

Anwendung des Modells MIKE SHE am Lysimeterstandort Wagna

Christian Reszler^{1*} und Johann Fank¹

Zusammenfassung

In dieser Studie wird das häufig verwendete Modell MIKE SHE am Standort eines Lysimeters am Versuchsfeld Wagna in der Südsteiermark getestet. Das Modell beinhaltet physikalisch basierte Ansätze zur Beschreibung der Verdunstung und der Wasserbewegung im Boden. Die Berechnung in der ungesättigten Zone erfolgt eindimensional, in vertikaler Richtung. Die umfangreichen Daten bzw. Messungen am Lysimeter zu Vegetationseigenschaften (LAI, Pflanzenwachstum, Fruchtfolge) und zu bodenphysikalischen Eigenschaften werden zur Parametrisierung des Modells herangezogen. Ziel ist der Test der Simulation der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone sowie der Verdunstungs- und Transpirationsansätze im Modell anhand eines Vergleichs mit gemessenen Grundwasserneubildungsraten sowie mit gemessenen Wassergehalten (Bodenfeuchte) in verschiedenen Bodentiefen. Außerdem werden Aufschlüsse über die Sensitivität der einzelnen Module und Parameter in MIKE SHE gewonnen. Dies dient dazu, die geeigneten Parameter auszuwählen, die für eine mögliche Kalibrierung des Modells auf der Punktskala herangezogen werden können.

Schlagwörter: ungesättigte Zone, Modellierung, Lysimeter

Summary

This study presents the application and test of the widely used model MIKE SHE at the Lysimeter in Wagna in Southern Styria (Austria). The model contains physical based algorithms for the representation of evapotranspiration and water movement in the unsaturated zone. For the calculation in the unsaturated zone the one-dimensional (vertical) Richards-equation is used. At the Lysimeter comprehensive data of vegetation, i.e. cultivation types, and soil hydraulic properties are available to parameterise the model. Aim of the study is to test the water movement simulation in the unsaturated zone and the evaporation and transpiration modules by a comparison with measured groundwater recharge rates and measured soil water contents (soil moisture) in different soil depths. A sensitivity study of the modules and parameters in the model MIKE SHE is performed to select certain parameters that can be used for calibration at the point scale.

Keywords: unsaturated zone, modelling, lysimeter

Einleitung

Physikalisch basierte, flächendifferenzierte Modelle werden häufig zur Simulation der Grundwasserneubildung und des Stoffeintrags in das Grundwasser herangezogen. Zur Validierung derartiger Modelle stehen selten umfangreiche Daten, vor allem auf der regionalen Skala, zur Verfügung. An einem Lysimeter besteht die Möglichkeit, auf der Punktskala nicht nur die simulierte Sickerwasserwassermenge und reale Verdunstung sondern auch - je nach vorhandenen Messeinrichtungen - interne Modellzustandsgrößen, wie Bodenfeuchte (volumetrischer Wassergehalt) oder Matrixpotential zu testen. Ziel dieser Studie ist die Anwendung des für Wasserhaushaltsuntersuchungen häufig verwendeten Modells MIKE SHE (ABBOTT et al. 1986, REFSGAARD und STORM 1995) an den Daten des Lysimeters Wagna in der Südsteiermark. Dadurch sollen generell die betreffenden Modellansätze und -parameter sowie einzelne Ergebnisse auf ihre Plausibilität getestet werden. Am Versuchsfeld in Wagna wurden 2004 zwei monolithische, wägbare Präzisionslysimeter mit parallel geschalteten, bodenhydrologischen Messprofilen installiert (FANK und VON UNOLD

2007). Die hier vorgestellten Arbeiten werden anhand der Daten des Präzisionslysimeters mit konventioneller Bewirtschaftung durchgeführt und konzentrieren sich auf die Berechnung der Wasserbewegung. Der Stofftransport wird hier nicht betrachtet.

Lysimeterdaten

Als Testgröße für die Modellsimulationen dienen erstens Messungen des volumetrischen Wassergehaltes (Bodenfeuchte) mittels TDR-Sonden in 35 cm, 60 cm, 90 cm und 180 cm Tiefe. Zweitens ist die Sickerwassermenge verfügbar. Mittels eines Saugkerzenrechens wird in Wagna die Sickerwassermenge in 180 cm Tiefe entnommen. Der angelegte Unterdruck entspricht dem Matrixpotential, welches durch das bodenhydrologische Messprofil neben dem Lysimeter in gleicher Tiefe gemessen wird.

Aussaat und Entwicklungsstadium der angebauten Früchte ist – auch aufgrund vor Ort installierter Kameras – genau bekannt. Zusätzlich sind aus einer kurzen Periode Messungen des Blattflächenindex LAI von Hand mit dem sogenannten © Plant Canopy-Analyzer verfügbar. Es wurden im Sommer

¹ Joanneum Research, Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

* Ansprechpartner: Dr. Christian Reszler, christian.reszler@joanneum.at

2009 bei Kürbis und im Sommer 2010 bei Mais mehrere Punktmessungen am Lysimeter und in der Umgebung des Lysimeters durchgeführt.

Bezüglich Bodenphysik sind detaillierte Untersuchungen und Auswertungen am Lysimeter verfügbar. Aus einer Kombination von verschiedenen Datengrundlagen (bodenphysikalische Laboruntersuchungen am Bundesamt für Wasserwirtschaft in Petzenkirchen, stationär und instationär, Auswertung der *in situ* Messungen von Wassergehalt und Saugspannung im Lysimeter und im bodenhydrologischen Messprofil) wurde eine Spannbreite des funktionalen Zusammenhangs zwischen Saugspannung und Wassergehalt (pF-Kurve) bzw. zwischen hydraulischer Leitfähigkeit und Wassergehalt (ku-Kurve) in den Bodentiefen der einzelnen TDR Sonden abgeleitet.

