

# Datenmanagement der wägbaren Lysimeter in Groß-Enzersdorf

Reinhard Nolz<sup>1\*</sup>, Gerhard Kammerer<sup>1</sup> und Peter Cepuder<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Während die konstruktive Anlage der wägbaren Lysimeter in Groß-Enzersdorf seit ihrer Errichtung im Wesentlichen unverändert blieb, wurde das Datenmanagement in den letzten Jahren sukzessive verbessert. Insbesondere die Verkürzung der Messintervalle auf 10 Minuten zog eine Intensivierung aller Prozeduren von der Datenerfassung bis zur Datenauswertung nach sich. Um die Verdunstung mit Hilfe der Wasserbilanzgleichung bestmöglich bestimmen zu können, müssen die erforderlichen Bilanzglieder (Bodenwasser, Sickerwasser, Niederschlag, Bewässerung) möglichst genau und vollständig erfasst werden. Die Messungen werden vor Ort gesichert und auf einen weiteren Server übertragen, wo sie den Benutzern für die Auswertung zur Verfügung stehen. Regelmäßige Kontrollen sollen die Datensicherheit sowie die Datenqualität gewährleisten. Störungen und Ausfälle im laufenden Betrieb sollen möglichst frühzeitig erkannt und behoben werden. Besondere Herausforderungen ergeben sich durch widrige Einflüsse bei der Messung (Wind, Schnee) oder durch Bilanzierungsfehler (Regen, Sickerwasser). Einige Lösungsansätze wurden bereits umgesetzt. Mittelfristig soll die Datenaufbereitung automatisiert werden, um möglichst aktuelle Verdunstungsdaten auf der bereits eingerichteten Homepage veröffentlichen zu können.

*Schlagwörter:* Datenerfassung, Qualitätskontrollen, Datensicherheit, Kalibrierung, Bilanzierungsfehler

## Summary

While the structural facilities of the weighing lysimeters in Groß-Enzersdorf remained substantially unchanged, data management was gradually improved during the past few years. Especially the shortened measuring interval of 10 minutes resulted in intensified routines from data acquisition to data interpretation. In order to determine evapotranspiration by means of the water balance equation, the required parameters (soil water, seepage water, precipitation, irrigation) have to be measured as accurately and completely as possible. The measurements are stored on-site and sent to an additional server, where they are available for users for data interpretation. Periodical checks shall guarantee data safety and data quality. Failures and breakdowns should be recognized and corrected as early as possible during operation. Special challenges arise from adverse influences during the measurement (wind, snow) or from errors in the water balance (rain, seepage water). Several approaches for improvement have been realized yet. In the medium term, data preparation will be automated in order to publish preferably current evapotranspiration data on an already existing homepage.

*Keywords:* data acquisition, quality control, backup, calibration, water balance error

## Einleitung

Die wägbaren Lysimeter in Groß-Enzersdorf wurden 1983 mit dem Ziel errichtet, die Verdunstung an einem für das intensiv landwirtschaftlich genutzte Marchfeld repräsentativen Standort zu messen (NEUWIRTH und MOTTL 1983). Die Anlage wird vom Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft (IHLW) der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) betrieben. Während die konstruktive Anlage seit der Inbetriebnahme im Prinzip unverändert blieb, hat sich das Datenmanagement mit der Zeit grundlegend verändert. Es umfasst alle Prozeduren von der Datenerfassung (Messung, Konvertierung, Mittelung, Speicherung) über die Datenübertragung, Datensicherung und Datenaufbereitung (inklusive Kalibrierung und Filterung) bis zur Datenauswertung (inklusive Plausibilitätskontrolle). All diese Schritte sind von regelmäßigen Kontrollen begleitet, damit aktuelle Anforderungen an Handhabung und

Qualität erfüllt werden. Die Qualitätssicherung umfasst etwa die Kalibrierung des Wiegesystems und der Wippen sowie den Umgang mit Störungen wie z. B. Stromausfällen. Das mittelfristige Entwicklungsziel ist die (teil)automatische Datenverarbeitung und Darstellung aktueller Verdunstungswerte auf einer bereits eingerichteten Homepage.

Um die Verdunstung von der Lysimeteroberfläche zu ermitteln, muss eine einfache Wasserbilanzgleichung gelöst werden:

$$ET = P + I - SW - \Delta W \quad (1)$$

*ET*...Verdunstung (Evapotranspiration)

*P*...Niederschlag (Precipitation)

*I*...Bewässerung (Irrigation)

*SW*...Sickerwasser (Seepage water)

*$\Delta W$* ...Änderung des Profilwasserinhalts (Change of profile water content)

<sup>1</sup> Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur, Muthgasse 18, A-1190 WIEN

\* Ansprechpartner: DI Reinhard Nolz, [reinhard.nolz@boku.ac.at](mailto:reinhard.nolz@boku.ac.at)

