

# Windeinfluss auf die Lysimetermessungen in Groß-Enzersdorf

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

## Zusammenfassung

Lysimeter sind Instrumente zur Erfassung wichtiger Komponenten des Wasserkreislaufs. In wägbarer Ausführung können auch kurzfristige Änderungen des Bodenwassergehalts gemessen werden. Mit Hilfe der Wasserbilanzgleichung lässt sich aus Gewichtsänderung, Sickerwasser- und Niederschlagsmenge die Verdunstung in einem definierten Zeitintervall berechnen. Die Lysimeteranlage als Bestandteil der agrar-meteorologischen Station in Groß-Enzersdorf bietet die Möglichkeit, diese Bilanzgrößen mit hoher zeitlicher Auflösung zu erfassen. Vollelektronische Messsysteme und automatische Datenspeicherung ermöglichen relativ kurze Messintervalle und damit eine detaillierte Betrachtung der untersuchten Parameter. Die 15 Minuten-Gewichtsdaten der Lysimeter in Groß-Enzersdorf zeigen jedoch zeitweilig Differenzen benachbarter Messwerte, die durch eine Wasseraufnahme oder -abgabe nicht erklärbar sind. Solche größeren Schwankungen sind auf Windeinflüsse zurückzuführen. Die Untersuchung ergab für einen Tag mit Windgeschwindigkeitswerten größer 5 m/s eine Standardabweichung von  $\pm 0,096$  mm, welche größer ist als die Wiegegenauigkeit ( $\pm 0,06$  mm).

*Schlagwörter:* Wind, Lysimeter, Wiegegenauigkeit, Messfehler

## Summary

Lysimeters are tools to determine important components of the water cycle. Weighing lysimeters offer the possibility of measuring changes of the soil water content. By means of the water balance equation, the evapotranspiration in a defined time interval can be computed from weight changes, amount of precipitation and percolation water. The lysimeter station with the agricultural-meteorological station in Groß-Enzersdorf provides the possibility to measure these parameters with high temporal resolutions. Precise measuring systems and automatic data storage make it possible to shorten the measuring intervals and give a more detailed view of the examined parameters. However, the 15 minutes weighing data of the lysimeters in Groß-Enzersdorf show differences in adjacent values that cannot be interpreted as gain or loss of water. For a day with a wind velocity above 5 m/s the analysis delivered a standard deviation of  $\pm 0.096$  mm, which is larger than the weighing error ( $\pm 0.06$  mm).

*Keywords:* wind, lysimeter, weighing accuracy, measuring error

## Einleitung

Die Lysimeteranlage an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf wurde 1983 errichtet. Sie wird vom Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien betrieben. Den Kern bilden zwei wägbare Lysimeter mit einer kreisförmigen Oberfläche von 2,9 m<sup>2</sup> und einer Tiefe von 2,5 m (CEPUDER et al. 1991). Die Lysimeter dienen zur Erfassung von Verdunstung und Sickerwasser. Die Wiegedaten zeigen zeitweilig Schwankungen, die nicht auf eine Wasseraufnahme oder -abgabe, sondern auf den Windeinfluss zurückzuführen sind.

In der Literatur finden sich einige Untersuchungen betreffend Genauigkeit und Windeinfluss auf die Gewichtsmessungen von wägbaren Lysimetern mit Hebel-Gegengewicht-Wiegesystemen. CASTEL (1997) nennt Windböen als Hauptursache für die Störung der Lysimeter (quadratische Oberfläche 4x4 m, Tiefe 1,5 m, Messfehler kleiner 0,06 mm), da diese Gewichtsänderungen von 0,6 bis 1,9 mm Wasseräquivalent verursachen können. VAN BAVEL und MEYERS (1962) berichten von Windeinflüssen bis zu  $\pm 1$  mm auf einer 1 m<sup>2</sup>

