

SIMULATION DES WASSER- UND STOFFTRANSPORTS IM BODEN

F. FEICHTINGER & E. STENITZER

ZUSAMMENFASSUNG

In der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen wurden die Modelle SIMWASER (Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages) und STOTRASIM, ein an SIMWASER angekoppeltes Stofftransportmodell, entwickelt.

Die Konzepte und Strukturen der beiden Modelle und deren Verknüpfung werden in den Grundsätzen skizziert und eine Auflistung von Anwendungsbereichen weist auf Umsetzungsmöglichkeiten in der Praxis hin. Dies wird durch Anwendungsbeispiele untermauert.

SUMMARY

At the Austrian Federal Institute for Land and Water Management Research the numerical models SIMWASER and STOTRASIM have been developed. While SIMWASER estimates soil water balance and water uptake by crops as well as the corresponding crop yields, STOTRASIM simulates the transport of solutes in the soil. The structure of both models is shortly described and their application in practical field research is explained by some examples.

1. EINLEITUNG

In sehr vielen Lebensbereichen werden numerische Rechenmodelle als Hilfsmittel bei der Analyse von Vergangenem, bei der Erklärung von Gegenwärtigem oder bei der Prognose von Zukünftigem eingesetzt. So hat die Modellanwendung auch in der Wasserwirtschaft ihren fixen Platz, wobei die Simulation des Wasser- und Stofftransportes im Boden einen Teilbereich aus diesem Spektrum abdeckt.

Zu dieser Thematik wurden in der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen zwei Modellansätze entwickelt, die sich mit dem Wasser- und Stofftransport im Boden beschäftigen. Das Wassertransportmodell läuft unter dem Synonym SIMWASER (STENITZER, 1988) und das Stofftransportmodell wird unter dem Synonym STOTRASIM vorgestellt, welches in seiner Gesamtheit bisher unveröffentlicht ist, in den Grundzügen jedoch bereits beschrieben wurde (FEICHTINGER, 1991a). Es handelt sich dabei um deterministische Ansätze, welche nachfolgend kurz beschrieben werden.

2. SIMWASER

SIMWASER ermöglicht den Wasserhaushalt eines Bodenprofils und der daran geknüpften Pflanzenertrag einer Kultur zu simulieren, wobei standortsspezifisch eine Wasserbilanz auf Tagesbasis angestellt wird. Das Bodenprofil ist dabei oben durch die Bodenoberfläche begrenzt und die Profiluntergrenze ist entweder durch die Grundwasseroberfläche gegeben oder liegt beim grundwasserfernen Standort deutlich unterhalb der von den Pflanzenwurzeln durchsetzter Tiefe. Beeinflußt wird die tägliche Bodenwasserbilanz von Niederschlag/Beregnung und kapillarem Aufstieg als Input an der Bodenoberfläche bzw. Profiluntergrenze, weiters von Evaporation und Versickerung in den Untergrund als entsprechende Outputkomponenten; obendrein vom Wasserentzug durch die Pflanzenwurzeln, welcher in den einzelnen Bodenschichten in horizontaler Richtung erfolgt und schließlich durch die Wasserbewegung im Bodenprofil, welche aus der Anwendung der Darcy-Gleichung resultiert (Abb. 1).

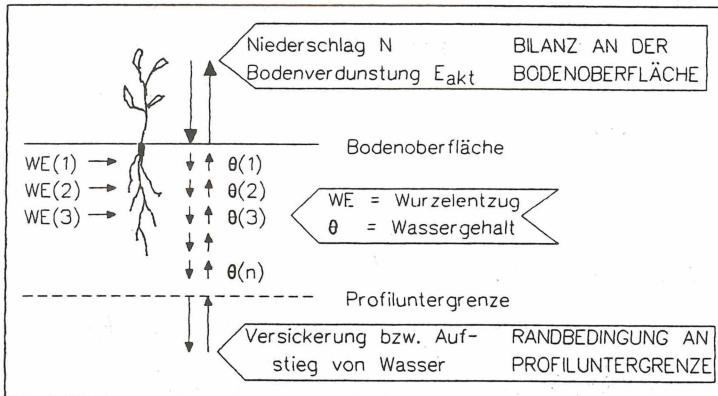


Abb. 1: Schema der Wasserbewegung und ihrer Bestimmungsgrößen bei SIMWASER

Die Niederschlags- und Beregnungsmengen sind aus Klimadaten bzw. durch die Bewirtschaftungspraxis bekannt. Ein kapillarer Aufstieg bzw. eine gegenläufige Versickerung in den Untergrund an der Profiluntergrenze resultieren aus den hydraulischen Gegebenheiten (Wasserleitfähigkeit und Potentialgefälle im Bodenwasser) an dieser Grenzfläche. Die aktuelle Evaporation erwächst aus der Gegenüberstellung von potentieller Evaporation (= Verdunstungsanspruch der Atmosphäre) und Wassernachlieferungsvermögen der obersten Bodenschicht an die Bodenoberfläche. Das Minimum aus diesem Vergleich wirkt limitierend und stellt somit die aktuelle Evaporation dar. In gleicher Weise wird die aktuelle Transpiration anhand der Gegenüberstellung von potentieller Transpiration und dem Wassernachlieferungsvermögen aus dem Boden über die Pflanzenwurzeln bis an die Spaltöffnungen der Blätter festgelegt. Die potentielle Evaporation und Transpiration werden in Anlehnung zur "Penman-Monteith-Formel" (SZEICZ et al., 1969; THOM & OLIVER, 1977) abgeschätzt. Zur Kalkulation der instationären Wasserbewegung im ungesättigten Bodenprofil wird die Darcy-Gleichung in Form einer partiellen Differentialgleichung angewandt, welche für die numerische Behandlung durch eine Differenzengleichung gelöst wird (VAN KEULEN & BEEK, 1971; DE WIT & VAN KEULEN, 1972; FEDDES et al., 1978).

Der standorts- und kulturspezifische Pflanzenertrag wird anhand des pflanzenphysiologisch bedingten Zusammenhangs von Assimila-

tion und Transpiration eines Blattes simuliert. Die Aufnahme des Kohlendioxids der Luft (Assimilation), womit die Bildung von Pflanzensubstanz einhergeht, erfolgt im Austausch von Wasserdampf (Transpiration) über die Stomata der Blätter (Abb. 2).

