

Institut für
WasserRessourcenManagement
Hydrogeologie und Geophysik

*WASSERBEWEGUNG UND STICKSTOFF-
TRANSPORT IN DER UNGESÄTTIGTEN UND
GESÄTTIGTEN ZONE DER HELFBRUNNER
UND DER WAGENDORFER TERRASSE ZUR
IDENTIFIKATION DER POTENTIELLEN GRUND-
WASSERGEFÄHRDUNG VON WASSERVER-
SORGUNGSANLAGEN IN DEN QUARTÄREN
SCHOTTERN DES UNTEREN MURTALES*

(ERARBEITUNG DER QUALITATIVEN GRUNDWASSERHYDROLOGIE)

UNIV. DOZ. DR. JOHANN FANK, DI FRANZ FEICHTINGER

AUFTRAGGEBER:
AMT DER STEIERMÄRKISCHEN
LANDESREGIERUNG, FA17A

Institut für
WasserRessourcenManagement
Hydrogeologie und Geophysik

**WASSERBEWEGUNG UND STICKSTOFF-
TRANSPORT IN DER UNGESÄTTIGTEN UND
GESÄTTIGTEN ZONE DER HELFBRUNNER
UND DER WAGENDORFER TERRASSE ZUR
IDENTIFIKATION DER POTENTIELLEN GRUND-
WASSERGEFÄHRDUNG VON WASSERVER-
SORGUNGSANLAGEN IN DEN QUARTÄREN
SCHOTTERN DES UNTEREN MURTALES**

(ERARBEITUNG DER QUALITATIVEN GRUNDWASSERHYDROLOGIE)

UNIV. DOZ. DR. JOHANN FANK, DI FRANZ FEICHTINGER

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	5
2	Numerische Modellierung des Stickstoffaustrages aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsbereich der Wasserversorgungsanlagen Vogau in Abhängigkeit von Wetter, Boden und Bewirtschaftung (Franz Feichtinger, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt – Bundesamt für Wasserwirtschaft)	8
2.1	Allgemeines	8
2.2	Material und Methoden.....	10
2.2.1	Modellkonzept SIMWASER/STOTRASIM	10
2.2.2	Modellkalibrierung	11
2.2.3	Modellanwendung	14
2.2.4	Modellergebnisse und deren Diskussion	17
3	Die aktuelle Grundwasser – Qualitätssituation und deren zeitliche Entwicklung hinsichtlich Nitrat im Untersuchungsgebiet.....	26
4	Zu erwartende Nitrateinträge an der Grundwasseroberfläche bei langfristiger Beibehaltung der aktuellen Bewirtschaftungsintensität	34
4.1	Rahmenbedingungen und Modellannahmen	34
4.2	Bewirtschaftung und Düngemaßnahmen.....	38
4.3	Berechnungsergebnisse und Schlussfolgerungen.....	42
4.3.1	Die flächenhafte Verteilung von Grundwasserneubildung und Stickstoffaustrag.....	42
4.3.2	Grundwasserneubildung und Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von den Bodenformen.....	47
5	Szenariosimulationen von Bewirtschaftungsintensitäten zur Erreichung einer nachhaltigen Grundwassersanierung für Nitrat	49
6	Zusammenfassung.....	58
7	Literatur und Unterlagen	63

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Lage der Profile auf der Helfbrunner Terrasse in einem Ausschnitt der ÖK 1:25000, 191 Kirchbach i. d. Stmk und 208 Mureck	9
Tabelle 1:	Kulturarten und Stickstoff-Düngemengen zu den Fruchtfolgen „Gabersdorf“ und „St. Veit“	13
Abbildung 2:	Vergleich von ÖBK-Humusgehalten und Messwerten an den Schürfen	16
Abbildung 3:	Gemessene und berechnete Tritiumprofile am Schürf 1 am 12. Okt.1999	18
Abbildung 4:	Gemessene und berechnete NO ₃ -Konzentrationsprofile zum 12.10.1999 an den Schürfen 1 bis 5	19
Abbildung 5:	Gegenüberstellung der Stickstoffversickerung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung bei einer jährlichen Stickstoffdüngung von 108 kg N/ha*a	20
Abbildung 6:	Gegenüberstellung der Stickstoffversickerung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung	21
Abbildung 7:	Gegenüberstellung der Stickstoffversickerung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung bei einer jährlichen Stickstoffdüngung von 301 kg N/ha*a	21
Abbildung 8:	Gegenüberstellung der Stickstoffversickerung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung bei einer jährlichen Stickstoffdüngung von 486 kg N/ha*a	22
Abbildung 9:	Gegenüberstellung der Grundwasserneubildung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung	23
Abbildung 10:	Vergleich der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser bei Mais mit und ohne Winterbegrünung für alle ÖBK-Bodenformen und die vier Düngungsstufen	23
Abbildung 11:	Modellergebnisse zur Versickerung von Nitratstickstoff bei Mais ohne Winterbegrünung für alle ÖBK-Bodenformen und die vier Düngungsstufen	25
Abbildung 12:	Modellergebnisse zur Nitratkonzentration im Sickerwasser bei Mais ohne Winterbegrünung für alle ÖBK-Bodenformen und die vier Düngungsstufen	25
Abbildung 13:	Nitratbelastung des Grundwassers im südöstlichen Leibnitzer Feld als Median der gemessenen Nitratkonzentration in den Jahren 2005/2006 (KUPFERSBERGER & DALLA-VIA, 2007)	27
Abbildung 14:	Lage der Grundwasser-Gütemessstellen im Untersuchungsgebiet	28
Abbildung 15:	Ganglinien der Nitratkonzentration des Grundwassers im Westteil des Untersuchungsgebietes – Nitratentwicklung entlang eines Grundwasserströmungspfades	29
Abbildung 16:	Ganglinien der Nitratkonzentration des Grundwassers im Zentralbereich der Wagendorfer Terrasse – Nitratentwicklung entlang der Grundwasserströmungspfade	30
Abbildung 17:	Ganglinien der Nitratkonzentration des Grundwassers im Brunnen Ehrenhausen I und im Brunnenanstrombereich	32
Abbildung 18:	Ganglinien der Nitratkonzentration des Grundwassers entlang eines Strömungspfades im Anstrombereich des Brunnens Ehrenhausen I	33
Abbildung 19:	Zuordnung der Bodenformen lt. ÖBK im Untersuchungsgebiet zu Grundwasserpegeln mit einer durchgehenden Beobachtungszeit des Wasserspiegels von 1993 bis 2006	37
Tabelle 3:	Erhebungen der Steiermärkischen Umweltberatung über den Einsatz von Düngemitteln bei den ackerbaulichen Hauptkulturen in den Bezirken Radkersburg	

