

Einsatz des Modells CANDY auf der Lysimeteerebene - Simulation des Wassertransportes von wägbaren Präzisionslysimetern

Enrico Thiel^{1*}, Johann Fank² und Uwe Franko¹

Zusammenfassung

Auf der landwirtschaftlichen Versuchsfläche Wagna (Österreich) wurden 2004 zwei wägbare monolithische Präzisions – Unterdrucklysimeter mit einem bodenhydrologischen Messprofil errichtet, um die Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Grundwasserhältnisse zu untersuchen. Ein Gras-Referenzlysimeter ergänzt die Instrumentierung des Untersuchungsfeldes seit 2006.

Basierend auf den Lysimeterdaten wurde das Prozessmodell CANDY regionalspezifisch kalibriert. CANDY ermöglicht die Simulation der Dynamik von Kohlenstoff und Stickstoff in der ungesättigten Zone agrarisch genutzter Böden als eindimensionale Prozesse auf Tagesschrittweite. Das Modell verarbeitet dazu für ein definiertes Bodenprofil, Bewirtschaftungsdaten und den Wetterverlauf. Grundlage für die Simulation von Stoffumsetzung und -transport bildet dabei eine korrekte Abbildung des Wasserhaushaltes.

Im Beitrag wird die Anwendbarkeit des Wasserbilanzteils des Modellsystems CANDY für das ackerbaulich bewirtschaftete Lysimeter und das Gras-Referenzlysimeter vorgestellt. Dabei werden die Schwierigkeiten des Modelleinsatzes außerhalb seines ursprünglichen Kalibrierungsraumes diskutiert.

Schlagwörter: Wagna, Modellierung, ungesättigte Zone, Wasserfluss, Kapazitätskonzept

Summary

Two weighable monolithic equilibrium suction field lysimeters were installed at the field research site Wagna (Austria) in 2004. Using data from high precision lysimeters and accompanying soil hydrologic measuring profiles the influence of different management systems on groundwater quality are investigated, water movement and nutrient transport in the unsaturated zone are being determined. An additional grass reference lysimeter has been installed in 2006.

Lysimeter data has been used to calibrate the simulation system CANDY for site specific conditions. CANDY describes relevant soil processes concerning the dynamics of C and N as one-dimensional processes on a daily time step. Key driving variables are soil physical properties, meteorological data and management information. Simulation of mass specific transfer is based on a well known soil water balance.

In this paper the adaptability of soil water balance part of the CANDY model at the conventional cultivated lysimeter, and the grass reference lysimeter at Wagna test site will be presented. The problem of using a model outside of its primary calibration area is discussed.

Keywords: Wagna, modelling, vadose zone, water movement, capacity-type model

Einleitung

Seit dem Inkrafttreten der europäischen Wasserrahmenrichtlinie am 22.12.2000 existiert eine europaweite Vereinheitlichung des Gewässerschutzes. Im Rahmen der hier geforderten Erstellung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme werden signifikante anthropogene Belastungen für die Oberflächenwasserkörper und anthropogene Belastungen für das Grundwasser bestimmt (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2000). Hierzu zählen u. a. die Belastungen aus diffusen Quellen (z. B. landwirtschaftlich genutzte Bereiche). Modelle bilden dabei geeignete Werkzeuge, um langfristige Prognosen und Szenarienvergleiche zu erstellen. Hierzu müssen die entsprechenden Modelle aber geeignet und für die jeweiligen Untersuchungsräume kalibriert sein. Eine adäquate Beschreibung des Bodenwasserhaushaltes bildet

dabei die Grundlage für eine anschließende Simulation der wassergebundenen Stoffdynamik. Im Beitrag werden deshalb die Anwendbarkeit des Modellsystems CANDY und die Simulationsergebnisse hinsichtlich der Nachbildung der Wasserbilanz eines Grünland- und eines Ackerlysimeters an einem stark vom Kalibrierungsraum des Modells CANDY abweichenden Standort diskutiert. Auf die Anforderungen an die Messdatengewinnung aus Sicht der Modellanwendung wird eingegangen.

Material und Methoden

Die Lysimeterstation Wagna

In der Gemeinde Wagna (Steiermark, Österreich) wurde 1987 ein Großparzellenversuch angelegt, um unter ortsüb-

¹ Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ), Department of Soil Physics, Theodor-Lieser-Straße 4, D-06120 HALLE/SAALE

² Joanneum Research, Institute of Water Resources Management - Hydrogeology and Geophysics, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

