

# TERENO-SOILCan - Management eines deutschlandweiten Lysimemeternetzwerkes

Werner Küpper<sup>1\*</sup>, Jannis Groh<sup>1</sup>, Leander Fürst<sup>1</sup>, Philipp Meulendick<sup>1</sup>,  
Harry Vereecken<sup>1</sup> und Thomas Pütz<sup>1</sup>

## Einleitung

Im Rahmen von TERENO (**TER**restrial **EN**vironmental **O**bservatories) wurden vier Observatorien zur Langzeitbeobachtung in Regionen Deutschlands eingerichtet, welche negativ vom Klimawandel betroffen sein werden (Glaser 2008). Um den erwarteten Klimawandel zu simulieren, wurden Lysimeter entlang eines Temperatur- und Niederschlagsgradienten innerhalb der jeweiligen Observatorien bzw. auch zwischen den Observatorien nach dem Prinzip „Space for Time“ versetzt. Das Lysimemeternetzwerk besteht aus 132 Lysimetern an 13 verschiedenen Standorten. An den zentralen Versuchsstationen Selhausen und Bad Lauchstädt wurden Lysimeter aus allen vier Observatorien zusammengeführt.

## Ziele

Die Sensoren und Waagen jedes einzelnen Lysimeters liefern täglich rd. 6300 Messwerte. Die 6 Hexagone mit seinen 36 Lysimetern innerhalb des Observatoriums Eifel/Niederrheinische Bucht liefern zusammen täglich rd. 228.000 Messwerte. Ziel ist es:

- belastbare Werte zu generieren
- einen möglichst fehlerfreien Betrieb der Anlagen zu gewährleisten und den Ausfall von Messwerten zu vermeiden.

Die Qualität und Vollständigkeit der Daten ist dabei stark abhängig von der Güte des Lysimetermanagements, worauf in diesem Beitrag näher eingegangen werden soll.

## Material und Methoden

Bei den Lysimetern handelt es sich um monolithisch befüllte, wägbare Systeme mit 1,5 m Tiefe, 1m<sup>2</sup> Oberfläche und einer Instrumentierung mit TDR-Sonden, Tensiometern, Matrixpotentialensoren, Bodenwärmeflussensoren, CO<sub>2</sub>-

Sensoren, Saugkerzen in verschiedenen Bodentiefen, sowie einer gesteuerten unteren Randbedingung. Via VPN ist ein Remotezugriff auf die mit BUS-System ausgestatteten Geräte (wie z.B. Vakuumpumpe, Tensiometer, PumpController, DataConcentrator) oder die Kamera möglich. Dadurch können Einstellungen an diesen Geräten per Fernzugriff angepasst und Störungen mitunter zeitnah behoben werden ohne vor Ort sein zu müssen. Die Bewirtschaftung des Umlandes wird teilweise von externen Mitarbeitern (Gärtnern) durchgeführt, die mit den sensiblen Lysimeteranlagen vertraut sind und in enger Absprache mit den Technikern diverse Tätigkeiten ausführen.

## Ergebnisse

Seit Inbetriebnahme der Lysimeteranlage in 2011 ist die Datenqualität durch eine kontinuierliche Optimierung der Arbeitsabläufe, Datensichtung, Managementprotokollierung und Optimierung von einzelnen Komponenten der Lysimeteranlagen stark gestiegen (siehe *Tabelle 1*).

## Datensichtung

Um qualitativ hochwertige Daten zu erhalten, bedarf es u.a. einer täglichen Sichtung der gewonnenen Daten und eines engmaschigen Managements an den Lysimeteranlagen vor Ort. Zur täglichen Datensichtung gehört im Wesentlichen:

Kontrolle der Kamerabilder, Plausibilitätsprüfung der Wägedaten (Lysimeter und Tank), Dokumentation von Tankauslässen, Überprüfung der Unterdruckstabilität, Plausibilitätsprüfung der Sensorik und der Unteren Randbedingung, Problembehebung per Fernzugriff und Dokumentation aller relevanten Vorgänge.