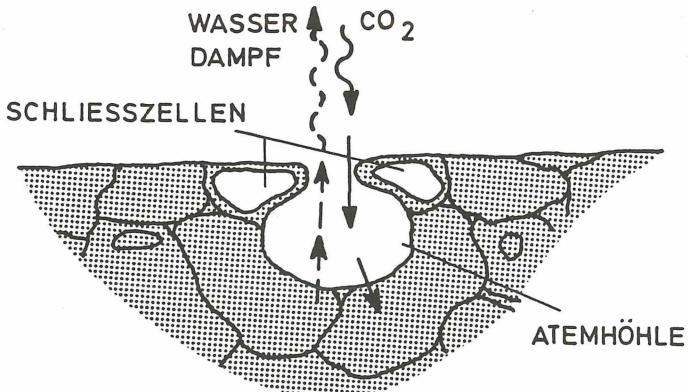


Abb. 2: Schema des Gasaustausches durch die Spaltöffnung eines Blattes

Sind die Stomata infolge unzureichender Wassernachlieferung aus dem Boden über die Pflanzenwurzeln in die Atemhöhlen geschlossen, so ist auch der Gasaustausch unterbunden. Daraus ergibt sich eine eindeutige klima- und kulturunabhängige Beziehung zwischen "Relativer Transpiration" und "Relativem Pflanzenertrag" (Abb. 3).

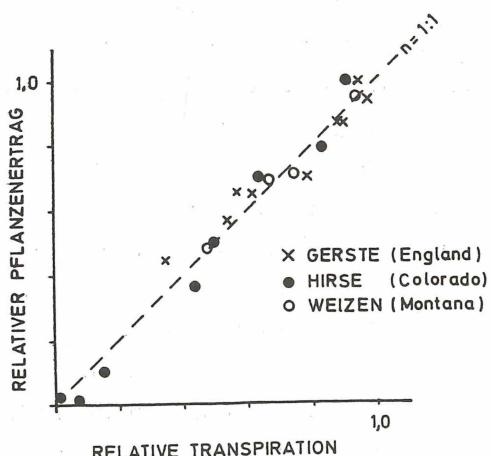


Abb. 3: Relativer Pflanzenertrag als Funktion der Relativen Transpiration; abgeleitet aus Daten von DAY et al., 1978 (Gerste), HANKS et al., 1969 (Sorghum), POWER et al., 1961 (Weizen)

Der "Relative Pflanzenertrag" ist der jeweilige Pflanzenertrag als Bruchteil des potentiellen Ertrages, und die "Relative Transpiration" stellt die jeweilige Transpirationsmenge als Bruchteil der potentiellen Transpiration dar.

Die täglichen Werte des potentiellen Ertrages und der potentiellen Transpiration werden als Funktion des Pflanzenbestandes und der Witterung berechnet; die tägliche aktuelle Transpiration ergibt sich als Funktion des Wurzelwachstums und der jeweils gegebenen Wassergehaltsverteilung im durchwurzelten Profil.

Der tägliche aktuelle Substanzzuwachs ergibt sich daher

$$A_{akt} = \frac{Takt}{Tpot} \cdot A_{pot}$$

A_{akt} = aktuelle Assimilation

A_{pot} = potentielle Assimilation

Takt = aktuelle Transpiration

Tpot = potentielle Transpiration

3. STOTRASIM

STOTRASIM simuliert für einen ausgewählten Inhaltsstoff des Bodenwassers die Dynamik im Boden. Dafür wird standorts- und stoffspezifisch eine Tagesbilanz angestellt, wobei die Stoffbewegung im Boden ausschließlich in gelöster Form angenommen wird und somit von der Wasserbewegung und vom diffusiven Transfer bestimmt ist. Zu diesem Zweck ist STOTRASIM dem Bodenwasserhaushaltsmodell SIMWASER angekoppelt und übernimmt von diesem die Tageswerte für die Wasserhaushaltsskomponenten Niederschlag/Beregnung, aktuelle Evaporation, aktuelle Transpiration, Wassergehalte im Bodenprofil und Wasserbewegung im Bodenprofil, welche in STOTRASIM als Inputgrößen eingehen. Die obere und untere Begrenzung des Bodenprofils ist gleich jener in SIMWASER.

Für die Erstellung von Tagesbilanzen werden als Stoffinput an der Bodenoberfläche Einträge über Düngemittel, nasse Deposition und

sonstige anthropogene Zufuhr und an der Profiluntergrenze Einträge durch kapillaren Aufstieg berücksichtigt. Der Stoffinput an der Bodenoberfläche wird dabei ausschließlich in flüssiger Form kalkuliert was bedeutet, daß ein Eintrag ohne das Transportmittel Wasser (z. B. Düngegabe) eine zwischenzeitliche Speicherung an der Bodenoberfläche bedingt und der effektive Input in das System Boden mit der nächsten Wasserzufuhr erfolgt.

Als Stoffausträge werden an der Bodenoberfläche gasförmige Verluste und an der Profiluntergrenze Versickerungsverluste in den Untergrund in Rechnung gestellt. Weiters werden in der täglichen Stoffbilanzierung der Entzug durch die Vegetation, systeminterne Stoffumsetzungen infolge biologischer Prozesse und chemische/physikalische Wechselwirkungen mit der Bodenmatrix in Form von Ad-/Desorption berücksichtigt. Der Stofffluß im ungesättigten Boden wird durch die partielle Differentialgleichung für vertikalen Stofftransport beschrieben (Abb. 4).