* Ansprechpartner: enrico.thiel@ufz.de

lichen Bewirtschaftungsbedingungen die Auswirkungen unterschiedlicher Kulturführungen und Düngeneiveaus auf die Ertragssituation untersuchen zu können (FASTL und ROBIER 2008). Der Standort Wagna liegt 266 m ü. A., ca. 45 km südlich von Graz im Leibnitzer Feld, einer quartären Schotterterrasse mit geringmächtiger, gut durchlässiger Bodenauflage. Die Mächtigkeit des Feinbodens variiert kleinräumig zwischen 25 - 150 cm. Der Skelettanteil ist relativ hoch und variiert zwischen 0 - 78 M.%. Im Zentrum der Versuchsfläche befinden sich seit dem Herbst 2004 in zwei Feldern je ein monolithisch gestochenes wägbares Unterdrucklysimeter (FANK und VON UNOLD 2007) mit einem bodenhydrologischen Messprofil. Ein Gras-Referenzlysimeter wurde im Frühjahr 2006 am Rande der Versuchsflächen errichtet (VON UNOLD und FANK 2008). Die Lysimeter besitzen eine Oberfläche von 1 m². Die Unterkante der beiden Ackerlysimeter liegt mit 2 m Tiefe deutlich unter der hydraulischen Wasserscheide. Das Gras-Referenzlysimeter weist eine Tiefe von 1 m auf und ermöglicht damit auch die Messung von vertikal nach oben gerichteten Flüssen (FANK und VON UNOLD 2007). Der mittlere Jahresniederschlag (1982-2007) beträgt 892 mm a⁻¹ bei einer mittleren Jahrestemperatur von 10,1° C. Für die hier vorgestellten Modellierungen wurden die anhand der Lysimeterganglinie korrigierten Niederschläge verwendet (FANK 2006). Aus der Auswertung der Lysimeter-Gewichtsganglinie waren auch Werte der aktuellen Evapotranspiration für die Modellierung verfügbar. Für Bodenbearbeitungsmaßnahmen können die Wiegezellen der Ackerlysimeter abgesenkt werden. Somit kann die Lysimeterfläche konsistent zur umgebenden Parzellenfläche bewirtschaftet werden (FANK 2008 a). Die Fruchtfolgeglieder des konventionell bewirtschafteten Lysimeters seit Herbst 2004 waren: abfrierende Zwischenfrucht – Ölkürbis – winterharte Gründücke – Körnermais – winterharte Gründücke – Körnermais – Wintergerste. Der Grasbestand des nicht gedüngten Grünlandlysimeters wird auf konstant 12 cm (FANK 2007) gehalten, der Schnitt verbleibt als Mulchmaterial auf der Fläche. Das Ackerlysimeter ist in Abstimmung mit den verschiedenen Bodenhorizonten mit Sensoren zur Erfassung der Bodentemperatur, des Bodenwassergehaltes und des Matrixpotenzials ausgestattet (ROCK und FANK 2008, FANK und VON UNOLD 2007). Das Sickerwasser wird mittels eines Saugkerzenrechen in 190 cm Tiefe entnommen. Dabei entspricht der an die Saugkerzen angelegte Unterdruck dem Matrixpotential, das nahe dem Lysimeter im durch den Lysimeterbau unbeeinflussten Versuchsfeld in gleicher Tiefe gemessen wird. Das Wiegesystem lässt eine Messgenauigkeit von 50 g zu, das entspricht einer Wassergehaltsänderung von 0,05 mm. Das Gras-Referenzlysimeter ist ein einfach ausgestattetes Präzisionslysimeter zur Erfassung der Parameter für die Wasserbilanzgleichung (FANK und VON UNOLD 2007).

Das Simulationsmodell CANDY

Bei dem Modell CANDY (CARbon and Nitrogen DYNAMics) handelt es sich um ein etabliertes C/N-Simulationsmodell, welches in zahlreichen Studien zur Quantifizierung von Stoffumsätzen und Stoffausträgen in der ungesättigten Bodenzone, sowie zur Ableitung von Indikatoren für

eine umweltgerechte Landnutzung eingesetzt wurde (u. a. FRANKO und SCHENK 2001, FRANKO et al. 2006, VOLK et al. 2000). Arbeitsfelder bildeten bisher schwerpunktmäßig die Querfurter Platte, das Partheinzugsgebiet, der Torgauer Raum und das Einzugsgebiet der Saale. Eine regionale Anwendung des Modells fand u. a. im Bundesland Sachsen-Anhalt (FRANKO et al. 2006) statt. Das Modell CANDY wurde anhand der Daten des Untersuchungsstandortes Bad Lauchstädt erstellt, kalibriert und validiert (FRANKO 1989, FRANKO 1997). Dabei handelt es sich um einen ebenen tiefgründigen Lößstandort, 113 m ü. NN, mit einem Schwarzerdeprofil (Bodenart Lehm, Bodenwertzahl 94-98) im Mitteldeutschen Trockengebiet mit einer mittleren Jahrestemperatur (1902-1992) von 8,8 °C und einer mittleren Jahresniederschlagssumme (1902-1992) von 480 mm (KÖRSCHENS et al. 1994).

CANDY wurde entwickelt, um die Dynamik des Kohlenstoff- und Stickstoffumsatzes im Boden sowie der Bodentemperatur und des Bodenwassergehaltes als eindimensionale Prozesse für ein Bodenprofil zu beschreiben (FRANKO 1989). Dieses Profil wird in homogene Bodenschichten von 1 dm Mächtigkeit aufgeteilt. Das Standardsystem besteht aus einem in eine Bedieneroberfläche eingebetteten Simulationsmodell und umgebenden Datenbanken, die Informationen zu den erforderlichen Parametern, zum Modellantrieb sowie zu Anfangswerten und eventuell vorhandenen ergänzenden Messreihen enthalten. Die Bodenprozessdynamik wird in Tagesschritten abgebildet.

An Eingangsdaten benötigt das Simulationsmodell CANDY folgende Parameter:

- *Boden (für 1 dm – Schichten)*: organischer Kohlenstoffgehalt, Ton- und Schluffgehalt, Feldkapazität, permanenter Welkepunkt, Trockenrohdichte, gesättigte hydraulische Leitfähigkeit.
- *Wetter (als Tageswerte)*: Niederschlag, Lufttemperatur, Globalstrahlung oder Sonnenscheindauer.
- *Management (als Terminwerte)*: Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngemanagement, Ernteergebnisse.

Das Wassermodul von CANDY basiert auf einem Kapazitätskonzept nach KOITZSCH (1990). Bei Überschreitung des schichtspezifischen Wertes der Feldkapazität ist aufgrund der Wasserfüllung der Grobporen eine abwärtsgerichtete Wasserbewegung möglich. Durch die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit wird die Geschwindigkeit dieser Abwärtsbewegung über den Versickerungsparameter Lambda nach GLUGLA (1969) gesteuert. Ein Wasseranstieg erfolgt nur bei einer Bodenwasserfüllung über dem schichtspezifischen permanenten Welkepunkt durch die Prozesse von Evaporation und Transpiration. Der gesamte Prozess der Evapotranspiration wird nach einem modifizierten TURC-Ansatz nach KOITZSCH (1990) und KOITZSCH und GÜNTHER (1990) berechnet.

Das Pflanzenwachstum und der N-Entzug wird im Modell CANDY - wie in FRANKO et al. (1995) dargestellt - beschrieben.

