

Erwin Murer

Grundwasserschutz mit modernen Auswertungsmethoden

1. Einleitung

Wirksame Schutzmaßnahmen für das Grundwasser erfordern eine geeignete Datenbasis mit Angaben über das Vorkommen des Grundwassers und der Grundwasserüberdeckung und deren Eigenschaften. Dabei werden nicht nur Daten der Grundwasserüberdeckung (Böden und Deckschichten), sondern z. B. auch Daten über Klima, Grundwasserflurabstand, Nutzung und Geländehöhen benötigt. Deren Verfügbarmachung und Regionalisierung sind für die meisten Auswertungen unabdingbar. Idealerweise sollen diese Daten digital vorliegen. Die effektive Nutzung einer solchen Datenbasis für thematische Auswertungen im Rahmen von Planung und Beratung erfordert aber auch die Bereitstellung von Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Eine Simulation von Prozessen, z. B. der Wasserbewegung im Boden und der dabei stattfindenden Stoffverlagerung, erfordert die Anwendung von numerischen Simulationsmodellen. Hierbei wird der in der Natur ablaufende Prozess durch mathematische Lösungen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung nachvollzogen. Diese hohe Auflösung erfordert daher auch die Bereitstellung von Eingangsdaten in hoher räumlicher Dichte. Da in der Regel diese Informationsdichte für numerische Lösungen nicht vorliegt, kann durch räumliche Parametrisierungsverfahren versucht werden, die benötigten Daten (Boden, Klima, Nutzung) bereitzustellen. Unter Parametrisierungsverfahren werden Methoden verstanden, mit denen z. B. aus der Bodenkarte eine Kombination aus Messwerten (Ton, Schluff und Sand) und halbquantifizierten Kennwerten (Beschreibung der Struktur, Gefüßgröße, Zerdrückbarkeit) bodenphysikalische Parameter abgeleitet werden (MURER, 1998). Durch diese Anforderungen an die räumliche Auflösung ist der Einsatz von numerischen Simulationsmodellen auf größeren Maßstabsebenen im Bereich der Beratung möglich. Neben den Anforderungen der Methoden an die Datendichte sind die Qualitätsansprüche an die zur Verfügung zu stellenden Eingangsdaten unterschiedlich. Während empirische Methoden auf einfache Eingangsdaten und abgeleitete Kennwerte zurückgreifen können, erfordern numerische Lösungen, z. B. für die Beschreibung des Wasserflusses, die Bereitstellung von hydraulischen/bodenphysikalischen Funktionen (pF-Kurven, Ku-Kurven). Die Anforderungen an die Eingangsdaten werden mit zunehmender Komplexität der zu beschreibenden Prozesse höher. Durch Anwendung von Parametrisierungsverfahren können z. B. Wasseranteil-Matrixpotential Beziehungen (pF-

Kurven) und ungesättigte Wasserleitfähigkeit-Matrixpotential Beziehungen (Ku-Kurven) aus einfach zu ermittelten Eingangsdaten abgeleitet und für Modelle bereitgestellt werden. Ein weiteres Einsatzgebiet von Modellen ist die Beschreibung von Abläufen zum Verständnis der stattfindenden Prozesse. Dies kann auch zur Erweiterung und Verbesserung von empirischen Methoden herangezogen werden. Um Informationssysteme für Fragen des Gewässer- und Bodenschutzes anzuwenden, müssen zumindest zwei Anforderungen an die Datenverfügbarkeit und die Methodenstruktur gestellt werden. Erstens eine ausreichende Datendichte auf unterschiedlicher Maßstabsebene (nutzungsorientiert) und zweitens die Umsetzbarkeit der Eingangsdaten mit vorhandenen Methoden.