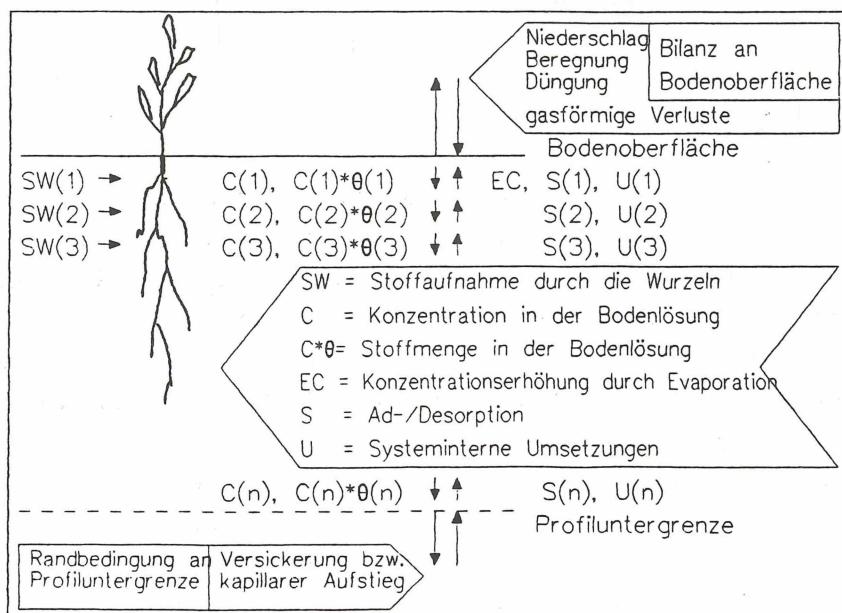


Abb. 4: Schematische Darstellung der Bestimmungsgrößen für die Stoffverteilung im Boden bei STOTRASIM

Einträge über Düngemittel und sonstige anthropogene Zufuhr sind durch Angaben über die geübte Bewirtschaftungspraxis zu quantifizieren. Die Konzentration im Niederschlag bzw. im Beregnungswasser sind durch Messungen zu erheben. Der Stofftransfer an der Profiluntergrenze, egal ob kapillarer Aufstieg oder Versickerung, ergibt sich aus der Wasserbewegung und der Stoffkonzentration an dieser Grenzfläche. Bei der Evaporation wird Wasserverdunstung an der Bodenoberfläche kalkuliert, was inkludiert, daß alle Inhaltsstoffe im Bodenwasser verbleiben und die Verminderung des Lösungsmittels somit zu einer Konzentrationserhöhung führt. Der Stoffentzug durch die Vegetation hängt von der Transpirationsmenge und Konzentration in der Bodenlösung und einem kultur- und stoffspezifischen Selektionsbeiwert ab, da die Pflanzenwurzeln in der Lage sind, stoffspezifisch die Aufnahme selektiv zu steuern (DUYNISVELD, 1983; NYE & TINKER, 1977). Austauschprozesse zwischen Bodenlösung und Bodenmatrix, welche im wesentlichen vom betrachteten Inhaltsstoff und von den Bodeneigenschaften abhängen, werden in der Simulation durch die Ad-/Desorptionsgleichung nach FREUNDLICH beschrieben. Das Sorptionsgleichgewicht wird dabei im Tagesrhythmus hergestellt. Als Beispiel für die Simulation von systeminternen Stoffumwandlungen sei die Umwandlung des Stickstoffes durch Ammonifikation, Nitrifikation und Denitrifikation erläutert. Es wird davon ausgegangen, daß hauptsächlich die Temperatur, der Wassergehalt und der Sauerstoffgehalt im Boden diese mikrobiologischen Prozesse steuern. Der Wassergehalt und der Sauerstoffgehalt im Boden werden im Parameter des Sättigungsgrades (= Wassergehalt/Porenvolumen) zusammengefaßt. Die Abhängigkeit einer relativen Mikroorganismenaktivität von der Bodentemperatur und vom Sättigungsgrad ist in Anlehnung an Literaturangaben (CLAY et al., 1985) den nachfolgenden Abbildungen zu entnehmen (Abb. 5 - 7).

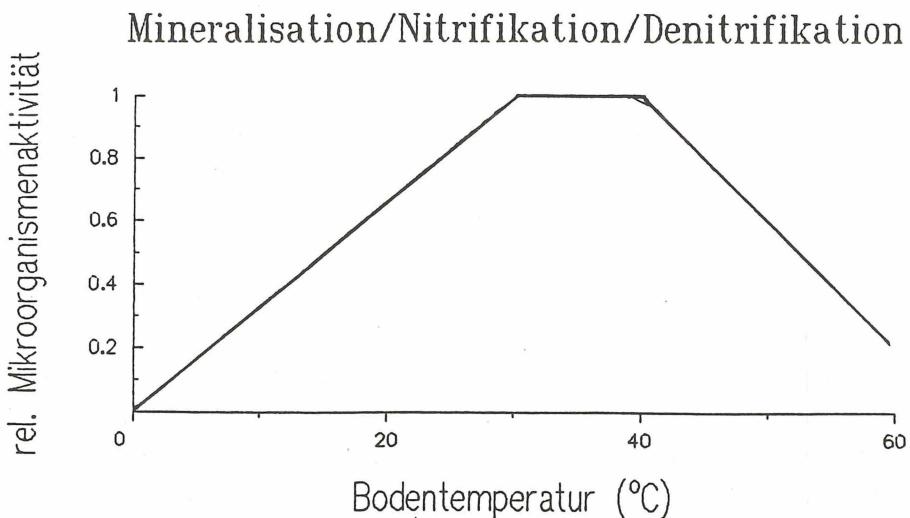


Abb. 5: Abhängigkeit der Mikroorganismenaktivität von der Bodentemperatur für Ammonifikation, Nitrifikation und Denitrifikation

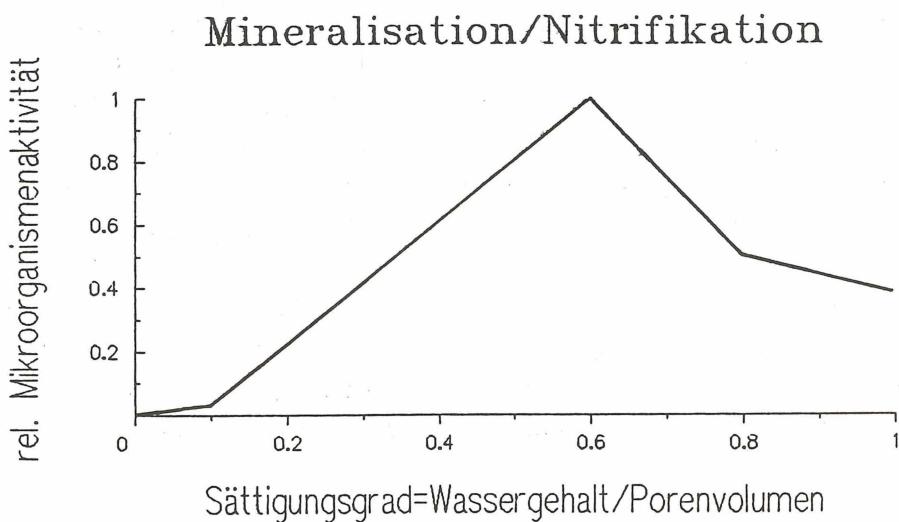


Abb. 6: Abhängigkeit der Mikroorganismenaktivität vom Grad der Wassersättigung im Boden für Mineralisation und Nitrifikation

