

CANDY vs. STOTRASIM - Simulationsmodelle im Vergleich

Johannes C. Draxler^{1*}, Gernot Klammler¹ und Johann Fank¹

Zusammenfassung

Modelle für die ungesättigte Zone müssen verschiedene Landnutzungsarten und Bodenbearbeitungssysteme unter landwirtschaftlichen Nutzflächen modellieren können, um langfristige qualitative und quantitative Auswirkungen der Stickstoffverlagerung von der ungesättigten Zone in das Grundwasser simulieren zu können. Daher werden das Darcy-Modell SIMWASER/STOTRASIM und das Kapazitätsmodell CANDY unter den vorherrschenden klimatischen, bodenhydrologischen sowie agrartechnischen Bedingungen getestet und verglichen, um ihre Gültigkeit für ein Untersuchungsgebiet zu beweisen. Neben der Überprüfung des Wassertransports in der ungesättigten Zone anhand von Lysimeterdaten der Station Wagna (Österreich) werden auch die Notwendigkeiten für eine regionale Modellierung betrachtet. Beide Modelle ermöglichen eine regionale Anwendung und können an die Lysimeter-Messwerte angepasst werden. Im Untersuchungsgebiet des Murtalquifers scheint der Einsatz von SIMWASER/STOTRASIM auf Grund der Kalibrationsergebnisse des Wasserhaushalts sinnvoller.

Schlagwörter: Evaluierung, Wagna-Lysimeter, Input-Daten, regionale Modellierung

Summary

Models for unsaturated water flow have to simulate different land use and tillage scenarios on arable land to evaluate qualitative and quantitative effects of nitrogen leaching into groundwater. Thus, we assess Darcy model SIMWASER/STOTRASIM and capacity model CANDY under the predominant climatic, soil hydraulic and agrarian conditions in the investigation area. On the one hand we look on water balance in unsaturated soil with data of lysimeter station in Wagna (Austria) on the other hand we compare all required input data and availability for regional modelling. Summarising, the concepts of the models are qualified for a regional application and both simulations show high agreements to lysimeter observations. An application of SIMWASER/STOTRASIM still appears more feasible for the Murtal aquifer because of calibration results of water balance.

Keywords: evaluation, Wagna-Lysimeter, Input-Data, regional modelling

Einleitung

Stickstoffeinträge in das Grundwasser von diffusen landwirtschaftlichen Quellen sind im Murtal von Graz bis Radkersburg (Österreich) sehr hoch (FANK et al. 2010). Um den Qualitätsstandard der Grundwasserressourcen für die Zukunft sicher zu stellen, müssen alternative Landnutzungsstrukturen für Wasserschongebiete gefunden werden. Die regionalen Auswirkungen solcher Landnutzungsänderungen auf die Wasserbilanz und den Stickstoffeintrag ins Grundwasser können über Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelle untersucht werden. Die meisten physikalischen Modelle benötigen aber auch bestimmte Input-Parameter zur regionalen Modellierung, welche aufgrund der räumlichen Heterogenität und der zeitlichen Variabilität oft nicht vorhanden sind (DREYHAUPT 2004, 2-3). Ein Vergleich erfolgt in dieser Arbeit zwischen dem Darcy-Modell SIMWASER/STOTRASIM und dem Kapazitätsmodell CANDY.

Zur Evaluierung dieser zwei Modelle, mit dem die wesentlichen Prozesse unter landwirtschaftlichen Flächen simuliert werden können, werden sie einerseits mit Hilfe von Lysimeterdaten verifiziert und auch die notwendigen

Eingangsdaten für eine regionale Modellierung erhoben. Auf der Lysimeterskala stehen hierbei Daten von zwei Präzisionslysimetern in Wagna (Österreich) zur Verfügung. Neben Bodenfeuchte- und Sickerwasserdaten sind zahlreiche bodenphysikalische Informationen und vor Ort aufgezeichnete meteorologische Daten vorhanden. Außerdem werden die notwendigen Input-Daten für eine regionale Modellierung erhoben. Was sind die jeweiligen Vorteile aber auch die Einschränkungen der beiden Modelle bei der regionalen Modellierung bzw. welches Modell gibt einen besseren Überblick über die dominierenden Prozesse im Wasserfluss und in weiterer Folge auch beim Stickstofftransport unter den lokalen Randbedingungen wieder?