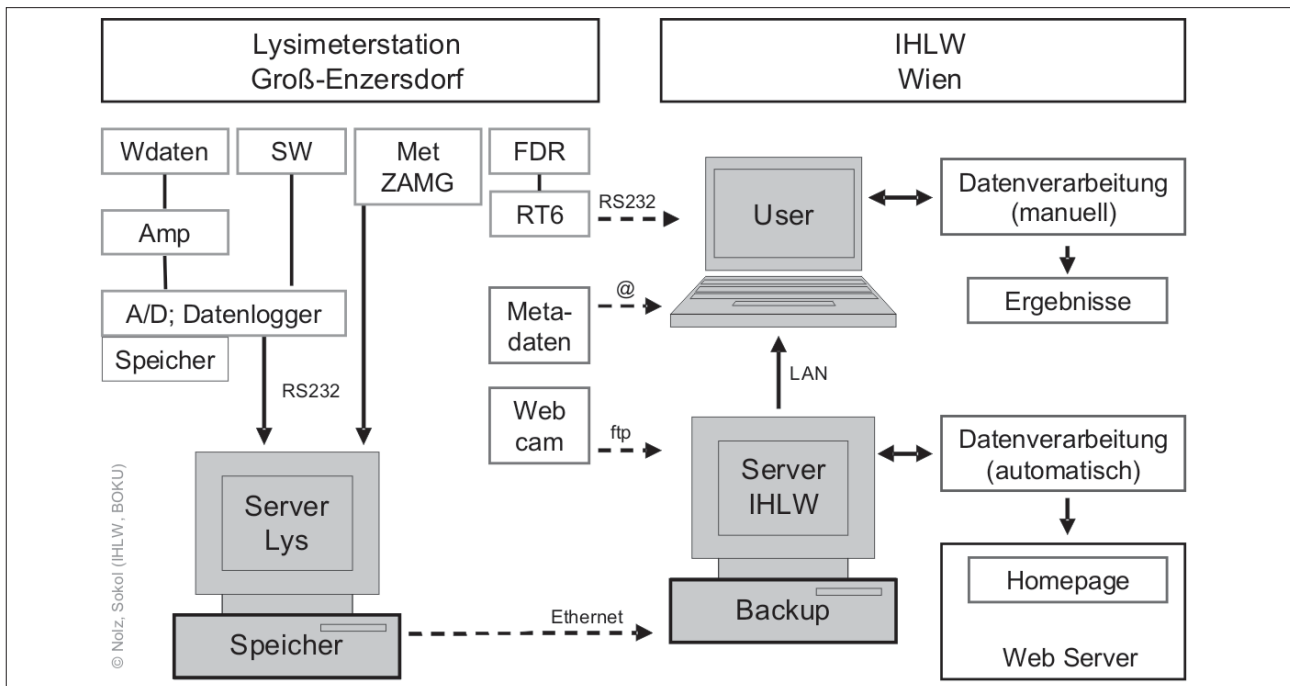


Abbildung 1: Datenübertragung und Datensicherung

Die erforderlichen Niederschlagsdaten stammen von der angeschlossenen Wetterstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG); die Bewässerungsgaben sind bekannt. Die Sickerwassermenge wird im Lysimeterkeller erfasst. Die Änderung des Profilwasserinhalts im Lysimeter ergibt sich aus der Wiegedifferenz. Zusätzlich messen Bodenwassersensoren die Änderung des Wasseranteils in mehreren Tiefen des Bodenprofils. Weitere meteorologische Größen wie die Globalstrahlung, die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte, der Luftdruck und die Windgeschwindigkeit werden direkt von der ZAMG-Station übermittelt. Damit kann die standardisierte Referenzverdunstung ( $ET_{ref}$ ) abgeschätzt werden (WALTER et al. 2005).

## Datenerfassung

Im Jahr 1983 wurde nach dem damaligen Stand der Technik ein Lysimeterkeller mit einem Wiegegestell für die beiden Lysimeter mit 1,9 m Durchmesser und 2,5 m Tiefe gebaut (NEUWIRTH und MOTTL 1983). Das Wiegesystem besteht aus den beiden Lysimeterbehältern, die über eine mechanische Hebelwaage mit Gegengewicht mit einer Wiegezone verbunden sind. Das Ausgangssignal der Wiegezone wird durch einen analogen Trägerfrequenz-Messverstärker (0 bis 10 V) verstärkt und an einen Datenlogger übertragen. Dort wird das Signal mittels A/D-Wandler digitalisiert und sowohl auf einer Speicherkarte als auch auf einem lokalen PC-Server gespeichert (Abbildung 1). Die automatische Ablesung der Wiegedaten erfolgt alle paar Sekunden nach dem Zufallsprinzip. Aus diesen Werten wird ein gleitendes Mittel errechnet und regelmäßig gespeichert. Die Intervalle wurden seit Errichtung der Lysimeteranlage von ursprünglich stündlichen Aufzeichnungen auf 15 Minuten (Oktober 2003) bzw. 10 Minuten (Oktober 2007) verkürzt. Das anfallende Sickerwasser tritt über den freien Auslauf am Behältertiefe-

punkt aus und wird mittels Wippe mengenmäßig erfasst. Die Anzahl der Kippungen wird aufsummiert und analog zu den Wiege-Intervallen auf dem Server gespeichert. Zur Kontrolle und zur Überbrückung von eventuellen Datenlücken wird das Wasser in einem Behälter aufgefangen und die Mengendifferenz wöchentlich gemessen.

