

# Erarbeitung grundwasserverträglicher ackerbaulicher Bewirtschaftungsformen auf Basis von Langzeit-Modellierungen

CH. LANTHALER, J. FANK und H. KUPFERSBERGER

## Abstract

The determination of groundwater-protective and sustainable agricultural cropping management systems is of vital importance for regions where groundwater is used for drinking water supply. Soil water and nutrient transport models, which are calibrated on local lysimeter data, can act as decision support systems to find out the best fertiliser amounts for maize for different soil types and soil depths, as shown in this paper.

## Zusammenfassung

Für Gebiete, in denen Grundwasser für die Trinkwasserversorgung gewonnen wird, ist es notwendig, grundwasserschonende und nachhaltige ackerbauliche Bewirtschaftungssysteme zu definieren. Dafür werden Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelle verwendet, die an lokalen Lysimeterdaten kalibriert werden. Diese Modelle können als Entscheidungshilfe für die Erarbeitung der grundwasserverträglichen Düngemengen für Körnermais auf verschiedenen Bodentypen und -mächtigkeiten herangezogen werden.

## Einleitung und Problemstellung

Aufgrund der Belastung des Grundwassers aus der ackerbaulichen Bewirtschaftung v.a. mit Nitrat werden seit langem grundwasserverträgliche Bewirtschaftungsformen gesucht. Dazu wurden landwirtschaftliche Versuche angelegt, an denen die Auswirkung unterschiedlicher Düngerrhöhen auf die Ertragssituation und in Verbindung mit Lysimeteruntersuchungen auch auf die Auswaschung von Nährstoffen in das Grundwasser untersucht wurde. Die z.T. beträchtlichen Verweilzeiten des Sickerwassers in der

ungesättigten Zone (bis zu mehreren Jahrzehnten) lassen gesicherte Aussagen aber nur nach extrem langen Versuchsanstellungen zu, so dass entsprechende Messergebnisse de facto nicht existieren. Deshalb werden Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelle eingesetzt, um Prognosen über die Austragsrisiken und Erträge von Szenarien mit unterschiedlichen Kulturarten und deren Bewirtschaftung in Abhängigkeit von Boden und Witterung zu erstellen.

Am Versuchsfeld Wagna (Steiermark) werden seit 1987 ackerbauliche Versuche mit insgesamt 8 Fruchtfolgen durchgeführt, die in mehrjährigen Versuchszeiträumen durch unterschiedliche Fruchtfolgeglieder und differenzierte Stickstoff-Düngeniveaus gekennzeichnet waren (FANK et al., 2006). Ein Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Auswirkung von Düngung mittels Schweinegülle und/oder Mineraldünger auf die Ertragssituation bei Körnermaisbau, die in diesem Artikel dargestellt werden.

An der in den Versuch integrierten Lysimeteranlage wurden in zwei Versuchsparzellen die Auswirkung der landwirtschaftlichen Maßnahmen auf das seichtliegende Grundwasser analysiert (FANK, 1999). Unter Verwendung dieser Messdaten konnten die Modelle SIMWASER (STENITZER, 1988) und STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998) standortspezifisch kalibriert werden (FANK et al., 2004). Als Entscheidungsgrundlage für weiterführende Empfehlungen der grundwasserschonenden ackerbaulichen Bewirtschaftung werden die Grundwasserneubildung, der Nitrataustrag und die Biomassebildung auf den unterschiedlichen Böden berechnet und die Ergebnisse hydrotop- und feldbezogen ausgewertet.

In diesem Zusammenhang ist zuallererst die Frage "Was ist eine grundwasserschonende Ackerbewirtschaftung?" zu diskutieren. Wie die Auswertungen in FANK et al. (2006) zeigen ist die Nitratkonzentration im Grundwasser ein Ergebnis der komplexen Wechselwirkung zwischen Atmosphäre, Boden, Pflanze, Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten Zone und im Grundwasser selbst. Aufgrund der in Boden und Pflanze ablaufenden Prozesse in Abhängigkeit von der Wasser- und Stickstoffdüngerezufuhr ist gerade bei rasch reagierenden, gut durchlässigen und seichtgründigen Böden die dauernde Einhaltung des Trinkwassergrenzwertes für Nitrat im Sickerwasser (50 mg/l) nicht möglich. Perioden höherer Austragskonzentrationen folgen Zeiträume mit niedrigen Austragsfrachten. Zudem ist die Nitratbelastung des Grundwassers aus dem Sickerwasser stark von der Grundwasserneubildung abhängig, sodass für deren Bewertung jedenfalls Stickstofffrachten heranzuziehen sind. Andererseits ist die Nitratkonzentration im Grundwasser wesentlich von der Nitratbelastung des Grundwasserzustroms beeinflusst. In dieser Arbeit werden als grundwasserverträglich jene Varianten betrachtet, bei denen die Stickstoffaustragsfrachten aus der ungesättigten Zone im mehrjährigen Mittel zu einer Nitratkonzentration  $\leq 50$  mg/l führen.

