

Die Bedeutung der Ergebnisse der Untersuchungen an der Forschungsstation Wagna für die ackerbauliche Praxis im Grundwassergebiet des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg

J. FANK

Abstract

Agricultural impact to groundwater systems is strongly correlated to intensifying of land use and food production. The correlating increase of the use of fertilizers and pesticides lead to groundwater quality problems in most European lowlands. The Mur river aquifer in the southern part of Austria is a typical valley aquifer built of quaternary gravel and sands. Due to changes in agricultural land use practices and increasing fertilization nitrate and pesticide concentration in groundwater exceeded legal limits in the 80tees of the last century. In cooperation between administration, farmers, water works and scientific organizations a combined program has been installed with the aim to reduce diffuse impact on the groundwater system from agricultural activities.

1. Der Murtal - Grundwasserleiter

Das Murtal von Graz bis Radkersburg gliedert sich in drei Teilbecken, die nach der letzten Eiszeit durch die akkumulierende Mur mit Kiesen und Sanden auf unterlagernden jungtertiären stauenden Sedimenten aufgeschüttet wurden. Sowohl im Grazer Feld, im Leibnitzer Feld und im Unteren Murtal (*Abbildung 1*) bildet sich aufgrund der hydrogeologischen Rahmenbedingungen ein wirtschaftlich bedeutender Aquifer aus, wobei das Grundwasser Mächtigkeiten zwischen 2 und 20 m erreicht. Überlagert wird das Grundwasser durch eine mehrere Meter mächtige ungesättigte Zone aus Kiesen und Sanden, der eine gering mächtige Bodenbedeckung aus

lehmig - sandigen Braunerden aufliegt. Bei mittleren Jahresniederschlagsmengen zwischen 800 und 950 mm erreicht aufgrund der unterschiedlich ausgebildeten Böden die Grundwasserneubildung Werte zwischen 250 und 450 mm pro Jahr. In Kombination mit der hervorragenden Qualität der Böden für den Ackerbau bildete sich im Zuge der Intensivierung ein Konfliktpotential zwischen der Landwirtschaft und der Wasserwirtschaft - die diese Aquifere intensiv für die Trinkwasserversorgung nutzt - heraus (FANK, 1999).

Basierend auf den hydrogeologischen Rahmenbedingungen (abnehmende Grundwassermächtigkeit und abnehmende Korngrößen mit zunehmender Entfernung vom Quellgebiet der Sedimente [Endmoräne der Mur etwa 150 km stromaufwärts]) nimmt auch die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters ab. Dementsprechend sind im Grazer Feld eher wenige Wasserversorgungsanlagen mit hohen Entnahmekonsensmengen situiert (dabei ist aber auch die künstliche Grundwasseranreicherung im N von Graz zu berücksichtigen), während im Leibnitzer Feld eine große Anzahl kommunaler und regionaler Wasserversorgungsanlagen existieren, deren Gesamtkonsens aber so hoch ist, dass praktisch keine zusätzlichen Ressourcen existieren. Im Unteren Murtal an der Grenze zu Slowenien sind die bewilligten Entnahmen deutlich niedriger, allerdings tritt in diesem Bereich eine Konkurrenzsituation zur Saatmaibewässerung seitens der Landwirtschaft auf.

Insgesamt weisen die drei Teilbecken des Murtal-Grundwasserleiters südlich von Graz eine Fläche von mehr als 300 km²

auf, das darin gespeicherte und in erster Linie über infiltrierende Niederschlagswässer und der Wechselwirkung des Grundwassers mit den Oberflächengewässern neu gebildete Grundwasser wird zur Versorgung der Bevölkerung in einem Radius von etwa 100 km genutzt.

2. Die Entwicklung der Belastungssituation

Lange Jahrhunderte war die Landwirtschaft der dominierende Wirtschaftszweig dieses ländlichen Raumes. In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts aber traten zwei Faktoren gemeinsam auf, die in dieser Region eine völlig neue Problematik entstehen ließ:

- Der Grundwasserkörper in den Terrassenschottern des Murtales wurde als Trinkwasserreserve nicht nur für die örtliche, sondern für die Planung einer zentralen überregionalen Wasserversorgung erkannt, die es ermöglichte, neben den Bewohnern des Leibnitzer Feldes selbst die Wassermangelgebiete im Ost- und Weststeirischen Hügelland mit Trinkwasser in großen Mengen und hervorragender Qualität zu versorgen.
- Der wirtschaftliche Druck auf die Landwirtschaft führte zu einer enormen Intensivierung der Bewirtschaftung und zu einer nachhaltigen Umstellung von einer gemischten Landwirtschaft in reine Ackerbaubewirtschaftung, eine Abkehr von der Rinderwirtschaft hin zur intensiven Schweinemast und im Nahbereich der Stadt Graz auch zum Feldgemüsebau. Aufgrund der Besitzstrukturen war es erforderlich, auf kleinsten Flächen

Autor: Univ.-Doz. Dr. Johann FANK, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