großen Lysimeteroberfläche bei einer Wiegegenauigkeit von 0,01 mm. Nach HOWELL et al. (1995) entsteht einer der größten Wiegefehler durch die Kraft, die der Wind auf die Lysimeteroberfläche ausübt. Für die Lysimeterbehälter mit 3x3 m Oberfläche und 2,3 m Tiefe gibt er eine Genauigkeit von  $\pm 0,05$  mm pro Stunde bzw.  $\pm 0,1$  mm pro Tag an. Jedoch steigt die Standardabweichung von Messreihen über 0,42 mm ab einer 2-m-Windgeschwindigkeit von 5 m/s. Die wägbaren Lysimeter in Coshocton, Ohio, U.S. (MALONE et al. 1999), arbeiten mit einer Messgenauigkeit kleiner 0,05 mm. Zwei von drei Lysimetern werden signifikant vom Wind beeinflusst. Der Fehler ist kleiner 0,1 mm für eine stündlich gemittelte 10-m-Windgeschwindigkeit zwischen 3,6 und 4,5 m/s (entspricht 2,7 und 3,4 m/s in 2 m Höhe). Dieser Fehler ist für tägliche Daten vernachlässigbar, nicht jedoch für kürzere Zeitintervalle. In den meisten Fällen wurden diverse Mittelungsverfahren eingesetzt um das Problem zu lösen, was laut den jeweiligen Autoren jedoch nur teilweise gelang.

In dieser Arbeit wird der Windeinfluss auf die Messungen der Lysimeteranlage Groß-Enzersdorf untersucht.

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

\* Ansprechpartner: peter.cepuder@boku.ac.at

## Material und Methoden

Die Basis für die Datenauswertung in Bezug auf den Windeinfluss bilden die Wiegedaten und die Sickerwassererfassung des Gras-Referenz-Lysimeters der Lysimeteranlage Groß-Enzersdorf, sowie Niederschlag und Windgeschwindigkeit der Wetterstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Groß-Enzersdorf des Jahres 2006. Die Auswertung und Darstellung erfolgte mittels Standard-Software.

Das Wiegesystem wurde mehrmals teilerneuert und besteht derzeit aus den beiden Lysimeterbehältern, die über eine mechanische Hebelwaage mit Gegengewicht mit einer Wiegezelle verbunden sind. Das Signal wird über einen analogen Trägerfrequenz-Messverstärker (0-10V) verstärkt, mittels A/D-Wandler digitalisiert und auf einem lokalen PC-Server gespeichert. Die automatische Ablesung der Wiegedaten erfolgt nach einem Zufallsprinzip alle paar Sekunden. Aus diesen Werten wird ein gleitendes Mittel errechnet und regelmäßig gespeichert. Die Messinter-

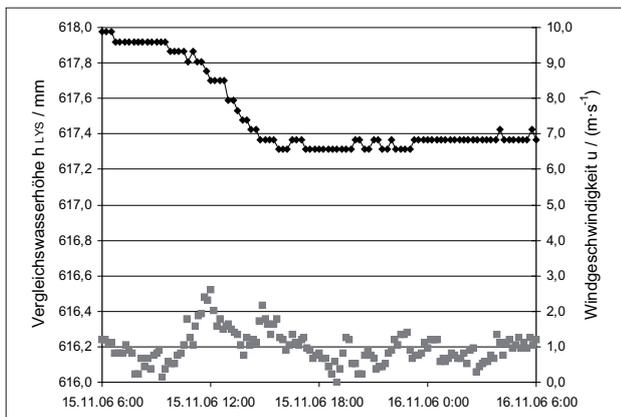


Abbildung 1: Wiegedaten des Gras-Referenz-Lysimeters – angegeben als Vergleichswasserhöhe im 15-Minuten-Intervall – und 10-Minuten-Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe am 15.11.2006 (Windgeschwindigkeitsmittel = 1,0 m/s, Temperaturmittel im Abschnitt = 10,3 °C).

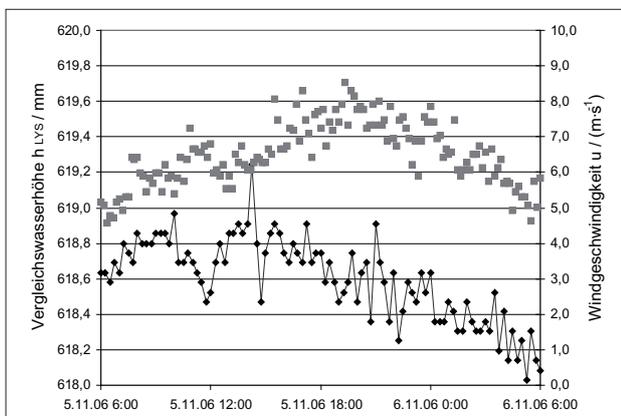


Abbildung 2: Wiegedaten des Gras-Referenz-Lysimeters – angegeben als Vergleichswasserhöhe im 15-Minuten-Intervall – und 10-Minuten-Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe am 5.11.2006 (Windgeschwindigkeitsmittel = 6,5 m/s, Temperaturmittel im Abschnitt = 8,3 °C).

