

Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes Wagna - Auswirkung auf die Grundwassersituation

J. FANK, G. FASTL, H. KUPFERSBERGER und G. ROCK

Abstract

The appraisal of the effects of agricultural cultivation methods on groundwater quality is complex. It is inevitable to couple water flow and solute transport in the unsaturated zone with groundwater flow. To conclude on non-conformity of cultivation in small areas on the basis of groundwater quality data is incorrect. On the results of investigations at the test fields in Wagna (Styria) we will show that the coupling of unsaturated and saturated modelling using a simple balance model based on the mixing equation will lead to plausible basics for scenario simulation.

Zusammenfassung

Die Bewertung der Auswirkung von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Grundwasserqualitätssituation ist durch die erforderliche Koppelung von Wasserbewegung und Stofftransport in der ungesättigten Zone und im Grundwasser komplexer Natur. Der simple Schluss aus Grundwasserqualitätsdaten auf landwirtschaftliche Bewirtschaftungsfehler in eng begrenzten Bereichen ist deshalb unzulässig. Wie anhand der Ergebnisse am Versuchsfeld Wagna (Steiermark) gezeigt wird, führt die Zusammenführung der Ergebnisse von Modellberechnungen in der ungesättigten Zone mit Ergebnissen der Grundwasserströmungsmodellierung über ein einfaches Bilanzmodell auf Basis der Mischungsgleichung zu plausiblen Grundlagen für Simulationsrechnungen.

Einleitung und Problemstellung

Die Intensivierung des Ackerbaus führte in den letzten Jahrzehnten im Südosten und Osten Österreichs zu Belastungen des Grundwassers mit Nährstoffen

über den zulässigen Grenzwerten. Durch unterschiedliche Maßnahmen und Förderungsstrategien wird versucht, langfristig eine intakte Grundwasserqualitätssituation wiederherzustellen bzw. zu erhalten.

Zur Überprüfung der Effizienz der eingesetzten Maßnahmen wurden in unterschiedlichen Gebieten Versuchsfelder eingerichtet. In Wagna im Leibnitzer Feld im Süden der Steiermark wurde im Jahr 1987 ein Großparzellenversuch eingerichtet um die Auswirkung unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Grundwasserqualitätssituation experimentell testen zu können. Dieser wurde im Jahre 1992 um die Lysimeterstation Wagna erweitert, an der es möglich ist, an einem typischen Standort die Bewegung des Sickerwassers von der Oberfläche bis in das Grundwasser zu verfolgen (FANK, 1999).

Für dieses Versuchsfeld liegt heute ein Datensatz vor, der es erlaubt, essentielle Fragen der Bewertung von landwirtschaftlichen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Grundwassersituation zu diskutieren:

- 1 Sind Auswirkungen der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Sickerwasserqualität quantifizierbar
- 2 Ist ein Rückschluss von der Änderung der Sickerwasserqualität auf die Grundwasserqualität zulässig, bzw. welche zusätzlichen Parameter müssen dabei Beachtung finden
- 3 Wie hoch ist der Flächenbedarf für Grundwasserschutzmaßnahmen, um eine relevante Auswirkung auf die Grundwasserqualitätssituation aufzuweisen; welchen Stellenwert haben Maßnahmen in Schutz- bzw. Schongebieten

Datenmaterial und Auswertemethoden

Für die 32 Teilflächen des Großparzellenversuches Wagna (Lage siehe *Abbil-*

dung 4) und die dazwischen liegenden Fahrgassen sind folgende Datensätze verfügbar:

- Detaillierte, parzellenscharfe landwirtschaftliche Bewirtschaftungs-, Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen seit 1987. Der Großparzellenversuch besteht aus 32 Parzellen mit je 1000 m² Größe auf denen von 1987 bis 1997 sechzehn unterschiedliche Bewirtschaftungsvarianten mit zweifacher Wiederholung gefahren wurden. Ziel war der Vergleich konventioneller und alternativer Bodenbearbeitung in einer Fruchtfolge (mit 50 % Mais, Getreide und Raps) und in einer Maismonokultur mit 4 unterschiedlichen Düngungsvarianten. Bis 1992 lag das Düngeneiveau bei etwa 180 bis 200 kg anrechenbarem und mineralischem Stickstoff pro Hektar und Jahr. Für die Periode 1993 bis 1997 wurde bei an sich gleicher Versuchsanlage der Düngeraufwand auf durchschnittlich < 150 kg N/ha/a reduziert. Ab 1998 fällt die unterschiedliche Bodenbearbeitung weg, sodass es nur mehr acht verschiedene Varianten mit vier Wiederholungen gibt. Die Periode 1998 bis 2003 ist auf Basis eines geänderten Versuchsplans durch stark reduzierte N-Mengen (< 120 kg N/ha/a) und der Anlage von Gründecken in allen Varianten geprägt, wobei keine Leguminosen verwendet wurden. Die Ausbringung von Gülle im Herbst wurde eingestellt, die Anzahl der Bodenbearbeitungsmaßnahmen wurde verringert (Anbau der Gründecken in Strohmulch in den Mais ohne Bodenbearbeitung) und auf Frühjahrsfurche umgestellt. Grundsätzlich wurde ein möglichst hoher N-Anteil in den Pflanzenbestand gebracht. Für die Bewertung der Gülle wurde der anrechenbare N (= Gesamtstickstoff der Gülle * 0,75) verwendet, in der ganzen Zeit zwischen 1987 bis