2. Modelle

Im Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (IKT) werden neben empirischen Methoden für bestimmte Fragestellungen (z. B. flächenhafte Ermittlung der Verdunstung, der Sickerwassermenge, der Nitratfracht im Sickerwasser) Simulationsmodelle angewendet. Durch die relativ hohe Genauigkeit der Simulationsmodelle ist der Einsatz dieser Modelle im wesentlichen auf Bereiche/Gebiete mit einer guten Ausgangsdatenlage beschränkt. Um Daten aus Datenbanken bereitzustellen, können Parametrisierungsverfahren verwendet werden. Zur Zeit wird im IKT mit folgenden Simulationsmodellen im Bereich des Grundwasserschutzes gearbeitet:

- Wasserhaushaltsmodell SIMWASER (STENITZER, 1988)
- Stofftransportmodell STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998)

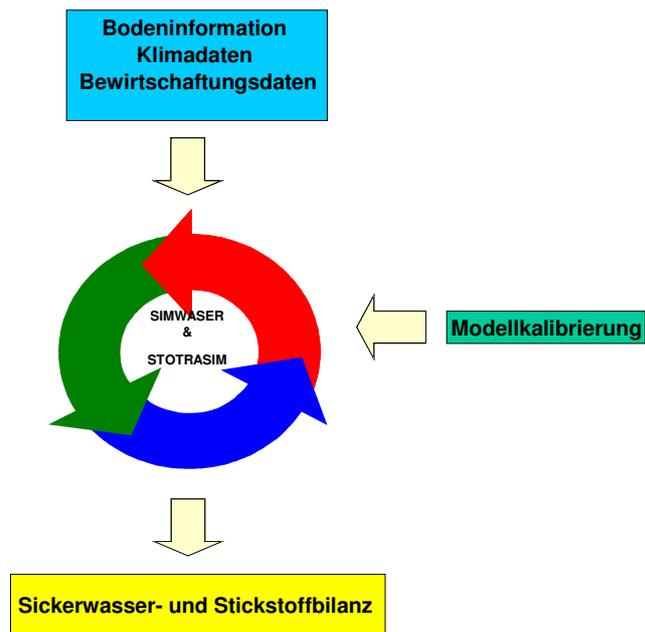


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Modellrechnung für den Wasserhaushalt und Nitrattransport

2.1 Wasserhaushaltsmodell SIMWASER

Die Berechnung des Bodenwasserhaushaltes und damit der Grundwasserneubildung erfolgt für landwirtschaftlich genutzte Flächen mit dem Simulationsmodell SIMWASER und für Wald mit dem modifizierten Modell SIMWASER_WALD. Mit beiden Modellen wird die tägliche Bilanz zwischen Niederschlag, Verdunstung, Bodenspeicherung und Oberflächenabfluss auf der Basis von täglichen Wetterdaten (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung und Niederschlag) für eine Bodenform bei Berücksichtigung des jeweiligen Pflanzenbestandes und seines Entwicklungsstandes bzw. seiner Pflanzenarchitektur berechnet. Dazu müssen der Bodenaufbau (also die Horizontabfolge) und die Bodenart der einzelnen Horizonte bekannt sein. Für die Berechnung der Wasserbewegung müssen die pF-Kurven und die Ku-Kurven der jeweiligen Bodenart bekannt sein; für die Abschätzung der Wurzelentwicklung bei Feldfrüchten und Grünlandbeständen wird darüber hinaus die funktionelle Abhängigkeit des Penetrometerwiderstandes vom Matrixpotential benötigt. Diese Bodenkennwerte müssen entweder aus Feldmessungen abgeleitet oder an ungestörten Bodenproben im Labor ermittelt werden. Für Übersichtsrechnungen stehen eine Reihe von typischen "Standardbodenkennwerten" in einer Datenbank des IKT zur Verfügung. Für die Berechnung der Pflanzenentwicklung und des Pflanzenwachstums sowie des damit verbundenen Wasserverbrauchs werden Pflanzenkennwerte für die unterschiedlichen Kulturen verwendet,

womit der Einfluss des jeweiligen Bewuchses auf den Bodenwasserhaushalt erfasst werden kann.