Die Wetterdaten werden direkt von der ZAMG-Station übernommen, das Messintervall beträgt eine Minute. Die Daten werden mit dem Zeitstempel des PC-Servers versehen und auf diesem gespeichert. Die Bodenwassermessungen werden in einem getrennten System abgewickelt. In jedem Lysimeter befindet sich eine vertikal abgeteufte Sonde mit 16 Sensoren im Abstand von jeweils 10 cm. Damit kann der Wasseranteil im Bodenprofil bis in eine Tiefe von 160 cm gemessen werden. Die Sonden sind mit einem Logger verbunden, welcher alle 10 Minuten einen Messwert abliest und speichert. Für die Datenauswertung sind zusätzliche Informationen über die Bewirtschaftung der Lysimeter erforderlich, zum Beispiel Daten vom Anbau und der Ernte sowie Informationen über Bewässerungs- und Düngemaßnahmen. Diese Metadaten werden manuell in ein Protokoll eingetragen und anschließend mittels Tabellenkalkulationsprogramm gespeichert. Auch Fotos von der Lysimeterstation können bei der Datenauswertung hilfreich sein. Aus diesem Grund wurde 2009 eine Webcam installiert, welche jede Minute ein Bild liefert. Die Bilder werden direkt an einen PC-Server am Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft (IHLW) gesendet und dort gespeichert.

## Datenübertragung, Datensicherung und Datenaufbereitung

Abbildung 1 zeigt schematisch die Übertragung und Sicherung der Daten: Die interne Datenkommunikation im Lysimeterkeller erfolgt über direkte Kabelverbindungen

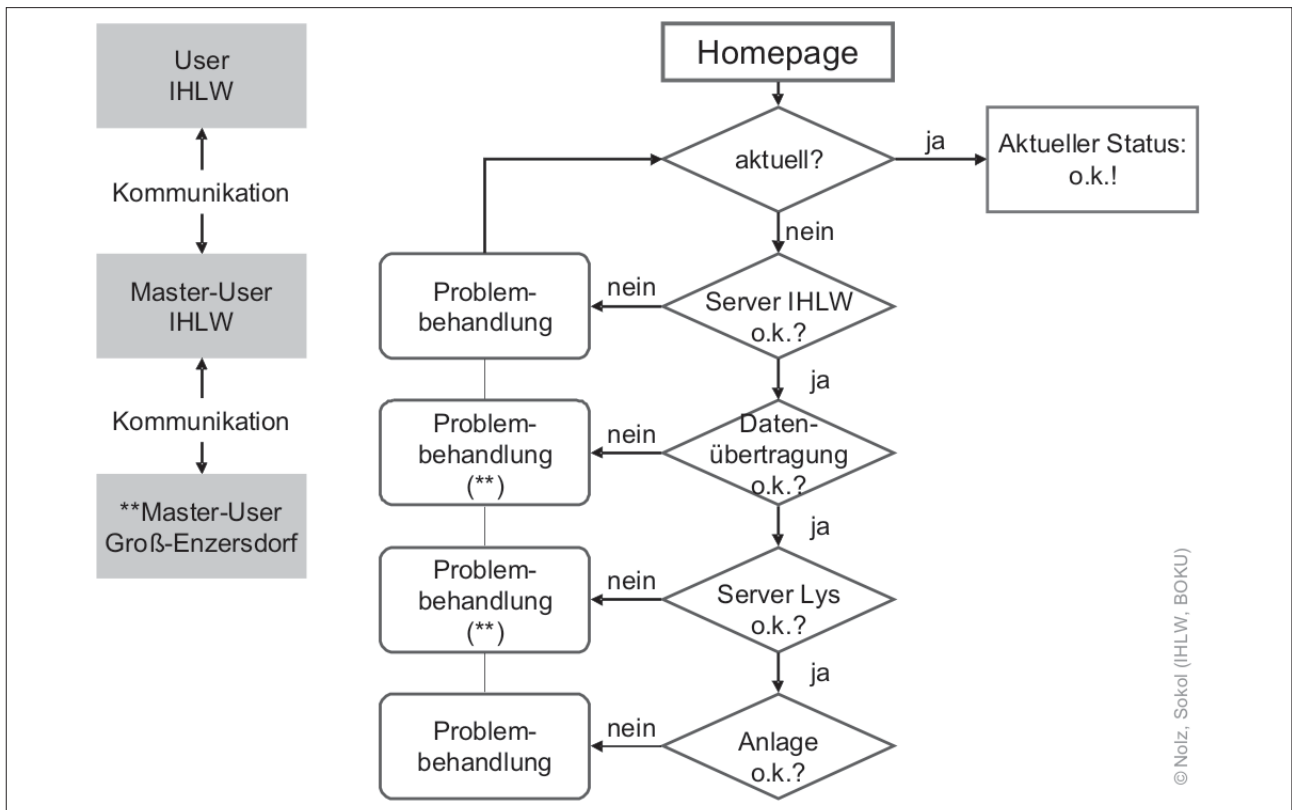


Abbildung 2: Kontrolle der aktuellen Daten über die Homepage und Problemlösungswege