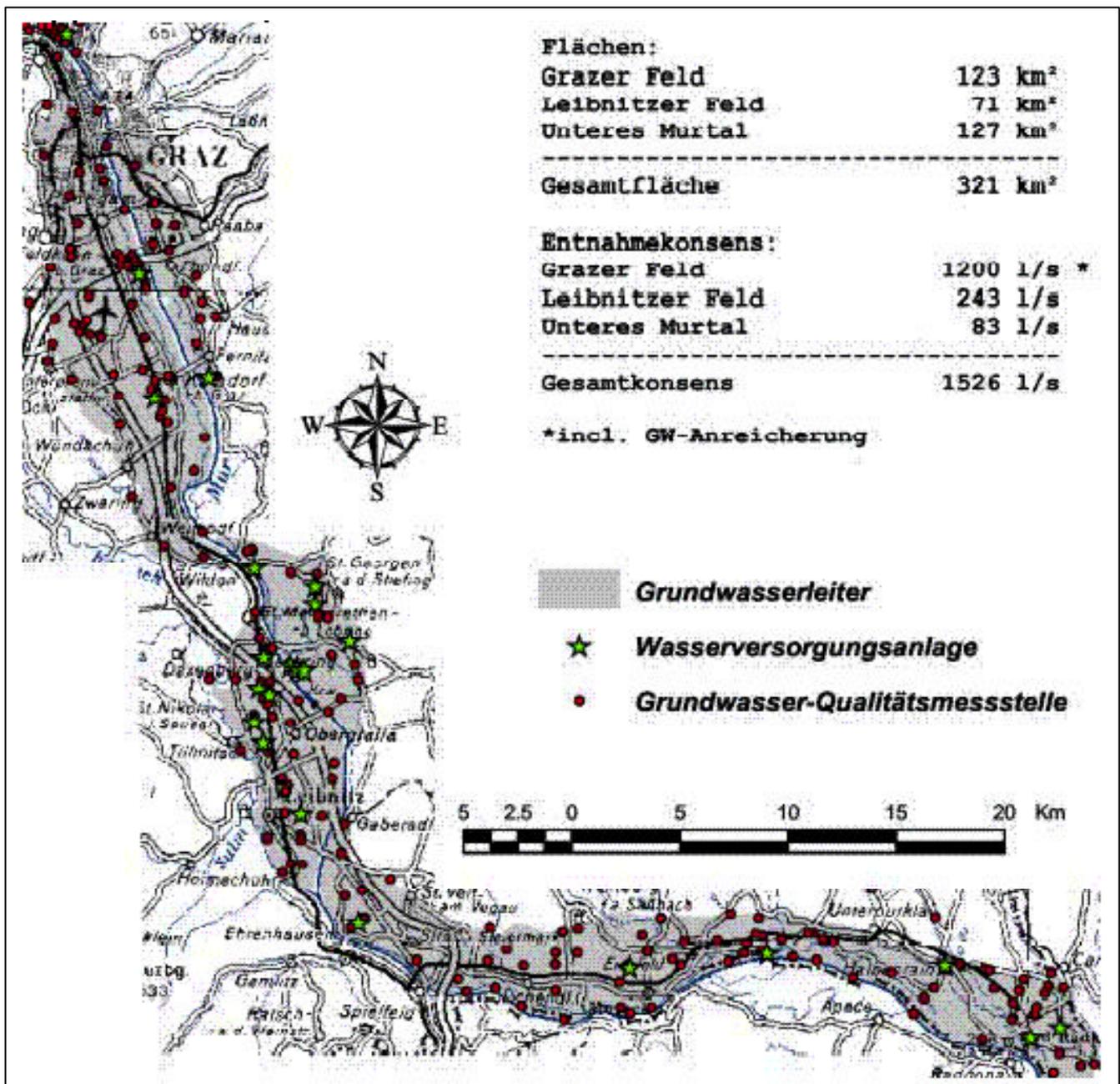


Abbildung 1: Der Grundwasserleiter des Murtales zwischen Graz und Bad Radkersburg mit der Lage bedeutender Wasserversorgungsanlagen und von Grundwasser - Qualitätsmessstellen zur Sicherung der Trinkwasserqualität. Im Textblock Angabe der Flächen der Teilgebiete und Konsensmengen für die Trinkwassergewinnung aus dem seichtliegenden Porengrundwasser.

möglichst hohe Erträge bei geringstem Arbeitskräfteeinsatz zu erzielen, da die Flächenausstattung einer Vielzahl von Betrieben die Umwandlung von Voll- zu Zu- und Nebenerwerbsbetrieben erforderlich machte.

Die Intensivierung der Landwirtschaft auf den gut durchlässigen Böden der Schotterterrassen führte zu Qualitätsproblemen im Grundwasser, die sich in den 80er Jahren in einem steilen Anstieg der

Nitratkonzentration im Grundwasser äußerten (Abbildung 2). Die Ausprägung dieser Entwicklung war im gesamten Untersuchungsgebiet zu verzeichnen, wies aber naturgemäß aufgrund der unterschiedlichen naturräumlichen Ausstattung und auch der unterschiedlichen Verteilung sonstiger Landnutzungsformen durchaus unterschiedliche Dimensionen in verschiedenen Teilbereichen auf. An einigen Wasserversorgungsbrunnen war die Einhaltung des gesetzlichen

Grenzwertes der Nitratkonzentration und auch der Pestizidkonzentration im Grundwasser nicht mehr möglich. Es bildete sich ein scharfes Konfliktfeld zwischen der Wasserversorgung und der Landwirtschaft aus, wobei es galt, Lösungssysteme zu erstellen, die es erlaubten, bei einer ökonomisch sinnvollen Landwirtschaft die Einhaltung der von Seiten des Wasserrechtsgesetzes vorgegebenen Trinkwassergrenzwerte einzuhalten.

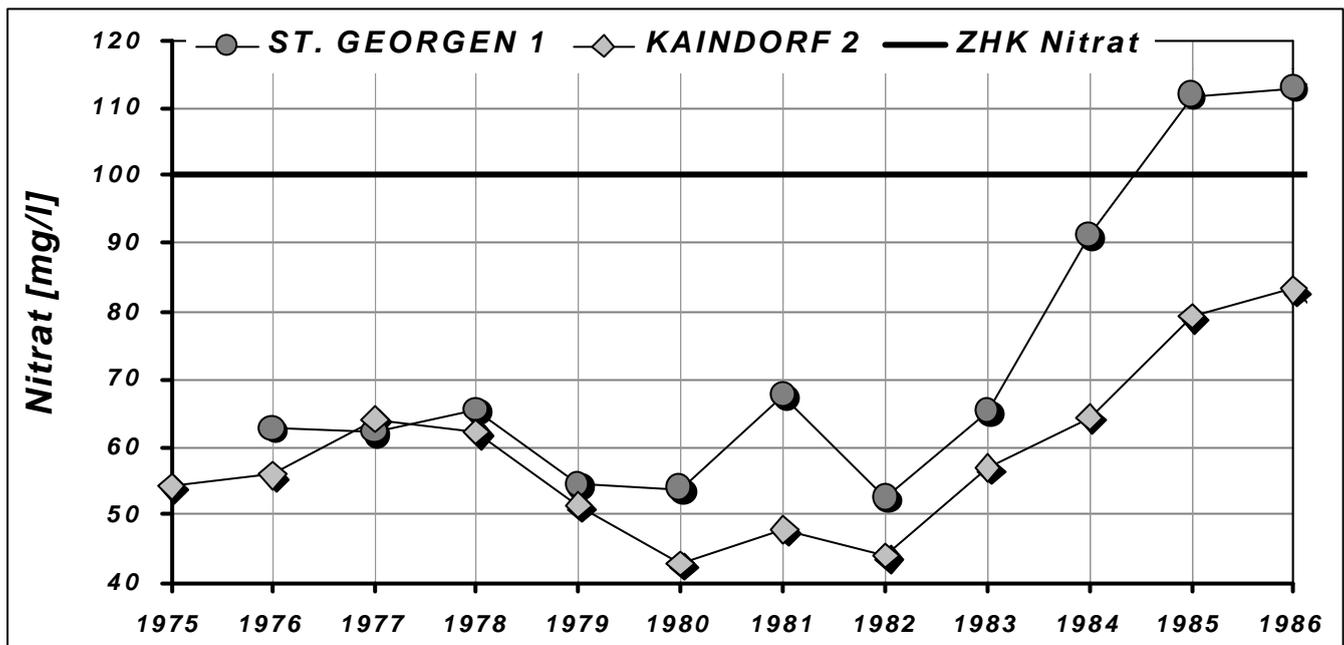


Abbildung 2: Ganglinien der Jahresmittelwerte der Nitratkonzentration im Grundwasser von Versorgungsbrunnen aus dem Nordöstlichen Leibnitzer Feld (St. Georgen) und dem westlichen Leibnitzer Feld (Kaindorf) sowie Darstellung der in diesem Zeitraum zulässigen Höchstkonzentration (ZHK) für Nitrat im Grundwasser in Österreich.

3. Die Forschungsstation Wagna und die Untersuchungsergebnisse als Grundlage für die Erarbeitung von Sanierungsstrategien

Basierend auf der Erkenntnis, dass ein Schlüssel zur Erfassung der Prozesse, die zum Nitratproblem im Murtal geführt hatten, in der wasserungesättigten Zone zu suchen sei, wurde im Problemgebiet eine Forschungsstation errichtet, die es erlaubt, die Vorgänge der Wasserbewegung und des Stofftransportes von der Atmosphäre über den Boden, die ungesättigten Sande und Kiese der quartären Talfüllung bis in das Grundwasser zu untersuchen (FANK, 1999).

Die Forschungsstation Wagna wurde im Jahre 1991 als Reaktion auf die steigenden Nitratkonzentrationen im Grundwasser errichtet, um Daten über die Wechselwirkung Atmosphäre - Landwirtschaft - Boden - Sickerwasser unter ortsüblichen Bewirtschaftungsbedingungen und unterschiedlichen Fruchtfolgen gewinnen zu können. Die Versuchsanlage liegt im Bereich der Versuchsflächen des land- und forstwirtschaftlichen Versuchswesens des Landes Steiermark in Wagna, wo im Rahmen von Großparzellenversuchen mit Parzellengrößen von

ca. 1000 m² seit den 80er Jahren die Auswirkung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Ertragsituation und auch auf den Stickstoffhaushalt im Boden untersucht wurden. Die Bewirtschaftung dieser Großparzellen erfolgte mit ortsüblichen Maschinen und Traktoren. Die Forschungsanlage konnte in einer Fahrgasse zwischen zwei Parzellen mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftung, einerseits einer Maismonokultur und andererseits einer Parzelle mit einer definierten Fruchtfolge errichtet werden.

