

Referenzverdunstung am Standort Groß-Enzersdorf: Vergleich von Lysimeterdaten und Berechnungen

Reinhard Nolz¹*, Gerhard Kammerer¹, Josef Eitzinger¹ und Peter Cepuder¹

Zusammenfassung

Die standardisierte Form der etablierten FAO-Penman-Monteith-Formel vom ASCE-EWRI dient als Standardverfahren zur Berechnung der Referenzverdunstung (ET_{ref}). Im Vergleich mit anderen Modellansätzen liefert die Methode gute Resultate unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen. Andererseits berichten etliche wissenschaftliche Studien von Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Werten in Abhängigkeit von den jeweiligen Wetter- und Umweltbedingungen. Deshalb wurden an einem subhumiden Standort mit semiariden Einflüssen Verdunstungsdaten von einem Lysimeter unter (eingeschränkten) Referenzbedingungen mit Berechnungen nach dem ASCE-EWRI-Modell verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass berechnete tägliche Referenzverdunstungswerte bei kleinen Werten eher überschätzt wurden, während bei großen Werten die Lysimeterverdunstung in der Regel größer war. Im untersuchten Zeitraum spielte die Advektion fühlbarer Wärme (Oaseneffekt) eine Rolle, konnte die Differenzen jedoch nicht vollständig erklären. Offensichtlich waren auch noch andere zeitlich variierende Einflüsse ausschlaggebend, wie zum Beispiel Oberflächenwiderstand oder Albedo.

Schlagwörter: wägbares Lysimeter, Evapotranspiration, Penman-Monteith, ASCE-EWRI

Summary

The standardized form of the well-known FAO Penman-Monteith equation, published by the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers (ASCE-EWRI), is recommended as a standard procedure for calculating reference evapotranspiration (ET_{ref}) and subsequently plant water requirements. Applied and validated under different climatic conditions it generally achieved good results compared to other methods. However, several studies documented deviations between measured and calculated reference evapotranspiration depending on environmental and weather conditions. Hence, evapotranspiration was determined at a subhumid site in Austria using a lysimeter operated at (limited) reference conditions and compared with calculations according to ASCE-EWRI. The results show that daily ET_{ref} was generally overestimated at small values, whereas it was rather underestimated when ET was large, which is supported also by other studies. In our case, advection of sensible heat proved to have an impact, but it could not explain the differences exclusively. Obviously, there were also other influences, such as seasonal varying surface resistance or albedo

Keywords: weighing lysimeter, evapotranspiration, Penman-Monteith, ASCE-EWRI

Einleitung

Eine standardisierte Form der etablierten FAO-Penman-Monteith-Formel (ALLEN et al. 1998) wurde vom Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers (ASCE-EWRI) publiziert und als Standardverfahren zur Berechnung der Referenzverdunstung (ET_{ref}) empfohlen (ASCE-EWRI 2005). Im Vergleich mit anderen Modellansätzen lieferte die Methode gute Resultate unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen (ALLEN et al. 1994, BERENGENA und GAVILAN 2005, GARCIA et al. 2004, GAVILAN et al. 2007, HOWELL et al. 2000, PEREZ et al. 2006, YODER et al. 2005). Andererseits zeigen diese Studien auch, dass kleine Verdunstungswerte bei der Berechnung tendenziell überschätzt und größere unterschätzt werden. Während einige Autoren nicht explizit auf dieses Problem eingehen (ALLEN et al. 1994, GARCIA et al. 2004, HOWELL et al. 2000, YODER et al. 2005), versuchen andere es zu lösen oder zumindest Erklärungen

zu finden. IRMAK et al. (2005), zum Beispiel, vermuten den advektiven Transport fühlbarer Wärme – also den Eintrag von Energie aus der Umgebung in ein „homogenes“ System (auch bekannt als Oaseneffekt) – als mögliche Ursache für die Überschätzung der Referenzverdunstung. Im Gegensatz dazu publizierten BERENGENA und GAVILAN (2005), dass sowohl die ASCE-EWRI als auch die FAO-PM Variante im Wesentlichen unempfindlich waren in Bezug auf advektiven Wärmetransport. Weitere potenzielle Unsicherheiten der Verdunstungsberechnung werden in der Regel gemessenen oder geschätzten Eingangsparametern zugeschrieben, etwa der Nettostrahlung, dem Bodenwärmestrom oder den Oberflächenwiderständen (BERENGENA und GAVILAN 2005, GAVILAN et al. 2007, IRMAK et al. 2005, PEREZ et al. 2006). Allerdings sind die präsentierten Ergebnisse weder konsistent noch zufriedenstellend. Daraus kann geschlossen werden, dass die ASCE-EWRI Methode trotz ihrer generalisierten und standardisierten Form unter lokalen Umweltbedingungen evaluiert werden sollte.