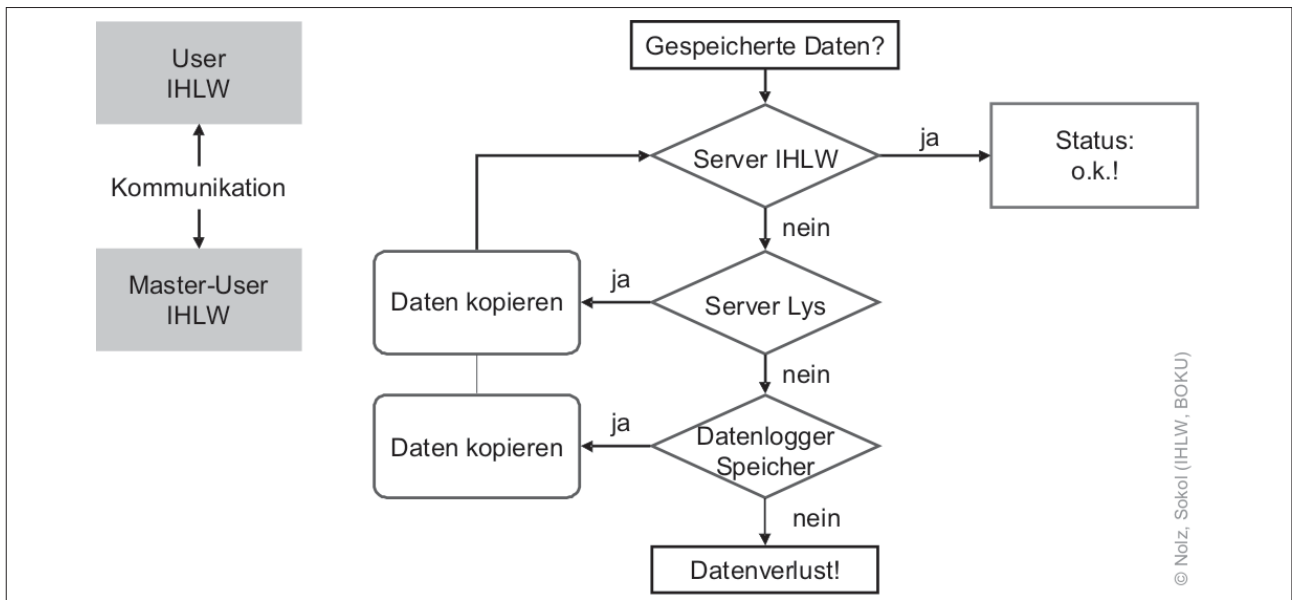


Abbildung 3: Rückgriff auf eine Sicherungskopie bei Datenlücken

oder RS232-Schnittstellen. Die Wiegedaten (Wdaten) und die Sickerwassermengen (SW) werden über einen Datenlogger mit inkludierter Speicherkarte an einen lokalen Server geschickt und dort gespeichert. Die meteorologischen Daten (Met) werden ungefiltert vom Datenlogger der ZAMG übernommen. Der RT6-Logger, auf welchem die Messungen der Bodenwassersensoren (FDR) gespeichert sind, wird monatlich mit einem Notebook ausgelesen. Die

Metadaten werden auf Anfrage per E-Mail gesendet. Die Rohdaten werden vom lokalen Server mittels Ethernet an einen Server am IHLW übermittelt. Die Wetterdaten werden am Server automatisch formatiert und einer groben Plausibilitätskontrolle unterzogen. Die derart gefilterten Messwerte werden sodann für die Visualisierung auf einer bestehenden Homepage vorbereitet. Neben den Echtzeitdaten werden auch Verlaufsdaten, zum Beispiel Regen-Monatssummen,

dargestellt. Außerdem wird das jeweils aktuelle Bild von der Webcam auf den Web-Server übertragen und auf der Homepage gezeigt.

Die anfallenden Daten werden also in mindestens zwei verschiedenen Systemen gespeichert, was die Datensicherheit wesentlich erhöhen soll. Datenausfälle ereignen sich aber trotzdem, wofür es verschiedenste Ursachen geben kann. Um Probleme möglichst rasch erkennen und beheben zu können, sind regelmäßige Kontrollen erforderlich.

Eine Kontrollmöglichkeit ergibt sich durch die Homepage, auf welcher sowohl das Bild der Webcam als auch die Wetterdaten einmal pro Minute aktualisiert werden. Man kann also mit einem Blick auf die Homepage feststellen, ob aktuell Daten aufgezeichnet und übertragen werden. Diese Kontrolle wird von Mitarbeitern des IHLW in der Regel einmal pro Arbeitstag durchgeführt. Falls die Daten nicht aktuell sein sollten, wird der Master-User informiert. In den letzten Jahren waren Stromausfälle die häufigste Ursache für die Unterbrechung des Datentransfers. Für Probleme mit der Stromversorgung bzw. der Funktion der Server vor Ort muss unter Umständen auch der für die Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf zuständige Master-User involviert werden. *Abbildung 2* gibt einen Überblick über die möglichen Problemlösungswege.