	und Leibnitz sowie der örtlich üblichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen und -termine (FEICHTINGER et al., 2005).	38
Abbildung 20:	Hauptfruchtarten der ackerbaulich bewirtschafteten Flächen im Leibnitzer Feld und im Unteren Murtal in den Jahren 1998 bis 2005 auf Basis der INVEKOS-Daten.	41
Tabelle 4:	Aus der Auswertung der INVEKOS – Daten abgeleitete Hauptfrüchte für die untersuchten Katastralgemeinden für die Jahre 1998 bis 2005.	41
Abbildung 21:	Mittlere Jahressumme der Grundwasserneubildung der Periode 1993 bis 2006	44
Abbildung 22:	Mittlere Jahressumme des Stickstoffaustrages ins Grundwasser der Periode 1993 bis 2006	45
Abbildung 23:	Mittlere Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche für die Periode 1993 bis 2006	46
Abbildung 24:	Zeitlicher Verlauf der Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche als Mittelwert über alle Hydrotupe im Untersuchungsgebiet sowie langjähriger Mittelwert für die Periode 1993 bis 2006.	48
Tabelle 5:	Jahresmittelwerte und langjähriger Mittelwert der Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche flächengewichtet für die untersuchten Bodenformen (L??)	49
Tabelle 6:	Szenarienliste für die Berechnung des Stickstoffaustrags und der Nitratbelastung des Sickerwassers. Der Güllestickstoff wird als feldfallender Stickstoff (Gesamt N * 0.75) gerechnet.	52
Tabelle 7:	Jahreswasserbilanzen 1987 bis 2006 und mittlere Jahreswasserbilanz für das Untersuchungsgebiet (ET ₀ = potentielle Gras-Referenzverdunstung, NB = Neubildung, WB = klimatische Wasserbilanz, E _{Tr} = reelle Verdunstung) untergliedert nach dem gesamten Untersuchungsgebiet, im Schongebiet nach der Wagendorfer Terrasse, dem Niederterrassenbereich und der Austufe der Mur (Bilanzgrößen in mm)	54
Tabelle 8:	Mittlere Nitratkonzentration [mg/l] des Sickerwassers in Abhängigkeit von den Fruchtfolgen und den Hydrotopen im Untersuchungsgebiet gegliedert nach dem Gesamtgebiet und im Schongebiet nach Wagendorfer Terrasse, Niederterrassenbereich und Austufe der Mur.	55
Abbildung 25:	zeitlicher Verlauf der mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser für das Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Fruchtfolgeszenarien.	56
Abbildung 26:	Relation zwischen der Stickstoffzufuhr bei den Mais-Monokulturszenarien, der mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser sowie der oberirdischen Trockenmassebildung als Maßzahl für die Ertragssituation gegliedert nach Wagendorfer Terrasse, Niederterrassenbereich und Austufe der Mur.	57
Abbildung 27:	Vergleich der zeitlichen Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser (WGEV-Messstelle 61038062) mit der berechneten Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Bodenform L18.	59

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Kulturarten und Stickstoff-Düngemengen zu den Fruchtfolgen „Gabersdorf“ und „St. Veit“	13
Tabelle 2:	In der Modellrechnung behandelte Bodenformen, ihre Beschreibung durch die ÖBK und ihre modellmäßige Bezeichnung	15
Tabelle 3:	Erhebungen der Steiermärkischen Umweltberatung über den Einsatz von Düngemitteln bei den ackerbaulichen Hauptkulturen in den Bezirken Radkersburg und Leibnitz sowie der örtlich üblichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen und -termine (FEICHTINGER et al., 2005).	38
Tabelle 4:	Aus der Auswertung der INVEKOS – Daten abgeleitete Hauptfrüchte für die untersuchten Katastralgemeinden für die Jahre 1998 bis 2005.	41
Tabelle 5:	Jahresmittelwerte und langjähriger Mittelwert der Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche flächengewichtet für die untersuchten Bodenformen (L??)	49
Tabelle 6:	Szenarienliste für die Berechnung des Stickstoffaustrags und der Nitratbelastung des Sickerwassers. Der Güllestickstoff wird als feldfallender Stickstoff (Gesamt N * 0.75) gerechnet.	52
Tabelle 7:	Jahreswasserbilanzen 1987 bis 2006 und mittlere Jahreswasserbilanz für das Untersuchungsgebiet (ET_0 = potentielle Gras-Referenzverdunstung, NB = Neubildung, WB = klimatische Wasserbilanz, ETr = reelle Verdunstung) untergliedert nach dem gesamten Untersuchungsgebiet, im Schongebiet nach der Wagendorfer Terrasse, dem Niederterrassenbereich und der Austufe der Mur (Bilanzgrößen in mm)	54
Tabelle 8:	Mittlere Nitratkonzentration [mg/l] des Sickerwassers in Abhängigkeit von den Fruchtfolgen und den Hydrotopen im Untersuchungsgebiet gegliedert nach dem Gesamtgebiet und im Schongebiet nach Wagendorfer Terrasse, Niederterrassenbereich und Austufe der Mur.	55

1 Einleitung

Im Zuge von Untersuchungen zur Festlegung von Schutz- und Schongebieten im Bereich der Würmterrasse des südlichen Leibnitzer Feldes musste festgestellt werden, dass das aus der Rißterrasse nördlich von Wagendorf in die Würmterrasse einströmende Grundwasser, trotz einer mächtigen Lehmüberdeckung teilweise in hohem Maße mit Nitrat belastet ist.