Die Forschungsstation besteht aus fünf Haupteinheiten:

- ❶ Meteorologische Messstation mit einer kontinuierlichen Aufzeichnung von Niederschlag, Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte, Strahlung, Luftdruck, Windrichtung und Windgeschwindigkeit,
- ❷ 2 Messprofile in der ungesättigten Zone mit Messsonden in 5 unterschiedlichen Tiefen mit einer automatischen Registrierung der Bodentemperatur, der Saugspannung und des Wassergehaltes. Saugkerzen zur Probenahme in der ungesättigten Zone sind in der gleichen Tiefe wie die Tensiometer eingebaut,
- ❸ monolithische Lysimeter mit unterschiedlichen Erfassungstiefen im Bodenbereich (die Bewirtschaftung dieser Ly-

simeter kann maschinell im Zuge der üblichen Feldbearbeitung durchgeführt werden) und unter gestörten Bedingungen eingebaute Sickerwassersammler in 150 und 250 cm unter Gelände im Schotter zur Erfassung der Sickerwassermenge und der Sickerwasserqualität unter Feldbedingungen,

- ❹ 2 Gefäßlysimeter (Schwerkraftlysimeter) mit 1 m² Oberfläche und 1.5 m Fülltiefe mit denselben Landnutzungsbedingungen wie auf den beiden Versuchsflächen, von denen jeder mit einer hydrologischen Wippe zur automatischen Registrierung des Sickerwasserflusses ausgestattet ist,

- ❺ Ein Grundwasserpegel, an dem der Grundwasserspiegel, die elektrische Leitfähigkeit in zwei Tiefen und die Grundwassertemperatur in 5 Messtiefen erfasst wird. An einem weiteren Grundwasserpegel werden auch Proben für die hydrochemische und isotopehydrologische Analyse gezogen. Detaillierte Informationen über die Ausstattung der Forschungsstation, die bodenkundlichen und bodenhydrologischen Rahmenbedingungen und die Bewirtschaftungsbedingungen sind FANK, 1999 zu entnehmen. Die automatisch registrierten Daten der Messfühler und Sonden werden in einem zentralen Datensammler abgelegt. Die manuell abgelesenen Daten und

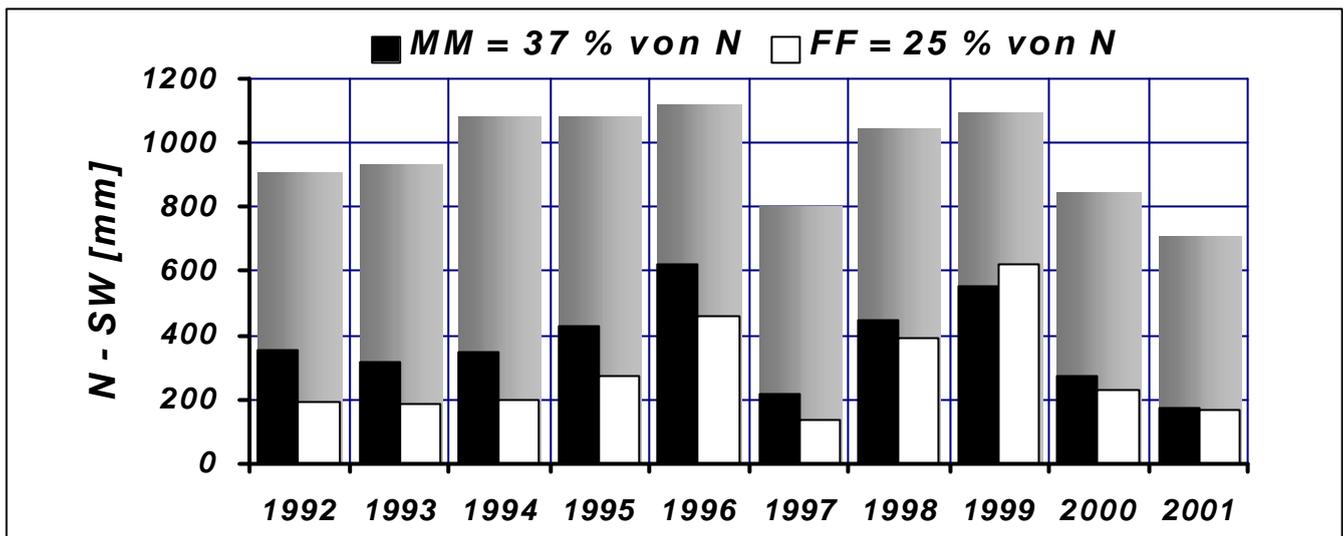


Abbildung 3: Beziehung zwischen den Jahressummen der Sickerwassermengen der unterschiedlich bewirtschafteten Felder der Forschungsstation Wagna (MM = Maismonokultur, FF = Fruchtfolge) und den Jahressummen des Niederschlags von 1992 bis 2001.

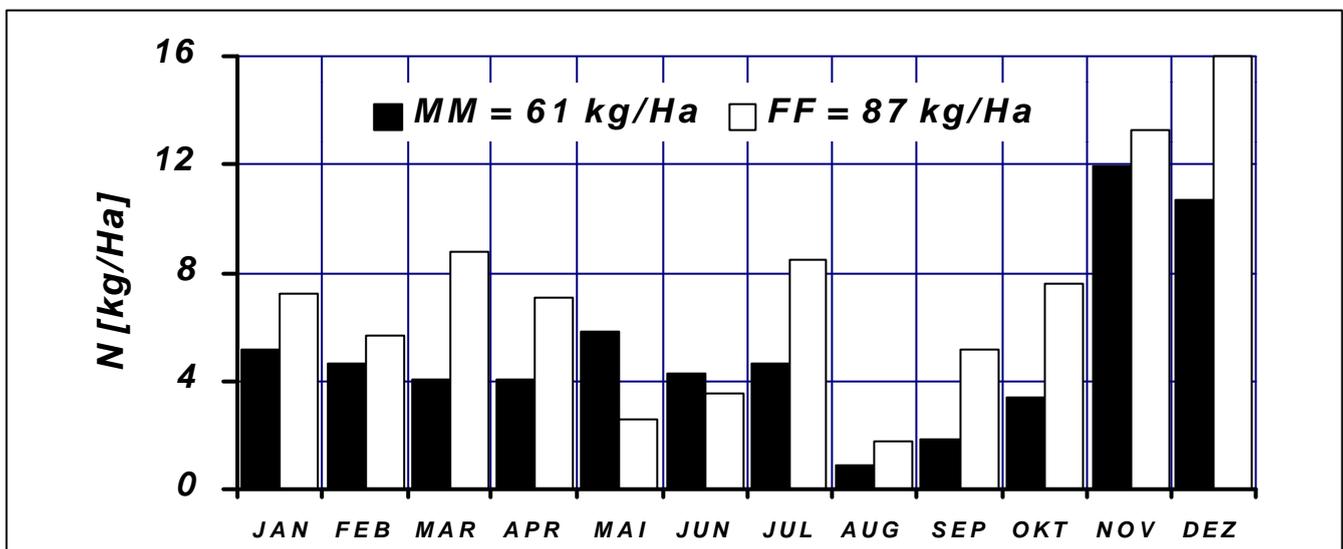


Abbildung 4: Jahreszeitliche Verteilung des Stickstoffaustrages aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser an den unterschiedlich bewirtschafteten Feldern der Forschungsstation Wagna (MM = Maismonokultur, FF = Fruchtfolge) im Zeitraum 1992 bis 1999.

die Analyseergebnisse werden in vorgegebenen EDV-Strukturen erfasst und als Grundlage für die Modellbildung verfügbar gemacht.