Material und Methoden

Basierend auf dem Bodenwasserhaushaltsmodell SIMWASER (STENITZER 1988) ist STOTRASIM (FEICHTINGER 1998) ein Stofftransportmodell für die ungesättigte Zone. Im Tageszeitschritt werden die Stickstoffdynamik und teilweise die Kohlenstoffumsetzungen unter landwirtschaftlich genutzten Böden in eindimensionaler vertikaler Richtung simuliert. STOTRASIM modelliert die wesentlichen

¹ JOANNEUM RESEARCH, RESOURCES - Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, Elisabethstraße 18/II, A-8010 GRAZ

* Ansprechpartner: Mag. Johannes C. Draxler, johannes.draxler@joanneum.at



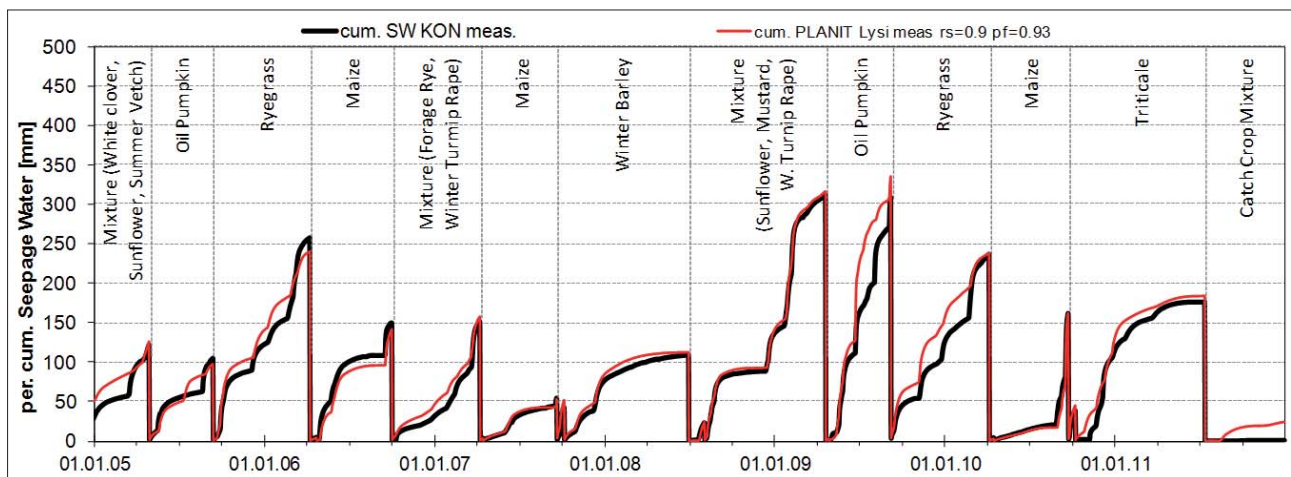


Abbildung 1: Vergleich der gemessenen und simulierten Sickerwassermengen am konventionellen Lysimeter in Wagna mit SIMWASER/STOTRASIM

Stickstoffprozesse und berechnet so den Stickstoffaustrag, der an die Grundwasserneubildung gekoppelt ist. Im Modell wird einzig Nitrat als gelöste Komponente gerechnet, andere Stickstoffkomponenten werden in Nitrat umgerechnet. SIMWASER führt die Simulation des Bodenwasserflusses über Konvektion, Diffusion und Dispersion durch. Dabei beschreibt das Modell die Wechselbeziehungen zwischen dem Bodenwasser und dem Pflanzenwachstum abhängig von den klimatischen, pflanzenphysiologischen und bodenphysikalischen Parametern. Das Modell basiert auf der Darcy-Buckingham-Gleichung in Verbindung mit der Kontinuitätsbedingung. Eine obere Randbedingung für den Wassertransport ergibt sich über die tägliche Bilanz von Niederschlag, Verdunstung und Transpiration, während ein variabler Grundwasserspiegel oder, bei einem grundwasserfernen Standort, eine free drainage Randbedingung als unterer Modellrand zum Einsatz kommen.