Denitrifikation

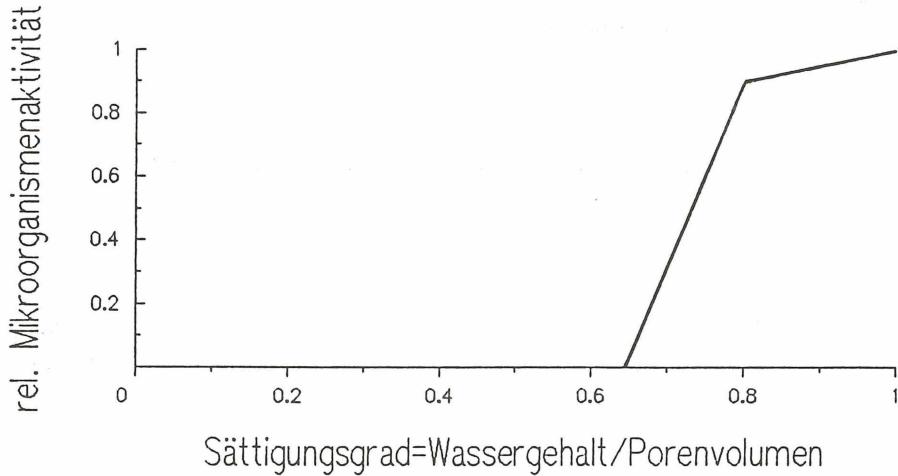


Abb. 7: Abhängigkeit der Mikroorganismenaktivität vom Grad der Wassersättigung im Boden für Denitrifikation

Davon ausgehend erfolgt die Kalkulation der Ammonifikation nach folgender Gleichung:

$$\text{NH}_4 = \text{HU} * \text{A}(\text{T}) * \text{A}(\text{SE}) * \text{PROP}$$

NH_4 = Ammoniumproduktion

HU = Humusgehalt im Boden

A (T) = (Mikroorganismen-) Aktivität in Abhängigkeit von der Bodentemperatur

A (SE) = (Mikroorganismen-) Aktivität in Abhängigkeit vom Grad der Wassersättigung der Bodenporen

PROP = Proportionalitätsfaktor

Die Nitrifikationsdynamik ist in gleicher Weise formuliert:

$$\text{NO}_3 = \text{NH}_4\text{M} * \text{A}(\text{T}) * \text{A}(\text{SE})$$

NO_3 = Nitratproduktion

NH_4M = Ammoniummenge im Boden

Die Denitrifikationsbeschreibung entspricht ebenfalls diesem Gedankenmodell:

$$DEN = NO_3M * A (T) * A (SE)$$

DEN = Denitrifikationsverluste = Nitratabbau

NO₃M = Nitratmenge im Boden

Diese Funktionen simulieren die genannten Stickstoffumwandlungen und sind für andere Inhaltsstoffe der jeweiligen Dynamik anzupassen.

Im Anschluß werden Anwendungsbereiche für die Simulationsmodelle aufgezeigt und dies anhand einiger praktischer Beispiele untermauert.

4. ANWENDUNGSBEREICHE VON SIMWASER UND STOTRASIM

SIMWASER und STOTRASIM sind für die Simulation des Wasser- und Stoffkreislaufes von landwirtschaftlich genutzten Flächen ausgelegt. Weiters gelten die Annahmen der vorliegenden Modellversion für Flächen ohne nennenswerte Oberflächenneigung und somit vernachlässigbarem Oberflächenabfluß. Wasser- und Stofftransport erfolgt ausschließlich in vertikaler Richtung.

Die Berechnung der Wasser- und Stoffbewegung erfolgt in SIMWASER bzw. STOTRASIM auf Tagesbasis, wobei grundsätzlich beliebige Fruchfolgen über einen beliebig langen Zeitraum hindurch simuliert werden können. Dabei wird nach dem in Abb. 8 dargestellten Schema generell zwischen den Zeitabschnitten von der Aussaat bis zur Ernte einer "Fruchtart C" und den nach der Ernte bis zur Aussaat des nächsten "Fruchtfolgeelements" liegenden Abschnitten "Brache" unterschieden, wobei Brache als vegetationsloser Zustand definiert ist.

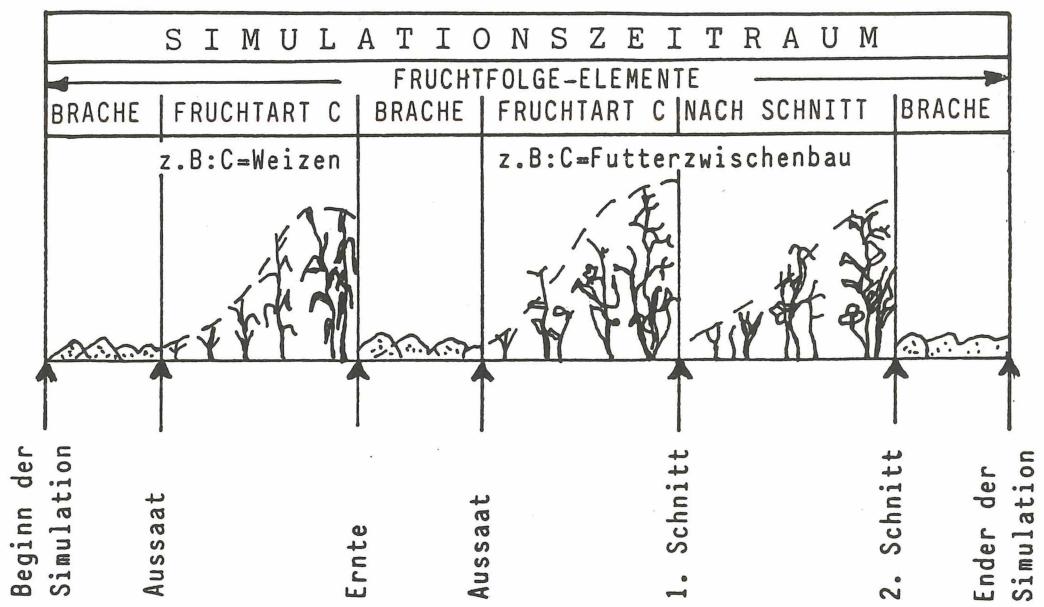


Abb. 8: Beispiel für die Unterteilung des Simulationszeitraumes in die Fruchfolgeelemente BRACHE, FRUCHTART C und NACH SCHNITT DER FRUCHTART C