¹ Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien, Muthgasse 18, A-1190 WIEN

* Ansprechpartner: Dr. Reinhard Nolz, reinhard.nolz@boku.ac.at



Diese Arbeit vergleicht auf Tagesbasis berechnete Referenzverdunstung ET_{ref} mit mittels Lysimeter gemessener Verdunstung unter definierten (limitierten) Referenzbedingungen bei subhumiden Verhältnissen. Ziel war die Evaluierung der ASCE-EWRI Methode in Hinblick auf eine verbesserte Interpretation der Daten in der Region sowie unter ähnlichen Umweltbedingungen.

Material und Methoden

Der Untersuchungsstandort war an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß-Enzersdorf, Österreich (48°12'N, 16°34'E; 157 m asl). Das nordöstlich angrenzende Marchfeld ist eines der größten landwirtschaftlich genutzten Gebiete Österreichs, aber auch eines der trockensten. Laut MUELLER (1993) ist die Region von einem semi-ariden Klima beeinflusst. Die mittlere Jahrestemperatur ist 10,7°C, der mittlere jährliche Niederschlag 550 mm (1981-2010).

Für diese Studie wurden Lysimeter- und Wetterdaten von 2005 bis 2010 herangezogen, wobei aus 2009 aufgrund eines größeren Blitzschadens nur wenige Daten vorhanden waren. Der durchschnittliche Jahresniederschlag im Untersuchungszeitraum war mit 610 mm größer als das langjährige Mittel. Die Wetterinstrumente und das verwendete wägbare Lysimeter befanden sich nur wenige Meter voneinander entfernt, auf einer etwa 50 x 50 m großen und mit kurzem Gras bewachsenen Fläche (ausgenommen einem zweiten Lysimeter, welches zeitweise mit anderen Kulturen bepflanzt war). Die Grasfläche war von landwirtschaftlichen Flächen und einigen kleinen Gebäuden umgeben.

Die Wetterstation wird von der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) betrieben. Gemessen wurden Globalstrahlung ($MJ \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$), Lufttemperatur (°C), relative Luftfeuchte (%), Luftdruck (kPa), Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$), und Niederschlag (mm). Qualitätskontrollen der Daten erfolgten durch die ZAMG. Die Wetterdaten dienten als Eingangsgrößen für die Berechnung der Referenzverdunstung ET_{ref} nach ASCE-EWRI (2005):

$$ET_{ref} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (1)$$

R_n = Nettostrahlung ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$); G = Bodenwärmestrom ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) (null für tägliche Berechnungsschritte); γ = Psychrometerkonstante ($kPa \cdot ^\circ C^{-1}$); C_n = 900 (Konstante enthält aerodynamischen Widerstand); C_d = 0,34 (Konstante enthält aerodynamischen Widerstand und Oberflächenwiderstand); T = gemessene Lufttemperatur (K); u_2 = Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe ($m \cdot s^{-1}$); $(e_s - e_a)$ = Dampfdruckgefälle (kPa); Δ = Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve ($kPa \cdot ^\circ C^{-1}$); Zwischenberechnungen wurden laut ASCE-EWRI (2005) durchgeführt.