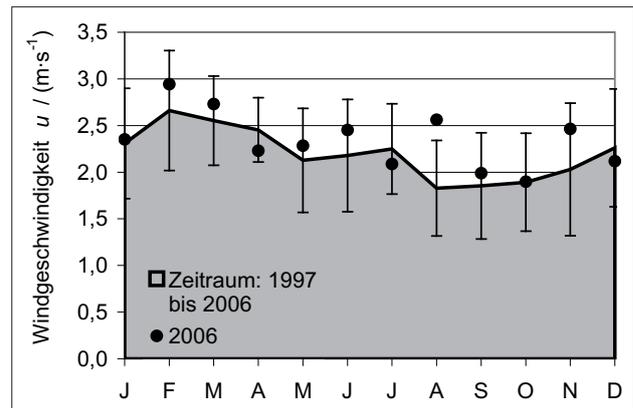


Abbildung 3: Monatsmittel der 2-m-Windgeschwindigkeit von 1997 bis 2006 mit Standardabweichung (graue Fläche mit Balken) und Monatsmittel der 2-m-Windgeschwindigkeit von 2006 (Punkte).

valle wurden seit Errichtung der Lysimeteranlage immer wieder verkürzt. Die Aufzeichnung erfolgte ursprünglich stündlich und wurde 2003 auf 15-Minuten-Intervalle eingestellt. Seit Oktober 2007 werden die Daten alle 10 Minuten gespeichert. Die Wiegedaten wurden damit an die 10 Minuten-Daten der ZAMG-Wetterstation, welche der Lysimeteranlage angegliedert wurde, angeglichen. 2003 und 2007 wurde das Wiegesystem kalibriert. Die digitale Messauflösung des Wiegesystems beträgt  $\pm 0,06$  mm Wasseräquivalent (Abbildung 1). Differenzen zeitlich benachbarter Messwerte betragen mitunter ein Mehrfaches davon, wie sich an manchen Wiegedaten ablesen lässt (Abbildung 2). In beiden Abbildungen ist auch die gemessene Windgeschwindigkeit im betreffenden Zeitreihenabschnitt dargestellt. Der Vergleich der Änderung der Vergleichswasserhöhe im Lysimeter und der Windgeschwindigkeit legt den Schluss nahe, dass ein Zusammenhang zwischen den Änderungen der beiden Größen besteht.

## Ergebnisse

Eine kurze statistische Auswertung soll einen Überblick über die Windverhältnisse bei der Lysimeteranlage Groß-Enzersdorf geben. Das monatliche Mittel der 2-m Windgeschwindigkeit über 10 Jahre (1997 bis 2006) zeigt keinen ausgeprägten Jahresgang (Abbildung 3). Die höchsten Werte traten im Februar und März auf, die niedrigsten im August und September. Die Monate August und November des Jahres 2006 waren von überdurchschnittlich hohen Windgeschwindigkeitswerten geprägt.

Die Abbildung 4 zeigt den durchschnittlichen Tagesgang der Windgeschwindigkeit 2006. Die höchste Windgeschwindigkeit von fast 3 m/s tritt typischerweise zwischen 13 und 14 Uhr auf. Die geringste Windgeschwindigkeit wurde während der Nachtstunden gemessen. Aus Abbildung 2 und Abbildung 4 ist ersichtlich, dass für die Untersuchung von Windeinflüssen die Angabe der täglichen Windgeschwindigkeitsmittel nicht ausreicht. Vielmehr interessieren die Spitzenwerte und die Anzahl der Messwerte, die von hoher Windgeschwindigkeit beeinflusst sind.

In Abbildung 5 ist dargestellt, wie häufig die Windgeschwindigkeit (10-Minuten-Intervall, 2 m Höhe) einen bestimmten

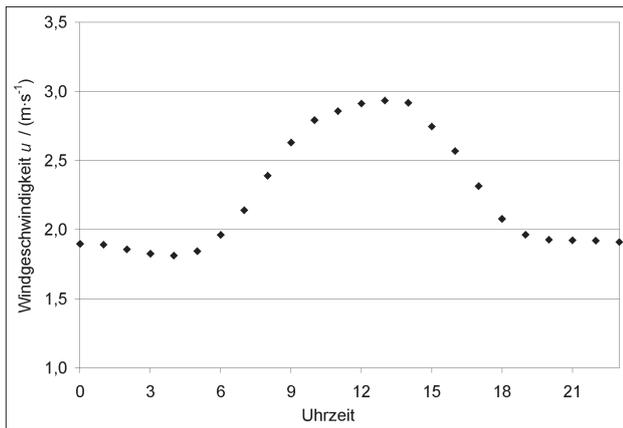


Abbildung 4: Tagesgang der stündlichen 2-m-Windgeschwindigkeit 2006.