Autoren: Univ.-Doz. Dr. Johann FANK, H. KUPFERSBERGER, G. ROCK, JOANNEUM RESEARCH, Institut für WasserRessourcenManagement - Hydrogeologie und Geophysik, Elisabethstraße 16/2, A-8010 GRAZ und Ing. Georg FASTL, Fachschule Silberberg, Kogelberg 16, A-8430 LEIBNITZ

2003 wurde Mais ausschließlich mit Gülle gedüngt und jeweils eine Güllegabe in den wachsenden Maisbestand verabreicht.

- Die Ergebnisse der Detailbodenkartierung im Maßstab 1:5000 (FANK, 1999) wurden durch die bodenphysikalischen Untersuchungen von Standorten, die im Zuge von Markierungsversuchen zur Erfassung des Makroporenflusses durchgeführt wurden (BERG, 1999) verfeinert. Aus der Synopsis der Detailbodenkartierung und der Finanz-Bodenschätzkarte wurde in Anlehnung an diese Punktuntersuchungen eine neue Bodenformenkarte für das Versuchsfeld Wagna generiert, und die einzelnen Bodenformen hinsichtlich der bodenphysikalischen Charakteristika parametrisiert.
- Unter Verwendung von detaillierten Stichkartierungen, den angesprochenen punktuellen Untersuchungen und der Zuhilfenahme von geoelektrischen Untersuchungen (LUKAS, 2000) wurde ein flächendeckendes Raster der Feinbodenmächtigkeit interpoliert und daraus relevante Klassen der Feinbodenmächtigkeit abgeleitet.
- Zur Beschreibung des Witterungsgeschehens stehen von 1987 bis 1992 die Messdaten der ZAMG an der Wetterstation Leibnitz und von 1992 bis 2003 die Daten der Wetterstation Wagna zur Verfügung.
- Das Grundwassersystem, das die ungesättigte Zone unterlagert, wurde durch 30 Kernbohrungen, die bis in den tertiären Stauer abgeteuft wurden, detailliert erkundet (BERG, 2003). Diese Daten zur Aquifergeometrie bildeten im Verein mit Messungen des zeitlichen Verhaltens des Grundwasserspiegels und Daten aus Tracerversuchen die Basis für die Kalibration eines instationären Grundwasserströmungs- und Transportmodells für das Versuchsfeld Wagna (FANK & ROCK, 2005). Dieses Detailmodell wurde in das instationäre Grundwassermodell des westlichen Leibnitzer Feldes (FANK et al., 2004) integriert, sodass ein über den Zeitraum von 1993 bis 2003 auf Tagesbasis kalibriertes Strömungsmodell verfügbar ist.
- Grundwasserqualitätsdaten werden am Versuchsfeld an der Bohrung GW2 in monatlichem Rhythmus erfasst. Aus

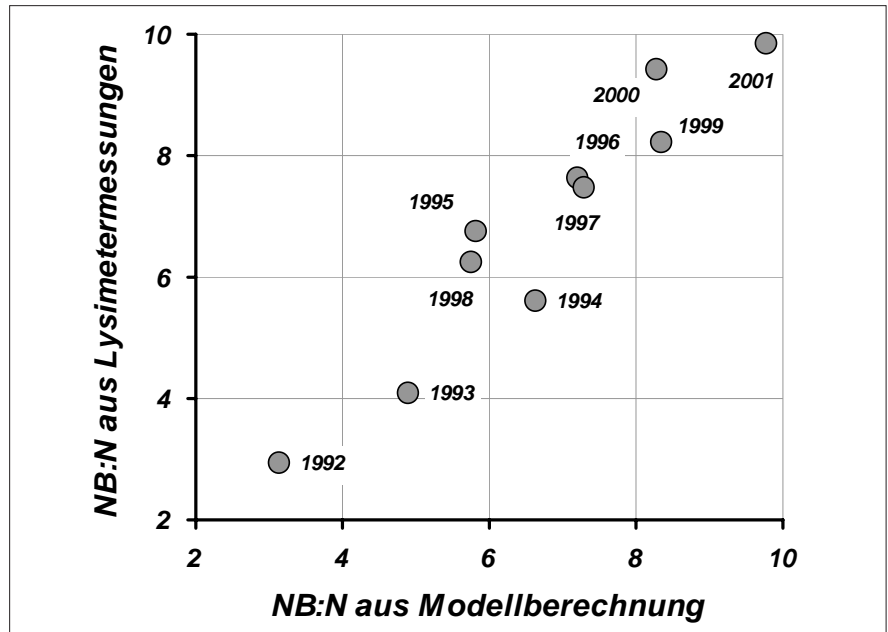


Abbildung 1: Relation der Jahressumme der Grundwasserneubildung NB [mm] zum Stickstoffaustrag N [kg/ha] aus der ungesättigten Zone am Versuchsfeld Wagna. Vergleich der Ergebnisse der Modellberechnungen mittels STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998) zu den Ergebnissen der Messungen an der Lysimeterstation im Zeitraum 1992 bis 2001.

dem näheren und weiteren Umfeld stehen die Untersuchungsergebnisse im Rahmen der WGEV und Untersuchungen der Wasserversorgungsbrunnen zur Verfügung. Als repräsentative WGEV-Messstelle für das Versuchsfeld Wagna wurde die oberstrom gelegene Messstelle WGEV-61045252 aufgrund ihrer grundwasserhydrologischen Lage im Strömungsfeld definiert.