Für die zu modellierende Kulturart Ölkürbis in der Fruchtfolge des Ackerlysimeters lagen bisher noch keine CANDY-Pflanzenparameter vor. Um die Pflanzenent-

wicklung beschreiben zu können, wurden die Parameter Vegetationsdauer und N-Gehalt des Erntegutes aus den in Wagna ermittelten Messwerten abgeleitet. Die Parameter maximale Durchwurzelungstiefe, maximale Bestandeshöhe und ertragsunabhängige konstante N-Menge in den Ernte- und Wurzelrückständen wurden aus JOVANOVIĆ und ANNANDALE (2000) und WÖNNEBERGER und KELLER (2004) übernommen. In den Datensätzen für die Koppelprodukte sind das C/N-Verhältnis in der organischen Substanz, der Trockensubstanzgehalt und der C-Gehalt in der Trockenmasse aus den Messwerten von Wagna abgeleitet worden.

Die hier vorgestellten Modellierungen wurden mit der Modellversion CANDY 2.7.2.2 durchgeführt.

Ergebnisse

Gras-Referenzlysimeter

Die Kalibrierung des Modells CANDY am Grünlandlysimeter erfolgte durch den Vergleich der gemessenen mit den simulierten Daten. Dabei wurde versucht, das Modellverhalten hinsichtlich der gemessenen Zielgrößen, aktuelle Evapotranspiration (ET_a) und Sickerwassermenge zu optimieren. Das Grünlandlysimeter wird am Standort Wagna so geführt, dass in Zeiten mit ausreichender Wasserverfügbarkeit die gemessene Verdunstung (ET_a) der berechneten FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_{pot}) entspricht (FANK 2008 b). Aus dem Vergleich der zwei unterschiedlichen Berechnungsverfahren der potenziellen Verdunstung wurde erkennbar, dass die mit CANDY modellierten Summenwerte, die nach FAO-Penman-Monteith berechneten Werte nach einem Simulations-Auswertzeitraum von 17 Monaten (01.01.2007 bis 31.05.2008 mit einer Modell-Vorlaufzeit von 8 Monaten) um 99 mm übersteigen. Aufgrund dieser Modellabweichung wurde das Modell erweitert, sodass Werte der potenziellen Verdunstung (hier berechnete FAO-

Gras-Referenzverdunstung) von externen Quellen gelesen werden können.

In *Abbildung 1* sind die Summenkurven der Simulationsergebnisse und der Messung der ET_a für den Auswertzeitraum dargestellt. Die FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_{pot}) wurde hierbei für den Modellierungsvorgang extern vorgegeben. Der kumulative Verlauf der ET_a wird gut nachgebildet; über einen Zeitraum von 17 Monaten liegen die berechneten Werte 12 mm über den Gemessenen (927 mm). Diese Anpassungsgüte konnte durch eine Verringerung des Bedeckungsgrades auf 70 % erreicht werden, welche aus Lücken im Bestand begründet wird.

Auch für den Vergleich der Sickerwassermengen (*Abbildung 1*) wurden verschiedene Kalibrierungsvarianten geprüft. Eine Anpassung der Summe der Versickerung wurde durch die Änderung der Feldkapazität (FK) und der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (K_s) in allen 3 Bodenhorizonten angestrebt. Dabei wurden die FK und K_s in vorher definierten Grenzen variiert. Die Grenzen für die Optimierung der Bodenparameter ergaben sich hierbei aus der Spannweite der Messwiederholungen zur FK und K_s im Labor. In *Abbildung 1* sind die gemessenen und modellierten kumulativen Sickerwassermengen bei Anpassung der FK für das Grünlandlysimeter dargestellt. Es wird deutlich, dass die gemessene und modellierte kumulative Sickerwassermenge bei Anpassung der FK gemäß der definierten Grenzen - die FK erreicht in allen 3 Horizonten die Obergrenze der Spannweite - die gleiche Größenordnung haben. Am Ende des Auswertzeitraums 01.01.2007 bis 31.05.2008 ist die modellierte Sickerwasserbildung 1 mm höher als die gemessene kumulative Sickerwassermenge (262 mm). Die größten Abweichungen treten in den Perioden 01/2007 bis 03/2007 und 09/2007 bis 03/2008 auf. Dies könnte auf eine unzureichende Abbildung von Frost- und Auftauprozessen im Modell zurückzuführen sein. Aufgrund der guten Übereinstimmung der kumulativen Sickerwassermengen