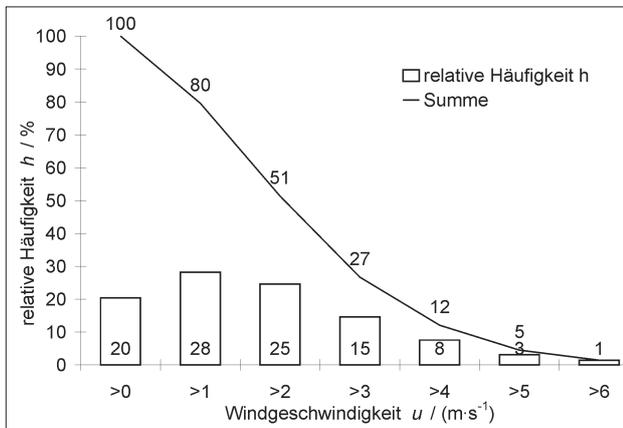


Abbildung 5: Relative Häufigkeit und Summenlinie der 2-m Windgeschwindigkeit (im 10-Minuten-Intervall) im Jahr 2006 laut entsprechender Klasseneinteilung.

Wert überschreitet. Demnach waren 5% der in Groß-Enzersdorf 2006 gemessenen Windgeschwindigkeitswerte größer als 5 m/s (vgl. HOWELL et al. 1995). Ein Tag, an dem fast alle Messwerte über dieser Marke liegen, ist der 5.11.2006 (Abbildung 2). Dieser „Windtag“ wurde für die Auswertung ausgewählt.

Die Lysimeterdaten (Wiegung und Sickerwasser) liegen in 15-Minuten-Intervallen vor, die 10-Minuten-Wetterdaten stammen von der ZAMG. Im untersuchten Zeitraum liefen die Zeitachsen von der Aufzeichnung der Wiegedaten und der Wetterdaten nicht synchron. Aus diesem Grund wurde die Zeitachse der Wiegedaten so verschoben, dass sich nach einer Linearinterpolation auf die Zeitachse der Wetterdaten eine gute Übereinstimmung mit der Niederschlagskurve ergab. Anschließend wurden die Niederschläge (0,5 mm am 5.11.) von den Wiegedaten abgezogen. Die anfallende Sickerwassermenge betrug kontinuierlich 0,1 mm pro Tag und wurde vernachlässigt. Daraus ergeben sich die windbeeinflussten Messwerte laut *Abbildung 6*. Da die tatsächliche Verdunstung und damit die vom Windeinfluss befreite Lysimeterablesung nicht bekannt ist, wurde sie durch eine Ausgleichsfunktion ersetzt, die mittels Kurvenanpassung gefunden wurde. In *Abbildung 6* sind eine sinusförmige Funktion, eine Sigmoidfunktion und eine Ausgleichsgerade

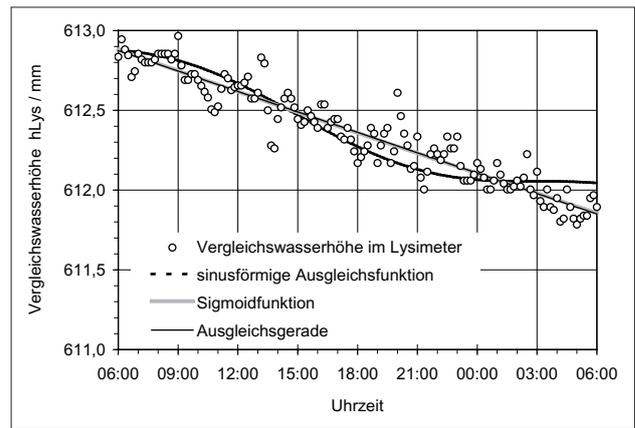


Abbildung 6: Vergleichswasserhöhe im Lysimeter mit verschiedenen Ausgleichskurven für den Windtag 5.11.2006.