Wegen der Komplexität der Wechselwirkungen unterschiedlichster Prozesse und der hohen Variabilität der Parameter können Ergebnisse hinsichtlich der Auswirkung ackerbaulicher Maßnahmen außerhalb von punktuellen Messungen mittels Lysimetern nicht experimentell gewonnen sondern müssen über numerische Modelle berechnet werden. Anhand der Lysimeter-Messdaten der Forschungsstation Wagna wurden die Modelle SIMWASER (STENITZER, 1988) zur Beschreibung des Bodenwasserhaushalts und STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998) zur Beschreibung der Stickstoffumsetzung und des Nitrattransports kalibriert.

Unter Verwendung von ARC/GIS als Geografischem Informationssystem wurden die Bewirtschaftungsflächen, die Bodenformenkarte und die Karte der

Feinbodenmächtigkeitsklassen verschnitten. Daraus entstanden insgesamt 341 Hydrotope, also Flächen gleicher, homogener Parametereigenschaften (landwirtschaftliche Bewirtschaftung, bodenphysikalische Eigenschaften, Feinbodenmächtigkeit). Auf diese Hydrotope wurden die Modelle SIMWASER und STOTRASIM für den Zeitraum Mitte 1986 bis Mitte 2002 angewandt und Tageswerte der Grundwasserneubildung in einer Bilanzierungsebene von 280 cm unter Gelände sowie die Nitratkonzentration des Sickerwassers in der Höhe der Grundwasseroberfläche berechnet. Die resultierenden 341 Ganglinien wurden im nächsten Schritt durch Mittelung homogenisiert und für den Auswertez Zeitraum Jahressummenwerte der Grundwasserneubildung und des Stickstoffaustrags aus der ungesättigten Zone berechnet. Aus diesen Jahressummenwerten wurde der Quotient berechnet und in *Abbildung 1* den NB:N Werten aus den Lysimetermessungen (für den gemeinsamen Ergebniszeitraum) gegenübergestellt. Deutlich erkennbar ist aus dieser Darstellung eine kontinuierliche Zunahme des Quotienten - zurückzuführen auf eine Abnahme des Stickstoffaustrags - und eine sehr gute Vergleichbarkeit der Modellberechnungsergebnisse mit den