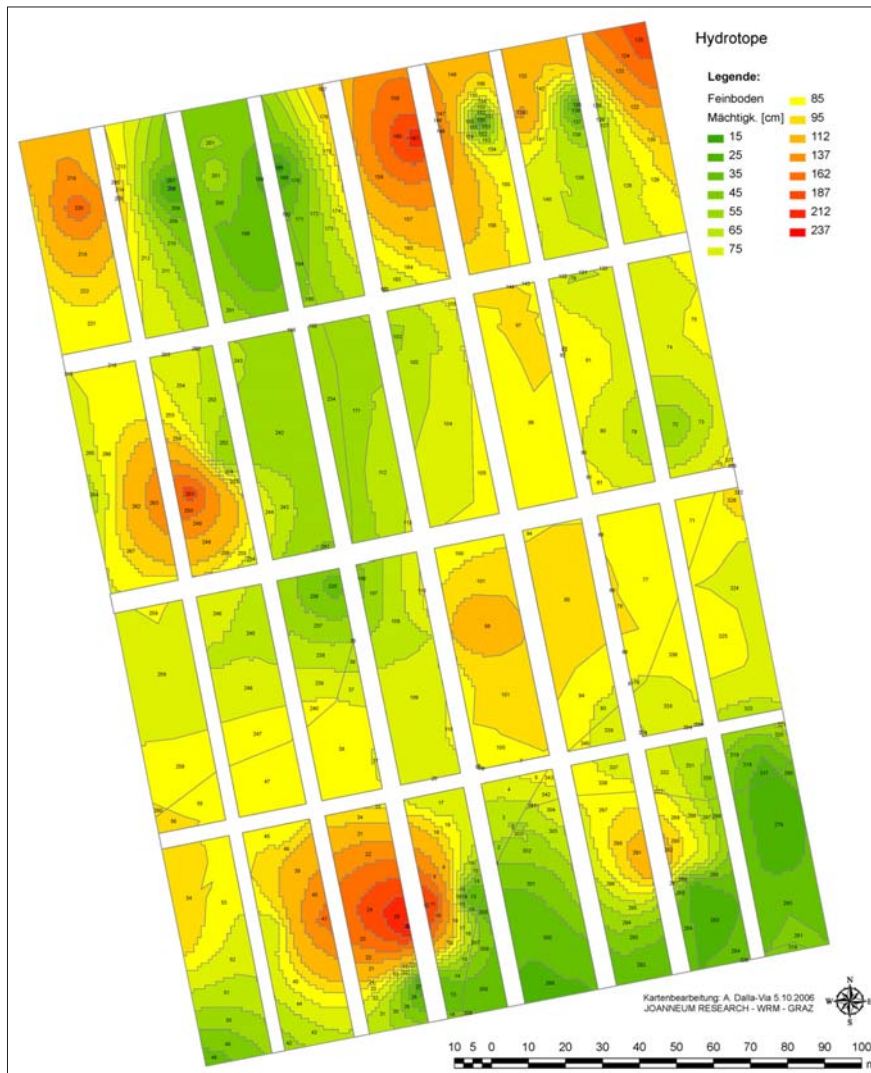
## Methode und Anwendung

Um am Standort Wagna fundierte Aussagen über den flächigen Stickstoffaustrag in das Grundwasser zu bekommen, wurden die beiden Modelle SIMWASER (STENITZER, 1988) zur Beschreibung des Bodenwasserhaushalts und STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998) zur Beschreibung der Stickstoffumsetzung

