

Tagungsbeitrag zu:  
Jahrestagung der DBG, Kommission VI  
Titel der Tagung:  
Böden – eine endliche Ressource  
Veranstalter:  
DBG, September 2009, Bonn  
Berichte der DBG  
(nicht begutachtete online-Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **Entwicklung eines empirischen Verfahrens zur Abschätzung der Sickerwasserrate aus dem Boden für Länder des arabischen Raums**

MÖLLER, A., HENNINGS, V. & WOLFER, J.

### **Zusammenfassung**

Nach Vorbild der für den Hydrologischen Atlas von Deutschland angewandten Methodik wurden (Hydro)Pedotransferfunktionen zur Abschätzung der mittleren jährlichen Sickerwasserrate aus Klima-, Boden- und Landnutzungsinformationen für Länder des arabischen Raums abgeleitet. Zu diesem Zweck wurden das Modell CROPWAT und die Klimadatenbank CLIMWAT eingesetzt. Simulationsläufe wurden für Klimastationen aus acht Ländern, drei Landnutzungsarten und unterschiedliche bodenhydrologische Standorteigenschaften durchgeführt. Es werden erste beispielhafte Regressionsgleichungen und Nomogramme präsentiert und Strategien zur Verbesserung dieser vorläufigen Ergebnisse durch zukünftige Untersuchungen aufgezeigt.

*Schlüsselworte:* Sickerwasserrate, Pedotransferfunktionen, Simulationsmodell, CROPWAT, arabische Länder

### **Einführung**

Im Rahmen eines Projekts der Technischen Zusammenarbeit zwischen dem Arab Center for Studies in Arid Zones and Dry Lands (ACSAD, Damaskus/Syrien) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover unter

-----  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover  
E-mail: [andreas.moeller@bgr.de](mailto:andreas.moeller@bgr.de)

dem Titel "Management, Schutz und nachhaltige Nutzung von Grundwasser- und Bodenressourcen" wurde ein Decision Support System (DSS) zum quantitativen Wasserressourcenmanagement entwickelt und in zwei Pilotgebieten getestet, dem Zabadani-Becken in Syrien und dem Berechid-Becken in Marokko (WOLFER et al. 2007). Das DSS besteht aus drei Komponenten: einer projektspezifischen Datenbank, einem Grundwasser-Modell (MODFLOW2000; HARBAUGH et al. 2000) und der WEAP-Software (Water Evaluation and Planning; STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE 2005).

Auf regionaler Maßstabsebene wird für eine Wasserbilanzbetrachtung vor allem eine Einschätzung langjähriger Mittelwerte der Sickerwasserrate aus dem Boden benötigt. Präzise Informationen über die Wasserbewegung in der ungesättigten Zone sind üblicherweise nur mit Hilfe von Lysimeteranlagen, bodenhydrologische Messungen oder Simulationsmodellen wie SWAP (KROES et al. 2003) zu gewinnen. Um auf zeitaufwändige und kostenintensive Geländemessungen verzichten und Begrenzungen in der Verfügbarkeit von Modellparametern vermeiden zu können, werden alternative Methoden in der Form von empirischen Gleichungen oder Nomogrammen benötigt. WESSOLEK et al. (2008) verwenden für diesen Ansatz den Begriff der "hydro-pedo-transfer functions" (HPTFs). Kennzeichen dieser Verfahren sind, dass die bodenkundlichen und klimatologischen Eingangsdaten einfach zu bestimmen sind bzw. routinemäßig vorgehalten werden, so dass eine breite Anwendung der Regressionsgleichungen in der Praxis gewährleistet ist.

Für Deutschland entwickelten WESSOLEK et al. (2008) exemplarische HPTFs zur Vorhersage langjähriger Mittelwerte der Sickerwasserrate aus dem Boden. Mittels eines Simulationsmodells des Bodenwasserhaushalts bestimmten die Autoren aktuelle Evaporations- und Perkolationsraten für unterschiedliche Klimaregionen, Böden und Landnutzungsarten. Das Spektrum der berücksichtigten Standortvarianten umfasste vier Böden unterschiedlichen Was-

serspeichervermögens, sechs Typen von Grundwasseramplituden, sechzehn Klimastationen, die nach ihrer klimatischen Kennwerte als repräsentativ für die Klimaregionen Deutschlands angesehen werden dürfen, sowie die Nutzungsarten Acker (mit einer typischen Fruchtfolge aus Getreide und Hackfrüchten), Grünland, Nadel- und Laubwald. Resultat waren Simulationläufe für 57.600 Jahre auf Tagesbasis. Die Ergebnisse aller Szenarien wurden mittels multipler Regressionsanalyse ausgewertet und Gleichungen abgeleitet, die eine verlässliche Abschätzung der Zielgröße erlauben. Diese HPTFs wurden zur Erstellung einer landesweiten Karte der mittleren jährlichen Sickerwasserrate aus dem Boden im neuen Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD) (BMU 1998, 2001, 2003) eingesetzt.