## Kontrolle der Kamerabilder

Anhand der Kamerabilder lassen sich frühzeitig managementrelevante Vorgänge auf oder um die Lysimeter feststel-

**Tabelle 1: Datenqualität der Waagen (Tank und Lysimeter) für sechs Lysimeter am Prüfstandort Wüstebach in den Jahren 2012-2015.**

Lysimeter	Bad		Good		Suspicious		Missing		Tank	Bad		Good	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		Mean	SD	Mean	SD
2012	11.9	8.6	81.1	8.6	6.9	0.0	0.1	-	2012	3.6	0.1	96.0	0.8
2013	26.2	2.8	72.4	2.3	1.4	0.8	0.0	-	2013	0.3	0.0	99.7	0.0
2014	2.6	1.1	93.0	1.0	3.3	0.5	1.1	-	2014	2.1	1.5	96.8	1.5
2015	0.9	0.3	96.6	0.3	2.4	0.0	0.0	-	2015	0.4	0.3	99.6	0.3

<sup>1</sup> Agrosphere Institute, Research Center Jülich, FZJ, D-52425 JÜLICH

\* Ansprechpartner: DI Werner Küpper, w.kuepper@fz-juelich.de



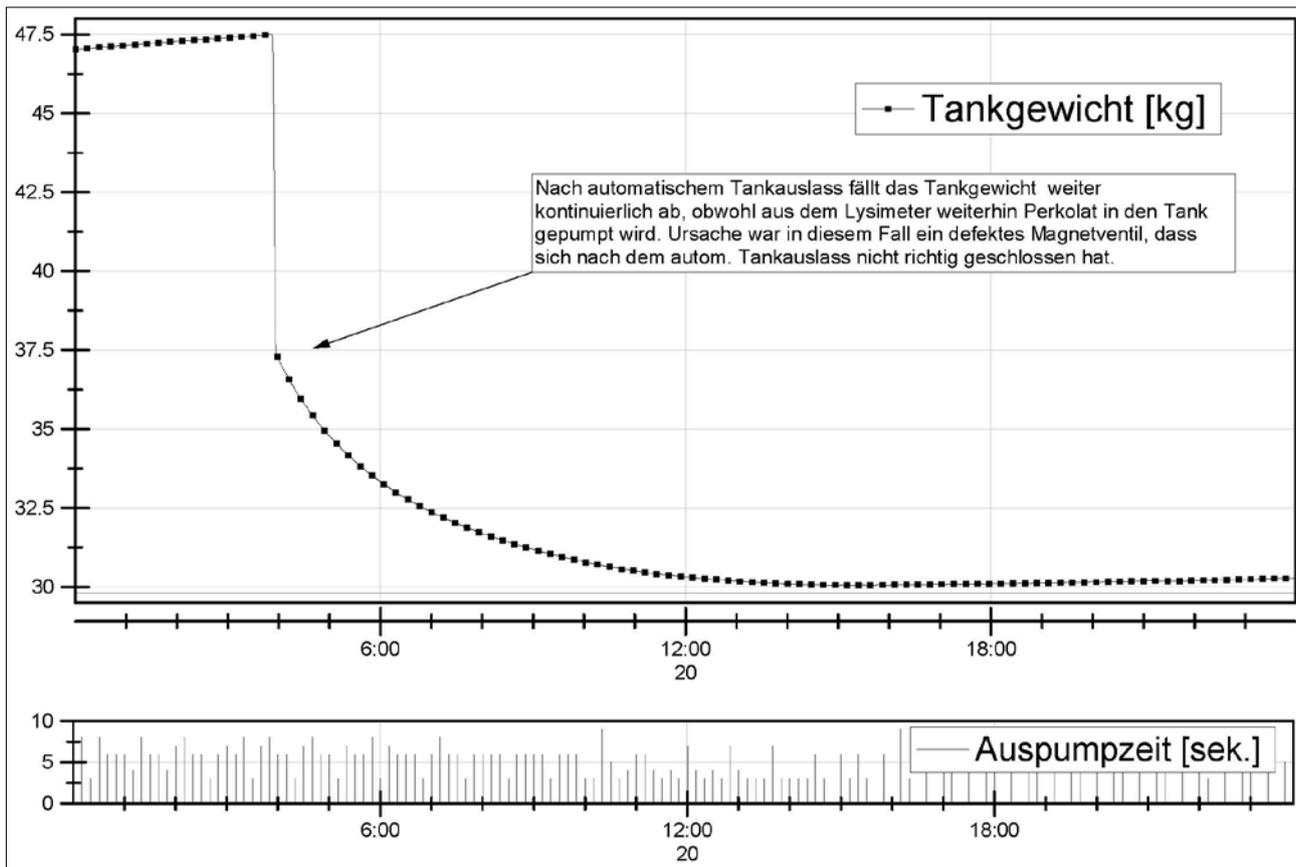


Abbildung 1: Verlauf des Tankgewichts Pumpplaufzeiten der Perkolatpumpe (Plot vom 20.11.2016 SE3-5).