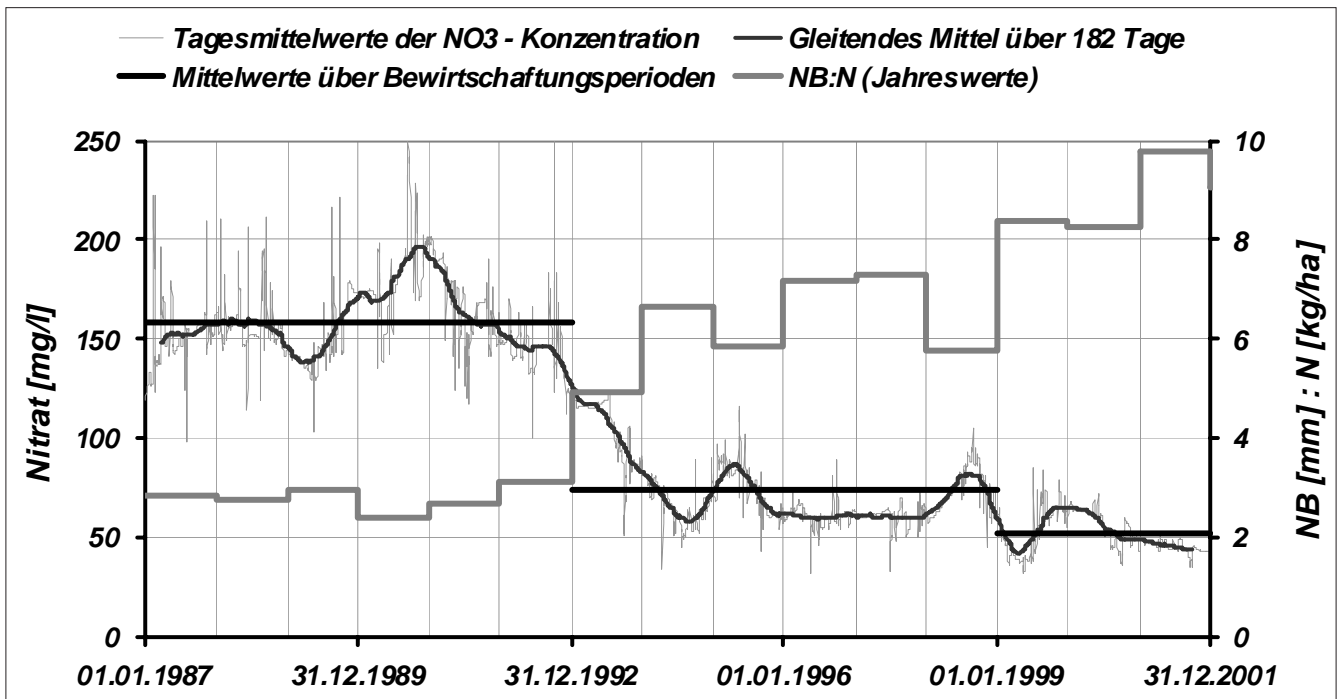


Abbildung 2: Berechnete Tageswerte und gleitendes Mittel der Nitratkonzentration des Sickerwassers aus dem Versuchsfeld Wagna von 1987 bis 2001, Mittelwerte für die unterschiedlichen Bewirtschaftungsperioden und zeitliche Entwicklung der Jahreswerte der Relation Neubildung : Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone.

Lysimetermessungen - einerseits ein Hinweis auf die hohe Kalibrationsqualität der Modelle, andererseits auf die Repräsentativität der Lysimeterparzellen für das gesamte Versuchsfeld.

ROCK und KUPFERSBERGER (2002) stellen ein Verfahren vor, das es erlaubt, in Konsistenz mit den Ergebnissen eines instationären Grundwassermodells Abstrombereiche von Grundwassermessstellen bzw. Zustrombereiche zu Bilanzlinien zu berechnen. Der grundwasser oberstromige Rand des Versuchsfeldes Wagna wurde als Bilanzlinie definiert und der Zustrombereich instationär ausgewertet sowie die Grundwasserfließmengen über das Bilanzmodul des Modells FEFLOW ausgewertet. Für die oberstrom gelegene Grundwassermessstelle WGEV-61045252 wurden die Abstromlinien berechnet und damit das Repräsentativgebiet dieser Qualitätsmessstelle definiert.

Ergebnisse

In *Abbildung 2* ist die mittlere Nitrat-Austragskonzentration des Sickerwassers über alle Hydrotope für den Zeitraum 1987 bis 2001 dargestellt. Wie die Homogenisierung über das Gleitende Mittel zeigt, sind die Auswirkungen der Reduktion der Stickstoffzufuhr über die

Düngung deutlich erkennbar, nachvollziehbar und quantifizierbar. Demgegenüber wirken sich unterschiedliche meteorologische Verhältnisse nur unmaßgeblich aus und verursachen kurzfristige Anstiege bzw. Rückgänge der Nitratkonzentration. Die Bewirtschaftungsform der Periode 1998 bis 2003 mit deutlich reduzierten Stickstoff-Düngemengen in Kombination mit Gründecken und der Düngung in den Bestand zeigt Nitratkonzentrationswerte im Sickerwasser in der Größenordnung von 50 mg/l. Auch im zeitlichen Verlauf der Jahreswerte der Relation der Neubildung zum Stickstoffaustrag ist die Reduktion der Nitratwerte deutlich erkennbar. Bei Werten über 8 liegen die Nitratkonzentrationswerte im Sickerwasser bei etwa 50 mg/l. In den Lysimetermessungen zeigen die Jahre 2002 und 2003 Werte von NB:N > 9.

Wie der Vergleich der Sickerwasser-Austragskonzentrationsganglinie mit Ganglinien gemessener Grundwasser - Nitratkonzentrationswerte am Versuchsfeld Wagna und in einem nahe gelegenen Wasserversorgungsbrunnen (Brunnen Leitring) zeigt (*Abbildung 3*), scheint eine direkte Ableitung einer Abhängigkeit der Grundwassernitratwerte von der Nitratkonzentration im Sickerwasser nur bedingt möglich. Ursache dafür ist die

Einflussnahme des horizontalen Grundwasserzustroms in das Untersuchungsgebiet. Ziel weiterer Auswertungen muss es also sein, beide Komponenten - Sickerwasser und Grundwasser - in einem gemeinsamen Modell zu bewerten.

Wie bereits in BERG (2003) festgestellt und durch aktuelle Messungen im Grundwasserprofil bestätigt, wirkt sich der örtliche Eintrag aus der ungesättigten Zone nur im Grundwasserspiegelschwankungsbereich direkt aus, Grundwasserqualitätsdaten aus Pump-Entnahmen spiegeln immer einen Mischwert über den gesamten Aquifer wider. Tendenziell zeigt auch das Grundwasser eine rückläufige Nitratkonzentration, bestimmend dürfte aber die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Zustrom sein.

Mit Hilfe des Grundwassermodells für das westliche Leibnitzer Feld (FANK et al., 2004) wurde die in das Versuchsfeld Wagna einströmende Grundwassermenge bilanziert (siehe *Tabelle 1*, Spalte QZ) und den Neubildungsmengen aus infiltrierenden Niederschlägen (Spalte QNB in *Tabelle 1*) gegenübergestellt. Gleichzeitig wurde auch das Einzugsgebiet des Versuchsfeldes und der Grundwasserabstrom aus dem Bereich der Messstelle WGEV-61045252 berechnet.