Das Lysimeter bestand aus einem zylindrischen Glasfaserbehälter mit einem Durchmesser von 1,9 m (Oberfläche = 2,85 m²) und einem gewölbtem Boden mit einer maximalen Tiefe von 2,5 m (NEUWIRTH und MOTTL 1983). Der Bodenaufbau war sandiger Lehm (0-140 cm) über Schotter

(140-250 cm). Die oberste Bodenschicht mit der Grasnarbe wurde Anfang 2004 und 2007 kultiviert und erneuert. Der Grasschnitt auf eine Höhe von etwa 10 cm erfolgte ungefähr 12-mal zwischen März und Oktober. Unkraut wurde bei Bedarf manuell entfernt, Düngung und Bewässerung erfolgten ebenfalls nach Bedarf, wobei eine optimale Versorgung des Rasens oberstes Ziel war. Änderungen des gespeicherten Bodenwassers (W_{lys}) wurden über das Wiegesystem, Sickerwasser (W_{drain}) am freien Auslass am tiefsten Punkt mittels Wippe erfasst. Die alle paar Sekunden gemessenen Werte wurden gemittelt und gemeinsam gespeichert (NOLZ et al. 2011). Die Speicherintervalle waren 15 Minuten von 2005 bis 2007, und 10 Minuten von 2007 bis 2010. Die gespeicherten Rohdaten wurden mit Kalibrierfunktionen in physikalische Größen umgerechnet (NOLZ et al. 2013a). Für die Datenaufbereitung (u.a. Entfernen von Rauschen und Ausreißern) wurden speziell entwickelte Glättungsfunktionen verwendet (NOLZ et al. 2013b). Die täglichen Änderungen (Δ) von gemessenen (W_{lys} , W_{drain}) und unbekannteren (P_{lys} , I_{lys} , ET_{lys}) Wasserbilanzkomponenten können folgendermaßen zueinander in Beziehung gesetzt werden:

$$\Delta W_{lys} + \Delta W_{drain} = \Delta P_{lys} + \Delta I_{lys} - \Delta ET_{lys} \quad (2)$$

ET_{lys} = Lysimeterverdunstung; W_{lys} = Bodenwasser; W_{drain} = Sickerwasser; P_{lys} = Niederschlag am Lysimeter; I_{lys} = Bewässerung; alle Einheiten sind ($mm \cdot d^{-1}$)

Die rechte Seite von Gl. 2 repräsentiert Wasser(dampf)flüsse zwischen Boden und Atmosphäre. Dementsprechend ergeben sich P_{lys} und I_{lys} aus positiven Änderungen von ΔW , während abnehmendes ΔW Verdunstung bedeutet. Da I_{lys} aus Aufzeichnungen bekannt ist, können Verdunstung und Niederschlag direkt aus Lysimeterdaten ermittelt werden (NOLZ et al. 2013a, NOLZ et al. 2013b).

Für den Vergleich der Tageswerte diente ET_{lys} als Bezugsgröße (unabhängige Variable x) und ET_{ref} als abhängige Variable y . Der Vergleich wurde mittels einer Regressionsgeraden $y = ax + b$, und mittels einfacher statistischer Parameter – Bestimmtheitsmaß R^2 , Mittelwert μ , Standardabweichung σ , und Wurzel aus mittlerer Quadratabweichung (root mean square error $RMSE$) – evaluiert.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - x)^2} \quad (3)$$

Ergebnisse und Diskussion

In allen Untersuchungsjahren 2005 bis 2010 war ET_{ref} bei kleinen Verdunstungsraten tendenziell größer als ET_{lys} , und umgekehrt (*Abbildung 1*), was mit den eingangs erwähnten Veröffentlichungen übereinstimmt. Die Regressionsgeraden sind ähnlich, was auch an den entsprechenden statistischen Parametern in *Tabelle 1* abgelesen werden kann. Das Bestimmtheitsmaß R^2 war jeweils größer als 0,9, außer für 2009, wo aufgrund eines totalen Systemausfalls eine massive Datenlücke vorhanden war. Die mittleren Abweichungen der restlichen Jahre waren ungefähr null. Das zeigt, dass die kumulierte Verdunstung über die Vegetationsperiode für Messung und Berechnung gleich ist. $RMSE$ lag zwischen 0,51 und 0,57 mm und war damit ähnlich der Standardabweichung (außer 2009, wo die Abweichungen auf Grund der