Als meteorologische Eingangsdaten wurden Tageswerte von Niederschlag und Temperatur der Stationen direkt am Lysimeter verwendet. Für den Niederschlag wurden die Daten der ZAMG Station (Wippe in 1 m Höhe) herangezogen. Die Temperaturdaten stammen von der vom Joanneum Research betriebenen Wetterstation. Zusätzlich benötigt das Modell als Input Zeitreihen der potentiellen Verdunstung. Hierfür wurde aus den Daten der Station des Joanneum Research die Grasreferenzverdunstung ET₀ nach PENMAN-MONTEITH (FAO, ALLEN et al. 1998) schon vorab berechnet, ebenfalls auf Tagesbasis. Der Untersuchungszeitraum in dieser Arbeit ist November 2004 bis Ende 2009. Der Beginn

der Simulation ist der 1.1.2004; die Vorlaufzeit für die kontinuierliche Berechnung (Warm-up) beträgt somit etwa ein Jahr.

Modell

Im Modell MIKE SHE sind zur Beschreibung des Wasserkreislaufs verschiedene teilweise auf physikalische Ansätze basierende Module gekoppelt. In dieser Arbeit wurde für die Berechnung der ungesättigten Zone die volle eindimensionale Richards-Gleichung verwendet, sowie der Mualem-Van Genuchten Ansatz zur Beschreibung der pF- und ku-Kurven. Der Verdunstungsmodul basiert auf KRISTENSEN und JENSEN (1975). In diesem wird anhand empirischer Ansätze aus den Parametern LAI und effektiver Durchwurzelungstiefe die Verdunstung hierarchisch, d.h. nacheinander Interzeptionsverdunstung, Bodenverdunstung sowie Wasseraufnahme durch Pflanzen und Transpiration, berechnet. Für die Flächenverteilung der Wurzeln je nach Bodentiefe sind generelle funktionelle Annahmen wählbar. Ein detailliertes Grundwasserströmungsmodell für die gesättigte Zone wurde hier nicht verwendet; die untere Randbedingung (Grundwasserspiegel) wurde als stationär angenommen. Der Grundwasserspiegel liegt in Wagna im Mittel etwa 4 m unter Gelände. Für die vertikale Diskretisierung der Berechnung wurde für die Feinbodenzone (bis 70 cm Tiefe) eine Zellweite von 1 cm und für den Schotter bis zur Tiefe der Sickerwasserentnahme eine Zellweite von 2 cm gewählt.

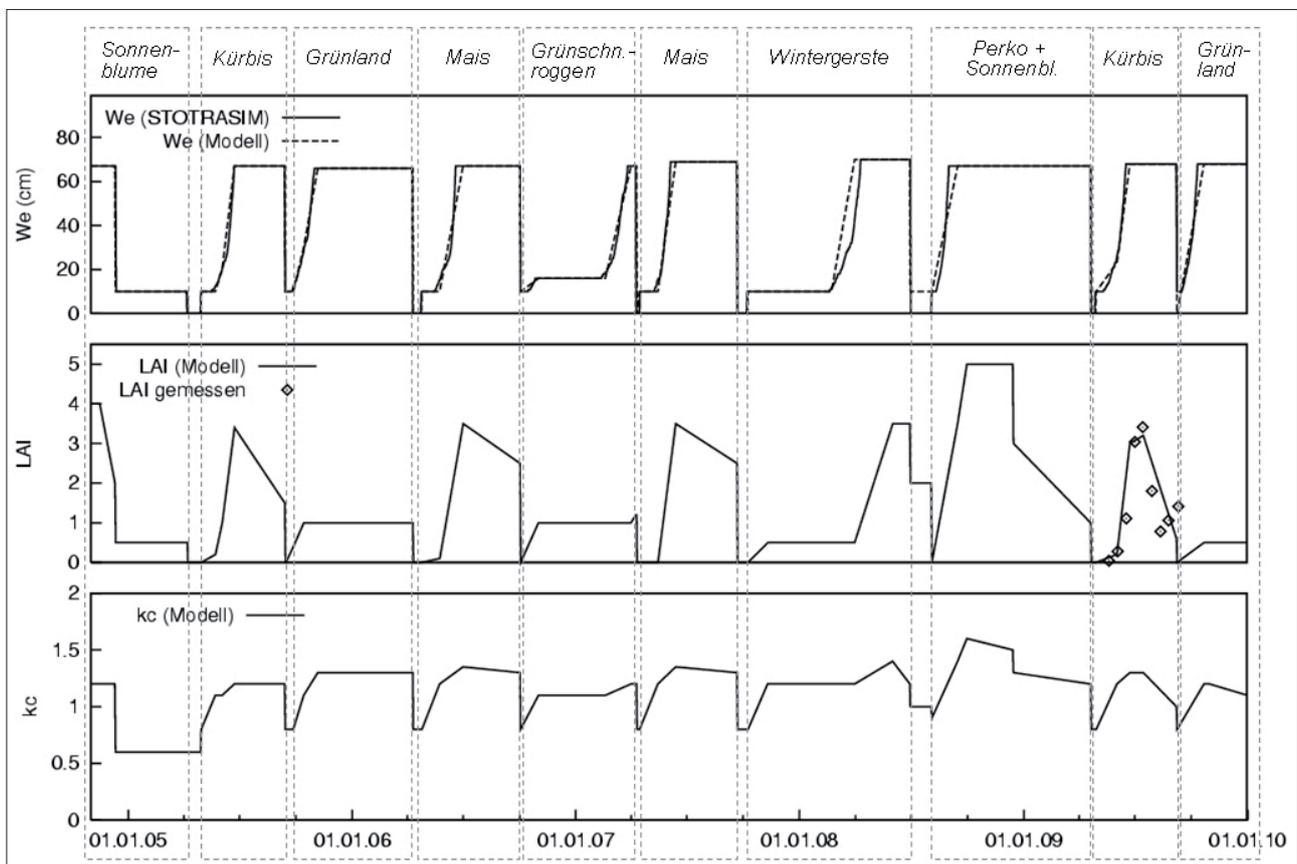


Abbildung 1: Fruchtfolge am Lysimeter und gewählte Verdunstungsparameter im Modell.