**Autoren:** Mag. Christine LANTHALER, Hochgreitweg 4, A-8046 STATTEGG/GRAZ, christine.lanthaler@aon.at, Dr. Johann FANK und DI Dr. Hans KUPFERSBERGER, Joanneum Research, Institute of Water Resources Management - Hydrogeology and Geophysics, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

**Tabelle 1: Szenarien der acht Maismonokulturvarianten mit aufgebrauchten Düngemengen und Düngearten, Nitratkonzentration im Sickerwasser, Trockenmasse- und Ertragsmengen**

Szenarium	N-Gabe [kg/ha/a]	NO <sub>3</sub> [mg/l]	Trockenmasse [kg/ha]	Ertrag [kg/ha]
MM1 (Gülle + Mineraldünger)	107	38	14794	8113
MM2 (Mineraldünger)	145	44	16568	9086
MM3 (Gülle + Mineraldünger)	175	81	17150	9405
MM4 (Gülle)	107	35	13480	7393
MM5 (Gülle + Mineraldünger)	163	66	16900	9268
MM6 (Mineraldünger)	290	134	15699	8609
MM7 (Gülle + Mineraldünger)	261	139	15697	8608
MM8 (Gülle)	97	37	12040	6603



**Abbildung 1: Verteilung der Hydrotöpfe am Versuchsfeld Wagna mit zugehöriger Feinbodenmächtigkeit. Markante Linien zeigen Bodenformen aus der Detailbodenkartierung (aus KUPFERSBERGER, 2007)**

und des Nitrattransports beim Versuchsfeld Wagna angewendet. Auf den 32 Versuchspartellen mit je ca. 1000 m<sup>2</sup> Größe wurden die Auswirkungen des Maisanbaus mit 8 verschiedenen Düngemengen bei den Szenarien schwanken zwischen 97 und 290 kgN/ha und wurden entweder rein mineralisch, rein

als Schweinegülle oder in gemischter Anwendung (siehe *Tabelle 1*) aufgebracht. Bis auf die reinen Mineraldüngervarianten erfolgte jeweils eine Düngung mit Schweinegülle vor der Saat.

Für die Ermittlung der flächenhaften Verteilung der Feinbodenmächtigkeit am Standort Wagna standen verschiedene Punktinformationen (Schürfe, Geoelektrikprofile, Bodenstiche, Bodenprofile an den beiden Lysimeterstandorten) zur Verfügung, welche zu einem flächendeckendem Raster der Feinbodenmächtigkeit interpoliert wurden. An den Orten der Schürfe (BERG, 1999) und der Lysimeter wurden die einzelnen Bodenhorizonte hinsichtlich ihrer Mächtigkeit sowie ihrer bodenphysikalischen Parameter im Detail erhoben. Diese Punktdaten wurden als Primärinformation mit den Angaben über die flächenhafte Verteilung der Bodenformen aus der österreichischen Bodenkarte, der Finanzbodenschätzung sowie der Detailbodenkartierung (FANK, 1999) in Form einer neuen Bodenformenkarte mit acht unterschiedlichen Bodenformen für die Simulationsrechnungen harmonisiert. Laut Finanzbodenschätzung sind auf dem Versuchsfeld Wagna folgende Bodenarten zu finden: 40 % der Fläche: IS/Scho 4 D 35/39, 20 %: IS 3 D 47/50, 20 %: SL 2 D 64/67, 20 %: SL 3 D 54/56. In der Regel stehen bei einem landwirtschaftlich genutzten Gebiet nicht so viele Detailinformationen über die Bodenform zur Verfügung. So weist die österreichische Bodenkarte für den Standort Wagna nur zwei verschiedene Bodenformen aus.