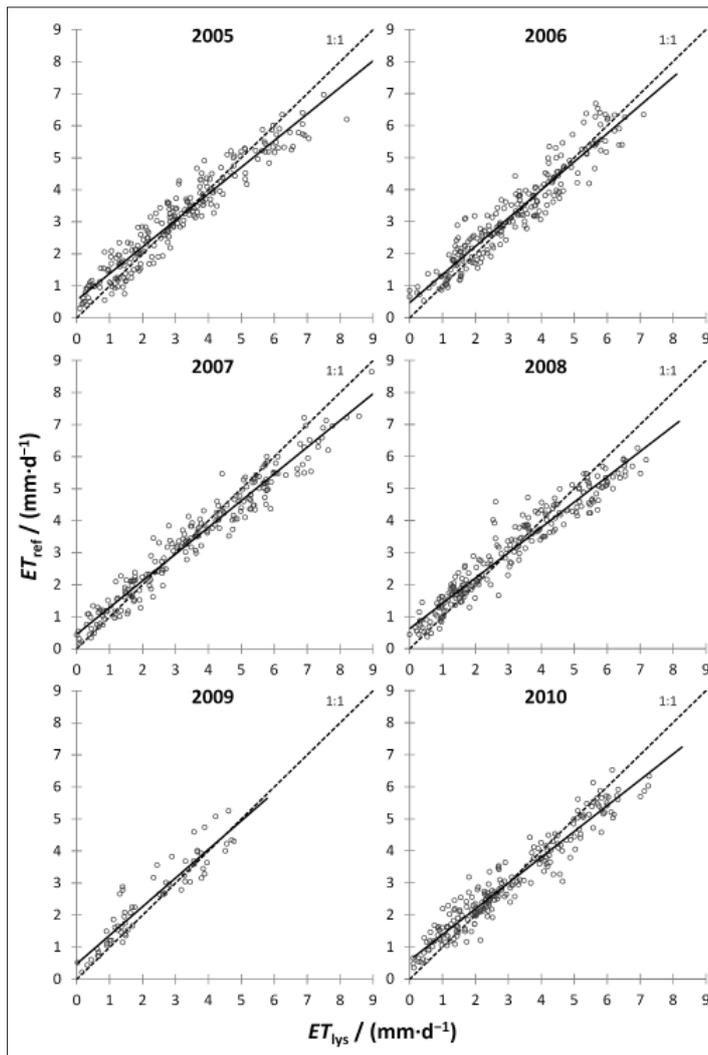


Abbildung 1: Berechnete (ET_{ref}) versus gemessene (ET_{lys}) tägliche Referenzverdunstung der einzelnen Untersuchungsjahre.

fehlenden Sommer-Daten asymmetrisch verteilt waren). Die Werte der gesamten Periode zeigen mit einem Mittelwert von 0,01 und einer Standardabweichung von 0,55 eine durchschnittlich sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung. Diese Werte sind ähnlich den Ergebnissen von GAVILAN et al. (2007) und GARCIA et al. (2004).

Um alle Jahre vergleichen zu können, wurden 10-Tages-Mittelwerte berechnet von Verdunstung (Abbildung 2a), Differenzen zwischen Berechnung und Messung (Abbildung 2b), und advektivem Transport sensibler Wärme, ausgedrückt durch das Verhältnis $LE \cdot R_n^{-1}$ (Abbildung 2c). Dieses Verhältnis war größer eins wenn die latente Wärme LE ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) – hier gleichgesetzt mit ET_{ref} – größer war als die verfügbare Energie R_n ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) (der Bodenwärmestrom wurde ja null gesetzt). Dies war vor allem im Winter der Fall (nicht dargestellt), sowie am Beginn und am Ende der Vegetationsperiode (Abbildung 2c). Abbildung 2a und b zeigen eine deutliche Überschätzung von ET_{ref} im März (Tag 60 bis 90), und eine Unterschätzung im Juni (Tag 160 bis 180). Um den Tag 80 war die mittlere Lysimeterverdunstung deutlich geringer (Abbildung 2a). Es ist anzunehmen, dass unter den vorherrschenden Bedingungen am Beginn der Vegetationsperiode entweder Modellparameter nicht geeignet waren (z.B. zu kleine Widerstandswerte), oder sich das Gras noch teilweise im Zustand der Winterruhe befand. Während des restlichen Jahres bewegten sich die Differenzen jedenfalls um null. Es gab somit keinen schlüssigen Zusammenhang zwischen den gemittelten Differenzen (Abbildung 2b) und dem Advektionsverhältnis (Abbildung 2c). Dies wird deutlich, wenn man die Monate März und Oktober vergleicht: Im März war ET_{ref} größer während $LE \cdot R_n^{-1}$ ähnlich den folgenden Monaten war; hingegen im Oktober waren ET_{ref} und ET_{lys} gleich, aber die Advektion war größer.