Parametrisierung und Kalibrierung

Bei der Parametrisierung bzw. Implementierung der Informationen vom Lysimeter wurde folgendermaßen vorgegangen: Im Verdunstungsmodul im Modell werden die Parameter LAI, effektive Durchwurzelungstiefe W_e und Crop-Faktor kc benötigt. Die Dynamik dieser Parameter wurde aus der im Detail bekannten Bewirtschaftung (Fruchtfolge) am Lysimeter abgeleitet. Zur Abschätzung der Durchwurzelungstiefen wurden zusätzlich vorhandene Berechnungen mit dem Modell STOTRASIM (FEICHTINGER 1998), welches das Pflanzenwachstum abhängig von Frucht und Bodenverhältnissen simuliert, herangezogen. Für den LAI wurden gemäß der Fruchtfolge typische Werte aus der Literatur gewählt. Als Anhaltspunkt dienen aber auch die Messungen des LAI, als Mittelwert der einzelnen Punktmessungen, für den Kürbis im Sommer 2009 und den Mais im Sommer 2010 (Zeitraum nicht in Berechnung inkludiert). Beispielsweise beträgt der maximale LAI für Mais im Sommer rd. 3.5. Maximalwert und Dynamik des Crop-Faktors kc wurden gemäß der typischen Wachstumsphasen in Anlehnung an die FAO Richtlinien (ALLEN et al. 1998) und in Konsistenz mit der zeitlichen Abfolge der anderen Parameter gewählt. *Abbildung 1* zeigt die gewählten Verdunstungsparameter im Modell gemäß der Fruchtfolge am Lysimeter.

Tabelle 1 zeigt die verwendeten bodenphysikalischen Parameter für die einzelnen Bodentiefen als Spannbreite aus den verschiedenen Auswertungen. Vor allem für den Parameter α ist der Streubereich im Schotteruntergrund (90 cm und 180 cm Tiefe) sehr groß. Mit verschiedenen Kombinationen der Parameter wurden nun die Simulationen durchgeführt. Zur Verringerung der Anzahl der Berechnungen wurde vorerst der Fokus auf die oberen und unteren Grenzen gelegt und versucht, eine bestmögliche Anpassung (manuell) an die gemessene Bodenfeuchte bzw. volumetrischen Wassergehalt in den verschiedenen Tiefen zu erzielen. *Abbildung 2* zeigt den Vergleich von Messung und Simulation anhand der Parameter, die in *Tabelle 1* fett herausgehoben sind. Mit diesem Parametersatz konnte in allen Bodentiefen die generelle Dynamik der Bodenfeuchte („Vol. wc “) sehr gut wieder gegeben werden. Lediglich in 35 cm Tiefe sind Unterschiede in der Dynamik im Bereich der Sättigung erkennbar: Die Messungen zeigen, dass der im Labor abgeleitete maximal mögliche Wassergehalt (θ_{sat}) von 0.41 nicht annähernd ausgeschöpft wird. In der Simulation zeigen sich hingegen Spitzen im Bereich von 0.38 – 0.39. Dies deutet darauf

Tabelle 1: Werte der bodenphysikalischen Parameter. Wenn sich aus der Kombination der verschiedenen Auswertungen eine Spannbreite ergibt, dann ist in fett jener Parameterwert gekennzeichnet, der für die Simulation in *Abbildung 2* (Abstimmung auf die gemessene Bodenfeuchte) verwendet wurde.

| Tiefe | θ_{sat} von - bis | θ_{res} von - bis | α von - bis | n von - bis | $ksat$ (m/s) |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| 15 cm | 0.39 | 0.16 | 0.05 | 1.33 | $5 \cdot 10^{-6}$ |
| 35 cm | 0.38 - 0.41 | 0.16 - 0.19 | 0.005 - 0.04 | 1.27 - 1.55 | $6.5 \cdot 10^{-6}$ |
| 60 cm | 0.44 | 0.16 | 0.035 - 0.065 | 1.2 - 1.4 | $6.7 \cdot 10^{-6}$ |
| 90 cm | 0.2 | 0.04 | 0.09 - 0.25 | 1.4 - 1.6 | $5 \cdot 10^{-5}$ |
| 180 cm | 0.2 | 0.03 | 0.05 - 0.25 | 1.6 - 1.9 | $5 \cdot 10^{-4}$ |

hin, dass in dieser Bodenzone, vor allem im Bereich der Sättigung, ein anderes Porensystem wirkt als die aus dem Labor erhaltenen Parameter beschreiben. Im Labor wurden die Messungen an Stechzylindern anhand der reinen Matrix mit vorhandenen Bioporen, jedoch ohne Grobmaterial oder eventuell vorhandenen Grobporen, durchgeführt.

