

Lysimeterergebnisse als Basis wasserrelevanter Modellstudien

F. FEICHTINGER

Zusammenfassung

Im Vergleich der Daten von 12 Lysimetereinrichtungen mit Ergebnissen der Modellrechnung mit STOTRASIM wurden Modellparameter zur Verdunstungsberechnung und zum Umsatz von bodenbürtiger organischer Substanz justiert. Die Lysimeterstandorte liegen in der Südoststeiermark, im Trockengebiet Ostösterreichs, im niederösterreichischen Voralpengebiet und im Zentralraum Oberösterreichs. Für die Anwendung des justierten Modells in Regionalstudien werden Beispiele dargelegt.

Abstract

Two empirical parameters of the model STOTRASIM were calibrated by matching the results of modelling with data from 12 lysimeter sites. The results of calibration and examples for the application of STOTRASIM on regional scale are outlined.

Einleitung

Regelwerke und Vorgaben sind zu verschiedenen Umweltkompartimenten existent bzw. in Diskussion und deren regionale Gültigkeitsbereiche sind oft sehr unterschiedlich. Während z.B. das Kyoto-Protokoll ein Abkommen für eine weltweite Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen darstellt, ist die EU-Wasserrahmenrichtlinie ein Regulativ für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Wasservorkommen im Raum der EU-Staatengemeinschaft und Bodenschutzgesetze oder die Trinkwasserverordnung in Österreich sind Beispiele von Regelwerken auf nationaler Ebene; im Stadium der Diskussion befindet sich eine EU-Bodenrahmenrichtlinie, (<http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm>).

Obwohl in den angesprochenen Regulativen jeweils Luft, Wasser und Boden die Betrachtungsschwerpunkte sind, ver-

langt eine ökosystemare Gesamtbetrachtung die Interaktionen zwischen den einzelnen Umweltkompartimenten zu berücksichtigen. Ein Lysimeter ist jedenfalls ein Instrument, um Stoffflüsse an der Schnittstelle und im Zusammenwirken von Luft, Wasser und Boden zu bewerten, wenn auch der Blick dabei primär auf die flüssige Phase gerichtet ist.

Um nun punktuelle Lysimeterergebnisse für eine nachhaltige Bewirtschaftung regionaler (Grund-)Wasservorkommen zu nutzen, ist die Anwendung von Rechenmodellen und deren Anbindung an Lysimeterergebnisse oft geübte Praxis. STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998) ist ein solches Rechenmodell, welches die Wasser- und Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes bewertet. Nachfolgend wird vorerst die Justierung dieses Modells an Lysimeterergebnissen dargelegt und anschließend werden Beispiele angeführt, wo STOTRASIM zur Bewertung in Fragen regionaler Wasserbewirtschaftung eingesetzt wurde.

Material und Methoden

STOTRASIM

STOTRASIM berechnet die Wasser- und Stickstoffdynamik im Bodenprofil eines Ackerstandortes in vertikaler Richtung. Dabei werden die Wasserflüsse und die Vegetationsentwicklung mit dem Modell SIMWASER (STENITZER, 1988) kalkuliert, welches integraler Bestandteil von STOTRASIM ist.

SIMWASER berechnet die Wasserbilanz und das Pflanzenwachstum für eine beliebig lange Fruchtfolge einer Agrarfläche auf Tagesbasis. An der Bodenoberfläche werden Niederschlag und Beregnung als Eintrag und die Evapotranspiration als Wassernutzung in Rechnung gestellt. Interzeption wird berücksichtigt. Die Kalkulation der Wasserbe-