Um die wahrscheinlichsten Einflussgrößen auf die Abweichungen präzisieren zu können, wurden die Differenzen ausgewählten Messgrößen gegenübergestellt. Dabei konnte eine schwache aber merkbar ansteigende Regression zwischen $(ET_{lys} - ET_{ref})$ und der Nettostrahlung festgestellt werden (Abbildung 3). ET_{ref} wurde demnach bei einer Nettostrahlung größer $9 MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ überschätzt, und umgekehrt.

Außerdem zeigten die Differenzen eine negative Korrelation mit der Windgeschwindigkeit (Abbildung 4). Dies unterstützt zum Teil die Vermutung von advektivem Wärmetransport, welcher in der Regel mit steigender Windgeschwindigkeit zunimmt. Dementsprechend wurde ET_{ref} in der Regel überschätzt, wenn die Windgeschwindigkeit größer als $2,3 m \cdot s^{-1}$ war. Beide Effekte wirken

Tabelle 1: Statistische Parameter zu Abbildung 1.

Jahr	Tage <i>n</i>	Mittelwerte		Regressionsgerade		Bestimmtheits- maß R^2	$\mu \pm \sigma$ / mm	RMSE / mm
		ET_{ref} / mm	ET_{lys} / mm	Steigung <i>a</i>	Offset <i>b</i>			
2005	227	2.9	3.0	0.83	0.55	0.92	-0.04 ± 0.53	0.53
2006	226	3.1	3.1	0.88	0.47	0.90	-0.10 ± 0.51	0.51
2007	217	3.3	3.6	0.83	0.46	0.95	0.14 ± 0.53	0.55
2008	233	3.1	3.1	0.79	0.62	0.93	0.02 ± 0.57	0.57
2009	64	2.5	2.3	0.89	0.47	0.87	-0.23 ± 0.48	0.53
2010	220	2.8	3.0	0.80	0.58	0.93	0.00 ± 0.53	0.53
alle	1185	3.0	3.0	0.82	0.56	0.92	0.01 ± 0.55	0.55

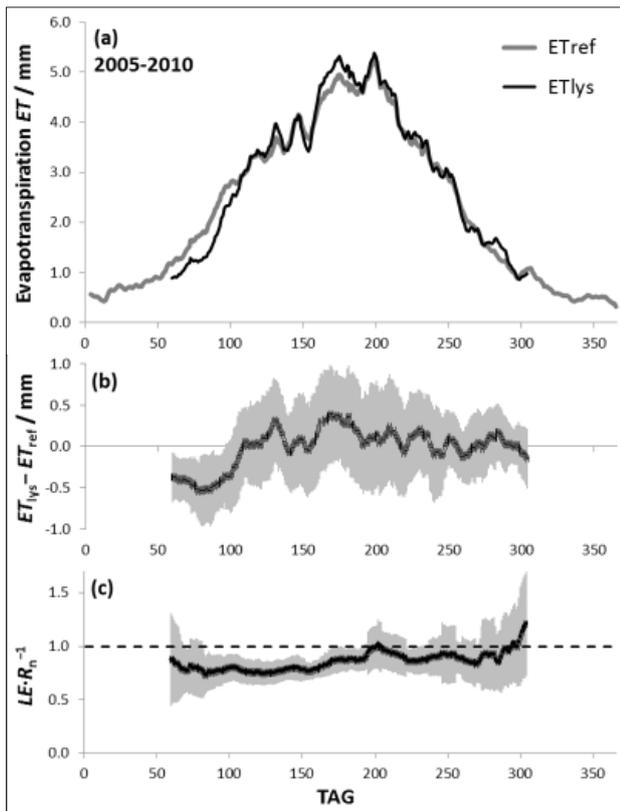


Abbildung 2: 10-Tages-Mittelwerte von (a) Evapotranspiration ET , (b) Differenz von gemessener und berechneter Verdunstung ($ET_{\text{lys}} - ET_{\text{ref}}$), (c) Advektionsindex ($LE \cdot R_n^{-1}$); die grauen Balken zeigen die Standardabweichung.