Die Ergebnisse der Simulation umfassen

aus SIMWASER

- Wassergehalte im Boden mit zeitlicher und vertikaler Auflösung
- Wasserflüsse im Bodenprofil in Abhängigkeit von der Zeit
- Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von der Zeit
- aktuelle Evaporation in Abhängigkeit von der Zeit
- aktuelle Transpiration in Abhängigkeit von der Zeit
- Ertragsbildung in Abhängigkeit von der Zeit

aus STOTRASIM

- Stoffkonzentrationen im Boden mit zeitlicher und vertikaler Auflösung
- Stoffflüsse im Bodenprofil in Abhängigkeit von der Zeit
- Stoffauswaschung in Richtung Grundwasser in Abhängigkeit von der Zeit
- Stoffaufnahme durch die Vegetation in Abhängigkeit von der Zeit
- systeminterne Stoffproduktion in Abhängigkeit von der Zeit
- systeminterner Stoffabbau in Abhängigkeit von der Zeit

5. ANWENDUNGSBEISPIELE

Da ein Simulationsergebnis untrennbar an die zugrundeliegenden Eingabeparameter, Reaktionsgleichungen und Rahmenbedingungen geknüpft ist, sind zu Simulationsergebnissen unbedingt die Simulationsbedingungen jeweils anzugeben. Da die Anwendungsbeispiele sowohl zu SIMWASER als auch zu STOTRASIM bereits an anderen Stellen publiziert sind, werden diese hier mit dem Hinweis auf die entsprechenden Literaturstellen samt kurzer Skizzierung der jeweiligen Thematik dargestellt.

Die Anwendbarkeit von SIMWASER zur Simulation der Bodenwasserdynamik und einer daran geknüpften Grundwasserneubildung wird von STENITZER (1991) durch den Vergleich von gemessenen und gerechneten Bodenfeuchtwerten bzw. durch die Gegenüberstellung von gemessenem Grundwassergang und berechneter Grundwasserneubildung für einen Ackerstandort im Südlichen Wiener Becken in Abb. 9 dokumentiert.

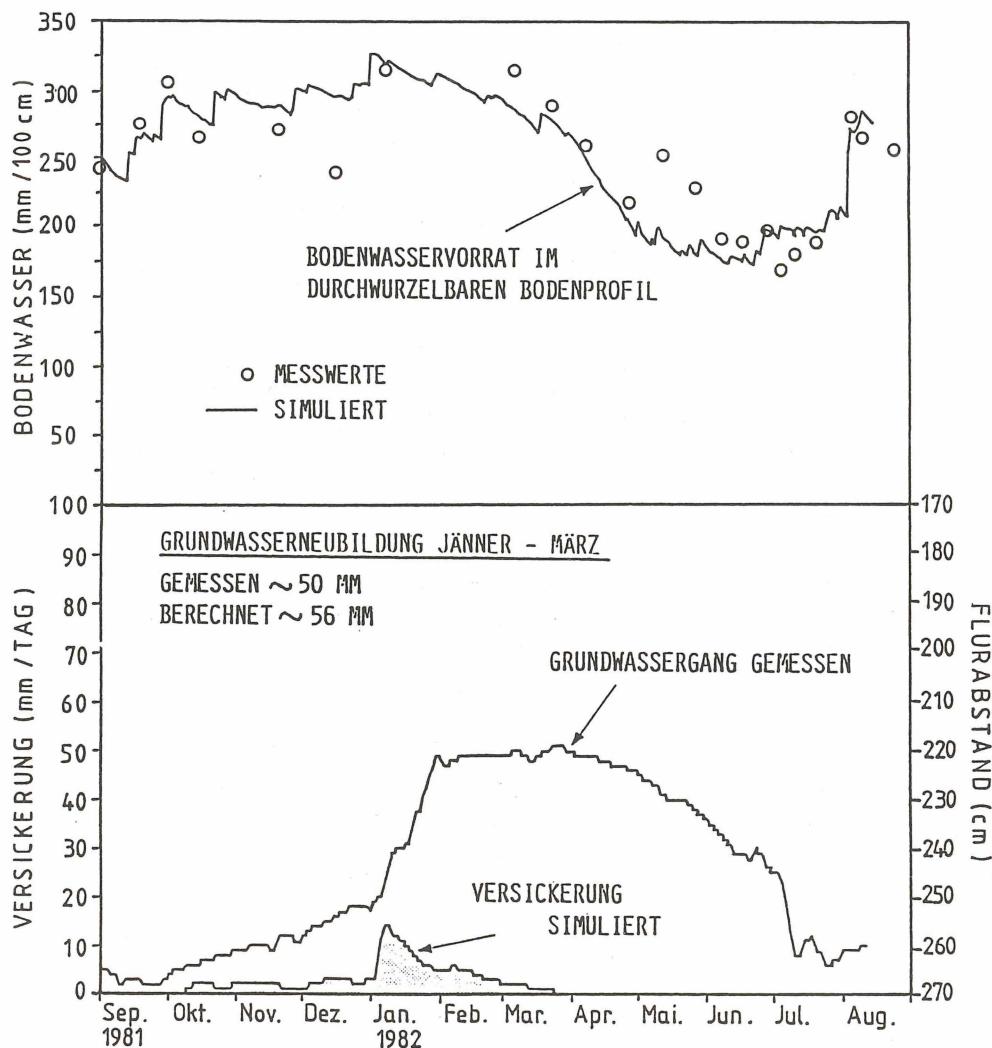


Abb. 9: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten des Bodenwassergehaltes und der Grundwasserneubildung bei einem Ackerstandort im Südlichen Wiener Becken

Mit der Abb. 10 wird in einem weiteren Beispiel von STENITZER (1988) die reale Einschätzung der Ertragsbildung mit Hilfe von SIMWASER aufgezeigt, wobei für den Zeitraum 1975 - 1983 für einen grundwasserfernen und einen grundwassernahen Standort im Südlichen Wiener Becken die berechneten Körnermaiserträge den Meßwerten gegenübergestellt werden.