len und dokumentieren. So kann beispielsweise festgestellt werden wann der Landwirt das umgebende Grünland geschnitten oder gedüngt hat, um dann entsprechend zeitnah div. Vorbereitungen für die nächste Wartungsfahrt zu treffen. Ein weiteres Beispiel ist Schneefall. Da sich eine geschlossene Schneedecke negativ auf die Wägedaten auswirkt, ist es notwendig zu wissen, wie lange der Schnee gelegen hat und ob die Schneedecke geschlossen war, um diese Daten in den Plots entsprechend zu flaggen.

### Dokumentation von Perkolatleerungen

Immer dann, wenn das Tankgewicht 47.5 kg erreicht, erfolgt eine automatische Tankleerung um 10 auf 37.5 kg. Dieses Wasser wird teilweise nochmals in Zusatztanks gesammelt, da der Wasservorrat zur Steuerung der unteren Randbedingung im Sommer sonst nicht ausreicht. Dieses in den Zusatztanks gesammelte Wasser wird regelmäßig durch Wasser der kommenden Tankausleerungen ersetzt, um so immer möglichst frisches Wasser zu bevorraten. Es wird in den Metadaten dokumentiert, welches Wasser in den Zusatztanks ist. Wird Wasser aus den Zusatztanks in den Haupttank zurückgefüllt, wird immer auch eine Wasserprobe vor und nach der Wasserspende für die Analytik entnommen.

### Plausibilitätsprüfung der Wägedaten (Lysimeter und Tank)

Zu den wichtigsten Messdaten gehören die Wägedaten der Lysimeter und der Tanks. Hier sollten die Daten täglich

kontrolliert werden. Anhand der Kontrolle können frühzeitig fehlerhafte Wägedaten erkannt und entsprechend zeitnah behoben werden. Mitunter sind fehlerhafte Wägedaten nur bei entsprechend hoher zeitlicher Auflösung erkennbar (z.B. in einem Sichtfenster von 1-10 Minuten). D.h. es ist notwendig sich Tagesverläufe auch auf wenige Minuten oder Stunden anzuschauen. *Abbildung 1* zeigt hier z.B. eine Undichtigkeit am Tanksystem, bei der das Wasser nur sehr langsam dem System entweicht. Andere Unregelmäßigkeiten sind wiederum nur an Tages- oder Langzeitplots und/oder im Vergleich zu den parallel gemessenen Lysimeterdaten sichtbar. Da die Datenqualitätsprüfung mit Flags meist erst mehrere Wochen später erfolgt, ist eine möglichst lückenlose Dokumentation (siehe *Tabelle 2*) aller relevanten Vorgänge notwendig, um auffällige Messdaten zu erklären und entsprechend zu flaggen.

### Überprüfung der Unterdruckstabilität

In jedem Lysimeter sind in 10, 30 und 50 cm Bodentiefe Saugkerzen installiert. An diesen Saugkerzen liegt zur Gewinnung von Bodenlösungsproben ein permanenter Unterdruck von -100 hPa an. Bei der täglichen Datensichtung kann überprüft werden, ob der Unterdruck konstant ist oder evtl. durch Lufteintritt an der Saugkerze bzw. sonstige Leckagen einbricht (z.B. Deckel der Probeflasche nicht dicht verschlossen). Insbesondere in den Sommermonaten kann es vorkommen, dass der Lufteintrittspunkt der Saugkerze (-1000 hPa) erreicht wird, die Saugkerze Luft zieht und damit der Unterdruckkreislauf zusammenbricht. In diesem