Im Rahmen der Messtätigkeit an der Forschungsstation Wagna wurden für entscheidende Parameter zur Interpretation von Prozessen und zur Kalibrierung von Modellen großteils lückenlose Messreihen über 10 Jahre (1992 - 2001) erfasst:

- Wetterdaten (Niederschlag, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Global- und Reflexionsstrahlung, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und Windrichtung)

- Bodenwassergehaltsänderungen im zeitlichen Verlauf über TDR-Sonden, Potentialverteilung und deren zeitliche Variabilität über Tensiometer und kalibrierte Gipsblöcke
- Zeitliche Variabilität der Bodentemperatur in unterschiedlichen Tiefen, wobei aufgrund der Konzeption der Forschungsstation die Messprofile im Boden zwischen 40 cm und 200 cm unter Gelände liegen
- Raum-zeitliche Entwicklung der Sickerwasser- und Grundwassermenge und -qualität

Bodenkundliche Detailkartierungen wurden im Versuchsfeld durchgeführt und

dabei erfolgte Probennahmen führten zu einer bodenphysikalischen Parametrisierung der einzelnen Horizonte der Profile der Lysimeter-Versuchspartellen sowie weiterer Standorte im Versuchsfeld. Für einen großen Teil des Untersuchungszeitraumes liegen detaillierte Bewirtschaftungsdaten hinsichtlich Fruchtfolgen, Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Bewirtschaftungs- und Düngungsmaßnahmen, Ernteerträge für das gesamte Versuchsfeld vor, für einzelne Jahre existieren bis dato allerdings nur gröbere Festlegungen hinsichtlich der Bodenbewirtschaftung.

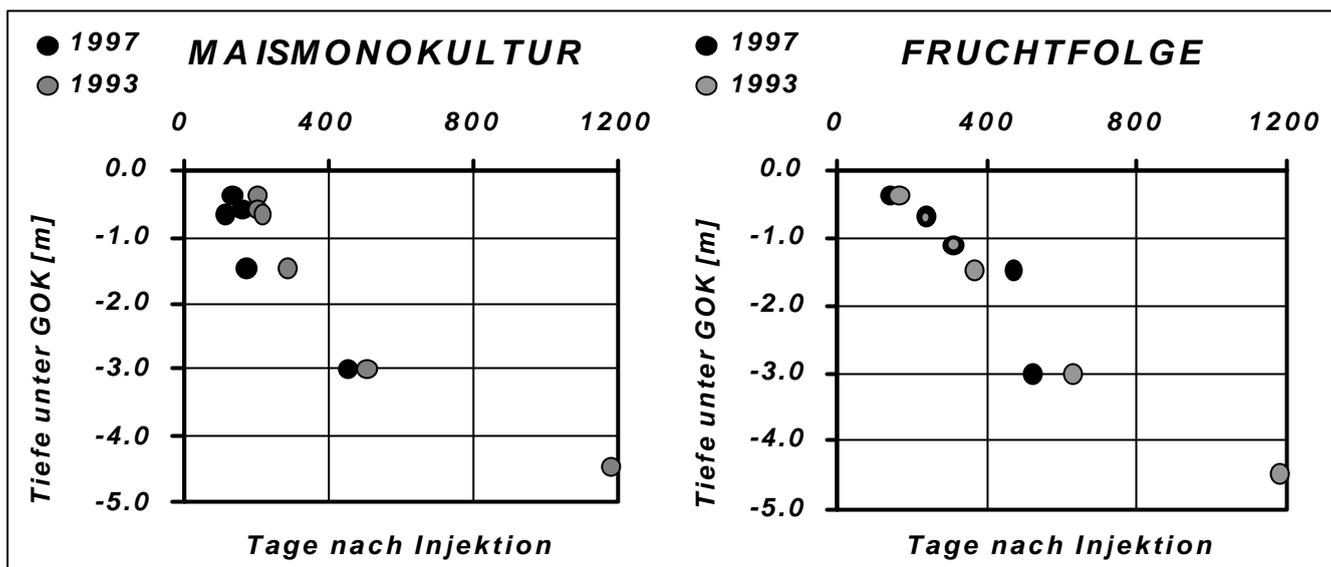


Abbildung 5: Tiefenverlagerung von Bromid (Tracer-Schwerpunkt) zur Charakterisierung des Stofftransportes bei unterschiedlicher Bewirtschaftung: Vergleich von zwei Markierungsversuchen bei unterschiedlichen hydrologischen Randbedingungen.

Aus der Auswertung der Daten konnte die Abhängigkeit der Grundwasserneubildung vom Niederschlagsgeschehen, die zeitliche Variabilität im Langzeitverhalten und das jahreszeitliche Verhalten des Sickerwasseranfalls und der Stickstoffkonzentration erarbeitet werden. Aufgrund der Abhängigkeit von der unterschiedlichen Bodenausprägung und der Bewirtschaftungsart liegt die mittlere Sickerwasserrate auf der Maismonokulturparzelle bei etwa 37 % des Jahresniederschlags, auf der Fruchtfolgeparzelle liegt der entsprechende Wert bei 25 % (bei einer mittleren Jahresniederschlagshöhe von etwa 950 mm; *Abbildung 3*). Der aus den Nitratkonzentrationen berechnete Stickstoffauftrag liegt zwischen 61 und 87 kg N je Ha und Jahr (*Abbildung 4*).

Die Verlagerung von Wasser und Stoffen in der ungesättigten Zone wurde auch mittels Markierungsversuchen zu unterschiedlichen hydrometeorologischen Rahmenbedingungen erfasst: im Frühjahr 1993 bei Beginn der Vegetationszeit und im Dezember 1997 bei nahezu fehlender Evapotranspiration. Markierungsversuche wurden auch eingesetzt, um zwischen unterschiedlichen Fließ- und Transportprozessen (Matrixfluss - Makroporenfluss) unterscheiden zu können. Zur Untersuchung der Transportdynamik wurden auch die Ergebnisse der hydrochemischen und isotopehydrologischen Analysen herangezogen. Die

mittleren Verlagerungszeiten des Tracer-Frachtschwerpunktes (in beiden Fällen wurde Bromid als konservativer Tracer eingesetzt) - also die mittlere Verlagerungsgeschwindigkeit des Wassers - ist in beiden Fällen nahezu ident (*Abbildung 5*), die Verweilzeit in der ungesättigten Zone mit einer mittleren Mächtigkeit von 4.5 m ist aufgrund der größeren Mächtigkeit des Feinbodens bei der Fruchtfolge mit 3.2 Jahren höher als bei der Maismonokultur (2 Jahre). Die Verlagerungsgeschwindigkeiten werden auch durch die Auswertung der Langzeit - Isotopenmessungen (FANK und STICHLER, 2003) sowie die Auswertung von Einzelereignissen (FANK, STICHLER und ZOJER, 1998) bestätigt. Von besonderer Relevanz im Hinblick auf die Auswirkung einer Düngerausbringung im Herbst sind die Ergebnisse eines Markierungsversuches aus dem Jahr 2003: Aufgrund des sehr trockenen Sommers war der Wassergehalt im Boden Ende August beim permanenten Welkepunkt angelangt. In diesem Zustand wurden die Lysimeter am 3. September 2003 mit Bromid als Tracer beaufschlagt. Durch künstliche Beregnung wurde ein danach einsetzendes Neubildungsereignis hervorgerufen - es wurde also ein Zustand geschaffen, wie er auch in der Natur nach der Ernte der Kulturen auftritt (vgl. z.B. 1993 oder auch 2002). Nach nicht ganz zwei Monaten waren in einer Sickerwassermenge von etwa 100 mm 20 % des

aufgebrachten Tracers bereits an der Lysimeterunterseite in 150 cm Tiefe wiedergefunden worden. Dies bedeutet, dass bei einer Stoffaufbringung auf ausgetrockneten Boden und darauffolgenden starken Niederschlägen ein sehr rascher Transport in Tiefen erfolgt, die für die Pflanzen einer winterharten Gründedecke und auch durch die im folgenden Jahr geführten Kulturpflanzen nicht erreicht werden können.