Unter Verwendung von ARC/GIS wurden die Information der Parzellenzugehörigkeit, der Bodenform und der Feinbodenmächtigkeit miteinander verknüpft. Daraus entstanden insgesamt 278 so genannte "Hydrotöpfe" (siehe *Abbildung 1*), die homogene Flächen mit einer einmaligen Kombination dieser drei Eigenschaften darstellen. Für diese Hydrotöpfe und alle Varianten wurde unter Anwendung der Modelle SIMWASSER und STOTRASIM Tageswerte der Grundwasserneubildung, der Nitratkonzentration des Sickerwassers sowie der ober- und unterirdischen Trockenmassebildung berechnet. In weiterer Folge wurden die Ergebnisse flächengewich-

ungen sowie die jeweiligen Ernte- und Düngzeitpunkte wurden von einem tatsächlichen Großparzellenversuch am Standort Wagna übernommen. Die Düngemengen bei den Szenarien schwanken zwischen 97 und 290 kgN/ha und wurden entweder rein mineralisch, rein

tet für die einzelnen Versuchsfelder zusammengefasst und Jahressummen- bzw. -mittelwerte der einzelnen Parameter ermittelt.

## Ergebnisse

Die Auswertungen der Düngevarianten bei der Maismonokultur mit winterharter Gründecke (ohne Leguminosen, ohne Herbstdüngung und Umbruch der Gründecke im Frühjahr) für den Zeitraum 1993 - 2003 sind in *Tabelle 1* zusammengefasst. Bei einer Düngemenge von 107 kgN/ha/a liegen die Nitratwerte im Sickerwasser unter 40 mg/l, wobei mit einem Ernteertrag von etwa 8100 kg gerechnet werden kann. Der Grenzwert von 50 mg/l kann bei derselben Stickstoffgabe auch auf den seichtgründigen Standorten eingehalten werden. Wie *Abbildung 2* zeigt, liegt die Nitratkonzentration bei einer Düngemenge von 145 kgN/ha/a noch unter 50 mg/l, die Ertragserwartung steigt auf 9000 kg/ha (Werte sind auf die Bodenverhältnisse gemittelt). Eine höhere Stickstoffgabe führt zu einer Überschreitung des Grundwassergrenzwertes für Nitrat.

Für die Szenarien MM1 bis MM4 ist in *Abbildung 3* der zeitliche Verlauf der Nitratkonzentration dargestellt: Die Gülle- und Mineraldüngungsvariante (MM1) mit 107 kgN/ha/a zeigt eine höhere Konzentration in den Jahren 1993 bis 1999 als die reine Güllevariante (MM4), die Werte gleichen sich ab 2000 an und pendeln sich ab Mitte 2001 auf einem niedrigen Niveau bei etwa 20 mg/l und darunter ein. Die Nitratwerte beim Szenarium der Variante MM2 (145 kgN/ha/a) liegen im selben Bereich wie bei den zwei vorher genannten Szenarien, nur in den Jahren 1999 bis 2001 ist eine Erhöhung erkennbar.

Die Grundwasserneubildung bei der Maismonokultur, gemittelt über das Versuchsfeld Wagna, beträgt laut Berechnungsergebnissen 344 mm, siehe dazu die flächengewichtete Summierung der Ergebnisse der Hydrotopberechnungen in *Tabelle 2*. Die Düngehöhe hat demnach auf die Sickerwasserbildung keinen Einfluss. Nach der Formel RC/8.8 (FANK et al., 2006) kann jene Stickstofffracht (N-Fracht) ermittelt werden, die den Grenzwert von 50 mg/l Nitrat im Sickerwasser unterschreitet. Für die Peri-