### **Material und Methoden**

Im Rahmen des TZ-Projekts zwischen ACSAD und der BGR wurde die vorbildhaft von WESSOLEK et al. (2008) entwickelte Methodik zur Ableitung vergleichbarer Nomogramme und Gleichungen für Länder des arabischen Raums angewendet. Zur Simulation des Bodenwasserhaushalts wurde das Modell CROPWAT (CLARKE et al. 1998) eingesetzt. CROPWAT ist ein von der Land and Water Development Division der FAO zur Bewässerungssteuerung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen entwickeltes Decision Support System. Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration, des Wasserbedarfs der Pflanzen sowie der Bewässerungssteuerung folgt Algorithmen, wie sie in den FAO Irrigation and Drainage Papers Nr. 24 "Crop Water Requirements" und Nr. 33 "Yield Response to Water" dokumentiert sind. Zusätzlich bietet CROPWAT eine modellinterne Parameterbibliothek pflanzenphysiologischer Koeffizienten einschließlich des Kc-Wertes zur pflanzen-spezifischen Modifikation der potentiellen Verdunstung sowie der Durchwurzelungstiefe für 36 weit verbreitete Kulturpflanzen. Alle Berechnungen basieren auf einer täglichen Bodenwasserbilanz und bieten die Möglichkeit verschiedener Optionen zur Bewässerungssteuerung. An grundwasserfernen Standorten ohne Kapillaraufstieg in den Wurzelraum darf CROPWAT trotz sei-

ner Vereinfachungen als gut geeignetes Modell zur Bestimmung der aktuellen Evapotranspiration und der Sickerwasserrate angesehen werden.

Die CROPWAT-Software ist zusammen mit der CLIMWAT-Datenbank über die FAO-Homepage per Download verfügbar. CLIMWAT 2.0 enthält agroklimatische Daten von weltweit über 5.000 Stationen. CLIMWAT bietet langjährige monatliche Mittelwerte von allen sieben Klimaparametern, die für CROPWAT-Anwendungen benötigt werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Daten von 188 meteorologischen Stationen aus acht arabischen Ländern (Marokko, Algerien, Tunesien, Libyen, Ägypten, Jordanien, Libanon, Syrien) verwendet. Zunächst wurden drei für die Region typische Landnutzungsarten (Winterweizen, Zitrusbäume, Weideland) betrachtet. In die Szenariorechnungen einbezogen wurden fünf (fiktive) Bodenprofile unterschiedlicher nutzbarer Feldkapazität des obersten Profilmeters (40, 80, 120, 160, 200 mm). Die nutzbare Feldkapazität wird – anders als unter mitteleuropäischen Klimabedingungen – auf das pF-Intervall von 2,5 bis 4,2 bezogen. In allen Simulationläufen wird ein gleichbleibender Oberflächenabflussanteil angenommen, d.h. der Begriff Niederschlag bedeutet in Abbildung 1 Netto-, effektiver oder infiltrationswirksamer Niederschlag.

### **Ergebnisse und Diskussion**

In Tab. 1 sind die Rahmenbedingungen und zusammengefassten Ergebnisse aller Simulationläufe dieser Studie dargestellt. Im Fall von Weideland werden pauschal nur natürliche Bedingungen ohne Bewässerung betrachtet, im Fall von Zitrusbäumen in Syrien wird pauschal Bewässerung bis zur vollständigen Auffüllung des Bodenfeuchtedefizits und Vermeidung einer Ertragsreduktion simuliert. Der Fall "Zitrusbäume ohne Bewässerung" ist selbstverständlich realitätsfern und nur von theoretischem Interesse; er wurde nur in die Betrachtung mit einbezogen, um einen Vergleichswert zu erhalten. Für Winterweizen wird generell der Verzicht auf jegliche Bewässerung unterstellt.