2.2 Stofftransportmodell STOTRASIM

Das Stofftransportmodell STOTRASIM errechnet den Stickstoffhaushalt im Boden in Tagesbilanzen. An der Bodenoberfläche werden Stickstoffeinträge durch Düngung, Niederschlag, Beregnung und Bindung von Luftstickstoff durch Leguminosen berücksichtigt. Der Stickstoffentzug durch die Pflanze und die Rückfuhr von Pflanzenmasse (Blatt, Stroh, Wurzeln) gehen ebenfalls in die Rechnung ein. Mineralisation, Nitrifikation, Immobilisation und Denitrifikation prägen den systeminternen Stickstoffumsatz zwischen den verschiedenen Pools. Der Stickstofftransport im Boden wird durch Konvektion und Diffusion/Dispersion beschrieben. Entsprechend dem Potentialgefälle ergibt sich am Übergang zum Grundwasser entweder eine Grundwasserdotation oder ein kapillarer Aufstieg. Der Bodenwasserhaushalt wird mit dem Modell SIMWASER berechnet.

Um mit Modellen seriöse Aussagen zu tätigen ist es notwendig, die Modelle unter verschiedenen klimatischen und pedologischen Verhältnissen zu kalibrieren. Die Modelle STOTRASIM und SIMWASER sind an Messwerten des Sickerwassers und des Nitrataustrages aus Messstellen (Lysimeter, Sickerwassersammler und Saugkerzenanlagen) unter verschiedenen Bewirtschaftungsweisen in den wichtigsten agrarischen Klimaräumen kalibriert (Abb. 2 und 3).



Foto: IKT

Abbildung 2: Ansicht einer Messstelle mit Absauganlage für Bodenlösung (Sickerwassersammler) im Bauzustand mit Wetterstation



Abbildung 3: Kalibrierungsstandorte der Modelle SIMWASER und STOTRASIM in Österreich

3. Anwendungen

Die simulierten Ergebnisse beziehen sich zunächst auf das simulierte Bodenprofil und müssen anhand von weiteren Bodendaten in die Fläche umgesetzt werden. Eine flächenhafte Bewertung der standortspezifischen Wasser- und Stickstoffbilanz wird unter Berücksichtigung von Boden, Klima, Vegetation und Betriebsmittel vorgenommen. Eine Modellrechnung erlaubt, von zeitlich begrenzten Untersuchungen auf längere Zeiträume zu schließen, aber auch Variantenstudien, z.B. durch Variation der Bewirtschaftung, durchzuführen. Hauptanwendungsgebiete sind Studien für eine grundwasserverträgliche Bodennutzung mit dem Ziel, unterirdische Wasservorkommen für die Trinkwasserversorgung zu sichern. Solche Anwendungen können in Schutz- und Schongebieten als Grundlage für Nutzungsbeschränkungen und Entschädigungsverfahren, im landwirtschaftlichen Beratungswesen für die Umsetzung einer grundwasserschonenden Bewirtschaftungsweise und in der landschafts- und wasserwirtschaftlichen Planung verwendet werden.

Eine Voraussetzung für eine parzellenscharfe und rationelle Bearbeitung ist die Verfügbarkeit der flächenhaften Bodendaten, die zur Zeit bei den Schätzungskarten der Finanzbodenschätzung noch nicht gegeben ist. Die Österreichische Bodenkartierung M 1:25000 ist für die landwirtschaftlich genutzte Fläche bis auf drei Kartierungsbereiche digital verfügbar.