wegung im Boden folgt dem Darcy-Gesetz. Makroporenfluss oder Interflow bleiben unberücksichtigt. Die Untergrenze des Bodenprofils ist durch die Grundwasser Oberfläche festgelegt oder wird bei einem grundwasserfernen Standort in einer Tiefe angesetzt, in der kein Einfluss durch Wurzelentzug gegeben ist. Der Wasserfluss an der Profiluntergrenze ergibt die Tiefensickerung oder Grundwasserneubildung bzw. kapillaren Aufstieg. STOTRASIM beschreibt die Stickstoff- und partiell die Kohlenstoffdynamik eines landwirtschaftlich genutzten Bodens. Als Stickstoffeinträge an der Bodenoberfläche werden Düngung, Niederschlag, Beregnung und die Bindung aus der Luft durch Leguminosen berücksichtigt. Pflanzenaufnahme, Denitrifikation und Ammoniumausgasung sind entsprechende Stickstoffausträge. Mineralisation und Immobilisation gehen in die Berechnung des bodenbürtigen Stickstoffumsatzes ein. Der an die Wasserbewegung gebundene, vertikale Stickstofftransport erfolgt ausschließlich als Nitrat. Der an der Untergrenze des Bodenprofils berechnete Nitratfluss formuliert somit die Stickstoffversickerung bzw. kapillaren Aufstieg.

Lysimeterdaten

Zu Lysimeterstationen in Europa gibt die Homepage der Arbeitsgruppe Lysimeter (http://www.lysimeter.at/HP_EuLP/index.html) eine umfassende Übersicht. Verfügbare Daten von einigen in Österreich gelegenen Messeinrichtungen wurden dazu benutzt, um empirische Kennwerte in der Modellformulierung SIMWASER/STOTRASIM zu justieren. Es wurden Datensätze von beiden Parzellen der Lysimeterstation Wagna (FANK, 1999), von vier Lysimetern in Zettling (DALLA-VIA, 2005), von der Messparzelle M1 in der Lobau (ERHART et al., 2003), aus Petzenkirchen (FEICHTINGER et al., 2004), vom Lysimeter 1 in

Autor: DI Franz FEICHTINGER, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstr. 1, A-3252 PETZENKIRCHEN, franz.feichtinger@baw.at

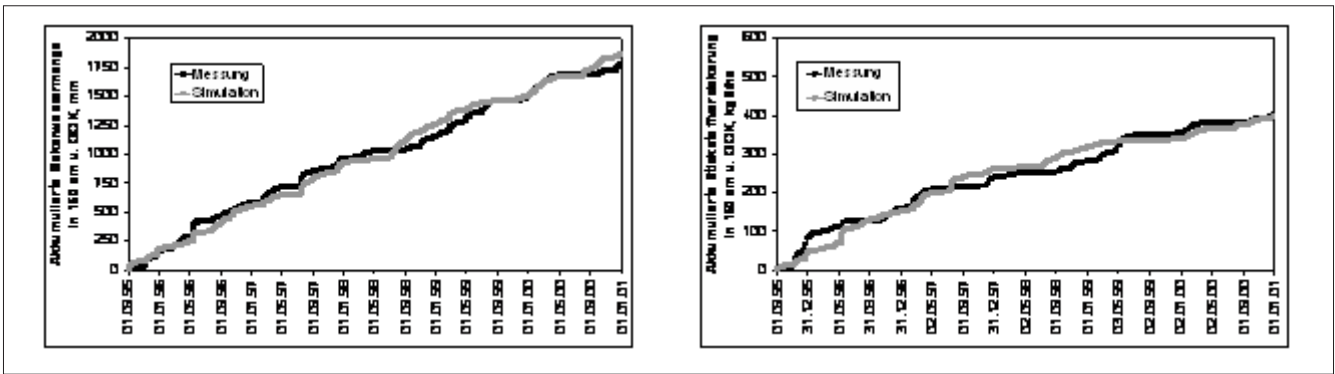


Abbildung 1: Akkumulierte Sickerwassermengen (links) und Stickstoffversickerungen (rechts) in 150 cm unter Gelände am Lysimeterstandort Pucking im Vergleich von Mess- und Simulationsergebnissen bei standörtlicher Justierung