Als eindimensionalen Prozess beschreibt das Simulationsmodell CANDY die Dynamik des Kohlenstoff- und Stickstoffumsatzes im Boden (FRANKO et al. 1995, 4-22). Zur Berechnung des Stickstoffaustrags aus der Wurzelzone simuliert das Modell die wesentlichen Prozesse unter landwirtschaftlichen Flächen auf Tagesbasis. Dazu werden Sub-Module u.a. für den Bodenwassergehalt, die Bodentemperatur, das Pflanzenwachstum und die organischen Umsetzungsprozesse für das organische Material verwendet. In CANDY basiert das Wassermodul 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 gesteuert. Durch die Prozesse von Evaporation und Transpiration erfolgt ein Wasseraufstieg nur bei Wassergehalten über den schichtspezifischen permanenten Welkepunkt.

Auf der landwirtschaftlichen Versuchsfläche in Wagna (Österreich) werden durch wägbare, monolithisch gestochene Präzisionslysimeter (FANK und v. UNOLD 2007, 28-32) Daten von meteorologischen und landwirtschaftlich geprägten Wechselwirkungen mit dem Boden gesammelt. Im

Lysimeter werden u.a. die Bodenwassergehalte und Saugspannungen in vier verschiedenen Tiefen (35, 60, 90 und 180 cm), wie auch die Sickerwassermengen im Lysimeter erfasst. Die Daten von einem konventionell bewirtschafteten und einem organisch biologisch bewirtschafteten Lysimeter werden durch Informationen zu den angebauten Kulturen, Bewirtschaftungsaufzeichnungen und aufgebrauchten Düngermengen ergänzt. Die Lage auf der Schotterterrasse der Würmeiszeit, mit seinen lehmig-sandigen Deckschichten ist vergleichbar mit großen Bereichen im Untersuchungsgebiet des Murtalaquifers.

Ergebnisse

Neben den Wetterinformationen sind die Bodenbeschreibung und die landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweise die grundlegenden Eingangsparameter in beide Modelle. Bei den täglichen Wetterdaten kann CANDY die Globalstrahlung aus der Sonnenscheindauer und der geographischen Breite modellintern berechnen. SIMWASER/STOTRASIM benötigt zusätzlich Windgeschwindigkeit und relative Luftfeuchte. Bei den Bodeninformationen sind in SIMWASER/STOTRASIM für homogene Bodenschichten, neben der jeweiligen Mächtigkeit, Charakteristiken der Wasserspeicherefähigkeit und Wasserleitfähigkeit, Diffusions- und Dispersionskoeffizienten und Ausgangswerte zum Humusgehalt sowie Startkonzentrationen für Ammonium- und Nitrat-Stickstoff anzugeben. CANDY benötigt die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, Trockenrohddichte, Trockensubstanzdichte, permanenten Welkepunkt, Feldkapazität und Feinanteilgehalt der einzelnen Horizonte. Bei

Tabelle 1: Kalibrierungsergebnisse der Bodenfeuchten in SIMWASER/STOTRASIM und CANDY am konventionellen Lysimeter Wagna

| Messtiefen | SIMWASER/STOTRASIM | | CANDY | |
|------------|--------------------|----------|---------|----------|
| | MED [%] | RMSE [%] | MED [%] | RMSE [%] |
| 35 cm | -0,38 | 3,64 | -0,03 | 3,64 |
| 60 cm | 1,24 | 3,67 | -0,57 | 2,99 |
| 90 cm | 0,04 | 0,95 | 0,30 | 1,76 |
| 180 cm | -0,15 | 0,40 | -0,48 | 0,61 |