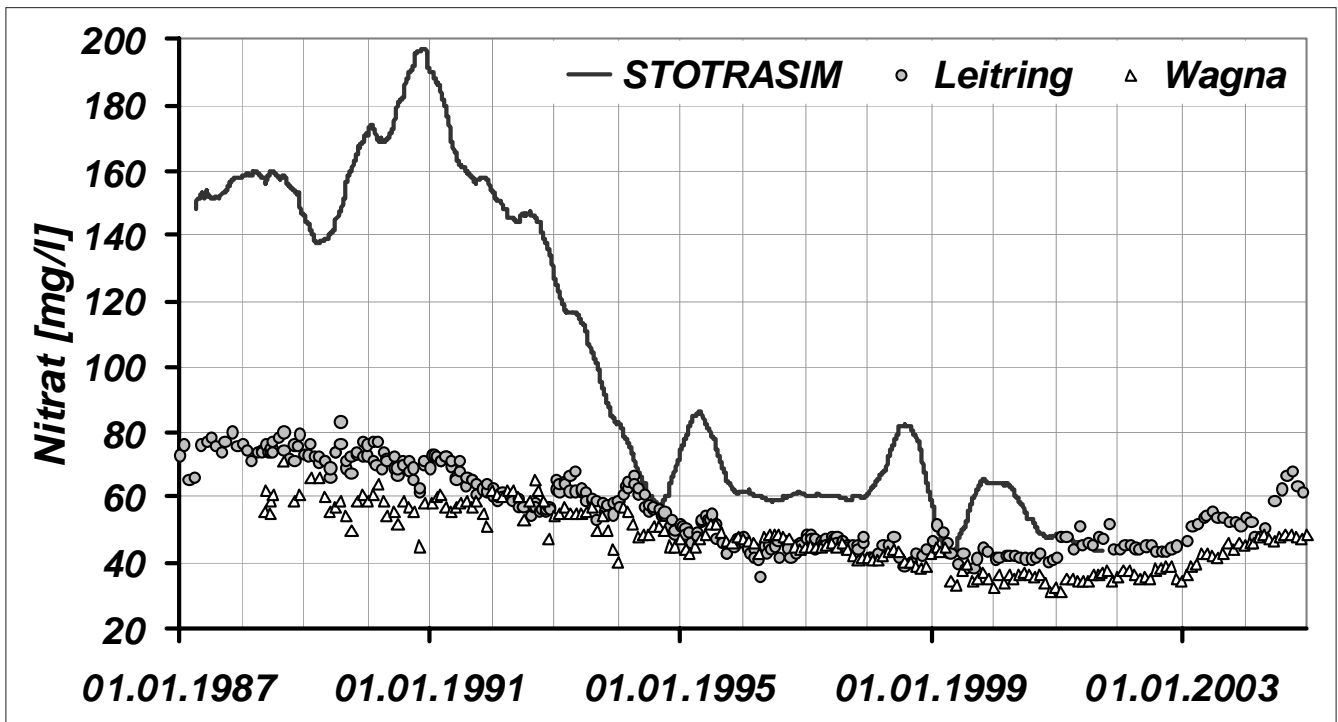


Abbildung 3: Vergleich der berechneten Nitrataustragskonzentration des Sickerwassers aus der ungesättigten Zone mit Messwerten der Nitratkonzentration im Grundwasser (Wasserversorgungsbrunnen Leitring und Grundwassermessstelle Wagna).

Tabelle 1: Ergebnisse der Kalibration des Bilanzmodells auf Basis der Gleichung 1 für Jahreswerte des Zeitraums 1993 bis 2003 und Simulationsberechnungsergebnisse (CQT) für CNB = 30 mg/l bzw. CQZ = 30 mg/l im gesamten Berechnungszeitraum.

Jahr	KALIBRATION						CNB = 30 mg/l CQT (mg/l)	CQZ = 30 mg/l CQT (mg/l)
	QZ (l/s)	QNB (l/s)	QT (l/s)	CQZ (mg/l)	CNB (mg/l)	CQT (mg/l)		
1993	4,28	0,41	4,70	49,94	90,24	53,50	48,18	35,32
1994	5,22	0,72	5,94	47,01	66,75	49,42	44,94	34,47
1995	5,06	0,70	5,76	43,31	76,11	47,30	41,68	35,62
1996	5,43	0,91	6,34	44,17	61,51	46,65	42,15	34,51
1997	4,86	0,29	5,15	43,15	60,69	44,15	42,40	31,75
1998	4,71	0,66	5,37	35,96	77,01	40,99	35,23	35,77
1999	5,48	0,70	6,19	36,54	52,98	38,42	35,80	32,62
2000	4,73	0,35	5,08	33,56	53,48	34,93	33,32	31,62
2001	4,01	0,29	4,31	34,08	45,29	34,85	33,80	31,04
2002	3,15	0,40	3,55	35,51	49,00	37,03	34,89	32,14
2003	3,30	0,12	3,41	41,26	48,90	41,53	40,87	30,66
Mittelwert	4,57	0,51	5,07	40,47	62,00	42,62	39,37	33,19

Die Darstellung in *Abbildung 4* zeigt, dass aufgrund der komplexen instationären Grundwasserströmungssituation unter Berücksichtigung der instationären Entnahmen aus mehreren Brunnen im westlichen Leibnitzer Feld die genannte WGEV-Messstelle nicht als repräsentativ für das Versuchsfeld Wagna betrachtet werden kann. Einzugsgebiet des Versuchsfeldes Wagna und Abstrombereich aus der Messstelle WGEV-61045252 werden im konkreten Fall durch das Einzugsgebiet des Brunnens der Gemeinde Retznei in Aflenz getrennt (FANK et al., 2004).