3.1 Ausgewählte Anwendungsbeispiele der Simulationsmodelle

Nutzung von Simulationsmodellen zur Beantwortung von wasserspezifischen ÖPUL-Evaluierungsfragen bezüglich Nitrataustragsgefährdung

Das Programm zur Förderung und Entwicklung des ländlichen Raumes (ÖPUL) wird für den Zeitraum 2000 - 2006 angeboten. Dieses Projekt ist ein Beitrag zur Halbzeitbewertung und dient zur Kontrolle und Verbesserung der Durchführung des ländlichen Entwicklungsplans. Die Überprüfung der Auswirkungen auf das Grundwasser erfolgt in drei Testgebieten (Obere Pettenbachrinne OÖ, Weißkirchen/Pucking OÖ und Marchfeld NÖ). Das Projektziel ist die Bewertung der Sickerwassermenge und der mitgeführten Stickstofffracht für die regionalen Wetter- und Bodenbedingungen der drei Porengrundwassergebiete bei unterschiedlicher Bewirtschaftung (mit ÖPUL – Maßnahmen und ohne) mit dem Modell SIMWASER und STOTRASIM. Die Auswertung wird an drei Betriebstypen mit typischer Fruchtfolge und Viehbesatz und an den drei Standorten für verschiedene Nitrataustragsgefährdungsklassen ermittelt, denen alle Betriebe mit Hilfe von INVEKOS-Daten und alle Flächenanteile mit Hilfe von Bodendaten zugeordnet werden. Für jede Kombination „Maßnahmen - Betriebstypen -

Nitrataustragsklassen“ wird die Wirkung auf den Stickstoffaustrag mit dem Modell SIMWASER und STOTRASIM berechnet. Die Aggregation der Ergebnisse erfolgt über die Flächenanteile der Maßnahmen, Betriebstypen und Nitrataustragsklassen in den Testgebieten. Die Modellrechnung wurde für 164 verschiedene Bewirtschaftungsvarianten durchgeführt. Das Projekt ist zur Zeit noch in Bearbeitung. Erste Ergebnisse zeigen einen positiven Einfluss z. B. durch den Anbau von Zwischenfrüchten und der Düngeraufteilung in mehrere Gaben, besonders auf austragsgefährdeten Standorten. Es hat sich auch gezeigt, dass bei der Anpassung der Bewirtschaftungsintensität an den Standort, besonders bei austragsgefährdeten Böden zur Erreichung einer grundwasserverträglichen Bewirtschaftung noch Nachbesserungen notwendig sind.

Grundwasserneubildung im Marchfeld

Im Marchfeld wird Grundwasser zur Bewässerung der landwirtschaftlichen Kulturen herangezogen, dabei wird mehr verbraucht als durch die natürliche Grundwasserneubildung wieder ersetzt werden kann: ein deutliches Absinken der Grundwasserstände insbesondere nach trockenen Jahren ist die Folge. Durch den Bau des Marchfeldkanals und die Zufuhr von Donauwasser in das Marchfeld wird diese Situation wesentlich entschärft, dennoch muss sich eine nachhaltige Grundwassernutzung in diesem Gebiet an der natürlichen Grundwasserneubildung orientieren. Dazu ist die möglichst genaue Kenntnis der Grundwasserneubildung im Marchfeld erforderlich. Zu diesem Zweck werden vom IKT an typischen Standorten langjährige Untersuchungen des Bodenwasserhaushaltes durchgeführt. Es wurden “Bodenfeuchtemessstellen” eingerichtet, mit welchen die Wasserbewegung im Boden und damit die Versickerung in das Grundwasser erfasst werden können. Diese Messungen werden zur Eichung des Simulationsmodells SIMWASER verwendet, mit welchem dann die Grundwasserneubildung auf den untersuchten und auf weiteren Standorten des Marchfeldes berechnet werden kann. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass auf den seichtgründigen Böden der Hochterrasse unter einem Kiefernbestand nur ein Viertel der Grundwasserneubildung eines Ackers stattfindet: eine Aufforstung dieser Grenzertragsböden ist daher aus wasserwirtschaftlicher Sicht nicht zu empfehlen. Derzeit wird die Grundwasserneubildung unter einem Trockenrasen untersucht.