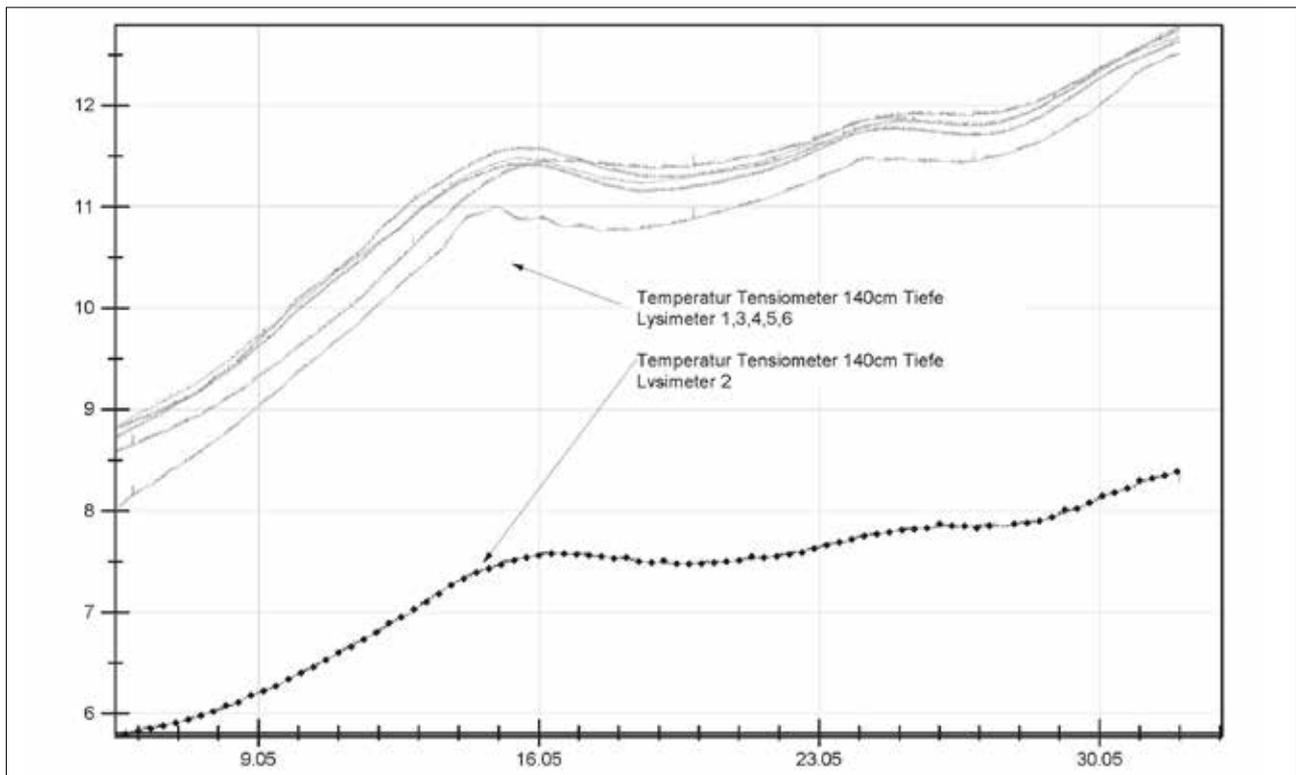


Abbildung 2: Temperaturkurven (°C) im Vergleich (Plot von 05.2016 in SE4).

Fall werden einzelne Saugkerzen vom Unterdruckkreislauf bis auf weiteres abgeklemmt. Dies gewährleistet, dass sich der Unterdruck stabilisiert, Bodenlösung wieder entnommen werden kann und gleichzeitig die Vakuumpumpe geschont wird.

### Remotezugriff

Via VPN ist ein Zugriff auf die mit BUS-System ausgestatteten Geräte (wie z.B. Vakuumpumpe, Tensiometer, PumpController, DataConcentrator) oder die Kamera möglich. Dadurch können Einstellungen an diesen Geräten per Fernzugriff angepasst und Störungen mitunter behoben werden ohne vor Ort sein zu müssen. Beispielsweise können so notwendige Einstellungen am PumpController für eine optimierte Steuerung der unteren Randbedingung zeitnah durchgeführt und bei Bedarf angepasst werden.