Zur Berechnung der Nitrat-Zustromkonzentration des Grundwassers wurde unter der Annahme konservativen Verhaltens von Nitrat im Grundwasser des Leibnitzer Feldes ein einfaches Bilanzmodell basierend auf der Mischungsgleichung (Gleichung 1) erstellt und die Berechnungsergebnisse in *Tabelle 1* (Spalte CQZ) dargestellt. Der grafische Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Jahresmittelwerten an WGEV-61045252 sowie den Messwerten der Nitratkonzentration am Versuchsfeld Wagna ist *Abbildung 4* zu entnehmen. Es ist klar erkennbar, dass zur Aufrecht-

erhaltung der Massenbilanz eine Nitrat-Zustromkonzentration notwendig ist, die v.a. im Zeitraum 1998 bis 2002 deutlich unter den Messwerten der WGEV-Messstelle zu liegen kommt.

$CQZ = (QT * CQT - QNB * CNB) / QZ$
Gleichung 1: Mischungsgleichung zur Berechnung der Nitrat-Zustromkonzentration des Grundwassers zu den Versuchsfeldern Wagna mit:

CQZ Nitratkonzentration [mg/l] des Grundwassers im Anstrombereich der Versuchsfelder Wagna

QT Gesamtwasserumsatz [l/s] im Untersuchungsgebiet (QNB + QZ)