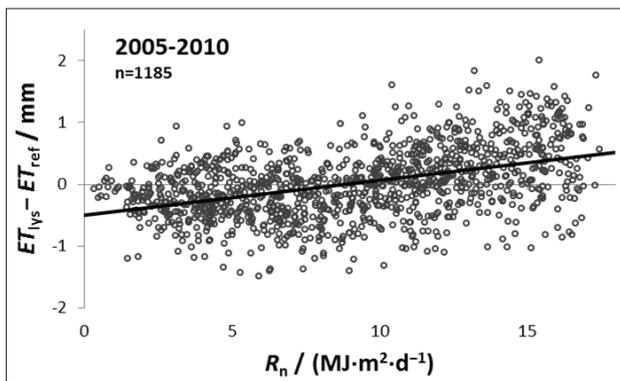


Abbildung 3: Differenz von gemessener und berechneter Verdunstung ($ET_{\text{lys}} - ET_{\text{ref}}$) bezogen auf die Nettostrahlung R_n .

also offensichtlich entgegengesetzt, das heißt eine kleine Nettostrahlung liefert in Kombination mit einer kleinen Windgeschwindigkeit ein besseres Ergebnis als umgekehrt (Tabelle 2). Daraus lässt sich folgern, dass advektiver Wärmetransport nicht die alleinige Ursache für die Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Werten sein kann. Es sei darauf hingewiesen, dass die durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Frühling am größten war, wenn die Nettostrahlung eher gering war, während die Situation im Sommer umgekehrt war (Tabelle 2).

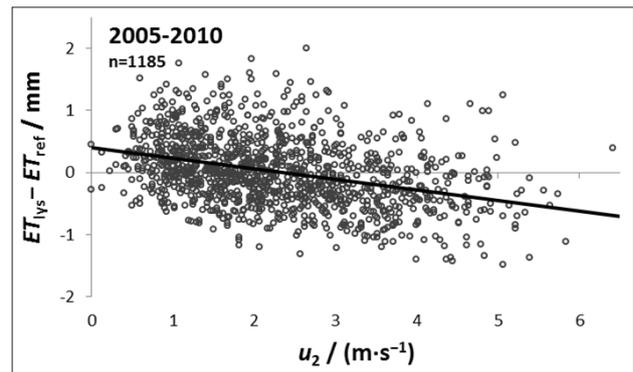


Abbildung 4: Differenz von gemessener und berechneter Verdunstung ($ET_{\text{lys}} - ET_{\text{ref}}$) bezogen auf die Windgeschwindigkeit u_2 .

Tabelle 2: Mittlere tägliche Nettostrahlung, Windgeschwindigkeit und Differenz von gemessener und berechneter Verdunstung ($ET_{\text{lys}} - ET_{\text{ref}}$) pro Monat (2005-2010).

	Nettostr. R_n / $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	Windgeschw. u_2 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$ET_{\text{lys}} - ET_{\text{ref}}$ mm
Mar	5.0	2.7	-0.46
Apr	9.1	2.3	-0.17
Mai	11.4	2.4	0.10
Jun	12.8	2.3	0.24
Jul	12.7	2.3	0.13
Aug	10.1	2.0	0.06
Sep	6.7	2.0	-0.02
Okt	3.2	1.9	0.03