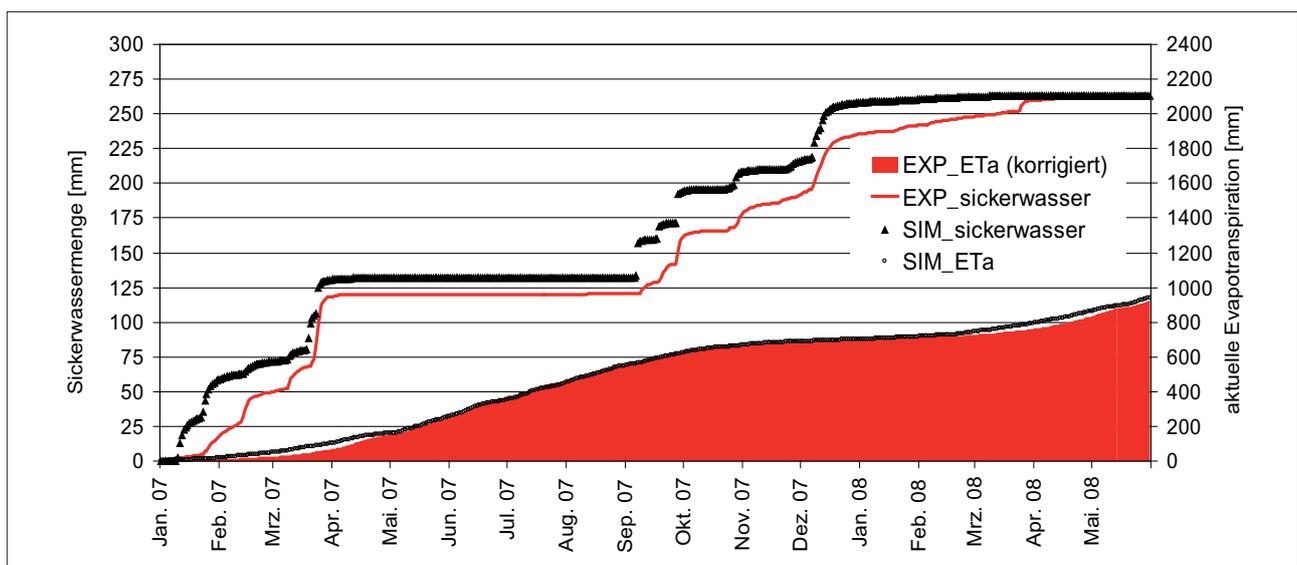


Abbildung 1: Vergleich der gemessenen (EXP_ETa) und mit CANDY modellierten aktuellen Evapotranspiration (SIM_ETa) sowie gemessenen (EXP_sickerwasser) und modellierten Sickerwassersummen (SIM_sickerwasser) bei Anpassung der Feldkapazität für das Gras-Referenzlysimeter.

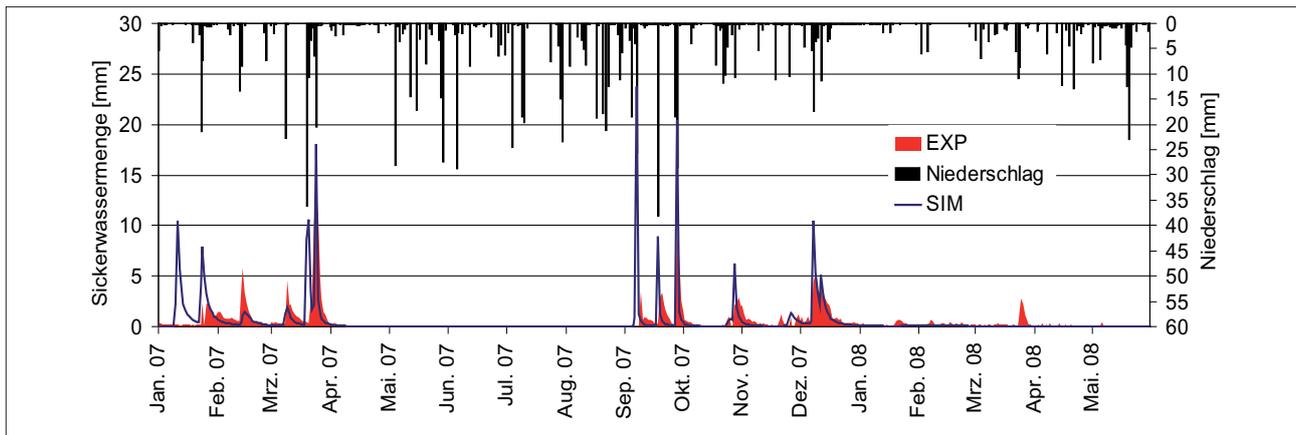


Abbildung 2: Dynamik der gemessenen (EXP) und modellierten Sickerwassermenge (SIM) des Gras-Referenzlysimeters in 100 cm Tiefe.

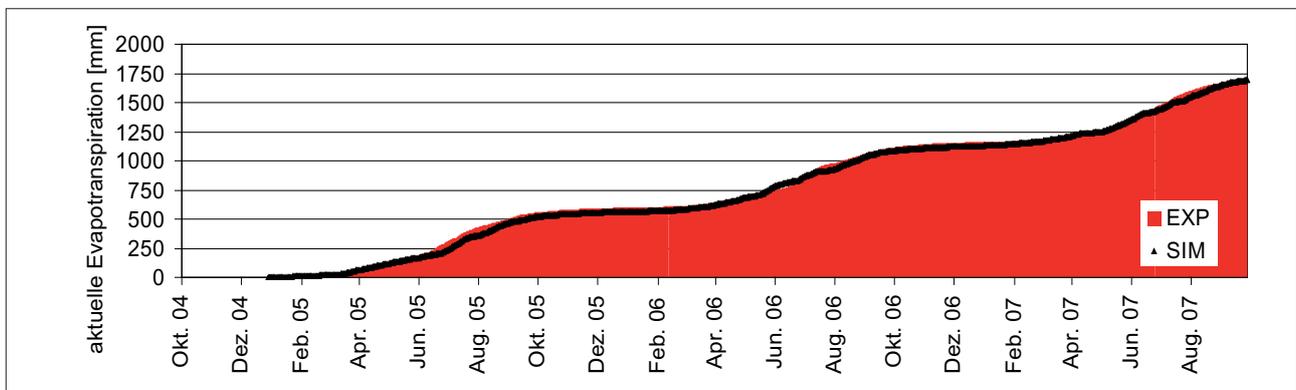


Abbildung 3: Vergleich der gemessenen (EXP) und modellierten aktuellen Evapotranspiration (SIM) des Ackerlysimeters.

wurde anschließend die zeitliche Dynamik betrachtet (Abbildung 2).