Als Inputgebiet für das Grundwasser der Helfbrunner Terrasse kommt aus derzeitiger Sicht in erster Linie infiltrierendes Niederschlagswasser der intensiv ackerbaulich (Maismonokultur) genutzten Rißterrasse in Frage. Abschätzungen der Grundwasserneubildungsrate in diesem Bereich liegen zwischen 10 und 30 % des Jahresniederschlags. Eine zeitliche Auflösung der Grundwasserneubildung bzw. Angaben zur Geschwindigkeit der Sickervorgänge in der ungesättigten Zone der Wagendorfer Terrasse können nach dem derzeitigen Wissensstand nicht gemacht werden, eine Übertragung aus anderen Untersuchungen ist aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen nur sehr eingeschränkt möglich. Diese Annahmen wurden durch die Ergebnisse der Bestandsaufnahme im ersten Projektjahr vollinhaltlich bestätigt (DALLA-VIA & FANK, 2000). Die für diesen Bericht relevanten Ergebnisse des ersten Projektteiles werden in der Folge in aller Kürze zusammengefasst:

Die Projektziele des ersten Projektjahres eines insgesamt für eine Laufzeit von zwei Jahren anberaumten Projektzeitraumes lagen in der Erfassung der hydrologischen, hydrochemischen, bodenkundlichen, bodenphysikalischen und landwirtschaftlichen Rahmen- und Inputbedingungen für die Kalibration von Wasserbewegungs- und Stofftransportmodellen in der ungesättigten und gesättigten Zone. Um diese Grundlagen für die Modellierung schaffen zu können wurden einerseits im engeren Untersuchungsgebiet der Helfbrunner Terrasse fünf Bohrungen niedergebracht, deren Auswertung zeigte, dass die Lehmüberdeckung insgesamt von deutlich geringerer Mächtigkeit ist als bisher angenommen und dass die räumliche Variabilität der Mächtigkeiten der feinklastischen Deckschichten sehr hoch ist. Zur Erfassung der bodenphysikalischen und bodenchemischen Ausformung der ungesättigten Deckschichten wurden 6 Schürfe bis in eine Tiefe von 5 m oder bis in das Grundwasser niedergebracht, in denen horizontspezifische Stechzylinderproben zur bodenphysikalischen Parametrisierung (diese Arbeiten wurden in enger Kooperation durch das Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserwirtschaft in Petzenkirchen durchgeführt) entnommen wurden. Ebenfalls wurden aus den einzelnen Horizonten Bodenproben für die bodenchemische Analyse entnommen. An einem Schurf wurden auch Bodenproben zur Analyse des Tritiumgehaltes des Bodenwassers entnommen um die Basis für die Einschätzung

der Verweilzeiten in der ungesättigten Zone zu gewinnen. Im Grundwasserbereich wurden in Kooperation mit dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 1a (Gewässeraufsicht) hydrochemische Analysen und Untersuchungen des Grundwassers auf Pflanzenschutzmittel durchgeführt. Die Grundwasserströmungsverhältnisse der beiden untersuchten Stichtage, die sich nur geringfügig unterscheiden, zeigen südlich von Gabersdorf ein Abströmen aus der Rissterrasse in Richtung Südwesten. Im zentralen Untersuchungsgebiet bei Wagendorf und St. Veit zeigt sich ein steiler Abfall des Grundwassers von der Riss- auf die Niederterrasse. Entlang dieses Abfalls dreht sich die Grundwasserströmung in Richtung Südwesten, um stromabwärts in eine Murparallele Fließrichtung zu drehen. Die Grundwassermächtigkeiten liegen aufgrund der Hochlage des Tertiärs im Bereich der Terrassenkante im Raum Landscha-Ost und Wagendorf-Nord fast bei Null. Bei St. Veit sind am Terrassenabfall – auch wieder aufgrund der Hochlage des Tertiärs - Quellaustritte bekannt, auch sind unterhalb von Lind auf der Würmterrasse nur sehr geringe Grundwasserüberdeckungen mit weiten Vernässungsbereichen festzustellen deren Ursache aber eher in den Bodenverhältnissen zu suchen sein dürfte. Die Auswertung von Pumpversuchen ergaben auf der Rißterrasse Werte im Bereich von 1 bis $3 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $9 \cdot 10^{-4}$ m/s, die Ergebnisse weisen also eine relativ hohe Variabilität auf. Die Durchlässigkeiten auf der Würmterrasse am Rande zur Rißterrasse sind im Schnitt etwas höher und bewegen sich im Untersuchungsgebiet zwischen $2 \cdot 10^{-4}$ m/s und $7 \cdot 10^{-4}$ m/s, wobei auch in diesem Bereich eine hohe Variabilität wahrscheinlich ist. Die Verteilung der Landnutzung im Untersuchungsgebiet wurde auf der Basis der Auswertung von Satellitenbilder erkundet, die Bodenformenverteilung wurde digital aus der Österreichischen Bodenkarte 1:25.000 erfasst. Von besonderem Interesse ist die Verteilung der Nitratkonzentrationen im Untersuchungsgebiet. Die ersten Analysenergebnisse an den Sonden W1 bis W6 zeigten eine starke Zunahme der Nitratkonzentrationen auf der rißzeitlichen Helfbrunner Terrasse vom Waldrand im Nordosten des Untersuchungsgebietes in Richtung Südwesten im Bereich auf und unterhalb der Terrassenkante. Die Vermutung, dass bei einer NE-SW gerichteten Grundwasserströmungsrichtung durch hohe Stickstoffeinträge auf der Helfbrunner Terrasse diese Konzentrationszuwächse entstehen, wird durch die Grundwasserschichtenlinienpläne bestätigt. Im Raum Lind zeigen sich die hohen Nitratkonzentrationen im Bereich der Terrassenkante nicht. Die wahrscheinlichste Ursache dafür dürfte in Wasserverlusten des Pfaffenbaches zu suchen sein. Diese Annahme steht auch im Einklang mit der durch die Grundwasserschichtenlinienpläne dargestellte Grundwasserströmungsrichtung. Die Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser lässt eine deutliche Gruppierung der Messstellen aufgrund ihrer hydrogeologischen Position erkennen. Die Atrazinkonzentrationen sind ebenso wie die Chloridkonzentrationen an den-