Die gemessene Bodenfeuchte im Schotter (90 cm bzw. 180 cm in *Abbildung 2*) zeigt eine recht starke Dynamik. Um diese Dynamik wieder zu geben, wurden die Werte für α an der oberen Grenze der Spannbreite aus den bodenphysikalischen Untersuchungen angesetzt. Zusätzlich ist im Diagramm für die Tiefe von 90 cm zu erkennen, dass jeweils in den Sommermonaten in den Jahren 2006, 2007 und 2008 die Austrocknung im Modell nicht entsprechend abgebildet wird. Bei diesen Monaten handelte es sich um sehr trockene Phasen, in welchen der Mais in den Jahren 2006 und 2007 und die Wintergerste bzw. danach noch die Sonnenblumen im Jahr 2008 bis in die Zone unterhalb des Feinbodens wurzeln und im Schotter gespeichertes Wasser entziehen können. Die effektive Wurzeltiefe wurde im Modell jedoch mit der Tiefe des Feinbodens bei etwa 70 cm begrenzt (siehe *Abbildung 1*).

Während die Anpassung an die Bodenfeuchte sehr gut gelingt, zeigt sich hingegen bei einer Betrachtung der Sickerwassermengen, dass die gemessene Dynamik mit dem Modell mit dem verwendeten Parametersatz (fett in *Tabelle 1*) nicht entsprechend abgebildet werden kann. Für die Abstimmung auf die Sickerwassermenge müssen daher die Parameter verändert werden. Hierfür wurde eine Parameterstudie durchgeführt und schließlich der Fokus auf die Parameter im Schotteruntergrund (> 70 cm) gelegt. Generell ist die Parametrisierung im Schotter, aufgrund der natürlich vorliegenden Heterogenität und der dadurch bedingten möglichen Streubreite bei der Probenahme und der Anordnung der *in situ* Sensoren als unsicher einzuschätzen, was sich auch in der hohen Spannbreite aus den verschiedenen Auswertungen zur Bodenphysik in *Tabelle 1* zeigt. Die Parameter für die Feinbodenzone wurden unverändert gelassen. *Abbildung 3* zeigt einen Vergleich der Simulationen anhand der veränderten, auf die Sickerwasserdynamik abgestimmten Parameter („sim SW“) mit den Messungen und den Simulationen anhand der ursprünglichen Parameter („sim Bf“). *Tabelle 2* zeigt dazu die entsprechenden Parameterwerte. Für die Anpassung der Simulation an die Sickerwasserdynamik wurde vor allem der Parameter α verändert. Ein größeres α , wie für die Anpassung an die Bodenfeuchtedynamik notwendig, bewirkt in der Simulation generell eine verzögerte Reaktion bzw. mehr Speicherung im Boden (siehe vergrößert heraus gezeichnete Periode in *Abbildung 3*, SW). Ein höheres Speichervermögen drückt sich auch in einer höheren Dynamik der simulierten Bodenfeuchte aus. Zur Wiedergabe der sehr starken zeitlichen Dynamik der Sickerwassermenge ist jedoch ein um Größenordnungen geringes α notwendig. Der Wert liegt eher im Bereich der unteren Grenze der Spannbreite. Der Parameter n beeinflusst in den Simulationen hauptsächlich das Niveau der Bodenfeuchte und wurde nicht maßgeblich verändert. Zusätzlich war es aber auch notwendig, die gesättigte Leitfähigkeit $ksat$ im Schotter jeweils um eine Zehnerpotenz höher anzusetzen, damit auch die steilen Spitzen in der