Aus dem Vergleich der Sickerwassermengen wird deutlich, dass zwar die Summen am Ende des Auswertezitraumes sehr gut übereinstimmen (Abbildung 1), die zeitliche Dynamik sich jedoch noch stark unterscheidet (Abbildung 1, 2). Insgesamt sind die modellierten Sickerwasserspitzen zu hoch und die Abflüsse aus dem Bodenprofil erfolgen zu schnell. Eine Änderung der Dynamik der Versickerungskurve wurde durch eine Anpassung der K_s -Werte in den vorher definierten Grenzen angestrebt. Da die Abflussspitzen verringert werden sollten, wurden die K_s -Werte in allen 3 Horizonten auf 3000 mm d^{-1} verringert. Da die K_s -Werte schon vorher die untere Grenze der Spannbreite erreichten und damit keine befriedigende Modellierung der zeitlichen Dynamik möglich war, wurde damit die vordefinierte Spannbreite überschritten. Der K_s -Wert hat im Modellkonzept von CANDY nicht direkt die Bedeutung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit, da er in den Versickerungsparameter Lambda nach GLUGLA (1969) modellintern übersetzt wird. Da dies einen empirischen Parameter darstellt, kann diese Überschreitung gerechtfertigt werden. Durch die Optimierung des K_s -Wertes konnte eine bessere Abbildung der Sickerwasserdynamik erreicht werden. Dennoch verbleiben die Sickerwasserspitzen vereinzelt zu hoch. Dies verdeutlicht auch das geringe Bestimmtheitsmaß von 0,25 für die Korrelation zwischen Mess- und Simulationswerten. Besser stimmen Mess- und

Simulationswert in dem Bereich geringer Sickerwassermengen ($< 5 \text{ mm d}^{-1}$) überein. Im Bereich der Messwerte > 0 bis $< 5 \text{ mm d}^{-1}$ erhöht sich das Bestimmtheitsmaß auf 0,32. Bei Messwerten von mehr als 5 mm d^{-1} Sickerwasserbildung liegt das Bestimmtheitsmaß bei 0,22. Durch eine weitere Verringerung der K_s -Werte über die definierte Spannbreite auf 1000 mm d^{-1} je Horizont, werden zwar einzelne Sickerwasserspitzen gekappt und das Bestimmtheitsmaß verbessert (0,4), dafür werden aber einige geringere Abflussspitzen (02/2007, 03/2008) nicht mehr getroffen. Die Optimierung kann hier also nicht allein durch eine weitere Anpassung des K_s -Wertes erfolgen. Eine Optimierung der Startwassergehalte am 01.05.2006 hatte keinen Einfluss auf die ersten Sickerwassermessungen in 01/2007. Es wurde ein Startwassergehalt von 25 Vol.% im Gesamtprofil (0-1 m) angenommen.

Bei einer Betrachtung der modellierten Wassergehalte im Gras-Referenzlysimeter wurde eine ausgeprägte Dynamik der Wassergehalte (Veränderungen $\pm 15 \text{ Vol.}\%$) im Profil nur bis 40 cm modelliert. Die tieferen Schichten wiesen nahezu durchgängig einen Wassergehalt von ca. 20 Vol.% auf, was in diesen Bodentiefen der FK entspricht. In diesen Tiefen wurde eine geringe Dynamik der Wassergehalte modelliert ($\pm 3 \text{ Vol.}\%$). Vergleichsmessungen zur Wasser-Verteilung im Profil des Grünlandlysimeters sind nicht verfügbar, jedoch weisen Wassergehaltsmessungen vergleichbarer Tiefen in den Kiesen der Ackerlysimeter immer deutlich niedrigere Werte als die FK auf.

