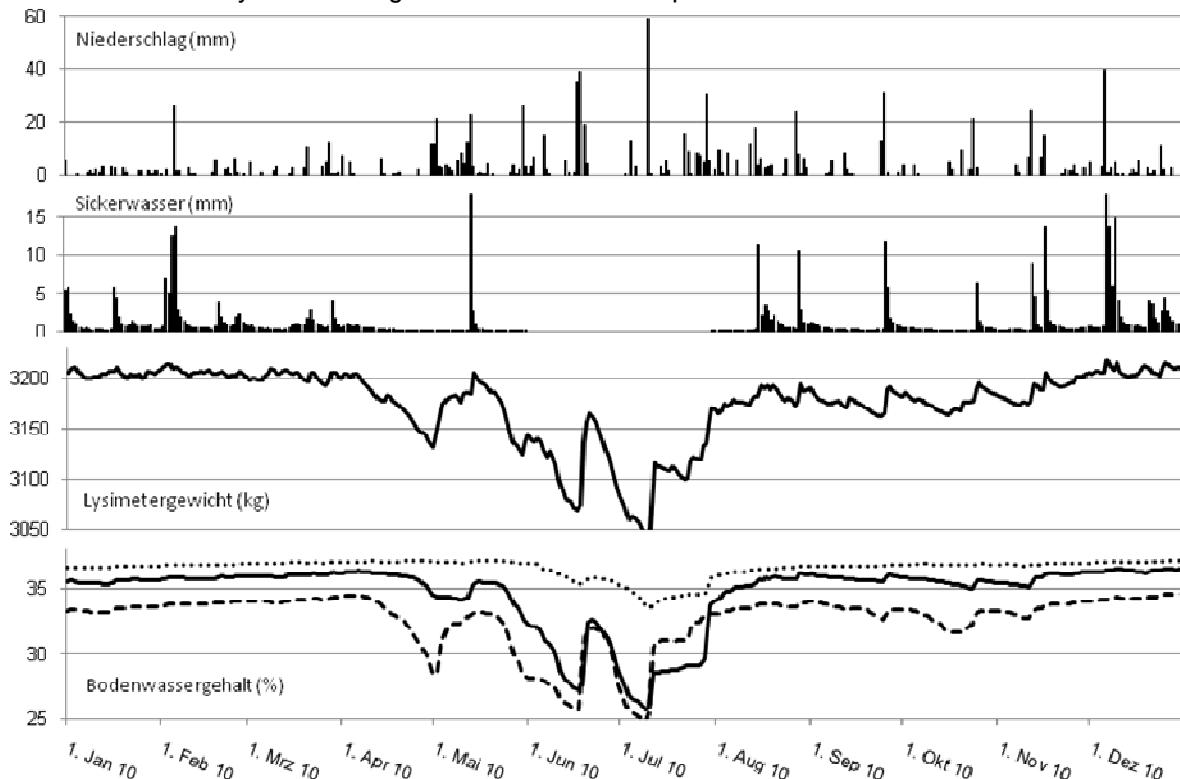
Lysimeterkeller mit Kippwaage für Sickerwasser-messung.

3. Resultate

Die hier vorgestellten vier Lysimeteranlagen werden erst seit wenigen Jahren von uns betrieben. Alle laufenden Versuche sind als Langzeitversuche mit unterschiedlichen Kulturen und unter natürlichen Witterungsbedingungen angelegt. Die

bisher vorliegenden Resultate lassen daher nur bedingt Rückschlüsse und Interpretationen zu (PRASUHN et al. 2011, VÖGELI ALBISSE und PRASUHN 2011). Exemplarisch zeigt Abb. 2 den Jahresgang ausgewählter Parameter eines wägbaren Lysimeters.

Abbildung 2: Tageswerte von Niederschlag, Sickerwasser, Lysimetergewicht und Bodenwassergehalt (FDR-Sonden, gestrichelt = 30cm, durchgezogen = 60cm; gepunktet = 90cm Tiefe) eines ausgewählten Lysimeters der 72er-Lysimeteranlage mit Winterweizen-Raps für das Jahr 2010.



4. Literatur

- ANKEN, T., P. STAMP, W. RICHNER und U. WALTHER (2004): Pflanzenentwicklung, Stickstoffdynamik und Nitratauswaschung geplügter und direktgesäter Parzellen. FATSchriftenreihe Nr. 63, 101 S.
- BASF (1976): Bibliographie. Thema: Lysimeter. Information über Agrarchemikalien. BASF Landwirtschaftliche Versuchsstation Limburgerhof, 176 S.
- BGS (Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz) (1989): Lysimeterdaten von Schweizerischen Messstationen. Bodenwassergehalt, Sickerwasser, Niederschlag und Evaporation. BGS-Dokument 4, 123 S.
- BLUM, H. (1980): Kurz- und langfristige Variation der Sickerrate, der Gewichtsänderung und der Evapotranspiration von vier identischen wägbaren Lysimetern. Jb. Schweiz. Naturforsch. Ges. Wiss. Teil Nr. 1, 67-71.
- GEERING, J. (1943): Lysimeter-Versuche der Eidg. Landw. Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon. Landw. Jb. Schweiz 57, 107-182.
- KOHNKE, H., F.R. DREIBELBIS and J.M. DAVIDSON (1940): A survey and discussion of lysimeters and a bibliography on their construction and performance 1688-1940. USDA Miscellaneous Publ. No. 372, Washington D.C.; 63 S.
- PRASUHN, V., E. SPIESS und M. SEYFARTH (2009): Die neue Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz. Bericht 13. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning, 11-16.
- PRASUHN, V., E. SPIESS und C. HUMPHRYS (2011): Sickerwasser und Nitratauswaschung – erste Ergebnisse der neuen Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz. Bericht 14. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning, 207-210.
- PRIMAULT, B. (1970): A large-scale electronic weighing lysimeter for agricultural meteorology. Philips Serv. Sci. + Ind. Eindhoven 16, 10-11.
- VÖGELI ALBISSE, C. und V. PRASUHN (2011): Bewässerung und Grundwasserqualität in Zeiten des Klimawandels. Bericht 14. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning, 181-184.