Untersuchungen über mikrobiologische Umsetzungsprozesse im - den Feinboden unterlagernden - Sand - Kiesbereich führten zum Nachweis von Nitrifikanten auch in tieferliegenden Bodenhorizonten. Der Nachweis ihrer Nitrifikationspotentiale unter standardisierten Laborbedingungen bestätigt die grundsätzliche Fähigkeit zu N-Transformationsprozessen. Bei diesen Untersuchungen wurden auch weit unter der Wurzelzone stattfindende autotrophe Nitrifikationsprozesse nachgewiesen, wobei ihr Beitrag an N-Transformationsprozessen in situ - insbesondere im Hinblick auf mögliche Nitratanreicherungen im Grundwasser allerdings begrenzt erscheint. Die Ergebnisse konnten auch durch ¹⁵N und ¹⁸O Isotopenuntersuchungen am Nitrat bestätigt werden, womit die vorherrschende Lehrmeinung, dass Nitrifikationsprozesse auf den Oberboden begrenzt sind, zumindest im wasserwirtschaftlich äußerst bedeutsamen Bereich des Leibnitzer Feldes nicht haltbar ist. Obwohl im

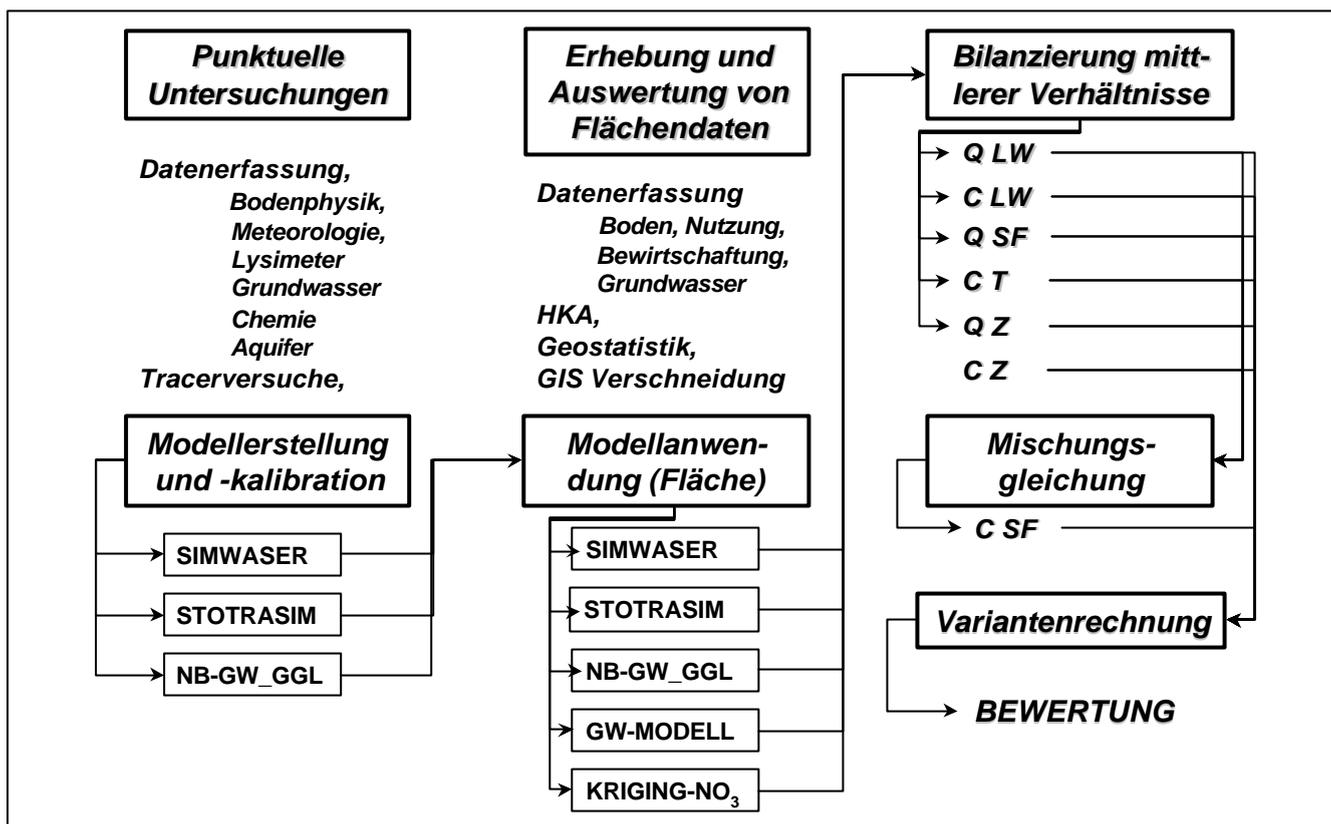


Abbildung 6: "Flow Chart" der Vorgangsweise zur Erstellung einer Wasser- und Nitratbilanz für das westliche Leibnitzer Feld basierend auf den Untersuchungen an der Forschungsstation Wagna.

Widerspruch zu den derzeitigen Vorstellungen vom Stickstofftransport im Boden, sollte besonders an seichtgründigen Standorten auch die Möglichkeit einer Ammonium - Verlagerung in Betracht gezogen werden (FANK und LEIS, 1995; LEIS, 1996; LEIS, 1998; LEIS und STUHLBACHER, 1997).

Eine wesentliche Fragestellung war, inwieweit sich zwischen den Ergebnissen von Untersuchungen aus der überlagerten ungesättigten Zone und den Qualitätsverhältnissen im Grundwasser ein Konnex herstellen ließe. Die Ergebnisse der intensiven Untersuchungen im Ackerbaubereich (zusammengefasst in J. FANK, 1999) zeigten, dass zwischen dem erkundeten Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone und der Nitratkonzentration des Grundwassers im Leibnitzer Feld selbst bedeutende Unterschiede existieren. Um eine Wasser- und Stickstoffbilanz für einen Teilbereich des westlichen Leibnitzer Feldes erstellen zu können, sind demnach neben den ackerbaulich genutzten Flächen auch sonstige Nutzungsformen und die Grund-

wasserbilanz selbst zu berücksichtigen.

Die Bilanzierung erfolgt auf den Ergebnissen punktueller Untersuchungen, der daran gekoppelten Modellkalibrierungen, der Übertragung durch eine flächenhafte Modellanwendung im Sinne homogener Teilgebiete und der Bilanzierung mittlerer Verhältnisse über die Mischungsgleichung, wie in *Abbildung 6* dargestellt. Detailinformationen über die verwendeten Daten, Modelle und deren Parameter sowie Berechnungsmethoden und Simulationen sind Fank (2001) zu entnehmen. Als Conclusio aus diesen Untersuchungen war klar, dass für eine Bewertung der Entwicklung der Grundwasserqualitätssituation im Murtal nicht nur der Austrag von Stoffen aus der ungesättigten Zone und damit der flächenhaft agierenden Landbewirtschaftung zu bewerten war, sondern dass die Sanierungsstrategien in jedem Fall möglichst alle gesamtheitlich wirkenden Komponenten der Grundwassererneuerung und die Grundwasserhältnisse selbst im Detail zu berücksichtigen waren.

4. Umsetzung der Erkenntnisse aus den Untersuchungen an der Forschungsstation Wagna

Die Umsetzung der Erkenntnisse aus den Untersuchungen am Versuchsfeld Wagna erfolgte einerseits im Rahmen angewandter Projekte, andererseits im Rahmen intensiver Beratungstätigkeit in Kooperation mit Wasserrecht, Landwirtschaft und die Landwirte. Die durchgeführten Maßnahmen lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

① Modellsimulationen und Bewirtschaftungsmaßnahmen:

Simulationsrechnungen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserwirtschaft

- Parametrisierung der wichtigsten Bodenformen im Murtal
- Erarbeitung von Bewirtschaftungs- und Düngemaßnahmen (Düngemenge