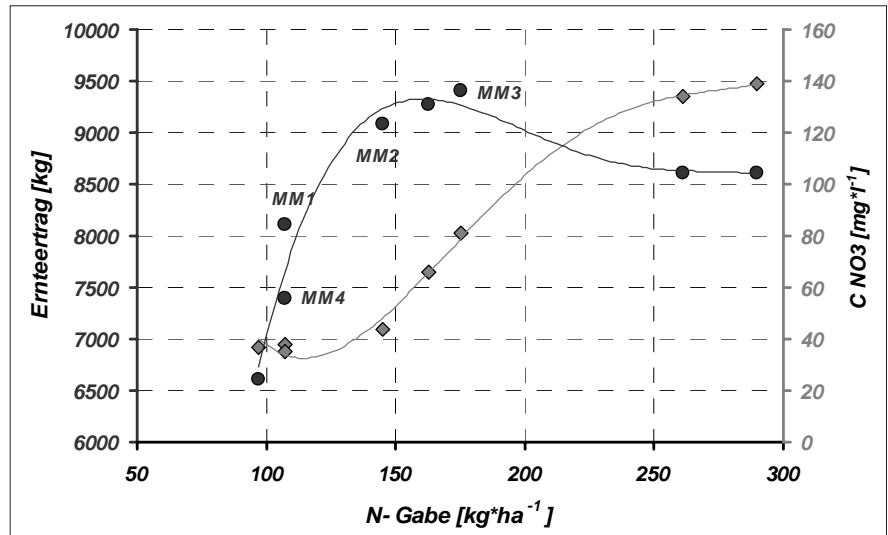


Abbildung 2: Vergleich der acht gerechneten Maismonokulturvarianten in Bezug auf Düngermenge, Ernteertrag und Nitratkonzentration im Sickerwasser (Mittelwerte)

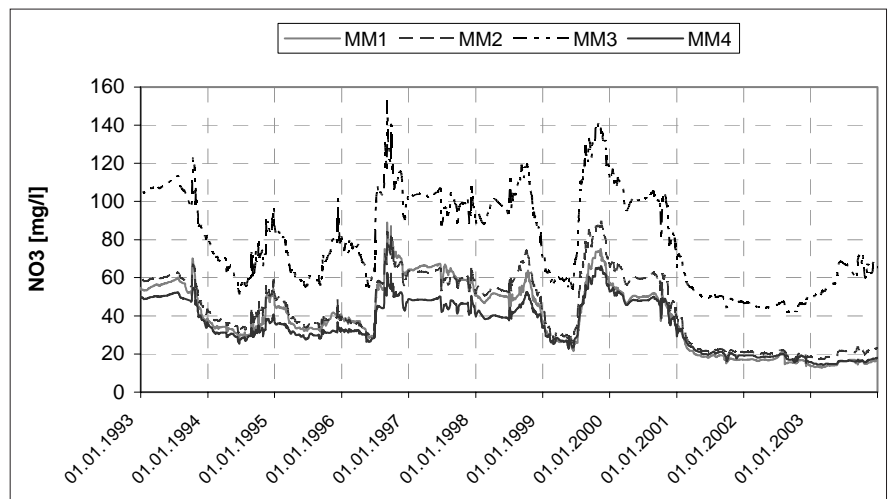


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Nitratkonzentration im Sickerwasser für vier Maismonokulturvarianten mit unterschiedlich hohen Düngermengen für 1993 bis 2003

ode 1993 bis 2003 ergibt sich eine mittlere Stickstofffracht von 39 kg/ha/a, die bei den Varianten MM1, MM2 und MM3 jedenfalls nicht erreicht wird - die Düngemengen von 107 und 145 kgN/ha/a sind somit grundwasserverträglich. Bei der Variante MM3 muss die Stickstoffgabe hingegen als nicht grundwasserverträglich eingestuft werden, da der Stickstoffaustrag 65 kg/ha/a beträgt.

## Diskussion

Bei der vorliegenden Auswertung der Ergebnisse muss darauf hingewiesen werden, dass die Bodenverhältnisse über das gesamte Versuchsfeld sowie in den einzelnen Parzellen sehr inhomogen sind und die existierende Bodenkartierung

diese Unterschiede nicht widerspiegeln kann. Die Variabilitäten der Feinbodenmächtigkeiten sind sehr kleinräumig und können in der Bewirtschaftung nicht berücksichtigt werden. Dennoch geben die Mittelwerte der Grundwasserneubildung, Stickstoffausträge, Nitratkonzentrationen oder Ernteerträge über das gesamte Versuchsfeld Wagna einen guten Einblick in die Böden des Leibnitzer Feldes, da die Bodenarten und -typen repräsentativ für das gesamte Gebiet sind.

Die in der Modellierung eingesetzten Düngemengen von 107 und 145 kgN/ha/a entsprechen den Düngempfehlungen der Schongebietsverordnung sowie der sachgerechten Düngung, welche bei ei-



**Tabelle 2: Grundwasserneubildung (RC) und Stickstofffracht (N) für vier Maismonokulturvarianten (MM1 bis MM4) für 1993 bis 2003 und Mittelwerte über diese Periode; Düngemengen und -arten siehe Tabelle 1**