Probleme bei der Datenübertragung führen nicht zwangsläufig zu Datenverlusten, weil die Messdaten ja wie bereits erwähnt mehrfach gesichert werden. Die am Institutserver gespeicherten Daten werden in der Regel monatlich überprüft. Sollten Daten fehlen, kann auf den jeweils vorigen Speicher zurückgegriffen werden (*Abbildung 3*).

Datenverluste treten nur dann auf, wenn sich an der Basis, das heißt im Datenlogger oder an den Messinstrumenten, Ausfälle ereignen: so geschehen am 25. Juni 2009, als ein Blitz die Wiegezellen samt Messverstärker zerstörte. Dieses

Ereignis kann als „worst-case“ angesehen werden, weil alle Systeme offline waren, und das wahre Schadensausmaß erst sehr spät bemerkt wurde. Zudem verzögerte die Urlaubszeit mit den damit verbundenen knapperen Personalressourcen die Wiederinstandsetzung des Systems. Das Resultat war ein Datenverlust von zwei Monaten.

## Kalibrierung

Die Wiegedaten der Lysimeter liegen in digitaler Einheit (digit) vor. Für die Umrechnung in Masse muss ein Kalibrierfaktor ermittelt werden. Bei den Sickerwasseraufzeichnungen entspricht ein digit einer Kippung, das heißt dem Inhalt einer Wippenschaufel.

In den letzten Jahren wurde das Wiegesystem zweimal kalibriert und je einmal überprüft. Im Oktober 2003 wurden die Lysimeter stufenweise mit maximal +80 kg belastet. Die digitale Messauflösung des Wiegesystems betrug zu dieser Zeit  $\pm 0,06$  mm Wasseräquivalent. Am 9. Oktober 2007 wurde die Kalibrierung von 2003 überprüft und bestätigt. Danach wurde der Messverstärker neu justiert und die digitale Messauflösung auf  $\pm 0,02$  mm erhöht, was in etwa der Genauigkeit der Wiegezone entspricht. Das System wurde stufenweise mit maximal +120 kg belastet und ein neuer Kalibrierfaktor ermittelt. *Abbildung 4* zeigt den Zusammenhang zwischen der hinzugefügten Masse und der mittels Lysimeter gemessenen Massenänderung. Die Regressionsgerade und der Regressionskoeffizient belegen eine sehr gute Übereinstimmung. Allerdings weisen die Residuen trotz sorgfältiger Durchführung und guter Bedingungen (vormittags, niedrige Temperatur, kaum Wind) eine maximale Abweichung von  $\pm 0,3$  kg auf, was einem Wasseräquivalent von etwa 0,11 mm entspricht. Dieser Wert kann demnach als Messgenauigkeit des Wiegesystems angesehen werden.