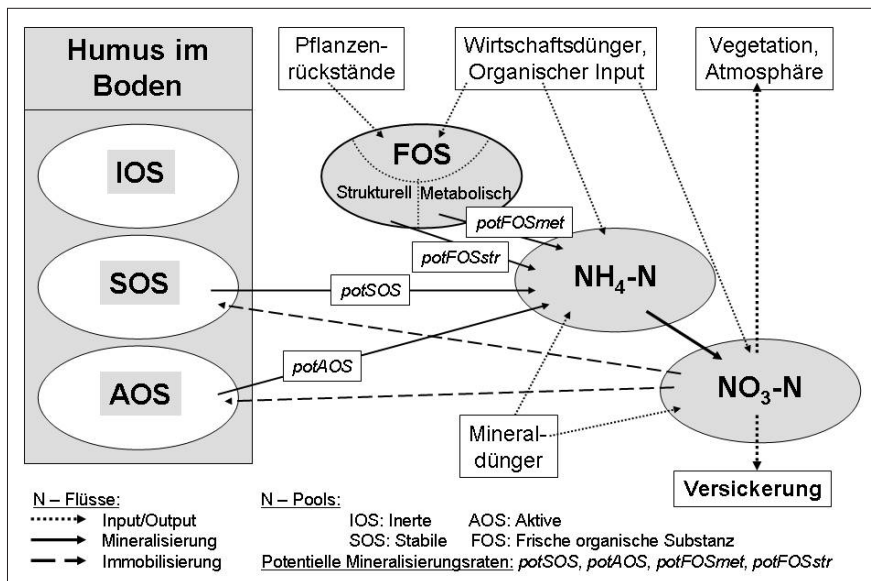


Abbildung 2: Stickstoffpools und Stickstoffflüsse im Modellkonzept STOTRASIM

Pettenbach und jenem in Pucking (MURER, 2004), und von Versickerungsmessungen mittels Sickerwassersammler im Leibnitzer Feld aus den Jahren 1991 - 1993 (SAILER, 1993; TULLER, 1993) verwendet.

Mit Ausnahme der Lobau wurden jeweils die gemessenen Versickerungsmengen von Wasser und Stickstoff für den Abgleich der Modellergebnisse verwendet. Zur Lobau wurden die kontinuierlichen Wasseranteilmessungen (TDR) und die Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung (Gewinnung über Saugkerzen) aus 5 Messebenen sowie die periodischen N_{min} -Bestimmungen für den Vergleich mit Modellergebnissen herangezogen.

Justierung von Modellparametern

Praktisch in jeder Modellformulierung werden "Beiwerte" verwendet, die mehr

oder weniger prozesssteuernd sind. So auch im Modell SIMWASER/STOTRASIM. Es wird auf zwei Parameter und deren Justierung eingegangen, die häufig eine standortspezifische Anpassung erfordern.

In SIMWASER wird die potentielle Evapotranspiration in Anlehnung zur Penman-Monteith-Formel folgendermaßen abgeschätzt:

$$ET_p = f_t \cdot Q + 0,864 \cdot H_o / r_a$$

$$f_t + 1 + r_c / r_a$$

ET_p = potentielle Evapotranspiration

f_t = Temperaturfaktor

Q = Strahlungsbilanz, ausgedrückt als Verdunstungsäquivalent

H_o = Sättigungsdefizit

r_a = aerodynamischer Widerstand

r_c = Bestandeswiderstand

Der Bestandeswiderstand (r_c) setzt sich aus einem Verdunstungswiderstand der

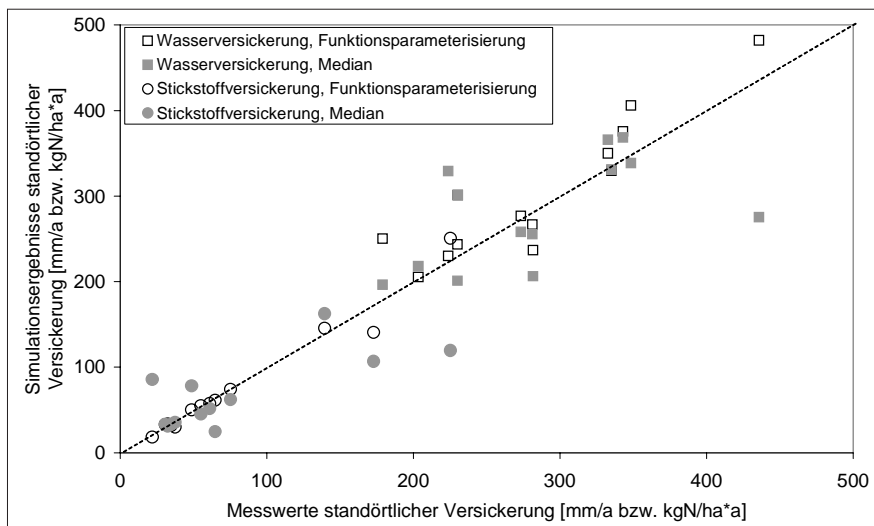
Pflanze und einem Bodenwiderstand (r_{ss} , $s\ cm^{-1}$), der bei Schwarzbrache (Evaporation) alleinig wirksam ist, zusammen. Die standortspezifische Optimierung von r_{ss} wurde derart vorgenommen, dass nach Fixierung interaktiv wirksamer Kennwerte (z.B.: Pflanzen, Boden) der Bodenwiderstand so lange verändert wurde, bis die Summe der Differenzen zwischen Mess- und Rechenwerten der über den Betrachtungszeitraum akkumulierten Wasserversickerungen gleich Null war; am Standort Lobau wurden die Profilwassermengen gegenübergestellt. Ein Beispiel dazu gibt *Abbildung 1, links*.

Als weitere Modellparameter wurden die Umsatzraten zur Mineralisierung von organischer Substanz einer Justierung unterzogen. In STOTRASIM werden die in *Abbildung 2* skizzierten N-Pools und die zugehörigen Flüsse berücksichtigt; die C-Dynamik ist nicht abgebildet. Die Basiswerte der potentiellen Mineralisierungsraten sind: $potSOS = 0.0007$, $potAOS = 0.0033$, $potFOSmet = 0.0333$, $potFOSstr = 0.0015\ d^{-1}$.

Die standortspezifische Optimierung der potentiellen Freisetzungsraten erfolgte, indem nach Optimierung von r_{ss} ein Multiplikator (M), der auf alle vier obigen Basiswerte gleich angewendet wurde (z.B. $potSoS = potSoS \times M$), so lange verändert wurde, bis die Summe der Differenzen zwischen Mess- und Rechenwerten der über den Betrachtungszeitraum akkumulierten Stickstoffversickerungen gleich Null war; zum Standort Lobau dienten die Nitratkonzentrationen der Bodenlösung bzw. die N_{min} -Ergebnisse der Optimierung. *Abbildung 1, rechts* zeigt dazu ein Beispiel. Weiters wurden die optimierten Werte aller Justierstandorte in einer multiregressiven

Tabelle 1: Zusammenstellung der Parameter r_{ss} und M aus Standortjustierung und Funktionsbeschreibung samt Angabe der Justierzeiträume