Tabelle 1: Rahmenbedingungen und Ergebnisse der betrachteten Szenarien

Landnutzung	Gebiet	Zielvariable	Datenbasis	Statistisch signifikante Input-Variablen	Korrelationskoeffizient
Weideland	8 Länder	ETact	n = 940	Prec, awc	$r^2 = 0.93$
		GWR	n = 495	Prec, ETpot, awc	$r^2 = 0.93$
- natürliche Bedingungen -	Syrien	ETact	n = 220	Prec, awc	$r^2 = 0.89$
		GWR	n = 180	Prec, awc	$r^2 = 0.96$
Winterweizen	8 Länder	ETact	n = 940	Prec, awc	$r^2 = 0.91$
		GWR	n = 555	Prec, awc	$r^2 = 0.94$
- ohne Bewässerung -	Syrien	ETact	n = 220	Prec, ETpot, awc	$r^2 = 0.92$
		GWR	n = 185	Prec, awc	$r^2 = 0.97$
Zitrusbäume	8 Länder	ETact	n = 940	Prec, awc	$r^2 = 0.92$
		GWR	n = 490	Prec, awc	$r^2 = 0.93$
- ohne Bewässerung -	Syrien	ETact	n = 220	Prec, ETpot, awc	$r^2 = 0.93$
		GWR	n = 170	Prec, awc	$r^2 = 0.96$
Zitrusbäume - bewässert -	Syrien	ETact	n = 170	Prec, ETpot, Irrig, awc	$r^2 = 1.0$
		GWR	n = 170	Prec, ETpot, Irrig, awc	$r^2 = 1.0$

(ETact = aktuelle Evapotranspiration; GWR = Grundwasserneubildung; Prec = Niederschlag; ETpot = potentielle Evapotranspiration; Irrig = Bewässerung; awc = nutzbare Feldkapazität)

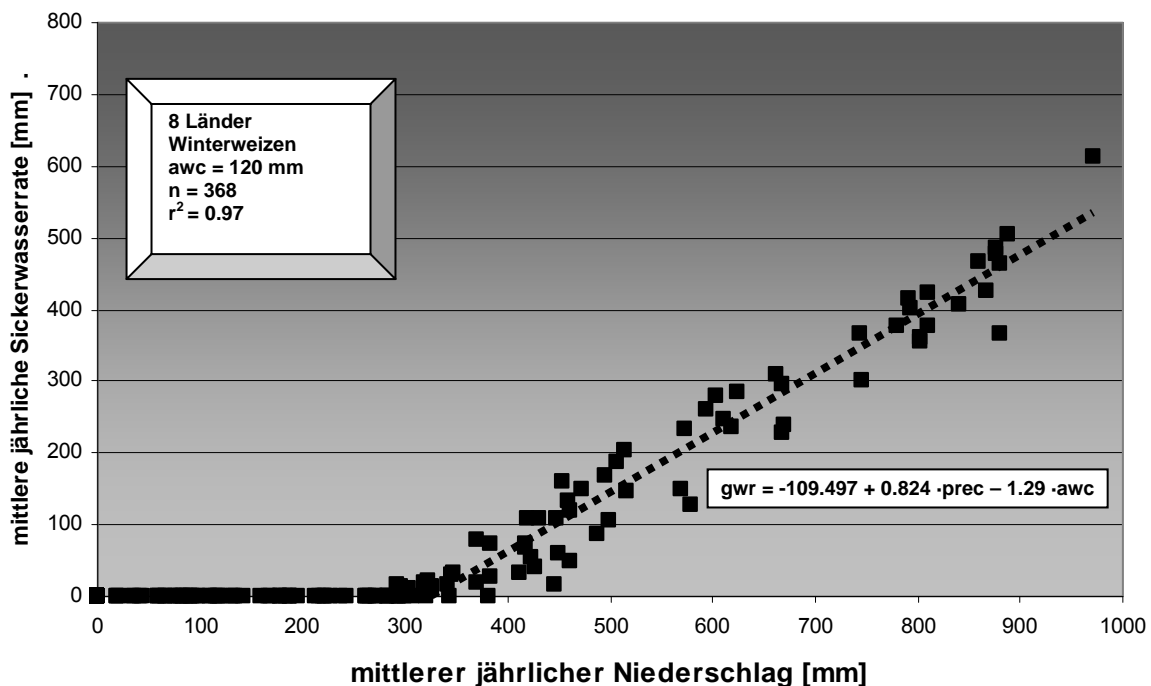


Abb. 1: Jährliche Sickerwasserrate als Funktion des jährlichen Niederschlags für die Landnutzungsart "Winterweizen" und abgeleitete Regressionsfunktion

Zur Vorhersage mittlerer jährlicher Sickerwasserraten reichen lineare Modelle aus, in die nur der Jahresniederschlag und die nutzbare Feldkapazität als unabhängige