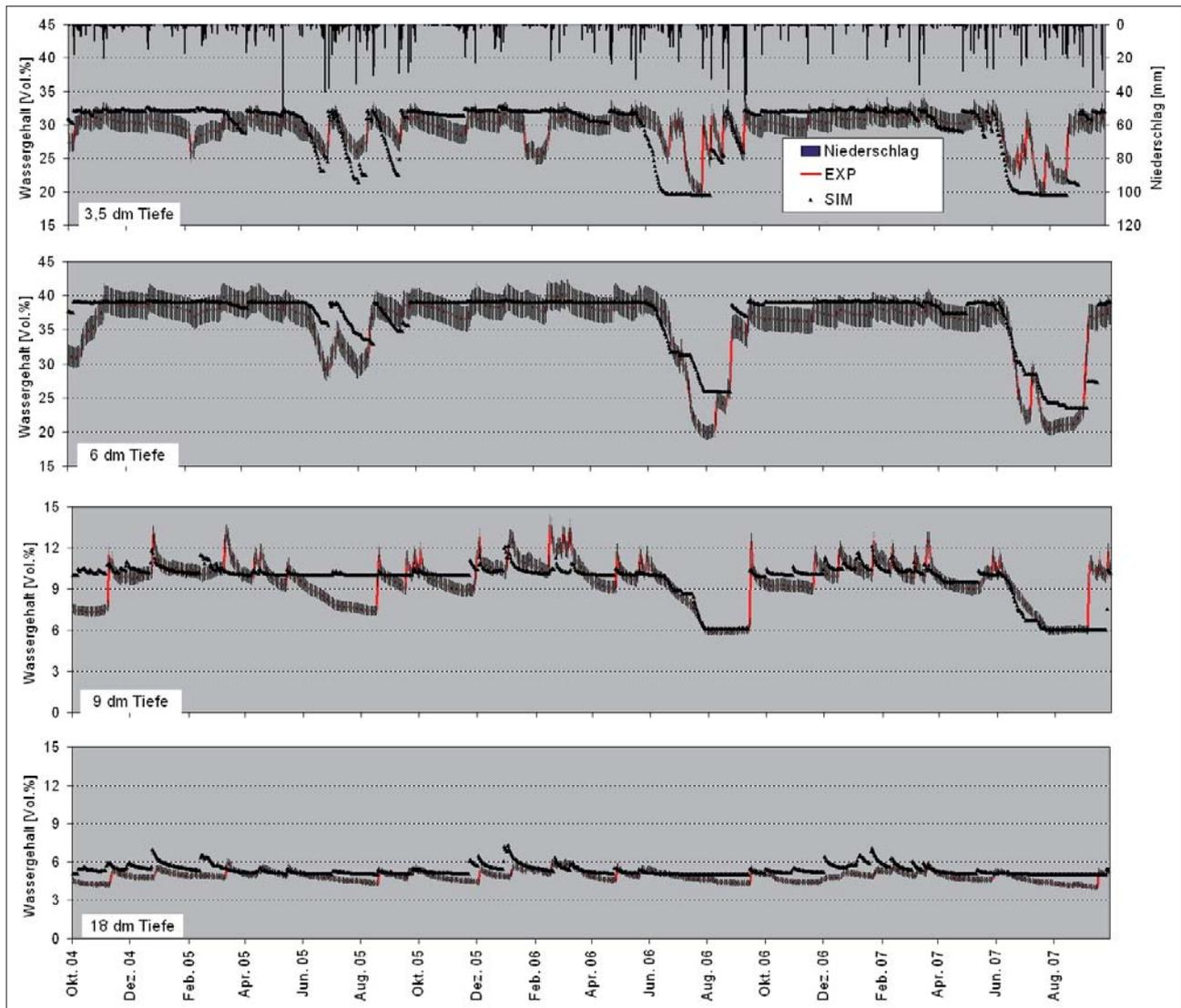


Abbildung 4: Vergleich der gemessenen (EXP) und modellierten Bodenfeuchte (SIM) der Tiefen 35 cm, 60 cm, 90 cm und 180 cm mit 5 % Fehlerband für das Ackerlysimeter.

Ackerlysimeter

Aufgrund des starken Einflusses des Startwassergehaltes auf die Modellierung der Bodenfeuchte wurde für das Bodenprofil des Ackerlysimeters je 10 cm Schicht ein Startwassergehalt bis 2 m Tiefe festgesetzt (30 Vol.% für die Tiefe 0-40 cm, 40 Vol.% für die Tiefe 40-170 cm und 4 Vol.% für die Tiefe 170-200 cm). Die Simulationsauswertung erfolgte für den Zeitraum 04.10.2004 - 01.10.2007, mit einer Modellvorlaufzeit von 2 Monaten.

In *Abbildung 3* ist die gemessene sowie die modellierte ET_a für das konventionell bewirtschaftete Ackerlysimeter dargestellt. Es wird deutlich, dass die gemessene kumulative ET_a (1701 mm) und die mit CANDY modellierte kumulative ET_a (1695 mm) für den Zeitraum 04.10.2004 - 01.10.2007 mit einer Abweichung von 6 mm sehr gut übereinstimmen, wenn die ET_{pot} extern für das Modell CANDY vorgegeben wird.

In der *Abbildung 4* sind die im konventionell bewirtschafteten Ackerlysimeter gemessenen und die modellierten

Bodenfeuchten für die Messtiefen 3,5 dm, 6 dm, 9 dm und 18 dm dargestellt. Wie für das Grünlandlysimeter beschrieben, wurde hier ebenfalls der Bodenparameter FK in vorher berechneten Spannweiten optimiert. Aus der *Abbildung 4* ist erkennbar, dass die gemessenen Bodenfeuchten der Tiefen 3,5 dm, 6 dm, 9 dm und 18 dm gut mit dem Modell CANDY bei entsprechender Kalibrierung der FK nachgebildet werden können.

Mit den auf die *Abbildung* der gemessenen Wassergehalte optimierten FK wird jedoch nur eine kumulative Sickerwassermenge von 818 mm, und damit ein Defizit von 202 mm gegenüber den Messdaten, für den Zeitraum 04.10.2004 - 01.10.2007 bei unzureichender Nachbildung der Sickerwasserdynamik (*Abbildung 5*) erreicht.

Hinsichtlich der Sickerwasserdynamik in 190 cm Tiefe wurden nur einzelne Sickerwasserspitzen gut nachgebildet. Deshalb wurden die Bodenparameter FK und K_s anschließend auf die Sickerwassermenge optimiert, wobei die Parametrisierung in den obersten 40 cm identisch blieb. Damit

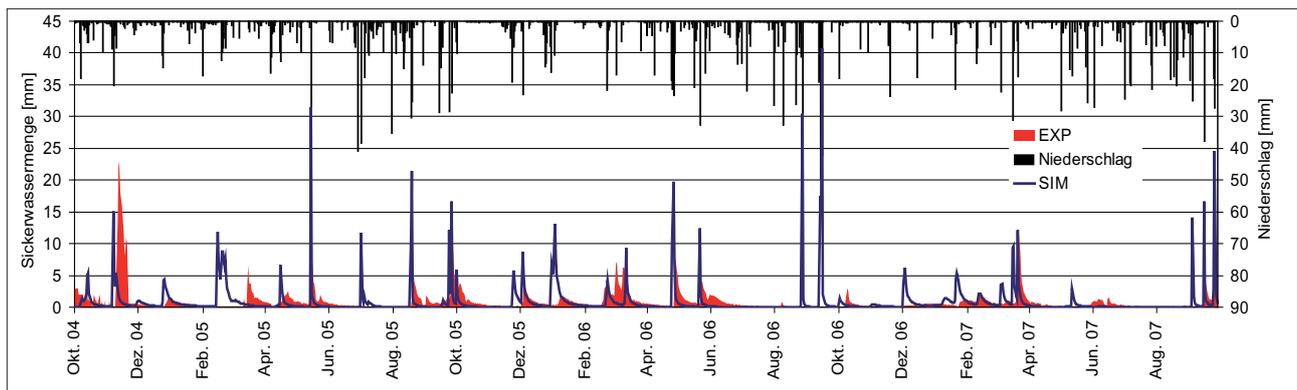


Abbildung 5: Dynamik der gemessenen (EXP) und modellierten (SIM) Sickerwassermenge mit auf den Wassergehalt optimierter FK für das Ackerlysimeter in 190 cm Tiefe.