Lysimeterstandort	Justierzeitraum	Parameter r_{ss} , $s\text{ cm}^{-1}$		Umsetzungsrate, Multiplikator		
		Standortoptimum	Funktionswert	Justierzeitraum	Standortoptimum	Funktionswert
Altgralla	1.4.91-31.12.93	2,913	2,885	1.4.91-31.12.93	1,797	1,800
Lobau	6.10.96-6.10.06	0,304	0,261	Nmin: 26.4.93-27.7.04 bzw. NO ₃ -Konz.:	0,283	0,270
Pettenbach	1.1.95-31.12.03	0,691	0,836	1.1.95-31.12.03	0,685	0,785
Pucking	1.9.95-31.12.00	0,510	0,525	1.9.95-31.12.00	1,219	1,200
Petzenkirchen	1.9.89-31.12.00	1,703	1,729	1.9.89-31.12.00	0,774	0,657
St. Georgen	1.3.91-30.9.93	1,135	0,973	1.3.91-30.9.93	0,071	0,086
Wagna, MM	3.1.92-24.11.03	0,686	0,746	3.1.92-28.3.96 und 1.1.01-24.11.03	0,902	0,943
Wagna, FF	3.1.92-9.12.03	0,025	0,025	3.1.92-27.2.97 und 1.1.01-9.12.03	1,787	1,780
Zettling, H1	2.1.03-30.9.05	0,847	0,873	2.1.03-30.9.05	1,510	1,480
Zettling, H2	2.1.03-30.9.05	1,279	1,336	2.1.03-30.9.05	0,629	0,632
Zettling, T1	2.1.03-15.12.05	0,569	0,582	2.1.03-15.12.05	0,960	0,998
Zettling, T2	2.1.03-11.8.05	0,822	0,729	2.1.03-30.9.05	0,500	0,481

**Abbildung 3: Wasser- und Stickstoffversickerungen aus Simulationen mit funktionsabhängigen bzw. medianen Modellparametern im Vergleich mit Messwerten der Justierstandorte**

Analyse verschiedensten Boden- und Standortscharakteristika gegenübergestellt, um Möglichkeiten einer allgemein gültigen Funktionsbeschreibung auszuloten.

Ergebnisse

Standörtliche Justierung

Tabelle 1 fasst für die berücksichtigten Lysimeterstandorte die optimierten Werte für r_{ss} und für den Multiplikator M zusammen; die Vergleichszeiträume der Parameteroptimierung sind ebenfalls festgehalten. Die multiregressive Analyse ergab, dass r_{ss} anhand der Porenverteilung im Boden aus den Tiefenabschnitten 0-50 cm, 50-100 cm und 100-

150 cm unter Geländeoberfläche weitestgehend ($R^2 = 0,99$) beschrieben werden kann. Der Multiplikator zu den Umsetzungsraten (M) kann ebenfalls fast vollständig beschrieben werden ($R^2 = 0,99$) und zwar anhand des C/N-Verhältnisses der organischen Substanz und mit Hilfe der Verteilung der Bodenporen. Die aus den Funktionsbeschreibungen resultierenden Werte für r_{ss} und M sind in Tabelle 1 ebenfalls ausgewiesen.

Sofern die Suche nach einer Funktionsbeschreibung für r_{ss} und M erfolglos geendet hätte, wäre der Mittelwert oder Median zu den optimierten Standortparametern eine Option in der Modellformulierung gewesen. Der Median zu r_{ss} ist 0,76 und 0,84 zu M. Um den Einfluss

der beiden Parameter auf die Wasser- und Stickstoffversickerung zu verdeutlichen, wurden diese für jeden Justierungsstandort mit den Parametern aus der Funktionsbeschreibung und mit dem jeweiligen Median berechnet. Die daraus resultierenden Modellergebnisse sind in *Abbildung 3* sowohl für die versickernde Wassermenge als auch für die Stickstoffversickerung anhand mittlerer Jahresfrachten aus dem Bewertungszeitraum den Messwerten gegenübergestellt. Aus den Ergebnissen, welche anhand der Mediane errechnet wurden (speziell zu den Stickstofffrachten) ist ersichtlich, dass die Einschätzung der beiden Modellparameter erheblich ergebnisrelevant ist. Der Anwendung von SIMWASER/STOTRASIM in wasserrelevanten Regionalstudien liegt die Funktionsbeschreibung von r_{ss} und M zugrunde. Beispiele zur Modellanwendung zu Regionalstudien sind nachfolgend angeführt.

