

Der Versuch einer Koppelung von Bodenwasserhaushalts- und Grundwassermodell am Beispiel des westlichen Leibnitzer Feldes Zusammenfassung eines Workshops vom April 1998

H. ZOJER

1. Einleitung

Die Untersuchungen in der ungesättigten Zone beschränkten sich in den letzten Jahrzehnten auf die obersten Schichten, da das Hauptaugenmerk auf landwirtschaftliche Produktionsprobleme und dem landwirtschaftlichen Wassermanagement gerichtet war. Die ungesättigte Zone stellt aber auch den Schlüssel zur Lösung von Problemen der Grundwasserverunreinigung aus landwirtschaftlichen und nicht landwirtschaftlichen Quellen auf lokaler, regionaler und überregionaler Ebene dar. Es wird notwendig sein, diese Umweltprobleme systematisch aufzuarbeiten, wobei die Grenzen zwischen Wissenschaftsdiziplinen, Institutionen und auch der Geographie überschritten werden müssen. Die Notwendigkeit einer breiten und multidisziplinären Sichtweise ist im Blickfeld der Vielzahl physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse die das Verhalten und den Transport von Wasser und gelösten Stoffen im Untergrund beeinflussen, klar erkennbar.

Die Erforschung der ungesättigten Zone kann nicht länger auf die obersten Schichten des Untergrundes beschränkt bleiben, da nicht nur im Wurzelbereich, sondern auch in den darunter liegenden Schichten chemische und biologische Umsetzungen stattfinden. Wir müssen uns mit Wasserfluß und Stofftransport im gesamten Bereich zwischen der Landoberfläche und dem Grundwasser beschäftigen, wobei auf die Interaktion zwischen gesättigter und ungesättigter Zone spezielles Augenmerk zu richten ist. Es muß gelingen, den Einfluß von Fließ- und Transportprozessen in der ungesättigten Zone auf Menge und Qualität des unterlagernden Grundwassers zu quantifizieren.

Die Erforschung der ungesättigten Zone muß zunehmende Bedeutung in der hydrologischen Forschung gewinnen. Von besonderer Bedeutung ist dabei ihre Rolle im Bereich der Oberflächenabfluvvorhersage auf verschiedensten Skalenebenen. Dabei sind Feldstudien unterschiedlichster Skalierung von besonderer Bedeutung. Die Entwicklung realistischer, physikalisch basierter numerischer Modelle für die Interaktion Biosphäre - Atmosphäre ist eine unabdingbare Voraussetzung zur Vorhersage der Auswirkung von Maßnahmen im Umweltbereich auf den Transfer von Wasser- und Stoffmengen.

Grundlage für die Modellerstellung ist die Akquisition und Sichtung von Daten, die in einem punktuellen, linearen oder flächenhaften Bezug vorliegen.

Viele solcher Daten stammen von standortspezifischen Detailuntersuchungen, vor allem was die ungesättigte Zone betrifft. Spezielle bodenphysikalische und -chemische Untersuchungen erlauben die Erfassung von Bodenkennwerten, Messungen an Lysimetern und die Entnahme von Wasserproben in der ungesättigten Zone liefern durch in situ- oder Laboranalytik Parameter für die Nachvollziehung von Wasser- und Stoffflüssen. Direktmessungen, wie etwa der Bodentemperatur, des Wassergehaltes und der Saugspannung tragen schließlich zum Verständnis dynamischer Vorgänge in der ungesättigten Zone bei. Von den wasserbezogenen Stoffparametern sind dabei besonders die Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen hervorzuheben, deren Stellenwert für eine Interpretation steigt, wenn auch die Mikrobiologie mitberücksichtigt wird.

Grundwasserdaten basieren vor allem auf den Ergebnissen von Forschungspro-

jekten, doch soll auch auf jene Studien hingewiesen werden, wo spezielle Fragestellungen, wie die Trinkwassernutzung oder Auswirkungen von Kiesentnahmen, Industriestandorte und Kraftwerke auf das Grundwasser erörtert werden. Schließlich stehen auch Daten aus übergeordneten Monitoring-Programmen (z.B. WEVG) zur Verfügung.

2. Modellansätze

Für die gegebene Fragestellung werden drei Modelle vorgestellt und Ansätze für ihre Verknüpfung diskutiert:

- STOTRASIM: Dieses Modell erlaubt die Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone. Neben den Einträgen werden Pflanzenentzug, Ammoniumausgasung, Mineralisation, Nitrifikation, Immobilisation und Denitrifikation berücksichtigt (F. FEICHTINGER, 1998). Mit der Erfassung der Stickstoffauswaschung in das Grundwasser kann der Konnex zur Quantifizierung der Grundwasserneubildung hergestellt werden.
- SIMWASER: Unter Berücksichtigung der aus der Bodenkarte abgeleiteten Bodenkennwerte wird ein Modell des Bodenwasserhaushaltes entwickelt, das auch die Berechnung der Grundwasserneubildung zuläßt (E. STENITZER, 1998). Die jahreszeitliche Verteilung der Grundwasserneubildung ist wiederum eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung instationärer Grundwassermodelle. Mit dem Modell SIMWASER können die Berechnungsgrößen für die Grundwasserneubildung als Funktion der Witterung, des Pflanzenbestandes, des Bodenaufbaues und des Flurabstandes simuliert werden.