- und Düngezeitpunkt) in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf von 1976 bis 1995
- Simulation von Sickerwassermenge und Nitrataustrag auf Tagesbasis
 - Bewertung der mittleren Ergebnisse in Abhängigkeit von Güllemenge und -zeitpunkt hinsichtlich der Bedeutung für den Grundwasserschutz durch Bewertung einer Vielzahl von Parametern (z.B. Sickerwassermenge, Trockenmassebildung, N-Versickerung, Nitratkonzentration im SW [Tabelle 1])
 - ② Erarbeitung einer Karte der Nitrataustragsgefährdung der Böden des Murtales bei Maisanbau
 - Digitale Erfassung der Bodenformen nach der ÖBK 1:25.000
 - Klassifizierung der Nitrataustragsge-
- führung der wichtigsten Bodenformen aufgrund der Simulationsergebnisse
- Zuordnung der Bodenformen des Murtales aufgrund der Erläuterungen zur ÖBK (Korngrößenzusammensetzung, Humusgehalt etc.) zu den Nitrataustragsgefährdungsklassen
 - GIS - Visualisierung der Nitrataustragsgefährdung
 - ③ Vermittlung der Ergebnisse der Untersuchungen im Rahmen von Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen bei Behörden und Landwirten
 - ④ Ungesättigte Zone und Grundwasserströmungsmodellierung
- Die Erkenntnisse über die Bedeutung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen für die Grundwasserströmungsverhältnisse führten zu neuen Strategien im Bereich der numerischen Grundwasser-Strömungsmodellierung und durch die Einbindung der dominanten Prozesse zu einer wesentlich verbesserten Kalibrationsqualität. Erst durch diese Arbeiten ist es möglich, die Bedeutung der Landwirtschaft - im speziellen des Ackerbaus - für die Entwicklung der Grundwassersituation in quantitativer und qualitativer Hinsicht zu relativieren.
- ⑤ Schutz- und Schongebiete, landwirtschaftliche Intensivberatungsgebiete - Abgrenzung und Inhalte
 - Grundwassermodellierung unter Einbeziehung der räumlich und zeitlich variablen Grundwasserneubildung im Konnex mit neu entwickelten Auswer-

Tabelle 1: Mittlere Nitratkonzentration [mg NO₃/l] im Sickerwasser für eine Maismonokultur mit winterharter Zwischenfrucht auf 6 Bodenformen des Leibnitzer Feldes bei verschiedenen Düngungsvarianten für den Zeitraum 1. Jänner 1982 bis 31. Dezember 1995 (FEICHTINGER, 1998).

Startdüngung kgN/ha	Wirtschaftsdüngereinsatz		BODENFORMEN					
	Zusatzdüngung am	kgN/ha	IS/Scho 3D KB20 BF15a	IS2-4D KB20 BF15b	IS/Sch 4D KB20 BF16	SL1-3D KB20 BF17	sL1-3D KB20 BF21	sL/LT5-6D KB20 BF24
10 m ³ Gülle (45kgN)	10. bis 20. Mai	60	99	57	91	49	22	44
		90	103	57	99	49	21	45
		120	108	57	107	51	21	46
	20. bis 30. Mai	60	99	57	89	48	22	44
		90	101	57	94	49	21	45
		120	107	57	99	51	21	46
	1. bis 10. Juni	60	99	57	87	49	22	44
		90	101	57	90	49	21	45
		120	107	57	94	51	21	46
	10. bis 20. Juni	60	99	57	86	49	22	44
		90	102	57	90	49	21	45
		120	107	57	93	51	21	46
15 m ³ Gülle (67.5kgN)	10. bis 20. Mai	60	105	58	105	49	21	45
		90	110	58	113	50	21	46
		120	117	60	122	54	22	47
	20. bis 30. Mai	60	104	58	102	49	21	45
		90	109	58	107	50	21	45
		120	115	60	113	54	22	47
	1. bis 10. Juni	60	105	58	100	49	21	45
		90	109	58	104	50	21	46
		120	116	60	109	54	22	47
	10. bis 20. Juni	60	105	58	100	49	21	44
		90	109	58	103	50	21	45
		120	116	60	107	54	22	47
20 m ³ Gülle (90kgN)	10. bis 20. Mai	60	113	59	120	50	21	45
		90	118	61	128	53	22	46
		120	126	65	137	58	23	49
	20. bis 30. Mai	60	112	59	117	50	21	45
		90	117	60	122	53	22	46
		120	124	65	128	58	23	49
	1. bis 10. Juni	60	112	59	115	50	21	45
		90	117	60	119	53	22	46
		120	125	65	124	58	23	49
	10. bis 20. Juni	60	112	59	114	50	21	45
		90	117	60	118	53	22	46
		120	125	65	123	58	23	49

temethoden zur Einzugsgebietsermittlung von Brunnen ("wahre" Einzugsgebiete auf Basis der Stromlinien) macht wesentlich besser abgesicherte Abgrenzungsvorschläge erst möglich

- Die Kenntnis der Prozesse der Neubildung und des Stofftransportes in der ungesättigten Zone im Konnex mit den Ergebnissen der Langzeit-Simulationen bildet die Grundlage für den Maßnahmenkatalog zur Sicherung der Wasserqualität
- Basierend auf der Verschneidung von Brunneneinzugsgebieten, der Darstellung der Grundwasserqualitätssituation als Ergebnis geostatistischer Modelle, der Nitrataustragsgefährdungskarte und der hydrogeologischen Situation wurden in wasserwirtschaftlich relevanten Teilbereichen landwirtschaftliche Intensivberatungsgebiete in Zusammenarbeit mit Wasserrecht, wasserwirtschaftlicher Planung und Landwirtschaft festgelegt
- Im Rahmen von Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen konnten die Notwendigkeiten zum Schutz der Ressource Wasser den betroffenen Landwirten näher gebracht werden.
- ⑥ Erfassung und Prognose des Eintrags und der Ausbreitung von Stoffen aus diffusen Quellen
- Eines der Ergebnisse der Untersuchungen im Versuchsfeld Wagner war die Erkenntnis, dass die Prozesse des Eintragsgeschehens von Wasser und Stoffen in den gesättigten Bereich in ihrer dreidimensionalen Charakteristik und in ihrer Wechselwirkung mit den lateralen Zustrombedingungen nahezu unbekannt sind und deshalb eine Prognose der Auswirkung von Landnutzungs- und Bewirtschaftungsänderungen nur sehr eingeschränkt möglich ist.
- Daraus ergab sich die Notwendigkeit der Erweiterung der experimentellen Einrichtungen am Versuchsfeld Wagner im Grundwasserbereich im Rahmen eines Eigenforschungsprojektes
 - Einrichtung von Messstellen zur dreidimensionalen Erfassung der Stoffverteilung im Feldversuch
 - Validierung der Messeinrichtungen durch Tracerversuche
 - Überprüfung von Stofftransportparametern aus der Literatur hinsichtlich

der Anwendbarkeit auf die Verhältnisse des Murtales

- Messtechnische Erfassung der Einschichtung von Stoffen aus der ungesättigten Zone auf Basis von Tracerversuchen und der flächenhaften Feldbeobachtung im Versuchsfeld Wagner
- Schaffung der Grundlagen für die Modellierung und Prognose der Auswirkungen von Nutzungs- und Bewirtschaftungsänderungen

5. Strategien zur Erreichung der Qualitätsziele im Grundwasser des Murtales

Die Maßnahmen, die aufgrund der Qualitätsentwicklung im Grundwasser seit den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts im Murtal gesetzt wurden lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

• Einrichtung von Grundwasserschutzzonen in Trinkwassereinzugsgebieten

Nicht zuletzt aufgrund der Erkenntnisse der Untersuchungen am Versuchsfeld Wagner wurden die Schongebietsverordnungen im Jahre 1996 novelliert (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1996). Darin wird darauf hingewiesen, dass die Regelung der Schongebietsverordnungen eine Präzisierung der Vorgaben des Wasserrechtsgesetzes im Verein mit dem Bodenschutzgesetz über die ordnungsgemäße landwirtschaftliche Bodennutzung hinsichtlich der Ausbringung von Düngemitteln darstellt. Bezüglich der Pflanzenschutzmittelausbringung bestehen gesetzliche Bestimmungen durch das landwirtschaftliche Chemikaliengesetz. Zusätzliche Maßnahmen werden hinsichtlich einer grundwasserverträglichen Gestaltung der Fruchtfolge und damit der Dauer der Bodenbedeckung in der Ackernutzung definiert. Besonderes Gewicht wird auf den Einfluss der Standortverhältnisse auf den Eintrag von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser gelegt.