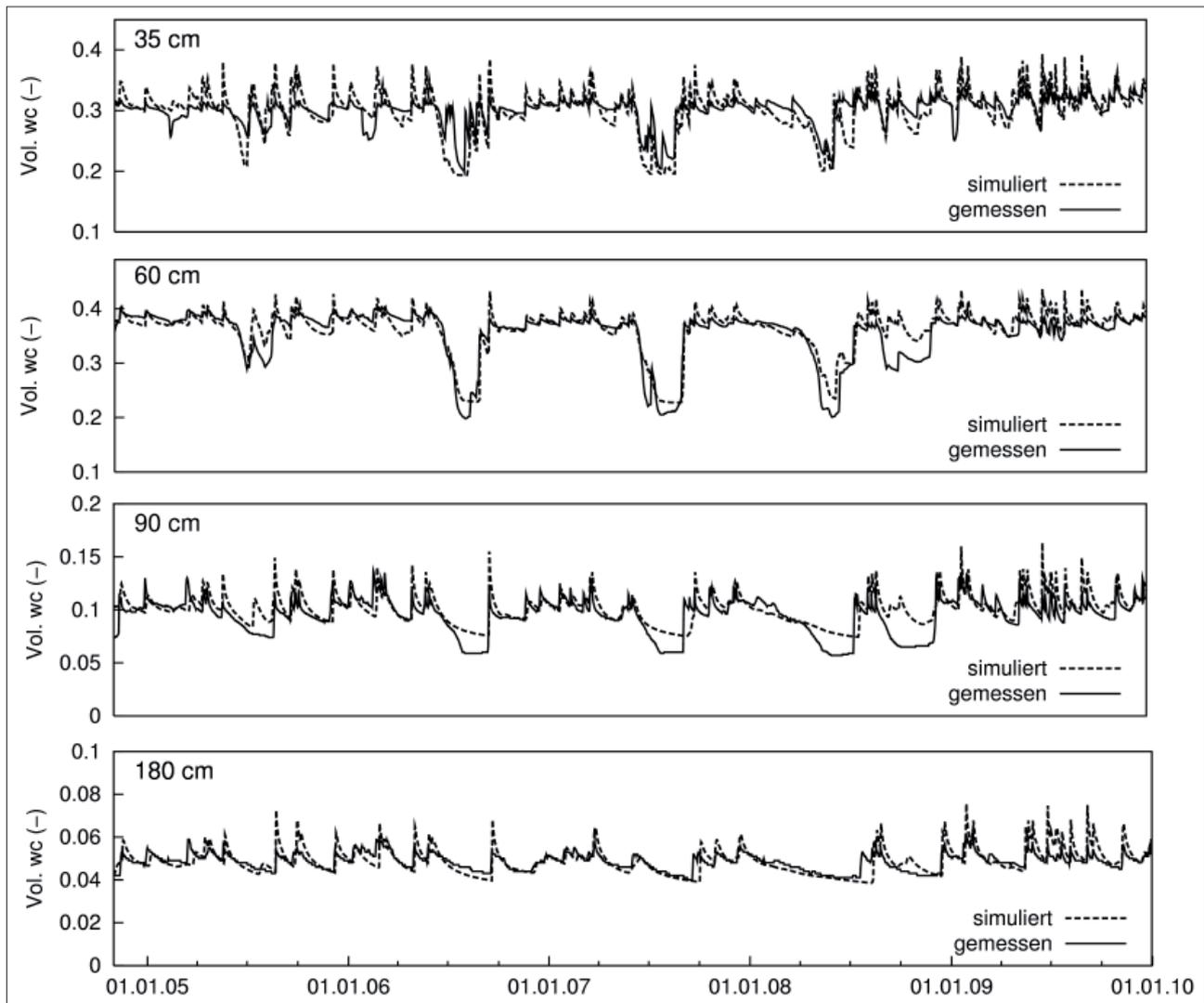


Abbildung 2: Abstimmung der Simulation auf die gemessene Bodenfeuchte (Vol. wc) in den einzelnen Bodentiefen (Parametersatz aus Tabelle 1, fett).

Tabelle 2: Mualem-Van Genuchten Parameter für den Schotteruntergrund (> 70 cm Tiefe) gemäß der beiden Anpassungskriterien Bodenfeuchte (Bf) und Sickerwasser (SW).

| Tiefe | Kriterium | θ_{sat} | θ_{res} | α | n | $ksat$ (m/s) |
|--------|-----------|----------------|----------------|----------|-----|-------------------|
| 90 cm | Bf | 0.2 | 0.04 | 0.25 | 1.4 | $5 \cdot 10^{-5}$ |
| | SW | | | 0.09 | 1.6 | $5 \cdot 10^{-4}$ |
| 180 cm | BF | 0.2 | 0.03 | 0.25 | 1.9 | $5 \cdot 10^{-4}$ |
| | SW | | | 0.05 | 1.6 | $5 \cdot 10^{-3}$ |

Sickerwasserdynamik wieder gegeben werden können. Die maximalen Werte liegen eher in der Größenordnung von horizontalen Leitfähigkeiten im Grundwasser; für die vertikale Wasserbewegung scheinen diese zu hoch.

Durch die veränderten Parameter im Schotteruntergrund (90 bzw. 180 cm Tiefe) ergibt sich eine recht gute Anpassung an die Sickerwasserdynamik, jedoch zeigt sich eine zu geringe Dynamik in der simulierten Bodenfeuchte in diesen Tiefen. Das heißt, die Wasserspeicherung im Schotteruntergrund wird nicht entsprechend wieder gegeben. Unter Verwendung eines einzigen Parametersatzes für den Schotteruntergrund

ist es mit dem Modell also nicht möglich, beide Anpassungskriterien gleichzeitig zu erfüllen.

Vergleichsrechnung mit allgemeiner Information über Landnutzung und Boden

Bei regionalen Studien sind in der Regel derartige detaillierte Informationen zur Parametrisierung wie bei einem Lysimeter nicht für jede Raumeinheit verfügbar. In dieser Arbeit wurden daher zum Vergleich auch Simulationen durchgeführt anhand von Parametern, die üblicherweise flächenhaft vorhanden sind oder aus der Literatur abgeleitet werden können. Für die Dynamik des LAI, der effektiven Wurzeltiefe W_e und des Crop-Faktors k_c wurde ein typischer Jahresgang, angelehnt an Werte in der Literatur (z. B. ALLEN et al. 1998) gewählt. Die Fruchtfolge wird als nicht bekannt angenommen, wie es in regionalen Studien oft der Fall ist. Es wurde daher für alle Jahre ein gleicher Jahresgang gewählt, der einer Mischung aus verschiedenen Anbauformen entspricht: Der LAI bewegt sich zwischen 0.2 und 0.5 im Winter und erzielt sein Maximum mit 4.5