### Plausibilitätsprüfung der Sensorik (TDR, TSI, CO<sub>2</sub>, MPS, HFP, Temperatur, etc.)

Durch die tägliche Sichtung der Daten können Sensorausfälle oder auffällige Verläufe schnell erkannt, bewertet und ggf. behoben werden. Fällt ein Sensor unbegründet aus oder ist dieser auffällig, wird dies in den Metadaten dokumentiert. Ggf. wird dieser Sensor auch in einer Wartungsliste vorgemerkt. *Abbildung 2* zeigt z.B. eine auffällige Temperaturmessung eines Tensiometers, dessen Temperatur immer auf einem anderen Niveau im Vergleich zu den anderen Temperatursensoren verläuft. Erst im Vergleich zu den übrigen Sensoren fällt der Unterschied auf. Ursache ist vermutlich ein defekter Temperatursensor im TSI.

### Plausibilitätsprüfung der unteren Randbedingung (Vorgabe Referenz TSI und Nachsteuerung im Lysimeter durch Ein- bzw. Auspumpbefehle über den PumpController)

Die von der Fa. Meter AG (ehem. UMS AG) entwickelten Lysimeter zeichnen sich u.a. auch durch die Möglichkeit einer gesteuerten unteren Randbedingung aus. Anhand der Saugspannungsunterschiede zwischen dem im Feld installierten Referenztensiometer (Mittelwert) und des Tensiometers am unteren Rand des Lysimeters (140 cm) wird eine bidirektionale Pumpe betrieben, welche ermöglicht, dass Wasser aus dem Lysimeter in den Tank oder umgekehrt wieder in das Lysimeter einpumpt werden kann. Ziel ist es, dass die Saugspannungen des Lysimeter-Tensiometers möglichst kongruent zur Tension des Referenztensiometers im Feld verläuft. Dabei ist es u.U. erforderlich via Fernzugriff individuell je Lysimeter Einstellungen am PumpController vorzunehmen, zu überwachen und ggf. neu anzupassen.

### Dokumentation

Eine möglichst lückenlose Dokumentation aller relevanten Vorgänge an den Hexagonen ist insbesondere bei einer späteren Sichtung der Daten unablässig. Nur so lassen sich auffällige Messungen im Nachhinein erklären und ermöglichen eine korrekte Interpretation der Daten.

In diesem Beispiel arbeiten wir mit mehreren Tabellenblättern einer Excel Datei (siehe *Tabelle 2*). Über fest definierte Einträge in den Zellen, die jeweils über eine Dropdownliste angewählt werden können, ist eine leichte Sortierung oder Filterung gewünschter Auskünfte möglich.

Tabelle 2: Auszug aus dem Lysimeterprotokoll.

Station	von Datum	bis Datum	Uhrzeit von	Uhrzeit bis	SUB	BUS	Was	Details/Maßnahme
WU	05.07.2016		11:00	13:30		Lys.waage	Besuchergruppen	Umland um Lysimeter geschnitten
RO	07.07.2016				3	Tankwaage	ausgetauscht	Reparierte Wägeplattform und neu
SE3-SE4	08.07.2016		9:00	11:30	1-6	Lys.waage	Gewichtssprung	Agrarmaßnahme Ernte
RO	09.07.2016				Umland	Lys.waage	Gewichtssprung d. Grasschnitt	Umland wurde gemäht
SE1-SE2	11.07.2016				1-6	Lys.waage	Gewichtssprung d. Grasschnitt	Umland wurde gemäht
SE3-SE4	11.07.2016				1-6	Lys.waage	Gewichtssprung	Umland-Gerste wurde geerntet und