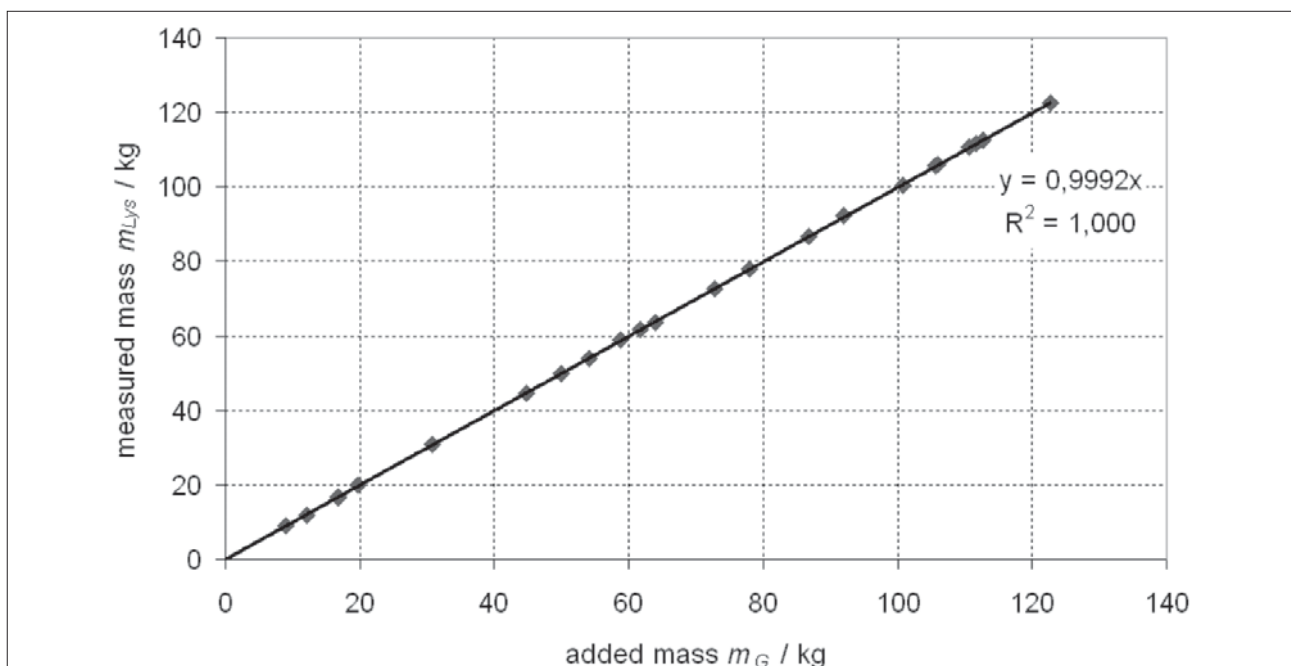


Abbildung 4: Kalibrierung des Lysimeter-Wiegesystems

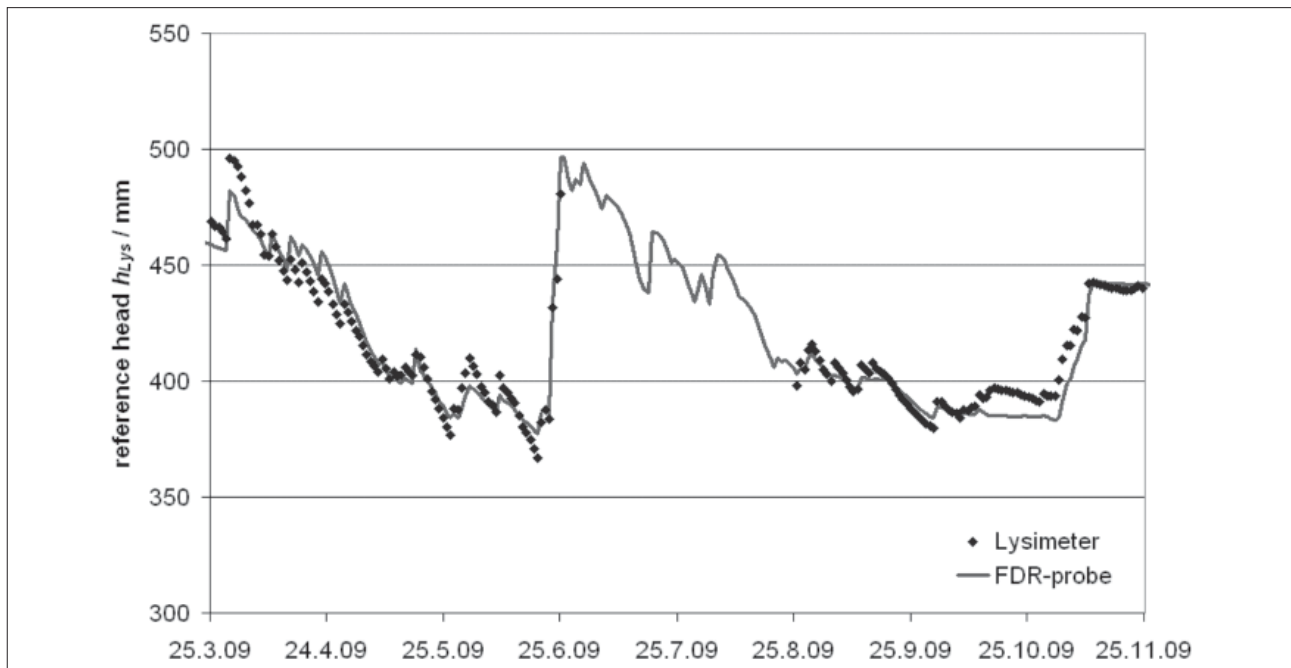


Abbildung 5: Auffüllen von Datenlücken: Mittels Bodenwassersensoren gemessener Profilwasserinhalt als Abschätzung der Wasserinhaltsänderung im Lysimeter