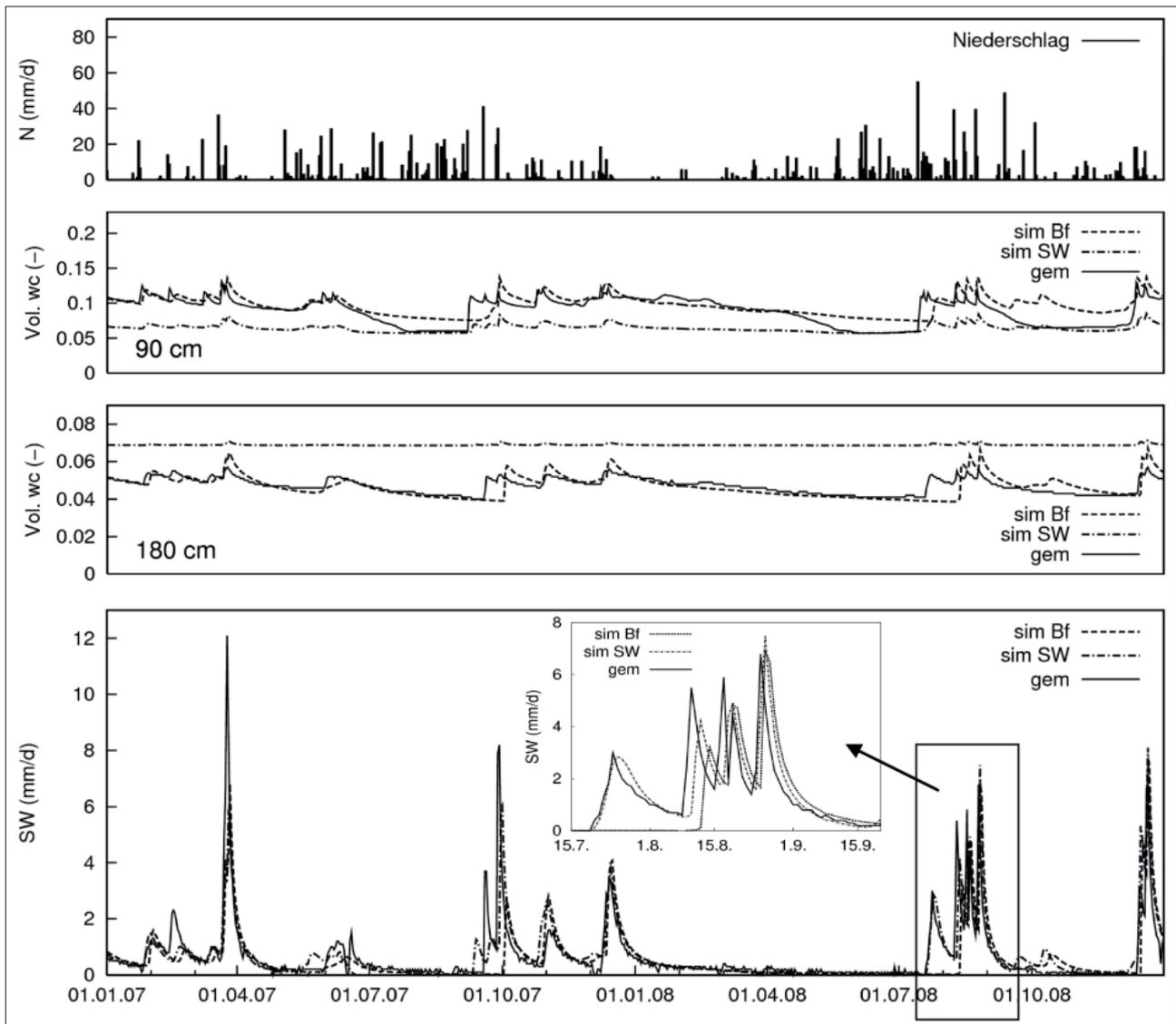


Abbildung 3: Simulationen bei Anpassung der Parameter an die Bodenfeuchtedynamik (sim Bf) bzw. Sickerwasserdynamik (sim SW) und Vergleich mit den Messungen.

im Sommer, mit einem annähernd linearen Übergang in den Zwischenmonaten. In ähnlicher Weise wurden We und kc gewählt, mit $We = 10$ cm und $kc = 0.4$ bei Aussaat und einem Maximum von $We = 80$ cm und $kc = 1.35$ im Sommer.

Zur Bodenphysik wurden Daten der Manuskriptkarte der österreichischen Bodenkartierung, welche die Grundlage für die österreichische Bodenkarte (eBod) darstellt, herangezogen. Anhand der Bodengrundparameter (Kornverteilung, Humusanteil und Grobanteil) wurden aus den Tabellen nach AG BODEN (1994) für jede Bodenzone die bodenphysikalischen Parameter Feldkapazität (FK), Gesamtporenvolumen (GPV bzw. θ_{sat}) und permanenter Welkepunkt (PWP bzw. näherungsweise θ_{res}) sowie die gesättigten Leitfähigkeiten $ksat$ abgeleitet. An die drei Wassergehalte wurde dann eine Funktion nach Mualem-Van Genuchten angepasst. Tabelle 3 zeigt die verwendeten Parameter. Für den Schotteruntergrund (> 110 cm) wurden jene Parameter gewählt, die aus der Abstimmung auf die Sickerwasserdynamik gewonnen wurden (Tiefe 180 cm, Variante SW in Tabelle 2).

Abbildung 4 zeigt die Monatssummen der Sickerwassermenge, simuliert mit der oben beschriebenen Parametrisierung (strichliert, Dreiecke) und anhand der auf die gemessene Sickerwassermenge abgestimmten Parameter (grau, Rauten) im Vergleich zur gemessenen Sickerwassermenge (schwarz, durchgezogen, Rauten). Während nach Abstimmung auf die Sickerwassermenge die Übereinstimmung der Simulation mit der Messung recht gut ist (kalibriert), ergeben sich bei der Simulation anhand der allgemeinen Informationen deutliche Unterschiede. Eine Systematik der Abweichungen zur Messung bzw. zur kalibrierten Simulation ist nicht zu erkennen; je nach Anbauform und Bodenspeicherung ergeben sich jeweils Über- und Unterschätzungen in den monatlichen Sickerwassermengen.