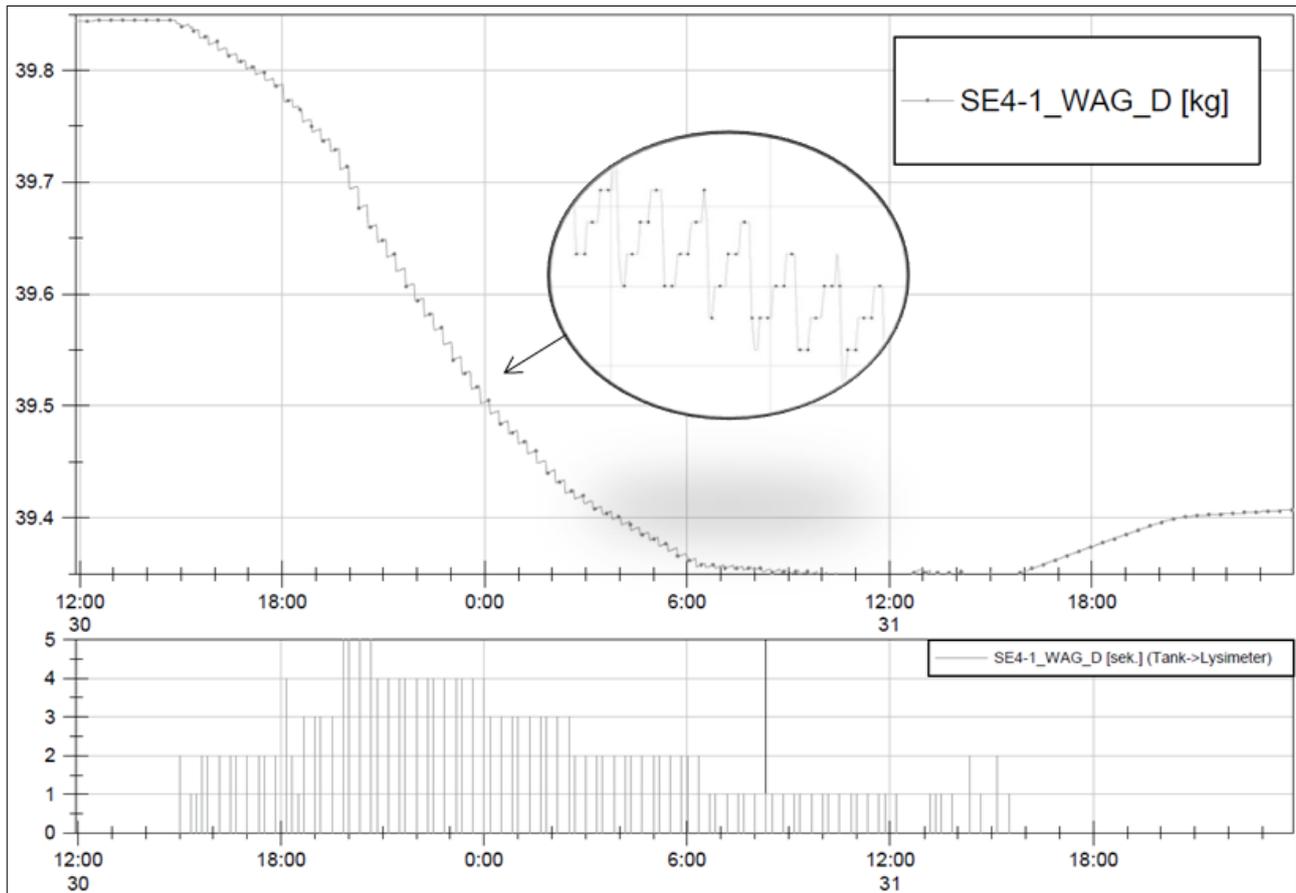


Abbildung 3: Plot vom 31.1.16 SE4-1. Tankgewicht über Pumplaufzeiten (Einpumpbefehl). Überstauverhältnis (+17hPa), Wassersäule im Lysimeter drückt das Perkolat entgegen Pumprichtung zurück in den Tank. Deutlich zu sehen ab 16 Uhr; Tankgewicht steigt ohne Pumplaufzeiten an.

### Wartungsarbeiten an den Lysimeterstationen vor Ort

Im TERENO Observatorium Eifel/Niederrheinische Bucht werden die Lysimeteranlagen an den Versuchsstandorten Selhausen, Rollesbroich und Wüstebach mindestens einmal pro Woche vor Ort kontrolliert. Einmal jährlich findet eine Generalwartung statt, bei der größere Arbeiten wie z.B. Sondentausch oder Überprüfung der Wägezellen stattfinden. Im wöchentlichen Turnus (Wetter- und Jahreszeitabhängig) werden u.a. folgende Arbeiten durchgeführt:

#### Korrektur der Dichtlippen

Ursprünglich waren die Lysimeter über die Dichtlippe mit dem Lysimeterkragen verbunden. Mittlerweile ist die Dichtlippe nur noch so befestigt, dass sie den Spalt zwischen

Lysimeterkragen und Lysimeteraußenwand weitestgehend abdeckt, jedoch nicht mehr das Lysimeter berührt.