Modellanwendung in Regionalstudien

Im Zuge einer Evaluierung des "österreichischen Programms zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft" (ÖPUL 2000) wurde zum Punkt 2.22 "Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter" die Wasserrelevanz bewertet. Das geschah anhand der Ergebnisse von Modellrechnungen mit STOTRASIM. Dabei wurde für die Agrarflächen dreier Regionen (Gebiet im Trockengebiet Österreichs mit $\sim 4650\text{ km}^2$, oberösterreichischer

Zentralraum: ~ 1700 km² und Beckenlagen der Südoststeiermark ~ 460 km²) unter Zugrundelegung regionaltypischer Boden-, Wetter- und Bewirtschaftungsszenarien die Grundwasserneubildung und Stickstoffversickerung für unterschiedliche Begrünungsvarianten ermittelt und bewertet (FEICHTINGER et al., 2005). Die Wuchsleistung/Trockenmassebildung einer Begrünung ist bezüglich Stickstoffversickerung der wasserrelevante Faktor.

Zum oben angesprochenen südsteirischen Gebiet werden in einem Teilprojekt des Netzwerkes WATERPOOL (<http://www.waterpool.org>) Werkzeuge zum Wassermanagement der Region aufbereitet. STOTRASIM wird dabei zur Bewertung der Wasser- und Stoffdynamik in der ungesättigten Zone eingesetzt.

In einem westlich von Graz gelegenen Teilgebiet der südsteirischen Projektfläche wurde die Nitratbefruchtung des Grundwassers aus Flächen des Feldgemüsebaus einer Detailuntersuchung unterzogen (DALLA-VIA, 2005). Neben umfangreichen Erhebungen wurde eine

regionale Bewertung mit Hilfe STOTRASIM vorgenommen.

Literatur

- DALLA-VIA, A., 2005: Feldgemüsebau und Grundwasserschutz - Untersuchungsergebnisse von Lysimeterstationen im westlichen Grazer Feld zur Erfassung des Stickstoffaustrages. HBLFA-Bericht, 11. Lysimetertagung, 5.-6. April 2005, Gumpenstein, 155-157.
- ERHART, E., W. HARTL und F. FEICHTINGER, 2003: Nährstoffflüsse im Ackerbau bei Kompostdüngung im Vergleich mit mineralischer Düngung - Ergebnisse der Lysimeteranlage Lobau. BAL-Bericht, 10. Lysimetertagung, 29.-30. April 2003, Gumpenstein, 71-75.
- FANK, J., 1999: Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.
- FEICHTINGER, F., 1998: STOTRASIM - Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bd. 7, 14-41.
- FEICHTINGER, F., J. DORNER und F. AIGNER, 2004: Durchschnittliche Versickerungsmengen und bewirtschaftungsbedingte Stickstoffausträge im Alpenvorland Niederösterreichs. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bd. 20, 79-90.
- FEICHTINGER, F., A. SCHEIDL und J. DORNER, 2005: "ÖPUL 2000 - Begrünungsvarianten (Pkt. 2.22)", Evaluierung der wasserwirtschaftlichen Relevanz (Effizienz) einer Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter. - Bericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft.
- MURER, E., 2004: Feldlysimeter - Erfahrungen in den Pilotprojektgebieten in Oberösterreich. BAL-Bericht, Seminar "Landwirtschaft und Grundwasserschutz" zum Thema "Die Bedeutung der Lysimeterforschung für die landwirtschaftliche Praxis", 2. und 3. März 2004, Gumpenstein, 19-24.
- SAILER, Ch., 1993: Wasserhaushalt und Stickstofftransport in einem seichtgründigen Boden im Leibnitzer Feld. Diplomarbeit, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur, Wien.
- STENITZER, E., 1988: SIMWASER - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standorts. Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, A 3252 Petzenkirchen.
- TULLER, M., 1993: Wasserhaushalt und Stickstofftransport in einem tiefgründigen Boden im Leibnitzer Feld. Diplomarbeit, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur, Wien.