selben Messstellen erhöht, wie die Nitratkonzentrationen, was zusätzlich den Einfluss der Landwirtschaft auf der Rissterrasse auf die hohen Konzentrationen unterstreicht. Unter Berücksichtigung des bereits seit mehreren Jahren geltenden Verbotes der Verwendung Atrazin weisen die hier dargestellten Messwerte aus dem Grundwasser der Helfbrunner Terrasse auch auf die lange Verweilzeit der Wässer im Bereich der ungesättigten Zone hin. Aus der Auswertung von Tritiummessungen im Boden und der ungesättigten Zone auf der Wagendorfer Terrasse errechnet sich eine mittlere Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers von 0.5 m/Jahr. Unter der Annahme, dass die Vorstellung der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone unterhalb des Wurzelraumes nach dem „Piston Flow Modell“ erfolgt, die Neubildung im Verlauf der letzten 10 Jahre des 20. Jahrhunderts nicht extremen Schwankungen unterworfen war, die Wassergehalte sich im Jahresverlauf wesentlich geringer verändern als in der durchwurzelten Zone und die Zusammensetzung der Dünger – in erster Linie der Gülle – in der Zeit hinsichtlich der Chloridkonzentration keinen allzu großen Schwankungen unterworfen ist, liefert die Tiefenverteilung des Chlorids einen Hinweis auf die Intensität des Düngereinsatzes: Höhere Güllegaben liefern auch höhere Chloridmengen, die entsprechend dem konservativen Verhalten des Chlorids in der wasserungesättigten Zone mit dem Sickerwasser in die Tiefe verlagert werden. Unter diesen Annahmen ist abzulesen, dass die Intensität der Bewirtschaftung Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre beträchtlich höher gewesen sein dürfte, als die seit Beginn des 3. Jahrtausends.

Die Projektziele der abschließenden Arbeiten, die in zwei Teilprojekte gegliedert wurden, liegen in der Kalibrierung von numerischen Modellen des Wasser- und Stickstofftransportes des Untersuchungsgebietes und die Simulation unterschiedlicher Varianten mit dem Ziel der Ableitung von Maßnahmen zur nachhaltigen Verminderung der Grundwasserbelastung. Im gegenständlichen Projektteil wird die Wasserbewegung und der Stickstofftransport in der ungesättigten Zone beleuchtet und auch die dazu in Relation stehende qualitative Grundwassersituation diskutiert.

Im Detail waren folgende Arbeitsschritte erforderlich, um das Projekt zu einem erfolgreichen Abschluss bringen zu können.

- Erarbeitung von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen und Düngeraufwandsmengen für Historie und Gegenwart
- Numerische Modellierung des Stickstoffaustrages aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsbereich der Wasserversorgungsanlagen Vogau in Abhängigkeit von Wetter, Boden und Bewirtschaftung

- Simulation der Auswirkungen geänderter Nutzungen bzw. Nutzungsintensitäten auf den Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone
- Simulation der Auswirkung geänderter Landbewirtschaftung auf die Qualität des Grundwassers im Einzugsgebiet der Wasserversorgungsanlagen Vogau

Der Abschlussbericht über die qualitativen Grundwasserverhältnisse und deren Einflussgrößen im Untersuchungsgebiet wird hiermit vorgelegt.

2 Numerische Modellierung des Stickstoffaustrages aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsbereich der Wasserversorgungsanlagen Vogau in Abhängigkeit von Wetter, Boden und Bewirtschaftung (Franz Feichtinger, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt – Bundesamt für Wasserwirtschaft)

2.1 Allgemeines

Das Untersuchungsgebiet ist bezüglich Bodenaufbau von Lehmdecken über Schotter und zur Bewirtschaftung von großflächigem Maisanbau gekennzeichnet. Das Projektgebiet liegt südöstlich von Leibnitz (Stmk.) zwischen Gabersdorf und Spielfeld (Abbildung 1). In einem ersten Schritt wurden zur Charakterisierung des lokalen Bodenaufbaus fünf Profilgruben auf der Helfbrunner Terrasse angelegt, woraus in der Zeit vom 11. bis 15. Oktober 1999 tiefengestaffelt Proben entnommen wurden, um die physikalischen (Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, IKT) und chemischen Bodenparameter (JOANNEUM RESEARCH) zu bestimmen. Die Lage dieser Profilgruben ist in Abbildung 1 festgehalten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im IKT-Bericht „Bodenphysikalische Parametrisierung der Materialien auf der Helfbrunner Terrasse“ vom 2000-07-12, ZI.562-373/13/00 (IKT, 2000) und im Bericht „Wasserbewegung und Stofftransport in der ungesättigten Zone der Helfbrunner- und Wagendorfer Terrasse zur Identifikation der potentiellen Grundwassergefährdung von Wasserversorgungsanlagen in den quartären Schottern des unteren Murtales“ vom Dezember 2000, ZI. StA 105/99 (DALLA-VIA & FANK, 2000) zusammengefasst. Diese Daten sind Grundlage für eine Modellstudie, welche für das Gebiet der Helfbrunner Terrasse, jenes der Wagendorfer Terrasse und das Gebiet westlich bis zur Mur hinsichtlich Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung anzustellen ist.