Schlussfolgerungen

Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Referenzverdunstungsdaten einer 6-jährigen Messperiode wurden verschiedenen Einflussgrößen gegenübergestellt und analysiert. Sowohl Nettostrahlung als auch Windgeschwindigkeit hatten einen Einfluss, und sehr wahrscheinlich auch verwandte Parameter wie Albedo und Oberflächenwiderstand. Auch der Bodenwärmestrom, welcher für die Berechnung täglicher Werte vernachlässigt wird, könnte zumindest zeitweise zu den Abweichungen beigetragen haben. Da diese Faktoren eine gewisse zeitliche Dynamik haben (z.B. durch Graswachstum und -schnitt) können sie sich auf unterschiedliche Weise auswirken. Darüber hinaus beeinflussen diese zeitlich veränderlichen Faktoren auch Wechselwirkungen mit der Umgebung. Da die physikalischen Beziehungen zwischen einzelnen Eingangsgrößen sehr komplex sind (siehe Gl. 1), scheint eine Anpassung nur eines einzigen Parameters – wie von vielen Autoren vorgeschlagen – im vorliegenden Fall wenig zielführend zu sein. Nichtsdestotrotz zeigen die Ergebnisse, dass die ASCE-EWRI Methode zur Berechnung täglicher Referenzverdunstung bei durchschnittlichen Wetterbedingungen die besten Resultate lieferte. Deshalb scheint sie für die Anwendung unter ähnlichen Umweltbedingungen durchaus geeignet, allerdings sollten mögliche umweltbedingte Einschränkungen beachtet werden.

Danksagung

Für die Betreuung der Lysimeteranlage danken wir unseren Kollegen vom IHLW sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Versuchswirtschaft in Groß-Enzersdorf. Die Wetterdaten wurden uns von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zur Verfügung gestellt, und von Dr. Herbert Formayer verwaltet – herzlichen Dank dafür.

Literatur

- ALLEN, R.G., M. SMITH, A. PERRIER and L.S. PEREIRA, 1994: An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin* 43(2):1-34
- ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES and M. SMITH, 1998: Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. In: *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- ASCE-EWRI, 2005: The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. In: *ASCE-EWRI Task Committee Report*. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 171 pp.
- BERENGENA, J. and P. GAVILAN, 2005: Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. *J Irrig Drain Eng* 131(2):147-163. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:2(147).
- GARCIA, M., D. RAES, R. ALLEN and C. HERBAS, 2004: Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). *Agr Forest Meteorol* 125(1-2):67-82.
- GAVILAN, P., J. BERENGENA and R.G. ALLEN, 2007: Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: Impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. *Agr Water Manage* 89:275-286.
- HOWELL, T.A., S.R. EVETT, A.D. SCHNEIDER, D.A. DUSEK and K.S. COPELAND, 2000: Irrigated fescue grass ET compared with calculated reference grass ET. *Proc. 4th National Irrigation Symposium*, ASAE, Phoenix, 228-242.
- IRMAK, S., T.A. HOWELL, R.G. ALLEN, J.O. PAYERO and D.L. MARTIN, 2005: Standardized ASCE Penman-Monteith: Impact of sum-of-hourly vs. 24-hour timestep computations at reference weather station sites. *T Asae* 48:1063-1077.
- MUELLER, W., 1993: Agroklimatische Kennzeichnung des zentralen Marchfeldes. Beihefte zu den Jahrbüchern der ZAMG, *Klimatologie*, Heft 3. Zentralanstalt fuer Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Publ 348, Wien.
- NEUWIRTH, F. und W. MOTTL, 1983: Errichtung einer Lysimeteranlage an der agrar-meteorologischen Station in Groß-Enzersdorf. *Wetter und Leben* 35:48-53.
- NOLZ, R., G. KAMMERER and P. CEPUDER, 2011: Datenmanagement der wägbaren Lysimeter in Groß-Enzersdorf. In: *LFZ Raumberg-Gumpenstein (ed.): Proc. 14th Lysimeter Conf.*, Gumpenstein, Austria, May 3-4, 2011, 33-38.
- NOLZ, R., G. KAMMERER and P. CEPUDER, 2013a: Interpretation of lysimeter weighing data affected by wind. *J Plant Nutr Soil Sci* 176:200-208. doi: 10.1002/jpln.201200342.
- NOLZ, R., G. KAMMERER and P. CEPUDER, 2013b: Improving interpretation of lysimeter weighing data. *J Land Man Food Env* 64(1-2):27-35.
- PEREZ, P.J., S. LECINA, F. CASTELLVI, A. MARTINEZ-COB and F.J. VILLALOBOS, 2006: A simple parameterization of bulk canopy resistance from climatic variables for estimating hourly evapotranspiration. *Hydrol Process* 20(3):515-532. doi: 10.1002/hyp.5919.
- YODER, R.E., L.O. ODHIAMBO and W.C. WRIGHT, 2005: Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. *Appl Eng Agric* 21(2):197-202. doi: 10.13031/2013.18153.