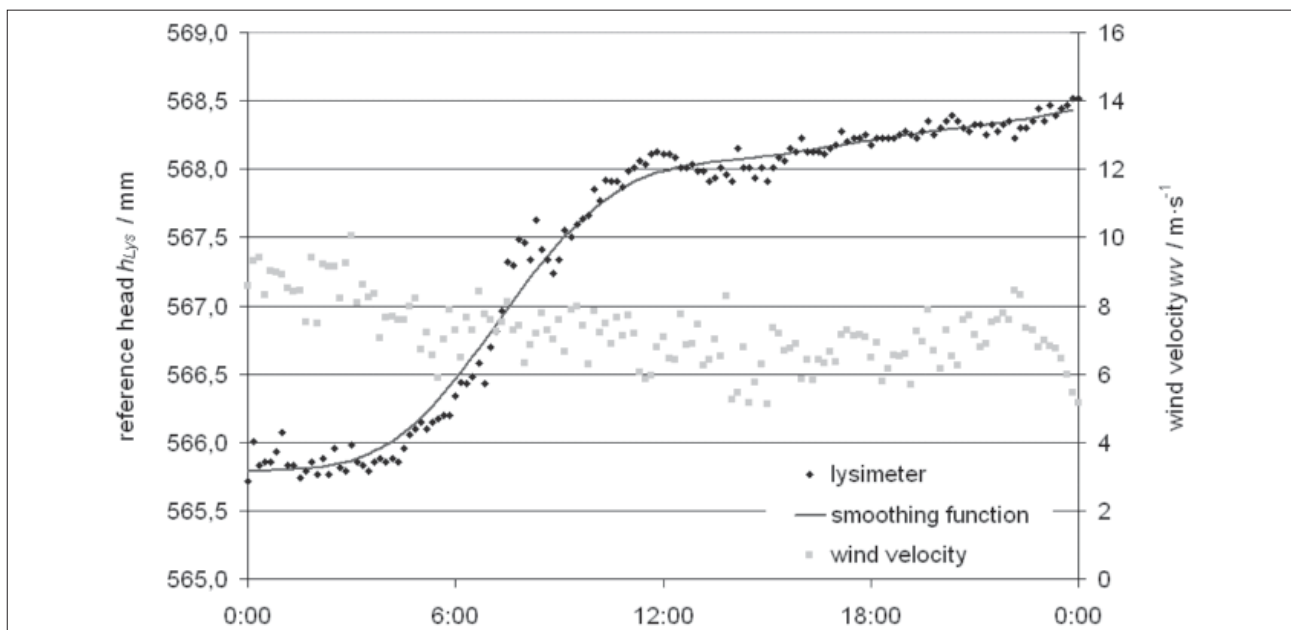


Abbildung 6: Lysimeter-Wiegedaten mit Glättungsfunktion: Regenereignis am 15.10.2009

Im August 2009 wurden die Wiegezellen durch einen Blitzeinschlag zerstört. Nach der Erneuerung wurde die Kalibrierung von 2007 überprüft und bestätigt.

Der Inhalt der Wippenschaufeln wurde im Oktober 2003 im Labor ermittelt. Das Wasser wurde mit einer Schlauchquetschpumpe zugeführt und die Anzahl der Kippungen mit einem Logger erfasst. Der sich daraus ergebende Faktor wurde für die Umrechnung der Sickerwasserdaten verwendet. Bei der Datenauswertung fiel auf, dass in einigen Perioden mit höherem Sickerwasseranfall die Lysimeterverdunstung über der berechneten potentiellen Verdunstung

lag, was theoretisch unmöglich ist. Eine mögliche Erklärung ist, dass die Sickerwassermenge in Wahrheit größer war und die ermittelte Verdunstung entsprechend geringer. Deshalb wurde im August 2010 vor Ort die Funktion der Wippen kontrolliert und der Kalibrierfaktor überprüft. Dazu wurde mit einer Pipette Wasser zugegeben und die Kippungen gezählt. Als Ergebnis dieser Prüfung musste der Kalibrierfaktor einer Wippe revidiert und einige Wasserbilanzberechnungen korrigiert werden.

FDR-Bodenwassersensoren müssen normalisiert und kalibriert werden (CEPUDER et al. 2003); auf Details soll hier



nicht näher eingegangen werden. Das System wurde im August 2007 komplett ersetzt. Die EnviroSCAN®-Sensoren wurden im Labor kalibriert und arbeiten mit der Standardkalibrierung der Firma Sentek (www.sentek.com.au).

## Datenauswertung

Der größte Arbeitsaufwand liegt im Moment noch in der manuellen Datenauswertung. Mittels Kalibrierfaktor  $c_{Lys}$  ( $\text{kg} \cdot \text{digit}^{-1}$ ) werden die Rohdaten der Lysimeterwiegung  $W_{daten, Lys}$  (digit) in Masse des Profilwasserinhalts  $m_{Lys}$  (kg) umgerechnet (Gl. 2). Da die Gesamtmasse unbekannt ist, kann nur die Massendifferenz zu einer Vergleichsgröße angegeben werden.

$$m_{Lys} = W_{daten, Lys} \cdot c_{Lys} \quad (2)$$

Die Rohdaten der Sickerwassermengen (digit) werden mit dem entsprechenden Faktor  $c_{SW}$  ( $\text{ml} \cdot \text{digit}^{-1}$ ) in Wasservolumen (l) umgerechnet. Sowohl die Masseänderungen (Gl. 3) als auch die Sickerwassermengen werden auf die Lysimeteroberfläche  $A_{Lys}$  ( $2,85 \text{ m}^2$ ) umgelegt, um alle für die Wasserbilanzierung notwendigen Parameter auf dieselbe Einheit (mm) zu bringen.

$$h_{Lys} = m_{Lys} \cdot A_{Lys}^{-1} \quad (3)$$

$h_{Lys}$  ... Höhe des Profilwasserinhalts über Referenz (mm)