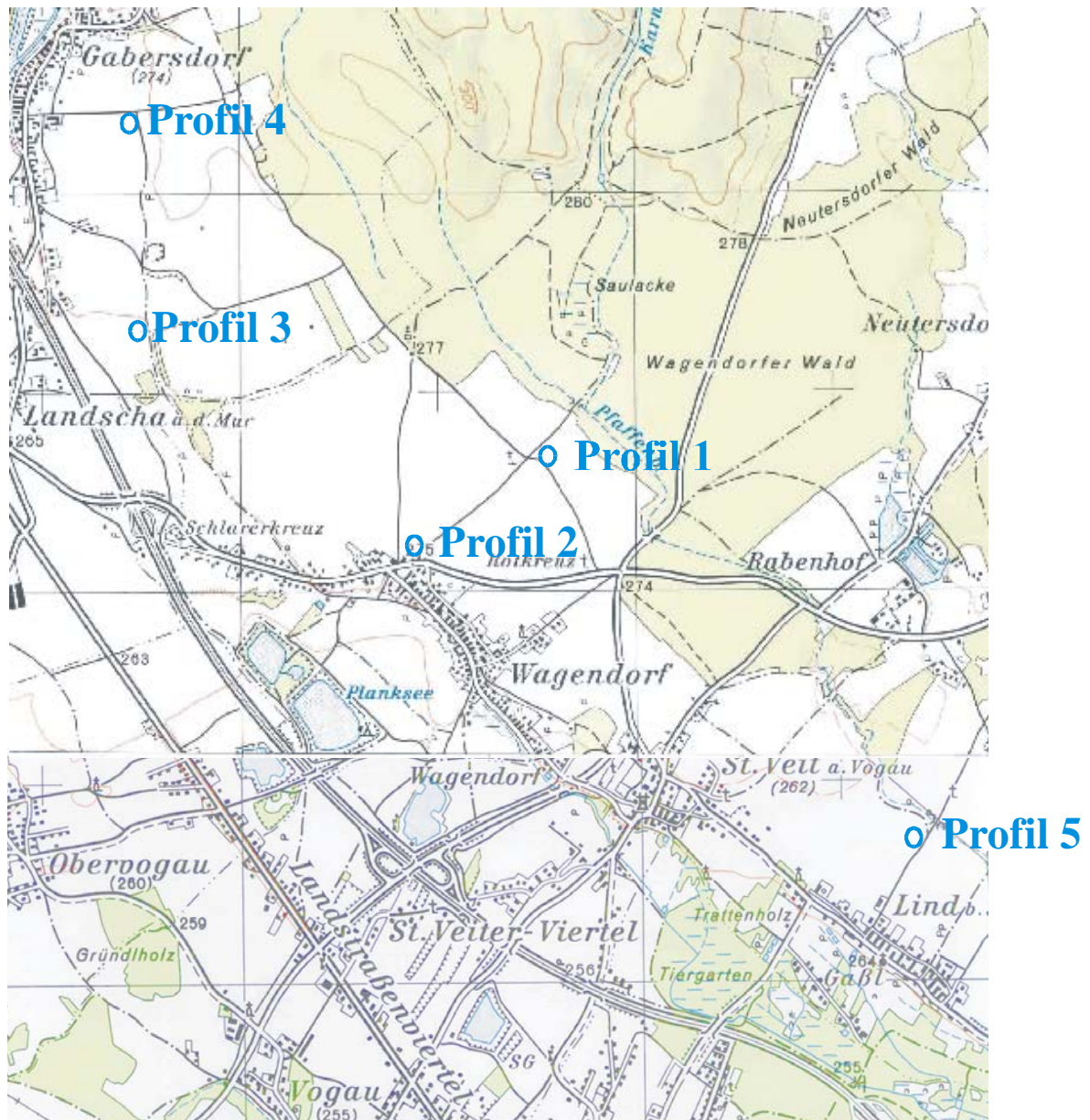


Abbildung 1: Lage der Profile auf der Helfbrunner Terrasse in einem Ausschnitt der ÖK 1:25000, 191 Kirchbach i. d. Stmk und 208 Mureck

Die Modellrechnung zum Bodenwasserhaushalt und zur Stickstoffdynamik erfolgt mittels SIMWASER (STENITZER 1988) und STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998). Als Wetterinformation standen für die Modellkalibration die Daten der Station Leibnitz (1976 – Okt. 2000) und jene der Station Wagna (ab 1992) zur Verfügung. Die Daten zu Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Düngung wurden von der Landwirtschaftskammer (LK) Leibnitz erhoben und zur Verfügung gestellt. Die Festlegung des Projektgebietes und damit die Zuordnung der betroffenen ÖBK-Bodenformen erfolgten in Absprache mit JOANNEUM RESEARCH. Die Kalibrierung der Modelle erfolgte an einem Tritiumprofil (Schurf S1) und an Nitratprofilen die an fünf Schürfen auf der Helfbrunner und Wagendorfer Terrasse erhoben worden waren.

2.2 Material und Methoden

2.2.1 Modellkonzept SIMWASER/STOTRASIM

Mit dem Modell SIMWASER 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 durch ihren Profilaufbau gekennzeichnete "Bodenform" bei Berücksichtigung des jeweiligen Pflanzenbestandes und seines Entwicklungsstandes bzw. seiner Pflanzenarchitektur berechnet. Dazu müssen der Bodenaufbau (also die Schichtabfolge) und die Bodenarten der einzelnen Schichten bekannt sein. Für die Berechnung der Wasserbewegung werden die pF- und die Ku-Kurven der jeweiligen Bodenart benötigt. Die genannten Bodenkennwerte werden entweder anhand von Feldmessungen abgeleitet oder an ungestörten Bodenproben im Labor ermittelt; für die Anwendung zu den ÖBK-Informationen stehen eine Reihe von typischen "Standardbodenkennwerten" als Datenbank zur Verfügung. Für die Berechnung der Pflanzenentwicklung und des Pflanzenwachstums sowie des damit verbundenen Wasserverbrauchs werden sogenannte "Pflanzenkennwerte" für die unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kulturen verwendet, womit der Einfluss der jeweiligen Fruchtfolge auf den Bodenwasserhaushalt erfasst werden kann. Als Ergebnis der täglichen Wasserbilanz resultiert der Wasserfluss zum Untergrund womit die Grundwasserneubildung bewertet wird.

Das Modell STOTRASIM errechnet den Stickstoffhaushalt im Boden auf Tagesbasis. An der Bodenoberfläche werden Stickstoffeinträge durch Düngung, Niederschlag, Beregnung und Bindung von Luftstickstoff durch Leguminosen berücksichtigt. Der Stickstoffentzug durch die Pflanze und die Rückführung von Pflanzenmasse (Blatt, Stroh Wurzeln) gehen ebenfalls in die Rechnung ein. Mineralisation, Nitrifikation, Immobilisation, und Denitrifikation prägen den systeminternen Stickstoffumsatz zwischen verschiedenen Pools. Der Stickstofftransport im Boden wird durch Konvektion und Diffusion/Dispersion beschrieben. Das Hauptaugenmerk wird auf die Nitratauswaschung in den Untergrund gelegt, die untrennbar an die Tiefensickerung/Grundwasserneubildung gebunden ist. Entsprechend dem Potentialgefälle ergibt sich eine Nitratversickerung/Grundwasserbefruchtung oder ein kapillarer Aufstieg. Der Bodenwasserhaushalt wird mit dem oben skizzierten Modell SIMWASER berechnet, welches Bestandteil von STOTRASIM ist.

2.2.2 Modellkalibrierung

2.2.2.1 Tritium – Tiefenprofil

An den Bodenproben, die im Jahr 1999 bei Schürf 1 (S1) entnommenen wurden, ist am Bodenwasser die Tritiumkonzentration bestimmt worden. Dieses Wasserstoffisotop weist einen deutlichen zeitlichen Gang im regionalen Niederschlag auf, wodurch unter Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls das Tiefenprofil im Boden zur Bewertung der Tritium-Tiefenverlagerung und somit Wasserversickerung und zur Kalibrierung der Bodenwasserhaushaltsmodellierung heranzuziehen ist. Nähere Daten sind dem Bericht (DALLA-VIA & FANK, 2000), speziell den Seiten 30- 64, zu entnehmen.