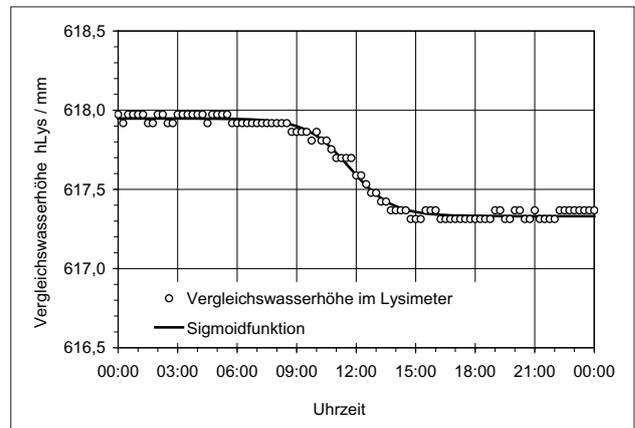


Abbildung 7: Vergleichswasserhöhe im Lysimeter mit Ausgleichskurve für den windstillen Tag 15.11.2006.

dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß und die Abweichungen der Messwerte von der jeweiligen Ausgleichsfunktion sind in *Tabelle 1* aufgelistet.

Im Vergleich dazu zeigen *Abbildung 7* und *Tabelle 2* die Messwerte an einem windstillen Tag (15.11.2006, *Abbildung 1*).

## Diskussion

Aus *Tabelle 1* und *Tabelle 2* ist ersichtlich, dass an einem Tag mit einer Windgeschwindigkeit größer 5 m/s die Standardabweichung der Messwerte von einer Ausgleichsfunktion größer ist als die Messgenauigkeit des Wiegesystems ( $\pm 0,06$  mm). Verglichen mit der Standardabweichung an einem windstillen Tag ist die Ungenauigkeit mehr als dreimal so hoch. Die absolute Abweichung pro Messung kann diesen Wert noch übersteigen.

Weitere Untersuchungen sollten klären, wie sich die Windgeschwindigkeit zum Messfehler verhält und ab wann dieser signifikant wird. Die vorliegenden Daten sind für diese Zwecke ungeeignet; es sollten daher spezielle Lysimeterversuche durchgeführt und hierbei in wesentlich kürzeren Intervallen (etwa 10 s) gemessen werden. Zusätzlich sollte die Verdunstung getrennt erfasst werden. Dann sollte es möglich sein festzustellen, ob mit der Windgeschwindigkeit nicht nur die Standardabweichung der Lysimeterablesung steigt,

**Tabelle 1: Windtag 5.11.2006; Ausgleichsfunktionen und Abweichungen.**

	Maximale Abweichung in mm	Minimale Abweichung in mm	Standardabweichung in mm	Bestimmtheitsmaß
Sinusförmige Funktion	0,290	-0,441	0,123	0,8315
Sigmoidfunktion	0,276	-0,337	0,096	0,9061
Ausgleichsgerade	0,278	-0,334	0,096	0,9060

**Tabelle 2: Windstillen Tag 15.11.2006; Ausgleichsfunktion und Abweichungen.**

	Maximale Abweichung in mm	Minimale Abweichung in mm	Standardabweichung in mm	Bestimmtheitsmaß
Sigmoidfunktion	0,051	-0,073	0,028	0,9903

sondern sogar ein signifikanter funktionaler Zusammenhang (bereinigt um den Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Verdunstung) besteht.

## Literatur

- CASTEL, J.R., 1997: Evapotranspiration of a drip-irrigated Clementine citrus tree in a weighing lysimeter. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Symp. on Irr. of Hort. Crops. Ed. K.S. Chartzoulakis. Acta Hort. 449, vol. 1., pp. 91-98, ISHS 1997.
- CEPUDER, P. und H. SUPERSPERG, 1991: Erfahrungen mit der Lysimeteranlage Groß-Enzersdorf. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, BAL-Bericht.
- HOWELL, T.A., A.D. SCHNEIDER, D.A. DUSEK, T.H. MAREK, J.L. STEINER, 1995: Calibration and Scale Performance of Bushland Weighing Lysimeters. In: Transactions of the ASAE, vol. 38(4), pp.1019-1024.
- MALONE, R.W., D.J. STEWARDSON, J.V. BONTA and T. NELSEN, 1999: Calibration and Quality Control of the Coshocton Weighing Lysimeters. In: Transactions of the ASAE, vol. 42(3), pp. 701-712.
- VAN BAVEL, C.H.M. and L.E. MEYERS, 1962: An automatic weighing lysimeter. Agricultural Engineering 43(10): 580-583, 586-588 (zitiert in HOWELL et al. 1995).