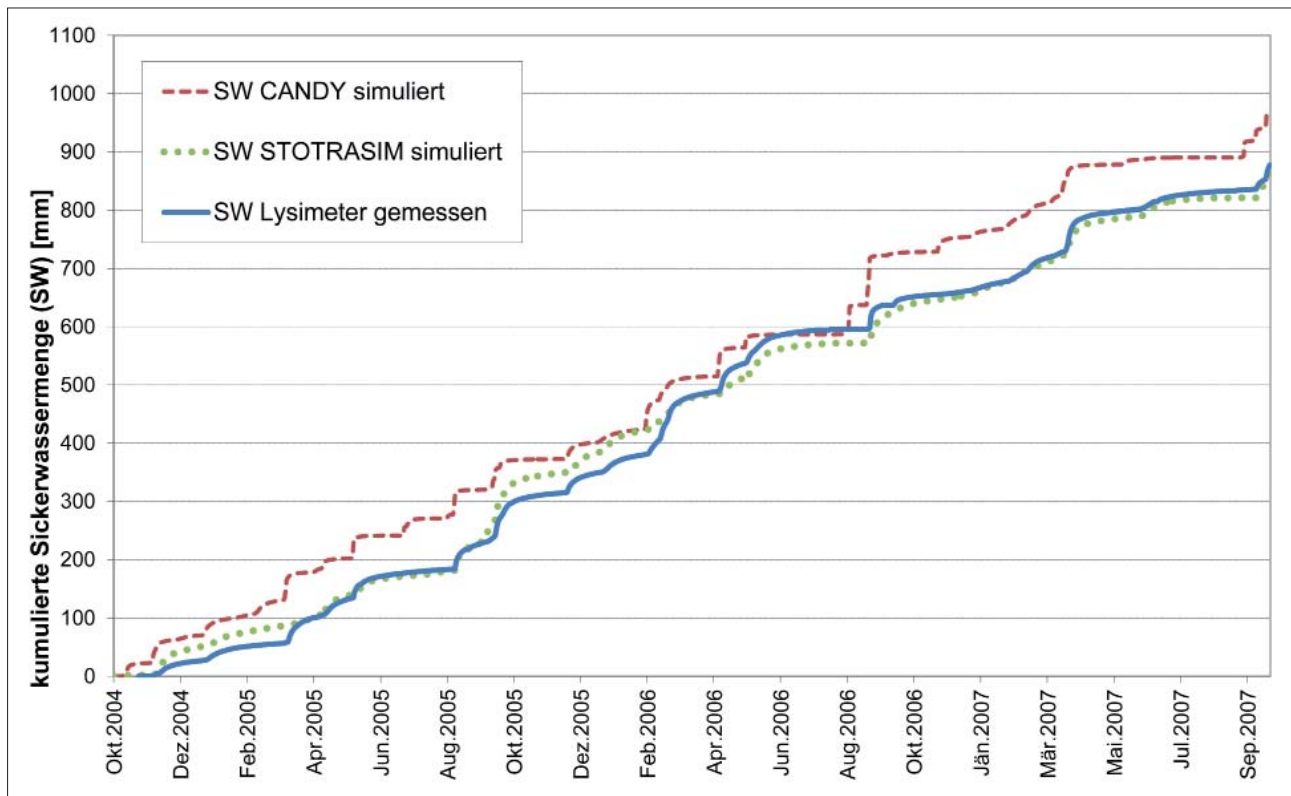


Abbildung 2: Ergebnis der simulierten Sickerwassermengen von CANDY und STOTRASIM am konventionellen Lysimeter in Wagna

der Bewirtschaftung benötigen beide Modelle Angaben zum Zeitpunkt des Anbaus und der Ernte von Kulturen, der Bodenbearbeitung, mineralischer und organischer Düngung und einer allfälligen Bewässerung, CANDY verlangt zusätzlich Angaben zu den Erträgen der einzelnen Kulturen.

Beide Modelle sind in einer regionalen Modellierung schon angewendet worden. Dabei werden in beiden Fällen homogene Teilflächen abgeleitet, also Flächen mit gleichen Klima-, Boden- und Bewirtschaftungseigenschaften. Jede Teilfläche wird mit dem Modell simuliert und die Ergebnisse über ein geographisches Informationssystem verortet. Zur Implementierung der statistisch aggregierten Landnutzungsinformation verwenden beide Modelle Optimierungsalgorithmen, die über definierte Kulturenabfolgen die statistische Landnutzungsverteilung in einer Region nachbildet.

Die Ansätze in der Charakterisierung der dominierenden bodenhydrologischen Prozesse im Untergrund sind in den beiden Modellen unterschiedlich. Mit Hilfe von Daten der Forschungsstation Wagna hat THIEL (2010) die Modellierung des skelettreichen Bodens mit dem Kapazitätsmodell CANDY durchgeführt. Dabei wurden einerseits die Bodenwassergehalte in den vier Tiefen 35 cm, 60 cm, 90 cm und 180 cm und andererseits die Sickerwassermenge in 190 cm Tiefe kalibriert, allerdings mit zwei unterschiedlichen Parametersätzen zur Parametrisierung der Bodenhorizonte am konventionellen Lysimeter.