2.2.2.1.1 Notwendigkeiten der Modellanpassung

Im Modellkonzept SIMWASER/STOTRASIM waren folgende Abänderungen notwendig, um die Dynamik des Wasserstoffisotops Tritium im Boden nachbilden zu können:

- Zur Stoffaufnahme der Vegetation aus der Bodenlösung wurde der Selektionskoeffizient unveränderlich auf 1 gesetzt, womit ausschließlich konvektive und keine diffusive Tritiumaufnahme berücksichtigt ist.
- Konzentrationserhöhung infolge Evaporation (Verlust von Lösungsmittel) ist nicht gegeben.
- Systeminterner Stoffumsatz („Tritiummineralisation, -immobilisation, -...“) findet nicht statt.
- Tritiumtransport im Boden erfolgt konvektiv; Diffusion und Dispersion sind auszuschalten.
- Tritiumeintrag erfolgt ausschließlich über den Niederschlag.
- Im Zusammenhang mit dem unter Pkt. 2.2.2.1.1.1 diskutierten zu hohen Niederschlag-Input war es zusätzlich notwendig die Verdunstung etwas zu erhöhen, was in diesem Projekt bei allen Modellrechnungen durchgängig beibehalten wurde.

2.2.2.1.1.1 Klimadaten

Zu allen erforderlichen Klimadaten (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung und Niederschlag) wurde für die Modellkalibration die Zeitreihe 1976 – 12.Okt.1999 der Station Leibnitz verwendet. Obwohl im Anbot zu diesem Projekt für die Zeit ab 1992 die Wetterdaten der Station Wagna ins Auge gefasst wurden, wurde nach dem Vorliegen der ersten Vergleiche von gemessenem und simuliertem Tritium-Tiefenprofil von den Wagna-Niederschlag-Daten Abstand genommen, da diese im gegebenen Fall zu hoch erscheinen.

2.2.2.1.1.2 Boden

Die Tritiumausgangskonzentration im Bodenprofil ist im Jahr 1976 durchgehend auf Null gesetzt.

2.2.2.1.1.3 Bewirtschaftung/Management

Zur Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Projektgebietes wurden von der Landwirtschaftskammer Leibnitz (LK Leibnitz) Unterlagen zur Verfügung gestellt. Anhand dieser Angaben wurde die Flächenutzung an den 5 Schürfen aber auch die flächen-deckende Landwirtschaftspraxis eingeschätzt. Für die „Tritium-Simulation“ an Schurf 1 wurde die Fruchtfolge „St. Veit“ herangezogen, welche weiter unten detaillierter ausgeführt ist. Die Eckdaten dazu sind:

Fruchtfolge:	Mais, Winterweizen und Wintergerste mit 87 % Maisanteil
	Beginn: 1. August 1976
	Ende: 12. Oktober 1999
Düngung:	Ohne Düngung
Bodenbearbeitung:	Abschleppen 27. März
	Zum Anbau am 25. April
	Hacken: 3. Juni
	Pflügen 1 Tag nach der Ernte

Der Tritiumeintrag mit dem Niederschlag wurde in der Modellrechnung einerseits entsprechend den Messwerten mit 1990 (16,1 TU), 1991 (15,4 TU), 1992 (13,6 TU), 1993 (14,8 TU), 1994 (15,3 TU), 1995 (15,5 TU), 1996 (14,6 TU) und 1997 (13,3 TU) berücksichtigt, andererseits im zeitlichen Vor- und Nachlauf mit Annahmen versehen, die jedoch erst ein Nachvollziehen des Bodenprofils ermöglichten; diese sind 1986-1988 (19,5 TU), 1989 (17,7 TU), 1998 (13,6 TU) und 1999 (14,9 TU).

2.2.2.2 NO₃ – Tiefenprofile

Die im Jahr 1999 an den fünf Schürfen (S1-S5) aufgenommenen NO₃-Tiefenprofile wurden verwendet, um sich regional der Stickstoffdynamik der dort landwirtschaftlich genutzten Böden möglichst anzupassen. Die Ergebnisse zu den gemessenen NO₃-Tiefenprofilen sind dem Bericht (DALLA-VIA & FANK, 2000) zu entnehmen.

2.2.2.2.1 Notwendigkeiten der Modellanpassung

Gegenüber dem unter Pkt. 2.2.1 skizzierten Modellkonzept war eine Erhöhung von Evaporation und Transpiration als regionale Anpassung notwendig.

2.2.2.2.1.1 Klimadaten

Als Klimadaten (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung und Niederschlag) wurde die Zeitreihe 1976 – 12.Okt.1999 der Station Leibnitz verwendet

2.2.2.2.1.2 Boden

Die Horizontierung der Bodenprofile zu den fünf Schürfen und die bodenphysikalische (Speicherfähigkeit und hydraulische Leitfähigkeit) wie bodenchemische (Humus und dessen C/N-Verhältnis) Parameterisierung wurde gemäß jenen Untersuchungsergebnissen vorgenommen, die in den bereits erwähnten Berichten festgehalten sind (IKT, 2000 und DALLA-VIA & FANK, 2000).

2.2.2.2.1.3 Bewirtschaftung/Management

Die Dateien zur Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Projektgebietes und zur Flächennutzung an den 5 Schürfen wurden entsprechend den Angaben der LK Leibnitz erstellt. Die Unterlagen der LK Leibnitz weisen Kulturartenanteile und Wirtschaftsdüngereinsatz für einzelne Gemeinden aus, wobei eine zeitliche Unterteilung (1976-1985, 1986-1992 und >1992) vorgenommen ist. Weiters wurde eine Zusammenfassung für die Region zur Hauptkultur Mais für die drei erwähnten Zeiträume übergeben. Anhand dieser Information wurden für die fünf Schürfe Bewirtschaftungsszenarien formuliert. Den Schürfen S3 und S4 wurde die Fruchtfolge „Gabersdorf“ zugeordnet und die Fruchtfolge „St. Veit“ den Schürfen S1, S2 und S5. Die Eckdaten zum Kulturartenspektrum, zur Bodenbearbeitung und zur zeitlich differenzierten Düngung sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Kulturarten und Stickstoff-Düngemengen zu den Fruchtfolgen „Gabersdorf“ und „St. Veit“