konnte eine kumulative Sickerwassermenge von 995 mm modelliert werden (Zielwert 1020 mm). Wird die maximale Durchwurzelungstiefe für alle Kulturpflanzen auf 70 cm begrenzt - was der Grenze der Feinbodenmächtigkeit beim konventionellen Lysimeter entspricht - wird die Abbildung der Sickerwasserspitzen nur geringfügig verändert. Für eine weitere Anpassung der Pflanzenparameter (Wurzelentwicklungen, Bedeckungsgrad) im Modell lagen keine Messwerte vor Ort vor. Besonders schwierig gestaltet sich dabei auch die Parametrisierung von Gründecken, welche in der Fruchtfolge als Mischungen verschiedener Kulturen angebaut wurden.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Mit dem Prozessmodell CANDY wurde die Nachbildung der Wasserflüsse des Grünlandlysimeters und des konventionell bewirtschafteten Ackerlysimeters der landwirtschaftlichen Versuchsfläche Wagna (Österreich) angestrebt. Das auf der Untersuchungsfläche geführte Gras-Referenzlysimeter zeigte, dass der Prozess der Evapotranspiration mit dem im Modell CANDY bisher implementierten modifizierten TURC-Ansatz für den Standort Wagna nicht ausreichend abgebildet wurde. Da sich der fehlende Wasseranteil in allen nachfolgenden Modelleinheiten fortpflanzt, wurde das Modell erweitert, so dass jetzt extern Werte der potenziellen Evapotranspiration vorgegeben werden können. Für den Standort Wagna wurden durch die Verwendung der Gras-Referenzverdunstung auf Basis von 10 min. Wetterdaten nach Penman-Monteith (ALLEN et al. 2006) gute Ergebnisse hinsichtlich der Modellierung der aktuellen Evapotranspiration für das Grünlandlysimeter und das konventionell bewirtschaftete Ackerlysimeter erreicht.

Für eine Nachbildung der Bodenfeuchte- und Sickerwasserdynamik sowie der Sickerwassermengen im konventionell bewirtschafteten Ackerlysimeter wurden Optimierungen der Bodenparameter Feldkapazität und gesättigte hydraulische Leitfähigkeit in vorher definierten Grenzen durchgeführt. Die Grenzen wurden dabei aus den Spannweiten der Messwiederholungen vorgegeben. Die Optimierung der Bodenparameter ergab je einen optimalen Datensatz zur Nachbildung der Wassergehalte in den Tiefen 3,5 dm, 6 dm, 9 dm und 18 dm sowie einen Datensatz zur Nachbildung der Sickerwassermenge in 19 dm Tiefe. Ein vergleichbarer Da-

tensatz zur Abbildung der kumulativen Sickerwassermenge des konventionell bewirtschafteten Ackerlysimeters des Standort Wagna findet sich in BÖTTCHER et al. (2008).

Bei den auf die Sickerwassermenge im Ackerlysimeter kalibrierten Modelleinstellungen wichen die Bodenparameter Feldkapazität und gesättigte hydraulische Leitfähigkeit in den Tiefen unter 40 cm deutlich von den optimierten Bodenparametern zur Abbildung der Wassergehalte ab. Mit den so optimierten Bodenparametern kann zwar die kumulative Sickerwassermenge annähernd nachgebildet werden, die zeitliche Sickerwasserdynamik wird aber noch nicht zufrieden stellend nachgebildet.

Es wurde deutlich, dass für die vorliegenden skelettreichen Böden ein deutlicher Unterschied zwischen den Labormessungen zur Feldkapazität sowie zur gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit und den Messungen der SONDENSYSTEME im Freiland besteht. Es werden dabei verschiedene Bereiche der Bodenmatrix betrachtet. Deshalb wurde für die Modellierung vorerst der Weg einer „doppelten Parametrisierung“ der Böden erprobt. Eine Korrelation der beiden Parametrisierungen - je eine zur Nachbildung der Bodenfeuchte bzw. Sickerwassermenge - über den Grobanteil des Bodens war für das Ackerlysimeter nicht erfolgreich. Für das Modell CANDY und die damit angestrebte Abbildung der Stoffumsätze ist jedoch zusätzlich zur Nachbildung der Sickerwasserdynamik auch eine Abbildung der Bodenfeuchte entsprechend der Messwerte Bedingung. Bei erprobten „Zwischenlösungen“ sind die Parametrisierungen in den obersten 40 cm identisch. Da das Modell CANDY den Stoffumsatz im Bereich 0-30 cm modelliert, ist dies ein erster Ansatz zur angestrebten Nachbildung des C- und N-Umsatzes in den Lysimetern der Station Wagna.

Eine adäquate Nachbildung der Sickerwasserdynamik in dem konventionell bewirtschafteten Ackerlysimeter scheint nur durch entsprechende Parametrisierung der Pflanzenentwicklung möglich. Eine reine Optimierung von Bodenparametern für die Modellierung ist hier nicht mehr ausreichend. Für diese Modellierungen sind zusätzliche Pflanzenbeobachtungen (Wurzelentwicklungen, Bedeckungsgrad), wie z.B. von KRÜGER (2008) und TIETZ (2008) am Standort Bad Lauchstädt durchgeführt, notwendig.

Aufgrund der vorliegenden hoch aufgelösten Mess- und Beobachtungsdaten konnten die Wasserhaushaltsgrößen für

die untersuchten Lysimeterböden gut erfasst und bewertet werden. Erst eine zufrieden stellende Nachbildung des Wassertransportes in den Präzisionslysimetern bildet die Grundlage einer Modellierung des Stoffumsatzes von verschiedenen Bewirtschaftungsvarianten. In weiterführenden Arbeiten soll gezeigt werden, dass das Modell CANDY auch in der Lage ist, den Kohlenstoff- und Stickstoffumsatz für den Standort Wagna nachzubilden.