Am Lysimeter in Wagna wurde das Darcy-Modell SIMWASER/STOTRASIM kalibriert und weiterentwickelt. Eine

Kalibration auf dem konventionellen Lysimeter in Wagna wurde für Wassergehalte in vier verschiedenen Tiefen und für die Sickerwassermenge durchgeführt. Die Ergebnisse für die Sickerwassermengen der einzelnen Kulturperioden sind in *Abbildung 1* dargestellt.

Für den Zeitraum 04.10.2004 bis 01.10.2007 erfolgt ein Vergleich der Ergebnisse der Kalibration zwischen SIMWASER/STOTRASIM und dem Modell CANDY (THIEL 2010). Dabei werden die mittlere Fehlerdifferenz MED und der mittlere quadratische Fehler RMSE der Arbeit von THIEL (2010) folgend zur Bewertung der Kalibrationsergebnisse der Bodenfeuchtegehalte und des Sickerwassers verwendet. Dabei ergeben sich bei der Kalibration der Bodenfeuchte folgende statistische Fehler (*Tabelle 1*).

Bei SIMWASER/STOTRASIM ergeben sich ein MED von 0,01 mm und ein RMSE von 0,99 mm bei der Sickerwasserkalibration. In CANDY ergeben sich bei der Kalibration der Sickerwassermengen ein MED von 0,04 mm und ein RMSE von 3,43 mm. Die *Abbildung 2* stellt die gemessene Sickerwassersummenkurve für den Zeitraum Oktober 2004 bis Oktober 2007 den beiden Modellkalibrationen von CANDY und SIMWASER/STOTRASIM gegenüber.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Datenverfügbarkeit für beide Modelle ist bei den Wettereingangsdaten nicht eingeschränkt. Für eine regionale Modellierung müssen bei den Bodendaten in beiden Modellen Pedotransferfunktionen für einige notwendige Bodenparameter angewendet werden. In beiden Model-

len kommen Optimierungstools für die Verarbeitung der statistischen Landnutzungsinformation zum Einsatz. Stochastisch repräsentative Fruchtfolgen für die Modellierung auf Tagesbasis können in StotraPGen, einem Pre- und Post-Processing-Modul für SIMWASER/STOTRASIM, erstellt werden. Dabei können auch zeitliche Änderungen in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise über geänderte Fruchtfolgen und Düngermengen automatisiert implementiert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Funktionalität und Validierung der Methode von StotraPGen wird in DRAXLER et al. (2010, 104-105) und KLAMMLER et al. (2012b) gegeben.

Bei der regionalen Modellierung mit CANDY wurden ebenfalls Gewichtungen von Fruchtfolgen anhand der Landnutzungsverteilung angewendet. Außerdem besteht die Möglichkeit ein N_{\min} -Düngemodul in die Modellierung zu integrieren, um realitätsnahe Düngermengen den mineralisierten Stickstoffgehalten im Boden anzupassen. Für CANDY sind neben den Ertragszahlen auch die Kulturen Sojabohne (*Glycine max*) und Perko (*Brassica chinensis* x *Brassica rapa*) noch zu erheben bzw. parametrisieren.

Beide Modelle zeigen in ihren Simulationsergebnissen eine ausreichende Kalibration der relevanten Prozesse in der ungesättigten Zone anhand der Lysimeterdaten von Wagna. Mit Messwerten der Station Wagna wurde SIMWASER/STOTRASIM mehrmals überprüft und gerechnet (FANK et al. 2004, 79-85; KLAMMLER 2012a). Im Gegensatz dazu wurde das Modell CANDY auf einem tiefgründigen Lößstandort erstellt, kalibriert und validiert und zeigt einige Probleme in der Anwendung unter den vorherrschenden Böden mit Bodenskelettgehalten bis 78 Masseprozent (THIEL 2010, 97). CANDY benötigt in der Simulation zwei verschiedene Bodenparametersätze zur Anpassung des Sickerwassers bzw. der Bodenwassergehalte in den vier Tiefen am konventionellen Lysimeter in Wagna. Die Zielgrößen der nutzbaren Feldkapazität und der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit wurden ab einer Tiefe von 40 cm über unterschiedliche Parametersätze kalibriert.