#### Bekämpfung von Nagern/Insekten im Umland und den Lysimeter (Auswirkungen Befall)

Neben Frost und Schnee sind u.a. Mäuse und Insekten (Ameisen) ebenfalls ein Störfaktor. Durch die unterirdischen Baue kann es zu negativen Beeinflussungen an den Sonden und Saugkerzen kommen. Von daher ist eine engmaschige Kontrolle der Lysimeter und ggf. der Einsatz von Rodentiziden und Insektiziden erforderlich. Künftig soll durch einen schmalen Graben um die gesamte Anlage (im Gemüseanbau erfolgreich betrieben) der Besatz und der Zulauf von Mäusen reduziert werden.

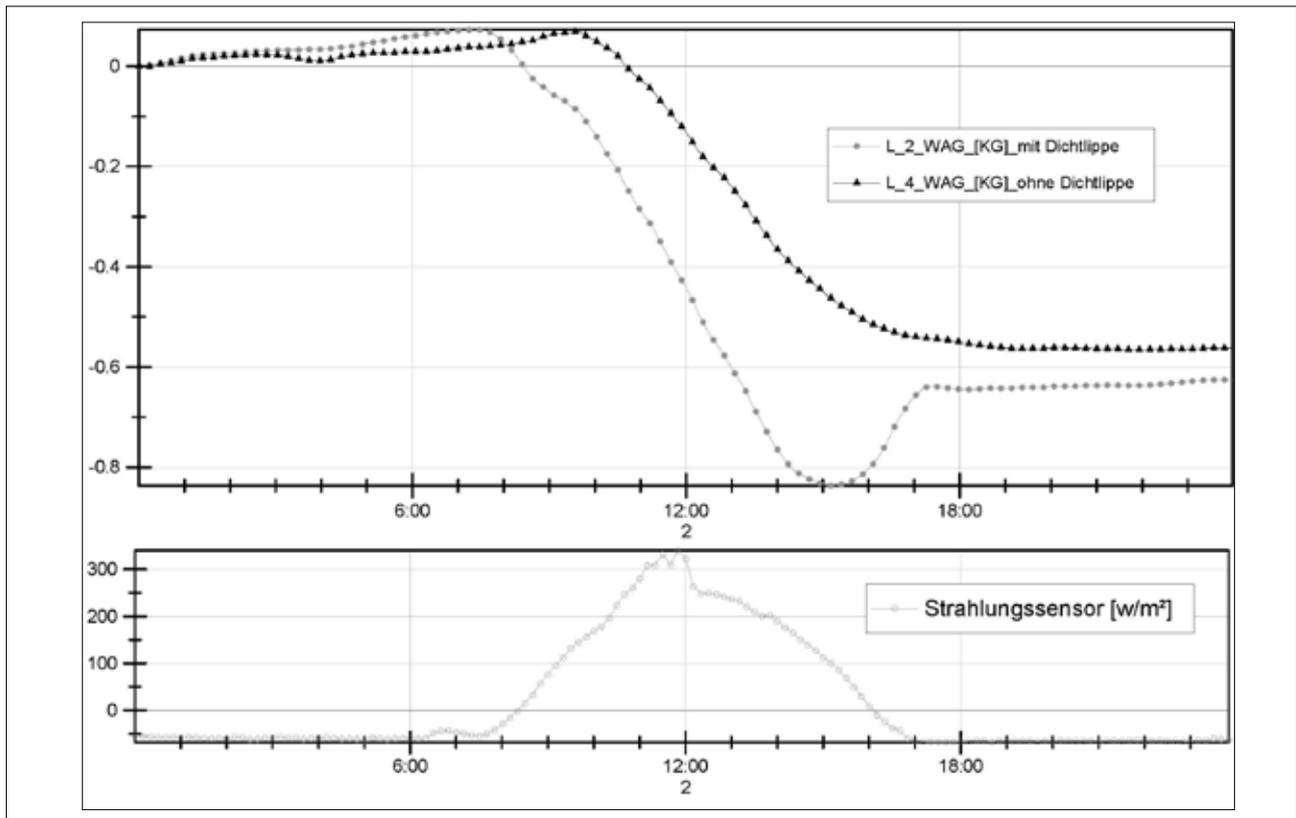


Abbildung 4: Lysimetergewichte über Strahlungssensor (Plot vom 02.11.2015 SE3-2 und SE3-4). Lys.2 mit Dichtlippe, Lys. 4 ohne Dichtlippe.