Autor: Univ.Prof. Dr. Hans ZOJER, Joanneum Research, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, Elisabethstraße 16/II, 8010 GRAZ

- FEFLOW: Dieses Grundwasserströmungs- und Transportmodell baut selbstverständlich auf dem Darcy'schen Gesetz auf und erlaubt die Simulation von Infiltrations- und Exfiltrationsprozessen sowohl über die ungesättigte Zone als auch aus der Position des Grundwassers zum Vorfluter. Die physikalischen Bedingungen der Grundwasserströmung werden über finite Elemente beschrieben (J. FANK, 1998). Zur Erstellung von Grundwasserströmungs- und Nitrattransportmodellen ist die Sichtung des Datenmaterials notwendig, die Verbindung von Zeitreihen von Geodaten und deren statistische Analyse bringt dabei neue Ansätze für eine synoptische Betrachtung der Ergebnisse.

3. Implementierung der Modellierung in Flächen-daten der Landnutzung

Die grundwasserschonende Landwirtschaft geht von der Voraussetzung aus, daß die flächenbezogene Umsetzung von Punktdaten über die Modellierung der Wasserbewegung, die Klassifizierung der Landnutzung und die Einbeziehung Geographischer Informationssysteme erfolgt. Sie stellt die Basis für entsprechende Maßnahmen zur Qualitätssicherung des Grundwassers dar. Ausgangspunkt ist die Verknüpfung von Strömungs- und Transportmodellen in der ungesättigten und Grundwasserzone.

Die Klassifizierung der Landnutzung erfolgt über entsprechend entwickelte Softwarepakete der Fernerkundung (z.B. GRASS, ERDAS) im Hinblick auf eine flächenhafte Bewertung der Wasserbilanz. Unter Verwendung von Landsat 5-TM-Aufnahmen wurde eine Landnutzungskarte des südlichen Leibnitzer Feldes erarbeitet (P. SACCON, 1998). Es zeigte sich, daß die Klassifikation der Landnutzung auf der Grundlage von Satellitenbildern insbesondere in Regionen mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung ein wertvolles Hilfsmittel für die Berechnung der Gesamtverdunstung und damit für die Erstellung einer Wasserbilanz ist.

Geographische Informationssysteme (GIS) sollen für die Datenaufbereitung zur Modellerstellung, für die Modellkalibrierung und für die Ergebnisdarstellung

der Modellabläufe in den Untersuchungsrahmen eingebunden werden. Dabei können GIS (wie MORPH, ARC-INFO) mit STOTRASIM gekoppelt werden. In MORPH, einer GIS-Eigenentwicklung (G. ROCK, 1998), werden Verfahren für die Generierung komplexer Eingabedatensätze realisiert, sie erleichtern erheblich die Erstellung und Kalibrierung von Grundwassermodellen.

4. Folgerungen

Für eine Modellerstellung unerlässlich ist der Flächenbezug von akquirierten und gesichteten Daten. Die flächenhafte Interpolation von Punktdaten ist dabei mit Hilfe von geostatistischen Modellen möglich.

- Grundlage ist die Bodenkartierung mit der Erfassung bodenphysikalischer Kennwerte (z.B. Porenvolumen, Humusgehalt, Feldkapazität)
- Die Kartierung der Landwirtschaft resultiert aus einer Kombination terrestrischer Aufnahmen und Methoden der Fernerkundung. Zweifellos kommt dabei den landwirtschaftlichen Nutzungen (Monokultur und Fruchtfolge, Düngemaßnahmen) die größte Bedeutung zu, doch sollten die von der Besiedlung, der Industrie, dem Gewerbe und dem Verkehr in Anspruch genommenen Flächen nicht vernachlässigt werden.
- Die flächenbezogenen Daten des Wasserhaushaltes schließen den Niederschlag, die Infiltration, das Grundwasser (Richtung, Geschwindigkeit, Vorflutbeziehung) und die Stoffverteilung im Grundwasser ein.

Die derzeitige Version des verwendeten Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodells bezieht sich auf die Grundwasserneubildung in einer Bilanzschicht 1.5 m unter Gelände. Die Werte der Ganglinie dieser Bilanzschicht werden direkt der Grundwasseroberfläche beaufschlagt, der in 3 bis 5 m unter Gelände liegt. Es überrascht, daß die zeitliche Verzögerung des Wasserflusses durch 1.5 bis 3.5 m mächtige ungesättigte Kiese und Sande beträchtlich ist. Während aufgrund der Charakteristik der ungesättigten Kiese und Sande diese Tatsache für die Frage der quantitativen Sickerwassermenge vernachlässigbar er-

scheint, ist diese Verzögerung für die Frage des Nitrattransportes von essentieller Bedeutung. Ziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten muß es sein, den Wasser- und Stofffluß von der Oberfläche über die ungesättigte Zone in den Grundwasserkörper, sowie die Weiterleitung in der gesättigten Zone in einem System zu berechnen, da nur dadurch eine direkte Interaktion zwischen den beiden verschiedenen Bereichen numerisch nachgebildet werden kann.