Die Kalibration des Sickerwassers gelingt mit SIMWASER/STOTRASIM besser, wie auch die Anpassung der Bodenfeuchtegehalte in den Tiefen 90 cm und 180 cm. CANDY weist bei der Kalibration in den oberen Schichten geringere Residuen auf.

Sowohl beim Wasser- wie auch beim Stofftransport können bei der Modellierung mit SIMWASER/STOTRASIM die dominierenden Prozesse gut abgebildet werden. Außerdem wurde eine abwärts gerichtete sequentielle Kopplung des Stofftransportmodells SIMWASER/STOTRASIM mit einem instationären Grundwasserströmungs- und Transportmodell bereits umgesetzt (KLAMMLER et al. 2012a).

Die Ergebnisse der Modellierung werden in weiterer Folge als obere Randbedingung für ein Grundwasserströmungsmodell verwendet. Das Modell CANDY wurde unter anderen räumlichen Bedingungen kalibriert und erfordert, wie die Modellkalibrationen des Wasserflusses zeigen, im Mur-

talaquifer größeren Kalibrationsaufwand. Die zusätzlichen Vorteile von SIMWASER/STOTRASIM liegen einerseits im Vorhandensein aller notwendigen standortüblichen Pflanzenkennwerte im Untersuchungsgebiet des Murtals und andererseits in einer umgesetzten sequentiellen Kopplung mit einem instationären Grundwassermodell.

Literatur

- DRAXLER, J.C., G. KLAMMLER, G. ROCK und J. FANK, 2010: Lösungsansätze zur besseren Berücksichtigung von Landnutzungsinformationen in der instationären Modellierung von Grundwasserneubildung und Stoffaustrag. *Journal of Alpine Geology, PANGEO Austria* 2010, Vol. 52/2010, Leoben, 104-105.
- DREYHAUPT, J., 2004: Die Bedeutung der Heterogenität von Boden, Klima und Landnutzung für die Regionalisierung von Modellzustandsgrößen. Dissertation, Universität Bayreuth, 245 S.
- FANK, J., E. STENITZER, F. FEICHTINGER und P. CEPUDER, 2004: Messdaten und Modellkalibration an der Forschungsstation Wagna und daraus abzuleitende Anforderungen an Messstellen zur Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen. *GSF-Bericht* 02/04, 79-85.
- FANK, J. and G. v. UNOLD, 2007: High-precision weighable field Lysimeter – a tool to measure water and solute balance parameters. *Int. Water & Irrigation* 27(3), 28-32.
- FANK, J., G. DERSCH, F. FEICHTINGER und J. ROBIER, 2010: Erforderliche Maßnahmen und Umsetzungsoptionen für eine grundwassererträgliche Landwirtschaft im Murtal-Grundwasserleiter. Bericht zum 2. Umweltökologischen Symposium 2010: Boden- und Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irnding, ISBN 978-3-902559-41-8, 43-50.
- FEICHTINGER, F., 1998: STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. In: BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Ed., 1998): Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone. Schriftenreihe d. Bundesamtes f. Wasserwirtschaft, Vol. 7, Wien, 14-41.
- FRANKO, U., B. OELSCHLAGEL und S. SCHENK, 1995: Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen. *UFZ-Bericht*, Vol. 3/1995, Leipzig-Halle, 91 S.
- KLAMMLER, G., H. KUPFERSBERGER, G. ROCK und J. FANK, 2012a: Modeling coupled unsaturated and saturated nitrate distribution of the aquifer Westliches Leibnitzer Feld, Austria. *Environmental Earth Sciences*, in Druck.
- KLAMMLER, G., G. ROCK, H. KUPFERSBERGER und J. FANK, 2012b: Generating land-use information to derive diffuse water and nitrate transfer at aquifer scale. *IAHS Red Book Series*, 355-16 Oxfordshire, UK, in Druck.
- KOITZSCH, R., 1990: Bodenfeuchte- und Verdunstungsmodell BOWA. Interner Bericht FZ Münchenberg.
- STENITZER, E., 1988: SIMWASER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitteilung Nr. 31, Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen, 203 S.
- THIEL, E., 2010: Modellierung des Einflusses landwirtschaftlicher Landnutzung auf Bodenfunktionen mit dem Modell CANDY. *Hallenser Bodenwissenschaftliche Abhandlungen*, Band 15, Halle, 48-57.