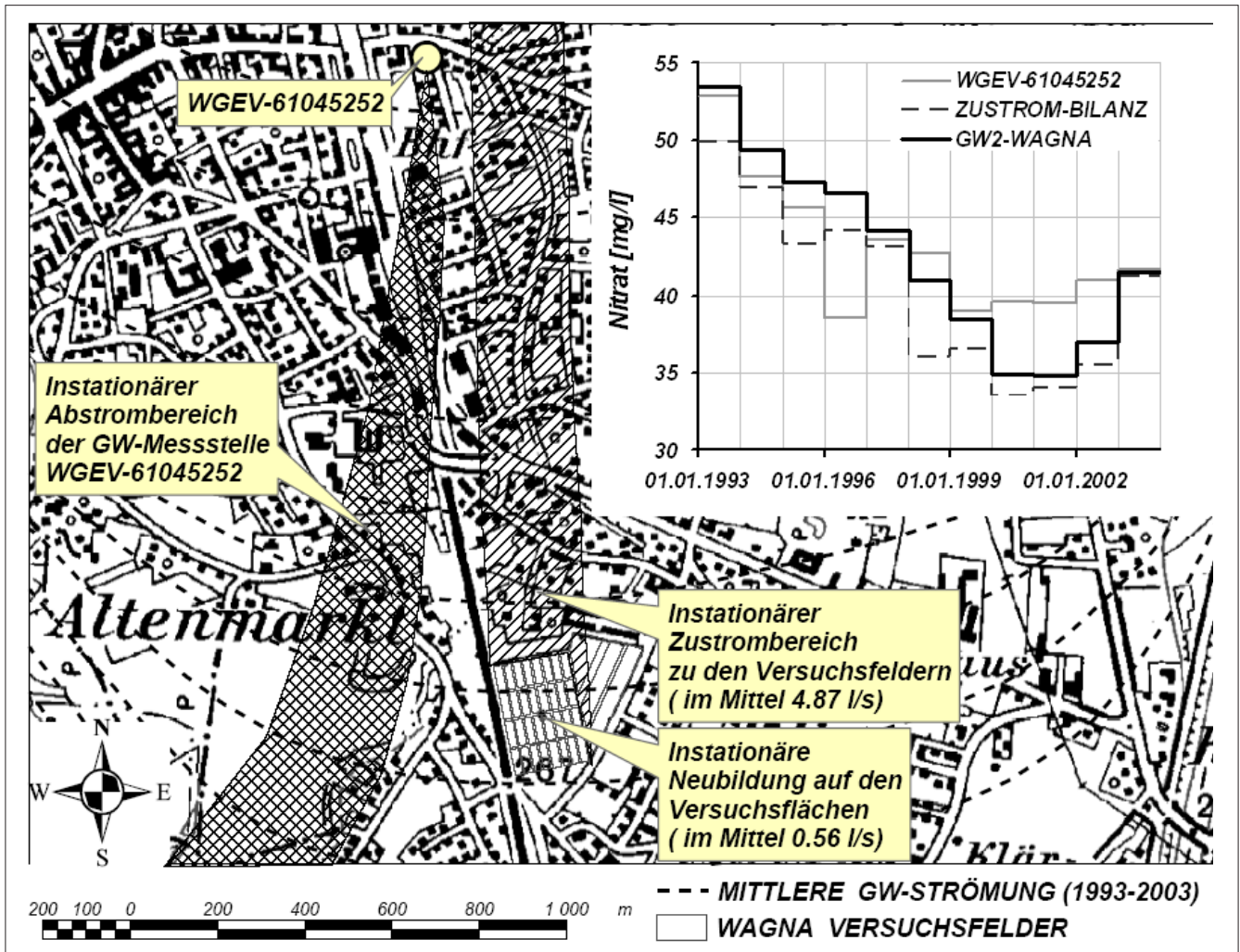


Abbildung 4: Die Ergebnisse der Berechnung des Grundwasserabstrombereichs der WGEV-Messstelle 61045252 und des Grundwassereinzugsgebietes der Versuchsfelder Wagna auf Basis der instationären Grundwasserströmungsmo- dellierung des westlichen Leibnitzer Feldes (FANK et al., 2004) und der Modellverfeinerungen in FANK und ROCK (2005). Aus dem Bilanzmodell berechnete Nitratzustrom-Konzentrationsganglinie für das Untersuchungsgebiet im Vergleich mit gemessenen Nitrat-Jahresmittelwerten im Grundwasser.

CQT Nitratkonzentration [mg/l] des Grundwassers im Untersuchungsgebiet (Messwerte Wagna GW2)

QNB Grundwasserneubildung [l/s] aus infiltrierenden Niederschlägen (SIMWASER)

CNB Nitratkonzentration [mg/l] des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche (STOTRASIM)

QZ Grundwasserzustrom [l/s] in das Untersuchungsgebiet (Grundwassermo- dell Bilanz)

Wie die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen ist die Relation der Fließgrößen von entscheidender Bedeutung für die Bewertung der Auswirkung von Änderungen eines Parameters. So ist am Beispiel des Versuchsfeldes Wagna der Grundwasserzustrom etwa das Zehnfache

der zuströmenden Sickerwassermenge. Dementsprechend bewirkt eine Reduktion der Sickerwasserkonzentration durch landwirtschaftliche Maßnahmen nur geringfügige Abminderungen der Nitratkonzentration im Grundwasser. Ein entsprechendes Szenario ist in *Tabelle 1* dargestellt, wo in Spalte CNB = 30 mg/l die Auswirkungen auf die Nitratkonzentration im Grundwasser (CQT) berechnet wurde. Im Vergleich dazu wurde ein Szenario gerechnet, in dem die Zustromkonzentration (CQZ = 30 mg/l) abgesenkt wurde. Naturgemäß ist die Auswirkung auf die Nitratkonzentration im Grundwasser in diesem Fall erheblich (siehe *Tabelle 1*).

Mit Hilfe des Grundwasserströmungsmodells wurde schließlich im Versuchsfeld Wagna ein virtueller Brunnen mit

einer dauernden Entnahme von 5 l/s situiert und das Einzugsgebiet dieses Brunnens berechnet. Die Fließzeiteauswertung zeigte, dass das Versuchsfeld Wagna in etwa der Fläche der 60-Tage Grundwasser-Zuströmzeit zum Brunnen entspricht.

Für die weitere Berechnung mit Hilfe des Bilanzmodells wurde für den Grundwasserzustrom eine Nitratkonzentration von konstant 55 mg/l angenommen. Unter der Annahme einer Reduktion der Sickerwasserkonzentration auf 30 mg/l im Schutzgebiet Zone II resultiert im Brunnen ein Nitratwert von 52.5 mg/l. Eine durch Änderung von ackerbaulichen Bewirtschaftungsmaßnahmen realistische Reduktion der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf 45 mg/l erfordert eine Fläche von 21.5 ha um den Grenz-

wert der Nitratkonzentration im Grundwasser zu erreichen.

Aus diesen Überlegungen wird implizit klar, dass die Zone II der Schutzgebiete von Wasserversorgungen in erster Linie vor direkten Eingriffen des Menschen auf das Grundwassersystem, vor dem Eintrag hygienischer Problemstoffe und vor dem Eintrag toxischer Stoffe schützen kann. Für den Schutz von Wasserversorgungen vor flächenhaft diffus eingetragenen Nährstoffüberschüssen können nur Maßnahmen dienen, die großflächig im Einzugsgebiet der Wasserversorgungsanlage gesetzt werden (Maßnahmen im Schongebiet).