Mais, Winterweizen (WW) und Wintergerste (WG) mit 87 % Maisanteil	
Zeitraum der Modellrechnung:	
Beginn:	1. August 1976
Ende:	12. Oktober 1999
Düngung „Gabersdorf“:	1976 bis 1985 Mais 338 kg N/ha (WD: 136 kg N/ha) Getreide (WG) 126 kg N/ha
	1986 bis 1992 Mais 368 kg N/ha (WD: 158 kg N/ha) Getreide (WW) 172 kg N/ha
	1993 bis 1999 Mais 178 kg N/ha (WD: 116 kg N/ha) Getreide (WG) 94 kg N/ha
Düngung „St.Veit“:	1976 bis 1985 Mais 296 kg N/ha (WD: 94 kg N/ha) Getreide 126 kg N/ha
	1986 bis 1992 Mais 282 kg N/ha (WD: 84 kg N/ha) Getreide (WW) 172 kg N/ha
	1993 bis 1999 Mais 164 kg N/ha (WD: 102 kg N/ha) Getreide (WG) 94 kg N/ha
Bodenbearbeitung für „Gabersdorf“ und „St. Veit“:	
	Abschleppen 27. März
	Einarbeiten der Gülle: 15. April
	Zum Anbau am 25. April
	Hacken: 3. Juni

Obige Angaben zur Düngung enthalten neben den gesamten Stickstoffimporten den Anteil der Wirtschaftsdüngerimporte/Gülle (WD). Dabei ist jeweils die Summe von organischer und Ammonium-N-Fraktion ausgewiesen. Die Ammoniumfraktion beträgt dabei 65 % der N-Gesamtmenge von WD. Unter der modellmäßigen Annahme einer Einarbeitung der Gülle, werden 10 % aller NH_4 -Importe als gasförmige Verluste in die Luft kalkuliert.

2.2.3 Modellanwendung

Das an dem Tritium-Tiefenprofil und an den NO_3 -Tiefenprofilen justierte Stofftransportmodell wird auf die ÖBK-Bodenformen der Region unter den lokalen Klimabedingungen angewandt. Dabei werden alle möglichen Kombinationen der Fruchtfolgegestaltung und Düngung für alle parametrisierten Böden modellmäßig verrechnet. Als Ergebnisse werden die Tageswerte der Grundwasserneubildung und der Nitratversickerung in 150 cm unter Gelände ausgewiesen. Nachdem manche Startwerte in der Modellrechnung unbekannt sind und daher eine Phase der modellmäßigen Systemstabilisierung einzurechnen ist, stellen die angeführten Ergebnisse Mittelwerte für den Zeitraum 1985-2000 dar.

Für das Projektgebiet wurden folgende ÖBK-Bodenformen für eine Bewertung hinsichtlich Grundwasserneubildung und Nitratversickerung festgehalten:

Kartierungsbereich Leibnitz (KB020):

Bodenformen (BF) 1, 2, 3, 4, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 28 und 29.

Kartierungsbereich Mureck (KB017):

Bodenform (BF) 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 18, 22, 28, 30 und 39.

Von diesen genannten Bodenformen wurden KB017-BF18 und KB020-BF13 nicht parametrisiert und modellmäßig bearbeitet, da es sich laut ÖBK um Niedermoorstandorte handelt und zu solchen Standorten sowohl zum Bodenwasserhaushalt als auch zur Stickstoffdynamik die nötige Erfahrung fehlt, um eine modellmäßige Bearbeitung vertreten zu können. In Tabelle 2 sind die restlichen Bodenformen mit der Bezeichnung nach ÖBK und jener in der Modellrechnung aufgelistet. Weiters ist das Ende der Profilbeschreibung in den ÖBK-Unterlagen ausgewiesen. Dieser zu unterst beschriebene Bodenhorizont wurde im modellmäßigen Bodenprofil jeweils zumindest bis 150 cm unter Gelände fortgesetzt, wo auch in

allen Fällen die Bilanzierungsebene zur Bewertung von Grundwasserneubildung und Nitratversickerung angesetzt wurde.

Tabelle 2: In der Modellrechnung behandelte Bodenformen, ihre Beschreibung durch die ÖBK und ihre modellmäßige Bezeichnung

ÖBK - Information			Modellrechnung
Kartierungsbereich	Bodenform	Ende der Profilbeschreibung in cm u. GOK	Bezeichnung des Bodenprofils
Leibnitz	1	85	KB020-BF001A
	2	100	KB020-BF002
	3	75	KB020-BF003
	4	150	KB020-BF004
	9	95	KB020-BF9/1
	14	85	KB020-BF14/1
	15	60	KB020-BF015a
	16	30	KB020-BF016A
	17	140	KB020-BF017
	18	90	KB020-BF018
	19	70	KB020-BF019
	21	60	KB020-BF021
	24	75	KB020-BF024
	25	80	KB020-BF025
	28	65	KB020-BF028
29	55	KB020-BF029	
Mureck	1	100	KB017-BF001A
	3	60	KB017-BF003A
	4	100	KB017-BF004A
	6	50	KB017-BF006
	7	65	KB017-BF007A
	8	50	KB017-BF008
	9	55	KB017-BF009
	10	75	KB017-BF010
	13	150	KB017-BF013
	14	65	KB017-BF014A
	22	60	KB017-BF022
	28	55	KB017-BF028
	30	70	KB017-BF030
	39	40	KB017-BF039

Zur Parameterisierung der physikalischen Bodeneigenschaften (Speicher- und Transportleistung) wurden die Angaben der ÖBK nach den von MURER (1998) beschriebenen Algorithmen in Charakteristika der Speicher- und Transportleistung umgesetzt. Nachdem zur Modellierung der Stickstoffdynamik der Humusgehalt und dessen C/N-Verhältnis benötigt werden, wurde an vorliegenden Daten die Überprüfung der ÖBK-Information vorgenommen. Der Vergleich wurde an den Messwerten der fünf Schürfe und den Daten der zugeordneten ÖBK-Bodenformen angestellt. Wie Abbildung 2 zeigt stimmen dabei die Daten der ÖBK mit den Untersuchungsergebnissen an den Schürfen im Wesentlichen überein, womit die Humusangaben der ÖBK für die Modellrechnung übernommen wurden. Zum C/N-Verhältnis des Hu-

mus wurde durchgehend 9, 5 eingesetzt, was ein ausgewogenes Mittel der Schürf-Ergebnisse darstellt.