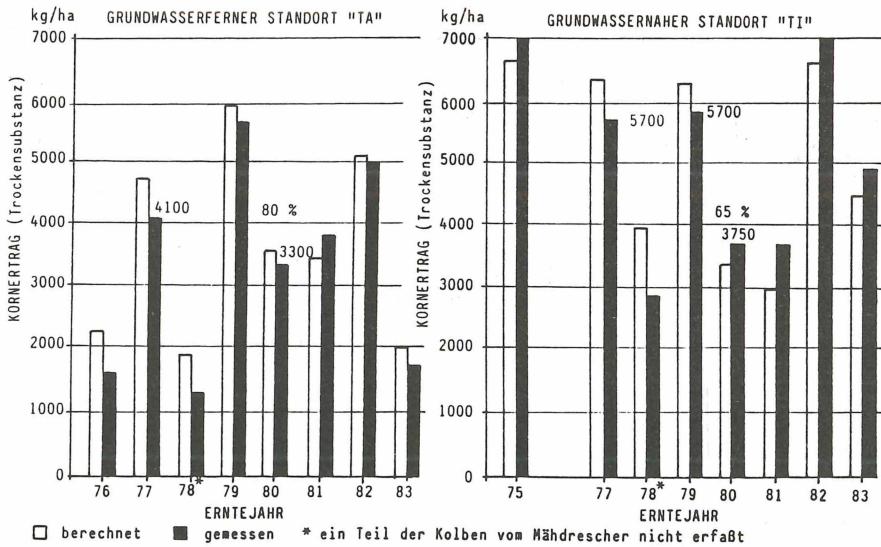


Abb. 10: Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Körnermaiserträgen auf einem grundwasserfernen und einem grundwassernahen Standort im Südlichen Wiener Becken (aus STENITZER, 1986)

FEICHTINGER (1991a) beschreibt ein Beispiel zur Simulation der Stickstoffdynamik im Boden mit STOTRASIM: für einen tiefgründigen Getreidestandort im Marchfeld werden gemessene N_{min}-Werte und der gemessene Stickstoffentzug durch die Kultur mit Simulationsergebnissen verglichen (Abb. 11).

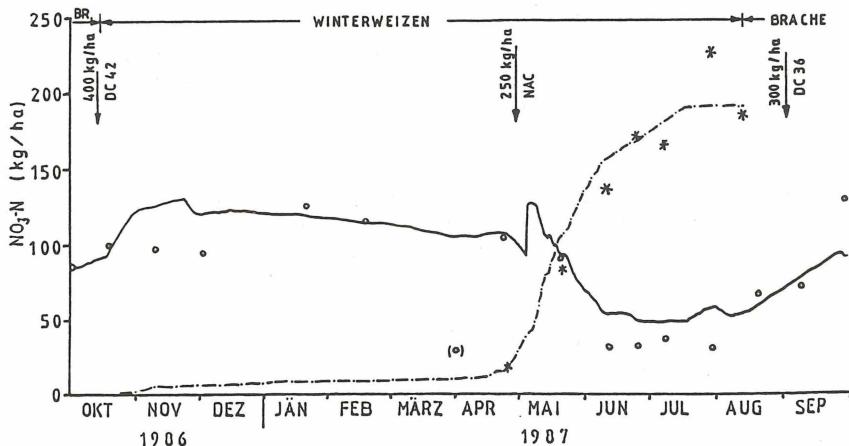


Abb. 11: Vergleich von gemessenen (°) und gerechneten (-) NO₃-N-Gehalten im Boden für 0 - 120 cm und von gemessenem (*) und gerechnetem (-.-.-) N-Entzug durch die Vegetation für einen tiefgründigen Marchfeldstandort

Die anschließende Simulationsrechnung für einen seichtgründigen Getreidestandort im Marchfeld weist neben dem Vergleich von gemessenen und kalkulierten N_{min} -Werten die Nitratauswaschung in Richtung Grundwasser aus (Abb. 12).

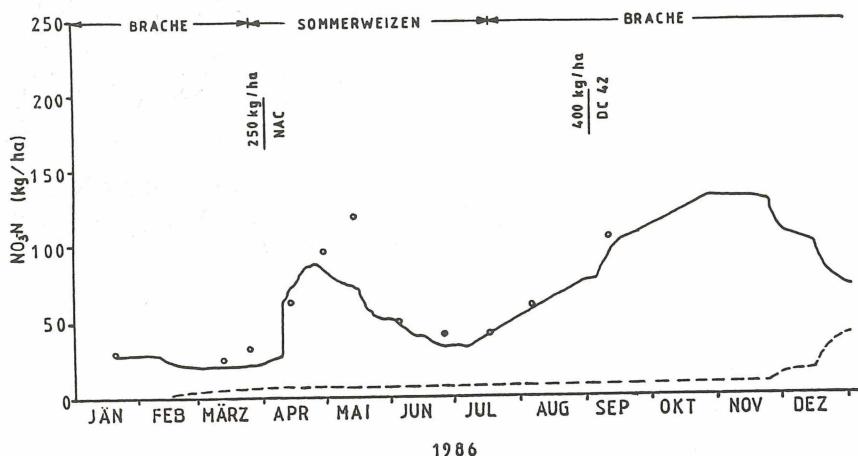


Abb. 12: Gegenüberstellung von gemessenen (°) und gerechneten (-) NO₃-Gehalten im Boden in 0 - 60 cm für einen seichtgründigen Marchfeldstandort und Darstellung der errechneten NO₃-N-Auswaschung (---) aus den obersten 85 cm in den Untergrund

Im Jahr 1989 wurde in einer Kooperationsarbeit auf zwei Standorten im Marchfeld der Verbleib und die Dynamik des Herbizides 2,4-DP im Boden näher untersucht. Parallel dazu wurde mit Hilfe von STOTRASIM die Herbiziddynamik simuliert (FEICHTINGER, 1991b); der Vergleich der berechneten mit den gemessenen Ergebnissen erfolgt in Abb. 13.