Variablen eingehen (Abb. 1). Die Korrelationskoeffizienten in Tab. 1 belegen die allgemein hohe Genauigkeit der abgeleiteten Schätzfunktionen. Im Zuge der Szenario-

betrachtungen wurden Nomogramme für bestimmte Kulturpflanzen und unterschiedliche Bodeneigenschaften, für bestimmte Kulturpflanzen und unterschiedliche Bewässerungsgaben sowie für bestimmte Standorteigenschaften und unterschiedliche Landnutzungsarten entwickelt. Ausgewählte Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt und eine beispielhafte Regressionsgleichung ist in Abb. 1 angegeben. Im letztgenannten Fall setzt Grundwasserneubildung aus Sickerwasser beispielsweise erst dann ein, wenn der effektive, infiltrationswirksame Niederschlag einen Schwellenwert von  $\approx 300$  mm überschreitet. Alle statistischen Ergebnisse und Gleichungen basieren noch auf einer begrenzten Datengrundlage und haben daher zunächst nur vorläufigen Charakter.

### Schlussfolgerungen / Ausblick

Bei der Interpretation der bisherigen Ergebnisse sind die folgenden Einschränkungen zu beachten:

- Der auf Oberflächenabfluss entfallende Niederschlagsanteil ist im Einzelfall nicht bekannt und wird weder durch Modelle simuliert noch empirisch ermittelt.
- Die Ergebnisse besitzen keine Gültigkeit für grundwasserbeeinflusste Böden mit geringem Flurabstand und kapillarem Aufstieg in den Wurzelraum.
- Alle Ergebnisse basieren auf langjährigen monatlichen Mittelwerten agroklimatischer Daten.
- Nomogramme und Gleichungen müssen für jede Landnutzungsart separat ermittelt werden und sind bisher für einige typische mediterrane Kulturpflanzen noch nicht verfügbar.

Mittelfristig sind die folgenden Arbeitsschritte beabsichtigt:

- Entwicklung vergleichbarer Nomogramme/Gleichungen für Oliven und Gemüsekulturen,
- Ersatz CROPWAT-interner Parameter durch regionsspezifische Pflanzenkoeffizienten,
- Nutzbarmachung von Expertenwissen zu regionsspezifischen Bewirtschaftungsweisen (Aussaattermine, Bewässerungspraktiken, ...),

- Verbesserung der Vorhersagemodelle durch Nutzung zusätzlicher Klimadaten (mehnjährige Datensätze hoher zeitlicher Auflösung, einzelne Nass- oder Trockenjahre, ...),
- Validierung der Vorhersageergebnisse an verfügbaren Messergebnissen im Gelände.

### Literatur

- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg.) (1998, 2001, 2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – 1. Lieferung 1998, 2. Lieferung 2001, 3. Lieferung 2003; Bonn.
- CLARKE, D., SMITH, M. & EL-ASKARI, Kh. (1998): CropWat for Windows: User Guide. – Land and Water Development Division of FAO, Institute of Irrigation and Development Studies (IIDS) of Southampton University & National Water Research Center (NWRC) of Egypt. <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/aql/aqlw/cropwat.htm>
- HARBAUGH, A.W., BANTA, E.R., HILL, M.C. & McDONALD, M.G. (2000): MODFLOW-2000. The U.S. Geological Survey Modular Groundwater Model. - User Guide to Modularization Concepts and the Groundwater Flow Process. – Open-File Report 00-92, 121 pp.
- KROES, J.G. & VAN DAM, J.C. (Eds.) (2003): Reference Manual SWAP Version 3.0.3. – Alterra-report 773. Alterra, Wageningen / Niederlande.
- STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE (2005): WEAP - Water Evaluation and Planning System. User Guide for WEAP21. – Stockholm.
- WESSOLEK, G., DUIJNISVELD, W.H.M. & TRINKS, S. (2008): Hydro-pedotransfer functions (HPTFs) for predicting annual percolation rate on a regional scale. – Journal of Hydrology, 356, 17-27.
- WOLFER, J., HUBER, M., HENNINGS, V., AL-SIBAI, M., ABDALLAH, A., EL-HAJII, K. & DECHIECH, M. (2007): Development and Application of a Decision Support System (DSS) for Water Resources Management in Zabadani Basin / Syria and Berrechid Basin / Morocco. – Project Report 2004 - 2008. Technical Cooperation Project No. 2004.2032.3 "Management, Protection and Sustainable Use of Groundwater and Soil Resources". BGR & ACSAD, Hannover & Damascus.