Pilotprojekt zur verstärkten Grundwasservorsorge einer Brunnenanlage - Stickstoffhaushalt und Grundwasserschutz

Der Nitratgehalt eines Horizontalfilterbrunnens, welcher einer überregionalen Trinkwasserversorgung als Entnahmebrunnen dient, weist in den letzten beiden Dekaden

eine steigende Tendenz von etwa 10 mg NO₃/l im Jahre 1980 auf etwa 45 mg im Jahr 2002 auf. Das IKT und das Ingenieurbüro JANDL-EDV in Müllendorf wurden beauftragt, die Ursachen für diese Entwicklung zu untersuchen, die derzeitige Situation zu beschreiben und Vorschläge für eine grundwasserschonende Landbewirtschaftung zu machen.

Das Brunneneinzugsgebiet wird primär durch Äcker und Wiesen, der Hangfuß und untere Hangbereich durch Weinbau (Flächenanteil: ~17%) und der obere und mittlere Hangbereich durch Niederwald (~58%) genutzt. In Felduntersuchungen, begleitenden Laboranalysen und standörtlich kalibrierten Modellrechnungen mit den Modellen SIMWASER/STOTRASIM wurden die Grundwasserneubildung (Abb. 4) und der damit verbundene Nitratreintrag in das Grundwasser in Abhängigkeit von Klima, Boden, Pflanzen und Bewirtschaftung berechnet. Die Integration der Ergebnisse der Modellrechnung in ein vom Ingenieurbüro JANDL-EDV entwickeltes GIS-gestütztes Informationssystem (Bodenmanager), ist Grundlage eines Werkzeuges, mit dem die Auswirkung unterschiedlicher Maßnahmen auf die Grundwasserbelastung mit Nitrat von der Behörde bzw. vom Wasserleitungsverband selbst ermittelt werden kann. Die Feldmessungen ergaben unter Wald, Wiese und sonstigem Grünland eine geringe Nitratkonzentration (im Bereich zwischen 0 –10 mg/l), unter Acker einen Nitratgehalt im Grundwasser von 30 – 40 mg/l und die höchsten Nitratgehalte (200-400 mg NO₃/l) wurden im Sicker- bzw. Grundwasser unter Weingärten festgestellt. Die Modellergebnisse ergaben für winterbegrünten Weingärten eine Reduktion der Stickstoffausträge auf etwa die Hälfte bis ein Drittel jener bei offenem Boden. Eine Dauerbegrünung dürfte diese auf ein Drittel bis ein Viertel der Bodenoffenhaltung senken. Demnach ist Begrünung im Weingarten als grundwasserschonende Bewirtschaftung zu empfehlen, was aber im Trockengebiet unmittelbar zur Wasser Konkurrenz von Weinrebe und Gründücke führt. Diese Wasserdefizite werden auch ertragswirksam und Literaturdaten (auch aus der Region) lassen einen 15-20% niedrigeren Traubenertrag bei begrüntem Weingarten gegenüber offener Bodenhaltung erwarten, was eine Bewässerung kompensieren könnte. Eine Übersichtsrechnung zur mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser des Brunneneinzugsgebietes lässt bei einer maximalen Stickstoffdüngung im Weingarten von 50 kg N/ha·a, was der Vorgabe des Kontrollierten Integrierten Weinbau-Programm entspricht und einer Nutzungsstruktur gemäß dem Jahr 1999 (58% Wald, 8% Dauergrünland, 6% Winterbegrünung und 3% offenen Boden im Weingarten) mittelfristig das Erreichen und Unterschreiten einer Zielgröße von 20 mg NO₃/l erwarten. Gleichzeitig ist auf den wesentlichen Faktor Zeit hinzuweisen: aufgrund der geringen Austauschhäufigkeit eines Großteils der Böden - bei etwa 50% der landwirtschaftlich genutzten Böden beträgt die Dauer des vollständigen Austausches des Bodenwassers durch versickernde Niederschläge im Mittel 15 Jahre – werden grundwasserschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen erst in

mehreren Jahren merkbar wirksam werden. Die schnellste Reaktion ist mit Maßnahmen auf den durchlässigen, wenig speicherfähigen Böden zu erzielen, die etwa 10–20% der landwirtschaftlichen Nutzfläche einnehmen.