Eine bedeutende Herausforderung ist es, den NO_3 -Eintrag aus Infiltrationswässern zu berechnen und mit der lateralen Stoffverfrachtung aus dem Grundwasserzuström zu verknüpfen. Dabei spielt auch der Bezug intensiver Landwirtschaft zur Grundwasserneubildung eine große Rolle, weil sie mittelbar mit der Nitratreduktion im Grundwasser zusammenhängt.

Die Modellierung der Grundwasserströmung in geringmächtigen Aquifersystemen erfolgt heute vorzugsweise über den Ansatz der tiefengemittelten Strömungsgleichung, d.h. in der Form von 2D-horizontalen Strömungsmodellen. Während für die Frage der Grundwasserströmung aufgrund der geringen Mächtigkeit dieser Aquifere dies durchaus zulässig sein mag, stellt sich die Frage, wie die Einlagerungsprozesse von Stoffen aus der überlagernden ungesättigten Zone in den gesättigten Wasserkörper vor sich geht. Die Annahme einer sofortigen vollständigen vertikalen Durchmischung ist jedenfalls sehr in Frage zu stellen, weshalb prinzipiell überlegt werden muß, ob für Fragen der Transportmodellierung nicht ein 3D-Ansatz anzusetzen wäre.

Die Berechnung der Grundwasserneubildung aus nicht ackerbaulich genutzten Bereichen ist mit großen Unsicherheiten behaftet und liefert nur sehr grobe Unterscheidungsmöglichkeiten von Landnutzungen. Während für den Bereich der Neubildung unter Waldstandorten entsprechende Arbeiten im Gange sind, sind für sonstige Flächen, wie Verkehrsflächen, Flächen aus Besiedlungsgebieten, Ballungsräumen nur sehr theoretische Ansätze zu finden. Für eine praktische Umsetzung sind hier auch noch Meßprogramme und Modellierungsansätze zu erarbeiten. Dasselbe Problem stellt sich auch für den Stoffaustrag aus nichtland-

wirtschaftlichen Landnutzungssystemen. Während für die Neubildung ein Ausweichen in Hilfsmethoden denkbar ist, beruhen Angaben über den Stoffaustausch in diesem Bereich auf extrem punktuellen Meßergebnissen.

Aus der Sicht des Bodenwasserhaushaltes erfolgt die räumliche Differenzierung der Neubildung und des Stickstoffaustausches durch die Annahme homogener Teilflächen mit eindeutig zuordenbaren Bodenformen und Landnutzungseinheiten. Die Parametrisierung erfolgt auf der Grundlage von Bodenkartierungsergebnissen unterschiedlicher Skalierung. Die Ausscheidung dieser homogenen Bodenformenflächen selbst beruht auf punktuellen Profilbeschreibungen. Es gilt hier in der Folge die Frage zu klären, inwieweit die im Zuge der Bodenkartierung durchgeführte Regionalisierung ausreichende Genauigkeit für die flächenhafte Berechnung von Grundwasserneubil-

dung und Nitrataustrag in das Grundwasser aufweist (J. FANK, 1998).

Die derzeitige Form der Modellierung von Grundwasserneubildung und Nitrattransport in der ungesättigten Zone erfolgt unter ausschließlicher Berücksichtigung des advektiv-dispersiven Wasser- und Stoffflusses. Präferentielle Fließwege werden in neuesten Untersuchungen meßtechnisch in kleinstem Raum erfaßt. Selbst bei vorhandenen numerischen Lösungen der Kombination von Matrix- und Makroporenfluß ist die Frage der flächenhaften Parametrisierung derartiger Modelle noch weitgehend unbeantwortet.

Literatur

- FANK, J., 1998: Grundwasserströmungs- und Nitrattransportmodell für das westliche Leibnitzer Feld. In: Modelle für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, Petzenkirchen.
- FEICHTINGER, F., 1998: STOTRASIM - Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der

ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. In: Modelle für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, Petzenkirchen.

- ROCK, G., 1998: MORPH - Eine GIS-Eigenentwicklung als Prä- und Postprozessor für Bodenwasserhaushalts- und Grundwasserströmungsmodell. In: Modelle für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, Petzenkirchen.
- SACCON, P., 1998: Landnutzungsklassifikation auf der Grundlage von Satellitenbildern. In: Modelle für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, Petzenkirchen.
- STENITZER, E., 1998: Die Abschätzung der Grundwasserneubildung mit dem Modell SIMWASER auf der Basis der österreichischen Bodenkarte 1 : 25.000. In: Modelle für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, Petzenkirchen.
- ZOJER, H., 1998: Numerische Modelle als Instrumente zur Prognose langfristiger Auswirkungen von Bewirtschaftungsweisen. In: Modelle für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, Petzenkirchen.