Zum Schutz von Wasserversorgungsanlagen gegen Verunreinigung wurden durch Bescheid besondere Anordnungen über die Bewirtschaftung von Grundstücken getroffen. In den Jah-

ren 1990 bis 1995 wurden die bestehenden Schutzgebiete für die Wasserversorgungsanlagen an die neuen Erkenntnisse und die daraus resultierenden Erfordernisse zum Schutz des Grundwassers angepasst (BAUER et al., 1995). Die Maßnahmen in den Schutzzonen sind nicht ausschließlich auf die Landwirtschaft ausgerichtet, haben aber zum Ziel, den Eintrag von Stoffen aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung in das Grundwasser deutlich zu reduzieren.

• Entschädigungszahlungen der Wasserversorgungsunternehmen

Da gemäß § 34 Abs. 4 WRG 1959 derjenige, der aufgrund von Anordnungen gemäß § 34 Abs. 1 seine Grundstücke und Anlagen nicht auf die Art oder in dem Umfang nutzen kann, wie es ihm aufgrund bestehender Rechte zusteht, vom Wasserberechtigten angemessen zu entschädigen ist, wurden zur Ermittlung des Entschädigungsanspruches landwirtschaftliche Fachgutachten erstellt. Aufgrund dieser Fachgutachten wurden im Jahre 1995 in den Schutzgebieten der Wasserversorgungsanlagen des Murtales zwischen Graz und Bad Radkersburg von den Wasserversorgungsunternehmen Entschädigungszahlungen in der Höhe von ATS 3.863.168,- (entsprechend EUR 280.791,-) geleistet (BAUER et al., 1995). Diese Zahlungen werden jährlich wiederkehrend geleistet.

• Beratung der Landwirte in neuen Technologien der Düngung und der Anwendung von Pestiziden.

Seitens des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung wurde das "Umweltberatungsprojekt" eingerichtet, im Rahmen dessen den Landwirten vor Ort die neuesten Erkenntnisse vermittelt werden und kontinuierlich eine Beratungstätigkeit hinsichtlich grundwasserschonender Bewirtschaftungsmaßnahmen durchgeführt wird. Im Rahmen von Grundwasserschongebietstagen wurden Fachvorträge gehalten, in denen auf die spezifische Situation der jeweiligen Brunneneinzugsgebiete eingegangen wurde und wo auch ein breiter Raum für eine intensive Diskussion zwischen Verwaltung, Wissenschaft, Beratung und Landwirtschaft vorhanden war.

In besonders sensiblen Bereichen wurden unter der Kontrolle der Umweltberatung "Intensivberatungsgebiete" eingerichtet, in denen basierend auf bestmöglichen Abgrenzungskriterien unter Berücksichtigung der Landnutzung, des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserströmung, eine spezifische Beratung der Landwirtschaft eingerichtet wurde, die auch mit dem entsprechenden Messprogramm begleitet wurde.

6. Erfolge hinsichtlich der Grundwasserqualitätsentwicklung

Die im Murtal seit Ende der 80er Jahre gesetzten Maßnahmen zur Verringerung der Belastung aus diffusen landwirtschaftlichen Quellen führte in allen Teilbereichen zu einem deutlichen Rückgang der Nitratkonzentration im Grundwasser (Abbildung 7). Aber auch die Konzentration der Maisanbau - spezifischen Pflanzenschutzmittel im Grundwasser konnte deutlich gesenkt werden. *Abbildung 8* zeigt diesen Rückgang im südlichen Leibnitzer Feld, jener Bereich, in dem die Belastung aufgrund der längeren Grundwasserverweilzeiten im Einzugsgebiet heute noch deutlich über den

zulässigen Höchstkonzentrationen liegen. In Summe konnten durch die Management-Maßnahmen im Grundwasser des Murtal - Aquifers die Landwirtschaft - spezifischen Belastungen soweit reduziert werden, dass in nahezu allen Teilbereichen auch heute noch die Förderung von Trinkwasser zur Versorgung der Bevölkerung in der südlichen Steiermark gewonnen werden kann. Dies auch unter dem Gesichtspunkt, dass die zulässige Höchstkonzentration von Nitrat im Grundwasser im Jahre 1994 von 100 mg/l auf 50 mg/l gesenkt wurde (*Abbildung 7*).

Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Landwirtschaft in diesem Gebiet auf höchst sensiblen Standorten hinsichtlich der Nitratauswaschung in das Grundwasser stattfindet. Diese Tatsache im Konnex mit der mittelfristig nicht vorhersehbaren Entwicklung der Witterung macht es notwendig, die bisherigen Bemühungen in vollem Umfang aufrecht zu erhalten, um die Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser so weit abzusenken, dass ein Puffer für unvorhersehbare Ereignisse geschaffen werden und eine Koexistenz von ökonomisch orientierter Landwirtschaft und Wasserwirtschaft gesichert werden kann.

Als Ergebnis umfassender Diskussionen mit der Landwirtschaft und mit Fachkollegen stellt sich aus unserer Sicht als Generalthema für die mittelfristige Planung von Forschungsvorhaben das Thema "Biologische Landwirtschaft im Ackerbau und dessen Auswirkung auf Grundwasserneubildung und -qualität". Dabei ist in erster Linie die Frage der Wirkungsweise und der Dauer der Umstellung von konventioneller in biologisch wirtschaftenden Ackerbau zu klären. A priori kann jedoch keinesfalls von einer positiven Auswirkung einer derartigen Umstellung auf die Grundwassersituation ausgegangen werden.

Die durchgeführten Analysen belegen, dass die bisherigen Ergebnisse der Arbeiten an der Forschungsstation Wagna und deren Umsetzung in regionalen Projektanwendungen einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Sanierung bzw. zur Erhaltung der Grundwasserqualität im Murtal beigetragen hat. Es ist zu hoffen, dass auch zukünftig gemeinsam in ähnlich konstruktiver Art an der Bewältigung der Probleme gearbeitet werden wird. Mittelfristiges Ziel der Forschungsarbeiten im Murtal wird die Erarbeitung von ökonomisch sinnvollen, für den Schutz des Grundwassers verträglichen und nachhaltigen ackerbaulichen Boden-