Groß Enzersdorf, seichtgründig
Feldmeßdaten

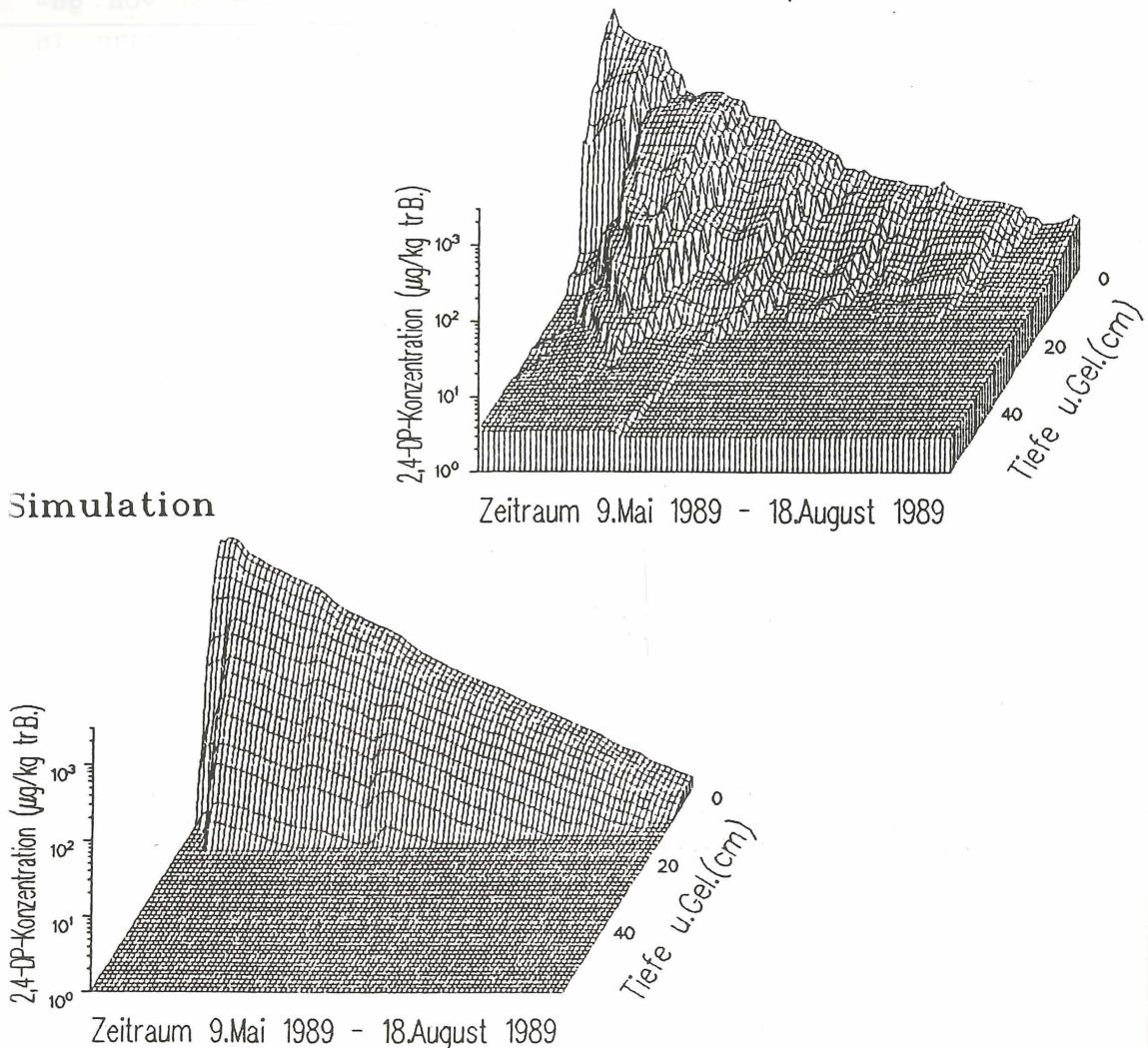


Abb. 13: Gegenüberstellung von Meß- und Rechenergebnissen zur Dynamik von 2,4-DP am Standort "Groß Enzersdorf, seichtgründig"

Im Labor wurde an Bodensäulen mit Hilfe von "Leaching-Tests" die Mobilität der Schwermetalle Cadmium und Blei untersucht. Mit STOTRASIM wurde anschließend der Transfer der beiden Schwermetalle im Boden simuliert (FEICHTINGER (1987)). Die Meß- und Rechenergebnisse dazu sind in Abb. 14 gegenübergestellt.