In Tabelle 4 sind schließlich die Ergebnisse der Sickerwassermenge aus den einzelnen Simulationen auf Jahresbasis den Messungen gegenübergestellt. Im 5-jährigen Mittel ist die auf die Bodenfeuchte abgestimmte Simulation ähnlich der Messung, die auf Sickerwasser abgestimmte Simulation

Tabelle 3: Bodenphysikalische Parameter Feldkapazität (FK), Gesamtporenvolumen (GPV) und permanenter Welkepunkt (PWP), die gesättigte Leitfähigkeiten $ksat$ sowie die Mualem-Van Genuchten Parameter α und n , hergeleitet aus den Boden Grundparametern und AG BODEN (1994).

| Tiefe (cm) | Abk. AG Boden | Humus-Klasse | GA-Klasse | FK | GPV | PWP | α | n | $ksat$ (m/s) |
|------------|---------------|--------------|-----------|------|------|------|----------|------|---------------------|
| 0-20 | Slu | h3 | G0 | 0.38 | 0.46 | 0.15 | 0.015 | 1.7 | $1.3 \cdot 10^{-6}$ |
| 20-80 | Ls2 | h2 | G0 | 0.36 | 0.44 | 0.2 | 0.025 | 1.55 | $2.3 \cdot 10^{-6}$ |
| 80-110 | Lt2 | h1 | G0 | 0.4 | 0.45 | 0.25 | 0.02 | 1.5 | $1.0 \cdot 10^{-6}$ |
| > 110 | Schotter | | | | | | | | |

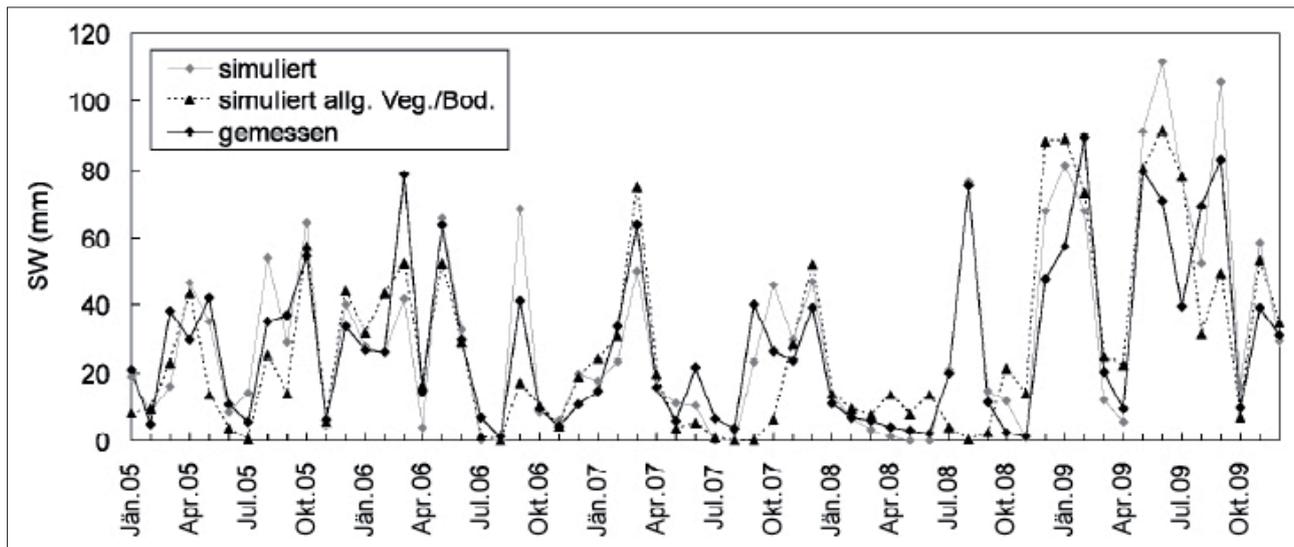


Abbildung 4: Monatssummen der anhand der allgemeinen Parametrisierung simulierten Sickerwassermenge (strichliert, Dreiecke), der Simulation anhand der auf die gemessene Sickerwassermenge abgestimmten Parameter (grau, Rauten) sowie der am Lysimeter gemessenen Sickerwassermenge (schwarz, durchgezogen, Rauten).

Tabelle 4: Zusammenstellung der jährlichen Sickerwassersummen aus den einzelnen Berechnungen („SW“: auf die Sickerwassermenge abgestimmt; „Bf“: auf die Bodenfeuchte abgestimmt). Zum Vergleich ist auch der Niederschlag aufgelistet.

| Jahr | gemessen | simuliert „SW“ | simuliert „Bf“ | simuliert allg. Info. | Niederschlag |
|--------|----------|----------------|----------------|-----------------------|--------------|
| 2005 | 319 | 340 | 321 | 248 | 879 |
| 2006 | 313 | 301 | 263 | 276 | 833 |
| 2007 | 296 | 274 | 241 | 246 | 892 |
| 2008 | 192 | 218 | 185 | 197 | 893 |
| 2009 | 601 | 709 | 693 | 634 | 1360 |
| Mittel | 344 | 368 | 341 | 320 | 971 |

überschätzt die Messung leicht, was in erster Linie an einer Überschätzung in den äußerst nassen Monaten Juni und Juli 2009 liegt (vgl. *Abbildung 4*). Die anhand der allgemeinen Informationen durchgeführte Simulation ergibt im Mittel die geringsten Werte. Alle Ergebnisse schwanken allerdings nur in einem Bereich von ± 24 mm/Jahr um die gemessene Sickerwassermenge (rd. 7 %).