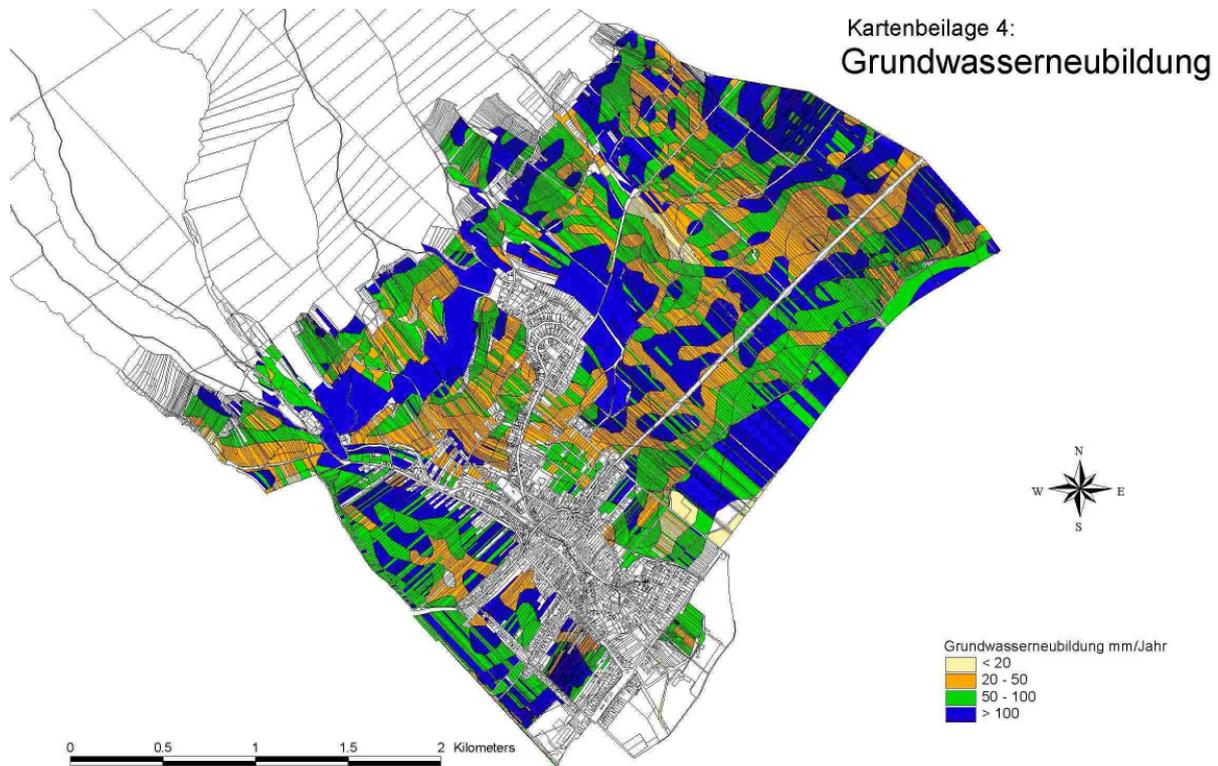


Abbildung 4: Berechnete mittlere Grundwasserneubildung (1970-1990) im Umfeld einer Wasserversorgungsanlage