### Säuberung der Kameralinse

Anhand der Bilder können bereits aus der Ferne relevante Ereignisse (z.B. Grasschnitt des Umlandes durch den Landwirt oder Schneefall) erkannt und ggf. in den Metadaten dokumentiert werden. Bei verschmutzter Linse (Niederschläge und Staub oder Spinnfäden) werden die Bilder unscharf. Von daher sollte die Linse wöchentlich gereinigt werden.

### Bewuchshöhe, BBCH-Dokumentation und Bewuchsüberhang vermeiden

Einmal wöchentlich (in der Vegetationsperiode) wird die Wuchshöhe des Grases bei den Grünlandlysimetern bestimmt. Hierzu wird bei jedem Lysimeter mit dem Metermaß sechsmal die Höhe gemessen und dokumentiert. Bei den Agrarlysimetern wird darüber hinaus das BBCH-Stadium erfasst. Damit die Wägedaten möglichst unverfälscht bleiben, ist es insbesondere bei den Grünlandlysimetern ab und zu notwendig den Bewuchs am Lysimeterrand bzw. im unmittelbaren Umland einzukürzen, damit es nicht zu Brückenbildung kommt.

### Typische Fehlerplots (hier z.B. „Sägezahn“, „Dichtlippen“)

Eine tägliche Überprüfung der Daten ist unvermeidbar, wenn unauffällige aber gravierende Fehler entdeckt werden sollen. Typische Plots mit Fehlern sind hier exemplarisch vorgestellt: „Sägezahnverlauf beim Tankgewicht“. In *Abbildung 3* wird Wasser in das Lysimeter gepumpt (entsprechende

Pumpzeiten werden im Plot angezeigt). Das Tankgewicht fällt zwar entsprechend, steigt jedoch auch immer wieder an. Dieses Bild tritt auf, wenn beispielsweise die Peristaltikpumpe undicht ist oder zum Einpumpen dreht, aber der Pumpkopf kein Wasser fördert und gleichzeitig die Wassersäule im Lysimeter das Wasser entgegen der Pumprichtung zurückdrückt. Ein ähnliches Sägezahnprofil ergibt sich, wenn das Magnetventil am Tank undicht ist. Wenn keine Pumpzeiten vorhanden sind, ist der Fehler schnell zu erkennen, da das Tankgewicht sich ohne Pumplaufzeiten nicht ändern dürfte (siehe *Abbildung 3* ab 16 Uhr).

### Schlussfolgerungen

Lysimeteranlagen, wie sie an den Versuchsstandorten der TERENO-Observatorien betrieben werden, sind technisch sehr komplex und anspruchsvoll in der Betreuung. Sie erfordern viel Spezialwissen über den technischen Aufbau, das Zusammenwirken einzelner Bauteile, die Auswirkungen veränderter Parameter und die Fertigkeit graphisch aufbereitete Daten richtig zu interpretieren. Werden Lysimeteranlage wie oben beschrieben intensiv betreut, so gewährleistet dies eine hohe Qualität der Messdaten, bei gleichzeitig möglichst geringem Datenausfall. Technische Fehler müssen frühzeitig behoben und dokumentiert werden. Ein manuelles Flaggen der Daten ist aufgrund der Vielfalt von möglichen Störsignalen (Wartungen, Messungen, defekte Geräte oder Sonden) nicht zu vermeiden, kann aber durch automatische Korrekturen verringert werden. Diese automatischen Korrekturen werden kontinuierlich weiterentwickelt, sodass der manuelle Aufwand immer geringer werden dürfte.

## Referenzen

- Glaser R. (2008) Klimageschichte Mitteleuropas – 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. Pütz, T., Kiese, R., Wollschläger, U., Groh, J., Rupp, H., Zacharias, S., Priesack, E., Gerke, H.H., Gasche, R., Bens, O., Borg, E., Baessler, C., Kaiser, K., Herbrich, M., Munch, J.-C., Sommer, M., Vogel, H.-J., Vanderborght, J. and H. Vereecken, 2016: TERENO-SOILCan: a lysimeter-network in Germany observing soil processes and plant diversity influenced by climate change. *Environmental Earth Science* 75, 1-14.