	MM1		MM2		MM3		MM4	
	RC [mm]	N [kg/ha/a]	RC [mm]	N [kg/ha/a]	RC [mm]	N [kg/ha/a]	RC [mm]	N [kg/ha/a]
1993	279	29	278	33	278	60	278	27
1994	485	39	485	46	485	79	485	35
1995	481	41	483	45	483	80	479	36
1996	649	73	649	74	649	134	648	60
1997	196	25	195	26	195	43	196	20
1998	466	54	465	65	465	110	466	48
1999	497	46	498	58	497	103	497	45
2000	208	21	207	26	208	45	208	21
2001	157	8	156	10	156	20	158	9
2002	218	8	218	9	218	23	218	9
2003	146	5	146	7	146	20	146	5
MW	344	32	344	36	343	65	344	29

nem mittleren Ertrag von 6 bis 10 t/ha, der auch am Versuchsfeld zu erwarten ist, 120 bis 140 kgN/ha/a angibt. Jedoch müssen bei seichtgründigen Standorten Abschläge berücksichtigt werden, woraus sich eine Höchstmenge der Stickstoffdüngung (Schweinegülle oder Minereraldünger) von nur 97.5 kg bzw. 110 kg/ha/a bei der Szenarienrechnung ergibt; bei tiefgründigen Böden kann die Düngung bis 169 kgN/ha/a erfolgen. Weiters ist für seichtgründige Standorte unter gegebenen hydrometeorologischen Bedingungen ein grundwasserverträglicher Maisanbau nur dann möglich, wenn keine Herbstdüngung erfolgt und wenn 50 % der Düngemenge zum Anbau (vor der Saat) und zu 50 % in den Bestand aufgebracht wird. Der Umbruch der winterharten Gründecke (ohne Leguminosen) erfolgt im Frühjahr. Anhand der in den Körnern gemessenen Stickstoffmenge von 137 kg/ha am Versuchsfeld Wagna (Parzelle 18) wird ersichtlich, dass sich die empfohlene Düngemenge von

120 bis 140 kgN/ha/a mit dem Pflanzen-  
ertrag deckt.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Bei einem grundwasserschonenden Maisanbau müssen jedenfalls die empfohlenen Düngemengen und -strategien der sachgerechten Düngung eingehalten werden, um die Nitratgrenzwerte nicht zu überschreiten; dies gilt im Besonderen für austragsgefährdete seichtgründige Standorte. Wie das vorliegende Untersuchungsbeispiel zeigt, müssen Wasserhaushalts- und Stofftransportmodelle an die lokalen Gegebenheiten angepasst und kalibriert werden, um aussagekräftige Ergebnisse liefern zu können. Diese Kalibration erfolgt zum großen Teil mittels Lysimeterdaten, in diesem Fall jene der Forschungsstation Wagna. Darum liefern gut ausgestattete Lysimeterstationen wichtige Daten für Langzeit-Modellierungen, um daraus Empfehlun-

gen für die Entscheidungsfindung ableiten zu können.

### Literatur

- BERG, W., 1999: Neue Methoden zur Visualisierung und Quantifizierung bevorzugter Fließwege in der ungesättigten Zone. Diplomarbeit am Inst. f. Geographie und Raumforschung, Karl Franzens Universität Graz, 61 S.
- FANK, J., 1999: Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefrachtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.
- FANK, J., E. STENITZER, F. FEICHTINGER, P. CEPUDER, 2004: Messdaten und Modellkalibration an der Forschungsstation Wagna und daraus abzuleitende Anforderungen an Messstellen zur Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen. In: Klotz, D. (Hrsg.): Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern. GSF-Bericht 02/04, 79-86, München.
- FANK, J., G. FASTL, H. KUPFERSBERGER und G. ROCK, 2006: Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes Wagna - Auswirkungen auf die Grundwassersituation. Bericht über das Seminar "Umweltprogramme für die Landwirtschaft und deren Auswirkung auf die Grundwasserqualität", 7. - 8. März 2006, 43-48, Irnding-Gumpenstein.
- 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.
- KUPFERSBERGER, H., 2007: Modellierung des Stickstoffaustrags aus der ungesättigten Zone am Versuchsfeld Wagna. Tagungsband der internationalen Konferenz "Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring - Modellierung - Management" von 29. bis 31. Jänner in Graz (in Vorbereitung).
- STENITZER, E., 1988: SIMWASER - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitteilung Nr. 31, Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, A-3252 Petzenkirchen.