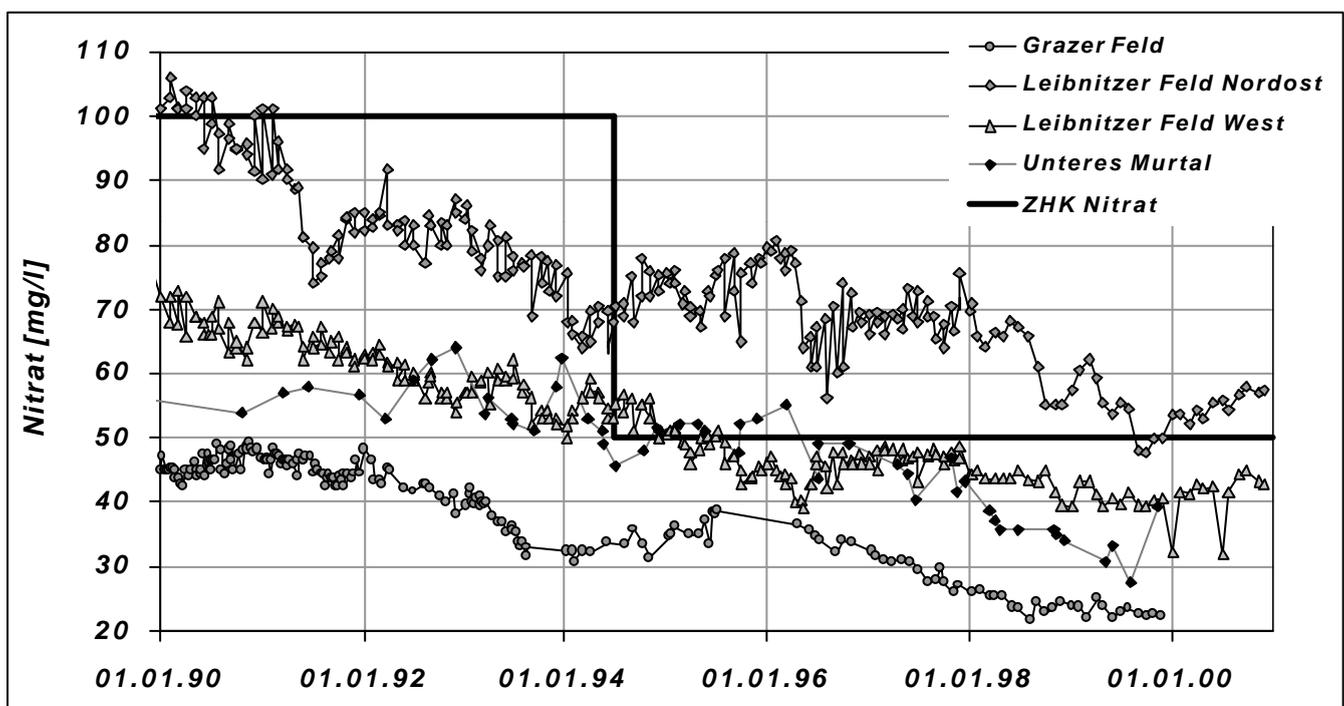


Abbildung 7: Ganglinien der Nitratkonzentration in den unterschiedlichen Teilbereichen des Murtales als Ergebnis der Management - Maßnahmen zur Sanierung des Aquifers von diffusen landwirtschaftlichen Einträgen und Darstellung der zulässigen Höchstkonzentration.

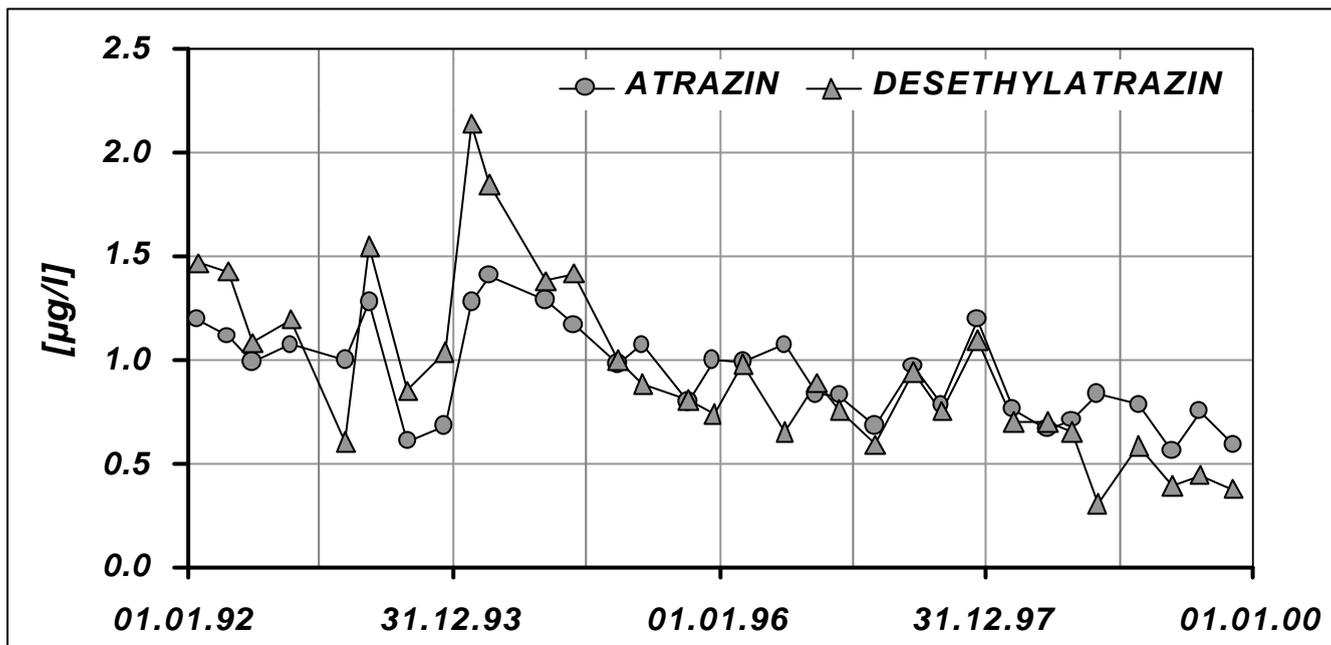


Abbildung 8: Ganglinien der Konzentration von Pflanzenschutzmitteln im Unteren Murtal als Ergebnis der Management - Maßnahmen zur Sanierung des Aquifers von diffusen landwirtschaftlichen Einträgen.

nutzungsformen im Murtal auf der Basis von modellbasierten Langzeit - Szenario - Simulationen sein.

Literatur

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1996: Die Schongebietsnovelle 1996. Information der Rechtsabteilung 3., 1-82, Graz.
- BAUER, F., A. BERNHART, R. GUSCHLBAUER, Ch. KAISER, H. STADLBAUER, G. SUETTE und H. ZETINIGG, 1995: Die neuen Grundwasserschutzgebiete 1990 - 1995. Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung, 77, 1-156, Graz.
- 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). Bei-träge zur Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.
- FANK, J., 2001: Wasser- und Nitratbilanz des westlichen Leibnitzer Feldes. - Bericht der BAL über die 9. Lysimetertagung "Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung" vom 24. bis 25. April 2001, 97-100, Gumpenstein.
- FANK, J. und A. LEIS, 1995: Untersuchungen zur Stickstoffdynamik in unterschiedlichen Tiefenbereichen der ungesättigten Zone des Leibnitzer Feldes am Beispiel der Lysimeteranlage Wagna.- Bericht der BAL über die 5. Lysimetertagung "Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone" vom 25.-26. April 1995, 25-27.
- FANK, J. und W. STICHLER, 2003: Results of Long Term Investigations on 18O in the Unsaturated Zone on Comparison to the Results of Tracing Experiments and Numerical Modeling. International Symposium on Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, Vienna, 19 - 23 May 2003. Book of Extended Synopsis, IAEA-CN-104, 42-43.
- FANK, J., W. STICHLER und H. ZOJER, 1998: Die Schneeschmelze 1996 als 18O-Tracerversuch an der Lysimeteranlage in Wagna.- In: Klotz, D. & K.-P. Seiler [Hrsg.]: Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeit in Lysimetern.- GSF-Bericht, 1/99, 11-18.
- FEICHTINGER, F., 1998: Bericht zur modellmäßigen Bewertung der mittleren Grundwasserneubildung und der durchschnittlichen Stickstoffausträge für sechs Bodenformen des Leibnitzer Feldes unter Maismonokultur bei unterschiedlichen Güllemengen und Düngeterminen. Unveröff. Ber. Inst. für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Petzenkirchen.
- LEIS, A., 1996: Sickerwasser und Bodenuntersuchungen zur Tiefenverteilung wasserlöslicher organischer Substanzen in der ungesättigten Zone des Leibnitzer Feldes.- Bericht der BAL über die 6. Lysimetertagung "Lysimeter im Dienste des Grundwasserschutz" vom 16.-17. April 1996, 65-69.
- LEIS, A., 1998: Mikrobiologische und chemische Untersuchungen in der ungesättigten Zone von sechs verschiedenen Bodenstandorten des Leibnitzer Feldes.- In: Klaghofer, E. [Hrsg.]: Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone.-Schriftenreihe BAW, 7, 118-130.
- LEIS, A. und A. STUHLBACHER, 1997: Vergleichende chemische und mikrobiologische Untersuchungen in der ungesättigten Bodenzone von verschiedenen Bodenstandorten des Leibnitzer Feldes - erste Ergebnisse.- Bericht der BAL über die 7. Lysimetertagung "Lysimeter und nachhaltige Landnutzung" vom 7.-9. April 1997, 65-69.