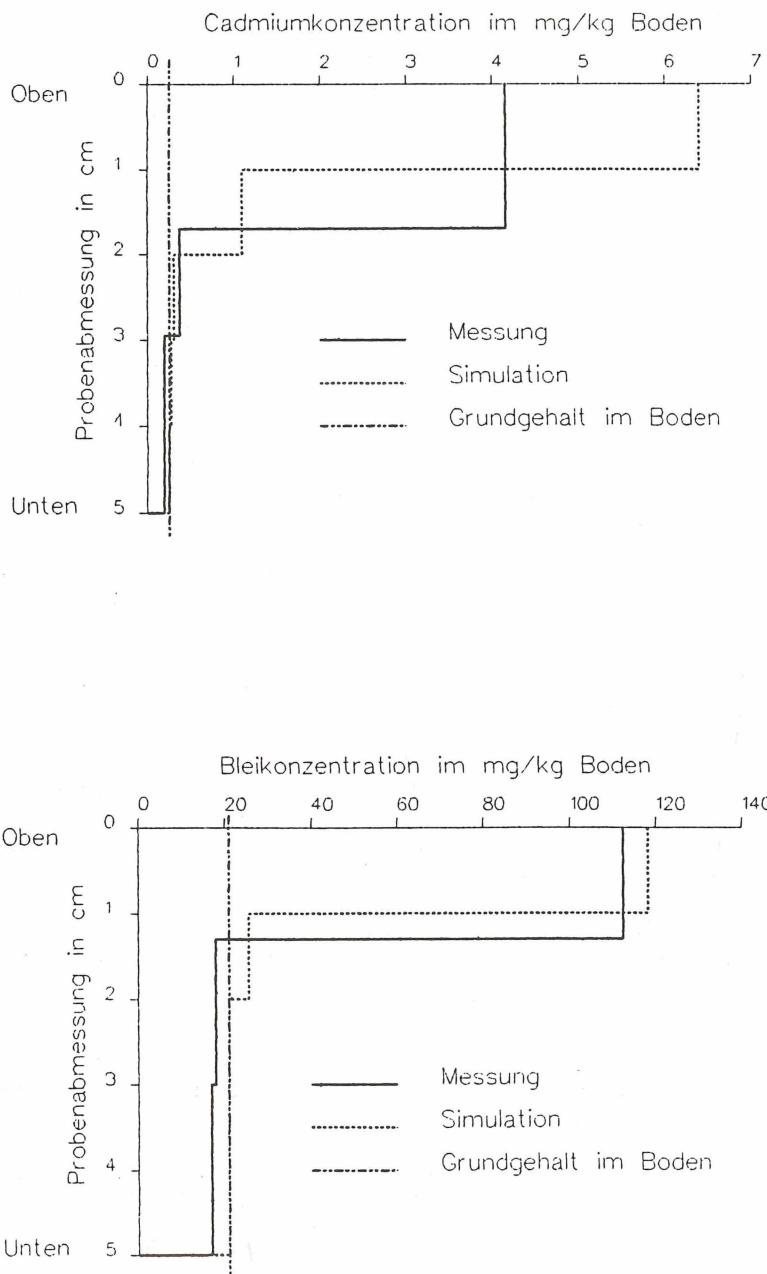


Abb. 14: Gegenüberstellung von Meß- und Simulationsergebnissen für die Cadmium- bzw. Bleiverteilung in den Bodensäulen aus den "Leaching-Tests"

Literaturverzeichnis:

- CLAY, D.E., J.A.E. MOLINA, D.E. CLAPP & D.R. LINDEN: Nitrogen - Tillage - Residue Management: II. Calibration of potential rate of nitrification by model simulation. - Soil Sci. Soc. Am. Proc. 49, 322-325, 1985.
- DAY, W., B.J. LEGG, B.K. FRENCH, A.E. JOHNSTON, D.W. LAWLOR & W.D. JEFFERS: A drought experiment using mobile shelters: the effect of drought on barley yield, water use and nutrient uptake. J. agric. Sci., Camb., 91, 599-623, 1978.
- DE WIT, C.T. & H. VAN KEULEN: Simulation of transport processes in Soils. Centre of Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1972.
- DUYNISVELD, W.H.M.: Entwicklung von Simulationsmodellen für den Transport von gelösten Stoffen in wasserungesättigten Böden und Lockersedimenten. - Umweltbundesamt Berlin, Texte 17/83, 1983.
- FEDDES, R.A., P.J. KOWALIK & H. ZARADNY: Simulation of field water use and crop yield. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1978.
- FEICHTINGER, F.: Die Dynamik von Problemstoffen in Böden des Marchfeldes. - Fachtagung "Bodenschutz und Wasserwirtschaft", Österr. Ges. f. Natur- und Umweltschutz Wien, 63-86, 1987.
- FEICHTINGER, F.: Modellhafte N-Bilanzierung als Hilfsmittel für Sanierungsmaßnahmen. - In: Sonderausgabe der Zeitschrift "Förderungsdienst", 'Grundwassersanierung bei flächenhafter Nitratbelastung', BMLF Wien, 73-82, 1991a.
- FEICHTINGER, F.: Modellrechnung zum Verhalten des Herbizides Dichlorprop im Boden; Meß- und Rechenergebnisse im Vergleich. - In: Tagungsbericht ALVA, Innsbruck, Fachgruppe "Rückstandsanalytik", 58-63, 1991b.
- HANKS, R.J., H.R. GARDNER & R.L. FLORIAN: Plant growth - evapotranspiration relations for several crops in Central Great Plains. Agron. J. 61, 30-34, 1969.
- NYE, P.H. & P.B. TINKER: Solute movement in the soil-root system. - Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1977.
- POWER, J.F., D.L. GRUNES & G.A. REICHMAN: The influence of Phosphorus fertilization and moisture on growth and nutrient absorption by Spring Wheat: I. Plant growth, N uptake and moisture use. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25, 207-210, 1961.
- STENITZER, E.: Simulationsmodell der Auswirkung von Grundwasserabsenkungen auf den Pflanzenertrag. Förderungsdienst 5, 3. Um-schlagseite, 1986.

STENITZER, E.: SIMWASER - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. - Mitt. Nr. 31 aus der Bundesanstalt für Kultertechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen, 1988.

STENITZER, E.: Der Bodenwasserhaushalt als Steuerungsgröße für die Grundwasserneubildung. - In: Sonderausgabe der Zeitschrift "Förderungsdienst", 'Grundwassersanierung bei flächenhafter Nitratbelastung', BMLF Wien, 63-72, 1991.

SZEICZ, G., ENDRÖDI, G. & S. TAJCHMAN: Aerodynamic and surface factors in evaporation. - Water Resour. Res., 5, 380-394, 1969.

THOM, A.S. & H.R. OLIVER: On Penman's equation for estimating regional evaporation. - Q.J.R. Meteorol. Soc., 103, 345-357, 1977.

VAN KEULEN, H. & C.G.M. VAN BEEK: Water movement in layered soils - A simulation model Neth. J. Agric. Sci. 19, 138-153, 1971.

Name und Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Franz FEICHTINGER & Dipl.-Ing. Dr. Elmar STENITZER
Bundesanstalt für Kultertechnik und Bodenwasserhaushalt,
Pollnbergstraße 1, A-3252 Petzenkirchen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [45](#)

Autor(en)/Author(s): Feichtinger F., Stenitzer E.

Artikel/Article: [Simulation des Wasser- und Stofftransports im Boden 5-23](#)