Danach werden Ausreißer entfernt, die etwa auf ein Betreten der Lysimeter, Kultivierungsmaßnahmen (Rasenschnitt), Tiere oder sonstige Störungen zurückgeführt werden können. Dazu wird in erster Linie das Aufzeichnungsprotokoll herangezogen, eine weitere Hilfe bieten die Bilder der Webcam. Zeitpunkte und Mengen der Bewässerungsgaben werden ebenfalls kontrolliert. Damit sind die Änderung des Profilwasserinhalts, Sickerwasser und Bewässerung in 10-Minuten-Intervallen bekannt. Die Messungen der Bodenwassersensoren können alternativ für die Profilwasserinhaltsänderungen herangezogen werden. Dazu werden die Werte der 16 Sensoren addiert, woraus sich der Profilwasserinhalt bis 160 cm Tiefe ergibt. Der Bodenaufbau im Lysimeter ist sandiger Lehm (bis 140 cm) über Schotter (140-250 cm). Die beiden untersten Sensoren (150 bis 160 cm) liegen demnach in der Dränageschicht. Ihre Messwerte werden extrapoliert und addiert, um die gesamte Profiltiefe des Lysimeters zu erfassen. Kurzzeitige Datenlücken können damit überbrückt werden, was jedoch eher als Abschätzung des Kurvenverlaufs denn als perfekte Substitution gesehen werden sollte (*Abbildung 5*).

Es kann also die Wasserbilanzgleichung (1) gelöst und die Verdunstung ermittelt werden. Mit den Wetterdaten wird zudem die standardisierte Referenzverdunstung ( $ET_{ref}$ ) berechnet, welche als Basis für die folgende Plausibilitätskontrolle dient. Größere Abweichungen zwischen dem Ergebnis aus Gl. 1 und  $ET_{ref}$  sind meistens auf Fehler der Bilanzgrößen zurückzuführen: Ein Beispiel wurde bereits in Zusammenhang mit der Wippenkalibrierung erwähnt. Lysimeterfehler im engeren Sinn können und sollen dadurch nicht bewertet werden. Direkt zu erkennen sind negative Verdunstungswerte. Diese beruhen zumeist darauf, dass

die auf das Lysimeter gefallene Regenmenge die im Regenschirm aufgezeichnete übersteigt. Außerdem stimmen bei den älteren Zeitreihen (vor 2009) mitunter die Zeitachsen der Lysimeter- und der Wetterdaten nicht überein. Diese Fälle wurden mit der kombinierten Speicherung beider Datenreihen bereits eliminiert.

Bezüglich der Regendaten ist anscheinend die einzig brauchbare Lösung jene, die Regenereignisse direkt aus den Lysimeterdaten zu ermitteln. Da aber bei höheren Windgeschwindigkeiten etwa ab  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  die Messgenauigkeit sinkt (NOLZ et al. 2009), wird aktuell nach einer Glättungsfunktion für die Wiegedaten gesucht (*Abbildung 6*).

Ein weiteres Problem ergab sich durch die Blockierung des Wiegesystems durch Schnee und Eis, was die Datenqualität (vor allem in Bezug auf die Vollständigkeit) am Beginn der Vegetationsperiode beeinträchtigte. Durch die Webcam-Bilder kann nun auf Schneefall und Schneeverwehungen entsprechend reagiert und die Lysimeterringe freigelegt werden.

## Zusammenfassung

Eine Lysimeteranlage liefert je nach Art, Ausstattung und Betrieb verschiedenste Datensätze. Ein möglichst großer Nutzen kann nur dann aus diesen gezogen werden, wenn sie vollständig, plausibel und nachvollziehbar sind. Das Datenmanagement der Lysimeteranlage in Groß-Enzersdorf wurde dahingehend in den letzten Jahren sukzessive verbessert. Durch den kontinuierlichen Datentransfer können die Zeitreihen jederzeit überprüft werden. Nachholbedarf gibt es derzeit bei der Datenaufbereitung, welche mittelfristig automatisiert werden soll.

## Danksagung

Danken möchten wir der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik für die gute Kooperation und die Zurverfügung-Stellung der Daten sowie den Mitarbeitern des Instituts für Meteorologie der BOKU für die Bereitstellung und Übermittlung derselben.

## Literatur

- CEPUDER, P. und G. HAUER, 2003: Rohrsonden zur Wasseranteilsbestimmung. In: Gumpensteiner Lysimetertagung 10(29), S. 157-159.
- NEUWIRTH, F. und W. MOTTL, 1983: Errichtung einer Lysimeteranlage an der agrarmeteorologischen Station in Groß-Enzersdorf. Sonderdruck „Wetter und Leben“, Jg. 35, 1983 S. 48-53.
- NOLZ, R., G. KAMMERER und P. Cepuder, 2009: Windeinfluss auf die Lysimetermessungen in Groß-Enzersdorf. In: LFZ Raumberg-Gumpenstein, Tagungsband der 13. Gumpensteiner Lysimetertagung, S. 17-20.
- WALTER, I.A., R.G. ALLEN, R. ELLIOTT, D. ITENFISU, P. BROWN, M.E. JENSEN, B. MECHAM, T.A. HOWELL, R. SNYDER, S. ECHING, T. SPOFFORD, M. HATTENDORF, D. MARTIN, R.H. CUENCA and J.L. WRIGHT, 2005: The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. ASCEEWRI Task Committee Report. 59 S.