Literatur

- ALLEN, R.G., W.O. PRUITT, J.L. WRIGHT, T.A. HOWELL, F. VENTURA, R. SYDER, D. ITENFISU, P. STEDUTO, J. BERENGENA, J.B. YRISARRY, M. SMITH, L.S. PEREIRA, D. RAES, A. PERRIER, I. ALVES, I. WALTER and R. ELLIOTT, 2006: A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET_0 by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management* 81, 1-22.
- BÖTTCHER, N., J. FANK und T. REIMANN, 2008: Lysimeter – ein Werkzeug zur genauen Erfassung von Wasser- und Stoffkreislaufparametern / 4.5. Ansätze zur Modellierung der Wasserhaushaltskomponenten und des Stickstoffumsatzes in Lysimetern mit dem Modellpaket CoupModel (v. 2.6). – In: FANK, J. & C. LANTHALER (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. *Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen.* – Beiträge z. Hydrogeologie, 56, (in Druck), Graz.
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2000: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. 1-72.
- FANK, J., 2006: Monolithic field lysimeters for precise weighing – a basis for balancing water flow. *Proceedings of the International Symposium "Soil physics and rural water management – Progress needs and challenges"*, September 28-29, 2006, 89-92, Vienna / Austria.
- FANK, J., 2007: Die Gras-Referenzverdunstung: Berechnungsergebnisse in Abhängigkeit von Messgeräten und Messintervall. Bericht zur 12. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimetrie im Konnex zu nationalen und internationalen Regelwerken“, 19.-20. April 2007, 53-56, Irdning.
- FANK, J., 2008 a: Monolithic field Lysimeter – a precise tool to close the gap between laboratory and field scaled investigations. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-04959, 2008 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-04959 EGU General Assembly 2008.
- FANK, J., 2008 b: Comparison of calculated ET_0 to measured Lysimeter grass ET. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-12046, 2008 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-12046 EGU General Assembly 2008.
- FANK, J. and G. v. UNOLD, 2007: High-precision weighable field Lysimeter – a tool to measure water and solute balance parameters. *International Water & Irrigation*, Vol. 27, No. 3, 28-32, Tel Aviv.
- FASTL, G. und J. ROBIER, 2008: Grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen über seichtliegenden gering mächtigen Grundwasserleitern/5.2. Der Großparzellenversuch Wagna und dessen Bewirtschaftung (1987 bis 2003). – In: FANK, J. & Ch. LANTHALER (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. *Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen.* – Beiträge z. Hydrogeologie, 56, (in Druck), Graz.
- FRANKO, U., 1989: C- und N-Dynamik beim Umsatz organischer Substanz im Boden. Dissertation B (Habilitationsschrift), Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.
- FRANKO, U., 1997: Modellierung des Umsatzes der organischen Bodensubstanz. *Archiv für Acker und Pflanzenbau und Bodenkunde-Archives of Agronomy and Soil Science*, 41, 527-547.
- FRANKO, U., B. OELSCHLAGEL und S. SCHENK, 1995: Modellierung von Prozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen. 3, 1-90, Leipzig, UFZ-Bericht.
- FRANKO, U., M. PUHLMANN, H. RINGE, L. PRUTZER, F. BÖHME, J. SEEGER, P. PETERSOHN, O. SPOTT und B. HERRMANN, 2006: Integrierte Methodik zur Bewertung der ökologischen und ökonomischen Entwicklung landwirtschaftlicher Bodennutzung im Bundesland Sachsen-Anhalt. FKZ 76213/01/03, 1-125, UFZ-Bericht.
- FRANKO, U. und S. SCHENK, 2001: Modellierung von Stoffflüssen - Wasser- und Stoffhaushalt in einem Ackerbaugbiet auf der Querfurter Platte. *Mühle*, H. 16, 154-166, Leipzig, UFZ-Bericht.
- GLUGLA, G., 1969: Berechnungsverfahren zur Ermittlung des aktuellen Wassergehaltes und Gravitationswasserabflusses im Boden. *Albrecht-Thaer-Archiv* 13, 371-376.
- JOVANOVIC, N.Z. and J.G. ANNANDALE, 2000: Crop growth model parameters of 19 summer vegetable cultivars for use in mechanistic irrigation scheduling models. *Water Sa* 26(1), 67-76.
- KOITZSCH, R., 1990: Bodenfeuchte- und Verdunstungsmodell BOWA. Unpubl. Bericht.
- KOITZSCH, R. und R. GÜNTHER, 1990: Modell zur ganzjährigen Simulation der Verdunstung und der Bodenfeuchte landwirtschaftlicher Nutzflächen mit und ohne Bewuchs. *Archiv für Acker und Pflanzenbau und Bodenkunde-Archives of Agronomy and Soil Science*, 34, 803-810.
- KÖRSCHENS, M., K. STEGEMANN, A. PFEFFERKORN, V. WEI-SE und A. MÜLLER, 1994: Der Statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 90 Jahren. Stuttgart, Leipzig: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft.
- KRÜGER, J., 2008: Modelling of plant-relevant processes of organic farming using the model CANDY including the plant module SI-WAPFLAN at the example of Bad Lauchstädt. Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Leipzig.
- ROCK., G. und J. FANK, 2008: Lysimeter – ein Werkzeug zur genauen Erfassung von Wasser- und Stoffkreislaufparametern / 3.1. Wägbare monolithische Feldlysimeter in Wagna: Messdatenerfassung und Auswertekonzepte. – In: FANK, J. & C. LANTHALER (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. *Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen.* – Beiträge z. Hydrogeologie, 56, (in Druck), Graz.
- TIETZ, C., 2008: Quantifizierung der Rhizodeposition des Winterweizens. Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Leipzig.
- VOLK, M., U. FRANKO, F. HERZOG, T. SCHMIDT und M. NEUBERT, 2000: Modellierung des Einflusses von Landnutzungsänderungen auf die Grundwasserquantität und -qualität am Beispiel des Torgauer Raumes. *UFZBericht*, 24, 36-38, Leipzig.
- VON UNOLD, G. and J. FANK, 2008: Modular Design of Field Lysimeters for Specific Application Needs. *Water Air Soil Pollut: Focus* (2008), 8, 233-242.
- WONNEBERGER, C. und F. KELLER, 2004: Gemüsebau. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.