Schlussfolgerungen

Aus den Auswertungen der Daten des Versuchsfeldes Wagna mit Hilfe komplexer Berechnungsansätze lassen sich für eine Verbesserung der Grundwasserqualitätssituation folgende Schlüsse ziehen:

- Eine Verbesserung des Düngermanagements - naturgemäß in Kombination mit einer Rücknahme der Höhe der Stickstoffgabe - bewirkt einen deutlichen Rückgang der Nitratkonzentration im Sickerwasser. Demgegenüber wirken sich Witterungsschwankungen nur unmaßgeblich aus.
- Zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser sind neben den Prozessen in der ungesättigten Zone jedenfalls auch die Grundwasserhältnisse zu berücksichtigen. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass die Grundwasserströmungs-Bilanzgrößen im notwendigen Detaillierungsgrad nur aus instationär gut kalibrierten Grundwasserströmungsmodellen gewonnen werden können. Die analytische Auswertung von Grundwasserstandsdaten vermag die Komplexität der internen Zusammenhänge nicht ausreichend zu berücksichtigen.
- Die Verwendung von Messdaten der Grundwasserqualität erfordert im Vorfeld eine detaillierte Auswertung jenes Bereiches für die die gemessenen Nitratwerte repräsentativ sind. Wie das Beispiel Wagna zeigt, ist auch dafür die Auswertung von instationären

Grundwasserströmungsmodellen angezeigt.

- Sind für ein Untersuchungsgebiet sowohl die Parameter Sickerwassermenge und -konzentration als auch die Grundwasserbilanz verfügbar, kann über ein einfaches Bilanzmodell (auf Basis der Mischungsgleichung unter der Annahme konservativen Verhaltens des untersuchten Stoffes) die Konzentration des Grundwasserzustroms berechnet werden und dieses Bilanzmodell als Basis für Szenariosimulationen dienen.
- Die Auswirkung der Änderung eines Parameters (z.B. Nitratkonzentration im Sickerwasser) auf das Berechnungsergebnis (z.B. Nitratkonzentration im Grundwasser) ist immer eine Frage der Relation der Bezug habenden Massenbilanzgrößen ((Grundwasserzuström * Zuströmkonzentration) : (Sickerwassermenge * Sickerwasserkonzentration)). Daraus folgt:
 - o Je höher die Transmissivität eines Grundwasserleiters ist, desto geringer ist die Auswirkung von Änderungen der Sickerwassermenge und/oder -konzentration
 - o Je größer die Fläche des Untersuchungsgebietes desto relevanter sind Auswirkungen der Änderung von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Grundwasserhältnisse (sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht)
 - o Im Normalfall können landwirtschaftliche Maßnahmen in der Zone II von Schutzgebieten (60-Tage Grundwasserfließzeit) nur eine untergeordnete Bedeutung für die Grundwasserqualitätssituation in chemischer Hinsicht haben. Derartige Maßnahmen (und deren Überprüfung) sind jedenfalls im Einzugsgebiet der Wasserversorgungsanlage (d.h. im Schongebiet) zu setzen.
 - o Die Bedeutung einzelner "Schwarzer Schafe" im Nahbereich von Wasserversorgungsanlagen wird häufig überschätzt. Von wesentlich höherer Effizienz als das Setzen von Einzelmaßnahmen ist eine generelle Reduktion der Nährstoffzufuhr (und deren Kontrolle) im gesamten Einzugsgebiet.

Literatur

- BERG, W., 1999: Neue Methoden zur Visualisierung und Quantifizierung bevorzugter Fließwege in der ungesättigten Zone. Unveröff. Dipl. Arb. KF-Uni Graz, 65 S., Graz.
- BERG, W., 2003: Monitoring, Analysis and Interpretation of Nitrogenous components and their layered transport into the groundwater of a shallow quaternary aquifer (Leibnitzer Feld, WAGNA). Dissertation am Inst. f. Geographie und Raumforschung, Karl Franzens Universität Graz, 157 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 z. Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.
- FANK, J., G. ROCK, P. PARTL, Th. WEISSE, M. FIGL, M. LUGER, K. PALL, U. SCHEFFEL, W. SIEGL und J. WANZENBÖCK, 2004: Erfassung des gegenwärtigen Zustandes und Prognose zukünftiger Entwicklungen der Baggerseen im westlichen Leibnitzer Feld aus hydrologischer, limnologischer und fischereibiologischer Sicht unter Berücksichtigung möglicher nachhaltiger aber auch ökonomischer Nachnutzungsformen. Unveröff. Bericht, Inst. f. WasserressourcenManagement - Hydrogeologie und Geophysik & Inst. f. Limnologie & Freiland Umweltconsulting, 237 S., 1 Anhang 289 S., 21 Beilagen, Graz - Mondsee.
- FANK, J. und G. ROCK, 2005: Tracer Experiments on Field Scale for Parameter Estimation to calibrate Numerical Transport Models. In: NÜTZMANN, G., P. VIOTTI & P. AAGAARD (Editors): Reactive Transport in Soil and Groundwater - Processes and Models, 239-250, (SPRINGER) Berlin - Heidelberg - New York.
- FEICHTINGER, F., 1998: STOTRASIM - Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. In: BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT [HRSG] (1998): Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, 14-41, Wien.
- LUKAS, A., 2000: Erfassung und Beschreibung von Sedimentinhomogenitäten in der ungesättigten Zone mittels hochauflösender Geoelektrik im Grundwassersanierungsgebiet Leibnitzer Feld. Unveröff. Dipl. Arb. Montanuniversität Leoben, 52 S., Leoben.
- ROCK, G. und H. KUPFERSBERGER, 2002: Numerical delineation of transient capture zone. Journal of Hydrology, 269, 134-149, (ELSEVIER).
- STENITZER, E., 1988: Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitt. aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, Petzenkirchen.