4. Zusammenfassung

Wirksame Schutzmaßnahmen für das Grundwasser erfordern eine geeignete Datenbasis mit Angaben über die Verbreitung des Grundwassers und der Grundwasserüberdeckung und deren Eigenschaften. Dabei werden nicht nur Daten der Grundwasserüberdeckung (Böden und Deckschichten), sondern z. B. auch Daten über Klima, Grundwasserflurabstand, Nutzung und Geländehöhen benötigt. Deren Verfügbarmachung und Regionalisierung sind für die meisten Auswertungen unabdingbar. Idealerweise sollen diese Daten digital vorliegen. Die effektive Nutzung einer solchen Datenbasis für thematische Auswertungen im Rahmen von Planung und Beratung erfordert aber auch die Bereitstellung von Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Eine Simulation von Prozessen, z. B. der Wasserbewegung im Boden und der dabei

stoffgebundenen Stoffverlagerung, erfordert die Anwendung von numerischen Simulationsmodellen. Fehlende Daten können durch räumliche Parametrisierungsverfahren (Boden, Klima, Nutzung) abgeleitet werden. Die Anwendung von Informationssystemen für Fragen des Gewässer- und Bodenschutzes erfordert eine ausreichende Datendichte auf unterschiedlicher Maßstabsebene (nutzungsorientiert) und die Umsetzbarkeit dieser Eingangsdaten mit vorhandenen Methoden. Um Daten aus Datenbanken bereitzustellen, können Parametrisierungsverfahren verwendet werden. Im IKT werden neben empirischen Methoden für bestimmte Fragestellungen (z. B. flächenhafte Ermittlung der Verdunstung, der Sickerwassermenge, der Nitratfracht, Bodenabtrag) Simulationsmodelle angewendet. Die Berechnung des Bodenwasserhaushaltes und damit der Grundwasserneubildung erfolgt für landwirtschaftlich genutzte Flächen und für Wald mit dem Simulationsmodell SIMWASER. Das Stofftransportmodell STOTRASIM errechnet den Stickstoffhaushalt im Boden. Diese Modelle sind an Messwerten (Sickerwasser und Nitrataustrag) aus Messstellen (Lysimeter, Sickerwassersammler und Saugkerzenanlagen) unter verschiedenen Bewirtschaftungsweisen in den wichtigsten agrarischen Klimaräumen kalibriert. Eine Modellrechnung erlaubt von zeitlich begrenzten Untersuchungen auf längere Zeiträume zu schließen, aber auch Variantenstudien durchzuführen. Hauptanwendungsgebiete sind Studien für eine grundwasserverträgliche Bodennutzung mit dem Ziel, unterirdische Wasservorkommen für die Trinkwasserversorgung zu sichern. Solche Anwendungen können in Schutz- und Schongebieten als Grundlage für Nutzungsbeschränkungen und Entschädigungsverfahren, im landwirtschaftlichen Beratungswesen für die Umsetzung einer grundwasserschonenden Bewirtschaftungsweise und in der landschafts- und wasserwirtschaftlichen Planung verwendet werden. Eine Voraussetzung für eine parzellenscharfe und rationelle Bearbeitung ist die Verfügbarkeit der flächenhaften Bodendaten, die zur Zeit bei den Schätzungskarten der Finanzbodenschätzung noch nicht gegeben ist. Die Österreichische Bodenkartierung M 1:25000 ist für die landwirtschaftlich genutzte Fläche bis auf drei Kartierungsbereiche digital verfügbar.

Literatur:

- 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.
- MURER, E., 1998: Die Ableitung der Parameter eines Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelles aus den Ergebnissen der Bodenkartierung. Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, 89-103.
- STENITZER, E. (1988): SIMWASER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, A-3252 Petzenkirchen.

Autor:**Dipl. Ing. Erwin Murer**

Bundesamt für Wasserwirtschaft

Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt

A-3252 Petzenkirchen

Tel. +43 - 7416 - 52108 45

E-Mail: erwin.murer@baw.at

www.baw.at