Diskussion und Schlussfolgerungen

Ziel dieser Arbeit war die Anwendung des häufig verwendeten Modells MIKE SHE am Lysimeterstandort Wagna in

der Südsteiermark. Parametrisiert wurde das Modell anhand der umfangreich vorhandenen Daten zur Bewirtschaftung (Fruchtfolge) und Bodenphysik, und die Modellergebnisse wurden anhand der Bodenfeuchte in verschiedenen Bodentiefen und der Sickerwassermenge getestet. Generell zeigte sich, dass die gemessene Bodenfeuchtedynamik anhand der verfügbaren bodenphysikalischen Parameter sehr gut wieder gegeben werden konnte. Vor allem für die obere Feinbodenzone sind die Ergebnisse konsistent und können als recht zuverlässig angesehen werden. Für den Schotteruntergrund musste bei der Parametrisierung von einer großen Bandbreite der Parameter ausgegangen werden. Es zeigte sich, dass es mit dem Modell unter Verwendung eines einzigen Parametersatzes im Schotteruntergrund nicht möglich war, beide Anpassungskriterien gleichzeitig zu erfüllen. Der Parameter α zum Beispiel musste bei Verwendung der Zielgröße Bodenfeuchte an der oberen Grenze gewählt werden, hingegen bei der Zielgröße Sickerwassermenge an der unteren Grenze. Ein höheres α bewirkt in den Simulationen eine höhere zeitliche Dynamik in der Bodenfeuchte, also eine höhere Bodenspeicherung, was mit den Messungen konsistent ist, allerdings auch eine verzögerte und gedämpfte Reaktion des Sickerwassers, was mit den Messungen am Lysimeter nicht übereinstimmt. Die Notwendigkeit der Veränderung der Parameter je nach Zielgröße deutet darauf hin, dass es sich hier um ein komplexes Porensystem aus mehreren Entwässerungswegen handeln

muss, welche bei unterschiedlichen Feuchtebedingungen unterschiedlich aktiviert werden. Beschreibbar wäre es etwa als ein duales System, bestehend aus einem verzögert wirkenden Matrix- und einem rasch entwässernden Makroporen-System, wie beispielsweise von GERKE und VAN GENUCHTEN (1993) oder von ZURMÜHL und DURNER (1996) beschrieben. Die starke Dynamik des Sickerwassers bei gleichzeitiger Wasserspeicherung im Schotteruntergrund deutet in diese Richtung. Dieses System kann hier anhand der Richards-Gleichung und eines einzigen Parametersatzes für die Mualem-Van-Genuchten Beziehung nicht beschrieben werden. Im Modell bedarf es dafür Erweiterungen, etwa um einen Modul für den Makroporenfluss.

Allerdings können diese Ergebnisse erst erzielt und somit diese Aussagen für ein derartiges System erst getroffen werden, wenn Daten über beide Größen – Bodenfeuchte bzw. volumetrischer Wassergehalt und die Sickerwassermenge – vorhanden sind. Die Unterschiede in der Parametrisierung hier zeigen, dass es nicht ausreicht, die Modellrechnungen etwa anhand der Daten eines „virtuellen“ Lysimeters (von KASTANEK 1995 propagiert und in KASTANEK et al. 2001 diskutiert), bei welchem nur der Bodenwassergehalt gemessen und der Wasserfluss aus der Bodenwasseränderung rückgeschlossen wird, zu testen. Hierzu ist ein Lysimeter notwendig, an welchem beide Größen unabhängig gemessen werden.

Der Test wurde durchgeführt auf der Punktskala. Für regionale Studien, für welche derartige Modelle häufig eingesetzt werden, sind selten flächenhafte Daten über Fruchtfolge oder Bodenphysik vorhanden. Zusätzlich wurden daher Vergleichsrechnungen mit Parametern durchgeführt, die aus allgemein verfügbaren Informationen, wie Bodenkarten, oder aus der Literatur abgeleitet werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bilanz über einen längeren Zeitraum zufriedenstellend wieder gegeben werden kann, d.h. dass die Größenordnung der Sickerwassermenge abschätzbar ist. Bei genauerer Betrachtung einzelner Perioden ist jedoch erkennbar, dass die Dynamik nicht entsprechend abgebildet werden kann.

Literatur

- ABBOTT, M.B., J.C. BATHURST, J.A. CUNGE, P.E. O'CONNELL and J. RASMUSSEN, 1986: An introduction to the European Hydrological System – Système Hydrologique Européen, SHE, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *J. Hydrol.*, 87, 61-77.
- AG BODEN, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. - 4. Auflage; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, Hannover.
- ALLEN, R., L.S. PEREIRA, D. RAES and M. SMITH, 1998: Crop evapotranspiration – Guidelines for computing water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 56, Rome, 300 S.
- FANK, J. and G. VON 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.
- FEICHTINGER, F., 1998: STOTRASIM - Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackersandortes. *Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft*, Nr. 7, Wien.
- GERKE, H. and M. VAN GENUCHTEN, 1993: A Dual-Porosity Model for Simulating the Preferential Movement of Water and Solutes in Structured Porous Media, *Water Resour. Res.*, 29(2), 305-319.
- KASTANEK, F., 1995: Kritische Bemerkungen zur Verwendung von Lysimetern. Bericht über die 5. Lysimetertagung „Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone“ am 25. u. 26. April 1995, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 93-102.
- KASTANEK, F., A. ZARTL und P. CEPUDER, 2001: Prinzip und Praxis des virtuellen Lysimeters. Bericht über die 9. Lysimetertagung „Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung“ am 24. und 25. April 2001, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 17-22.
- KRISTENSEN, K. J. and S.E. JENSEN, 1975: A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. *Royal Veterinary and Agricultural University, Nordic Hydrology*, 6, 170-188.
- REFSGAARD, J.C. and B. STORM, 1995: MIKE SHE. In: *Computer Models of Watershed Hydrology*, Singh, V.P., Ed., Water Resources Publications, Colorado, USA, 809-846.
- ZURMÜHL, T. and W. DURNER, 1996: Modeling Transient Water and Solute Transport in a Biporous Soil, *Water Resour. Res.*, 32(4), 819-829.