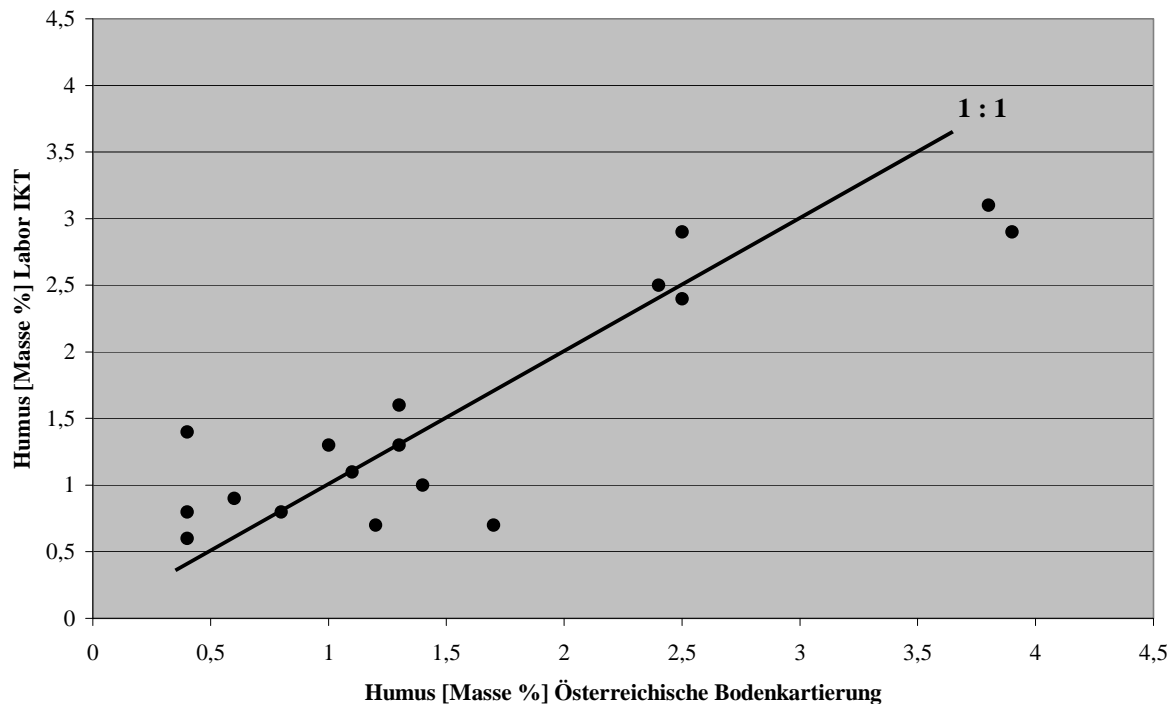


Abbildung 2: Vergleich von ÖBK-Humusgehalten und Messwerten an den Schürfen

Die Dateien zur Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Projektgebietes wurden in Abstimmung mit den Angaben der LK Leibnitz erstellt. Es sollte eine von Mais dominierte Fruchtfolge in den Varianten einer Schwarzbrache bzw. einer Begrünung während des Winterhalbjahres mit vier unterschiedlichen Niveaus der N-Düngung hinsichtlich Grundwasserneubildung und Nitratversickerung bewertet werden. Die Eckdaten zu den Fruchtfolgen, zur Bodenbearbeitung und zur Düngung sind folgendermaßen:

Fruchtfolgen:

Mais ohne winterharter Begrünung, Winterweizen und Wintergerste;
 Mais-Anteil in der Fruchtfolge: 87 %.
 Mais mit winterharter Begrünung, Winterweizen und Wintergerste;
 Mais-Anteil in der Fruchtfolge: 87 %.

Stickstoffdüngung:

Zum Mais sind vier Niveaus der Stickstoffdüngung (108 kg, 175 kg, 301 kg und 486 kg N /ha*a) angesetzt, wobei zur niedrigsten Stufe (108 kgN/ha*a) ausschließlich Wirtschaftsdünger berücksichtigt ist. Diese 108 kgN/ha*a ist die Summe von bodenwirksamer organischer und Ammonium-N-Fraktion. Bei den übrigen Düngungsvarianten ist der N-Eintrag durch

Wirtschaftsdünger mit jeweils 108 kgN/ha*a gegeben und die weitere Differenzierung erfolgt über die mineralische Düngung. Für Getreide (Winterweizen und Wintergerste) ist bei allen Düngungsstufen zusätzlich zum Wirtschaftsdüngerimport (108 kgN/ha*a) eine mineralische Düngung von 56 kg N/ha berücksichtigt. Unter der modellmäßigen Annahme einer Einarbeitung der Gülle, werden 10 % aller NH₄-Importe als gasförmige Verluste in die Luft kalkuliert.

Bodenbearbeitung:

Abschleppen 27. März (Ohne Winterbegrünung)
Pflügen 6. April (Winterbegrünung)
Einarbeiten der Gülle: 15. April
Hacken: 3. Juni
Pflügen 1 Tag nach der Ernte

2.2.4 Modellergebnisse und deren Diskussion

2.2.4.1 Tritium – Tiefenprofil

Im Bericht (DALLA-VIA & FANK, 2000) sind in Tabelle 6 (S.30) die im Bodenprofil von Schürf 1 gemessenen Tritium Konzentrationen dargelegt. Diese Konzentrationen sind bereits mit dem natürlichen Zerfall von Tritium belegt. Orientiert an der in diesem Bericht angeschätzten Versickerungsgeschwindigkeit (S.62 ff) wurde eine jährliche Tiefenverlagerung von 0,65 cm angenommen und damit die gemessenen Bodenkonzentrationen in Tritiumkonzentrationen ohne Abbau (natürlichen Zerfall) errechnet. Diese sind in Abbildung 3 unter „Messwerte-Boden“ dargestellt. Parallel sind die im Bericht angegeben Niederschlagskonzentrationen ohne Zerfall mit der genannten Verlagerungsgeschwindigkeit im Tiefenprofil mit „Niederschlag-Graz“ festgehalten. Die Ergebnisse der Modellrechnung sind unter „Simulation“ dargestellt. Es war in der Modellrechnung eine recht gute Nachbildung des Tritium- Tiefenprofils möglich, was im Zuge der Kalibrierung des Modellansatzes die weitere Verwendung der Niederschläge aus Leibnitz und eine Anpassung der Verdunstungsdynamik zur Folge hatte.

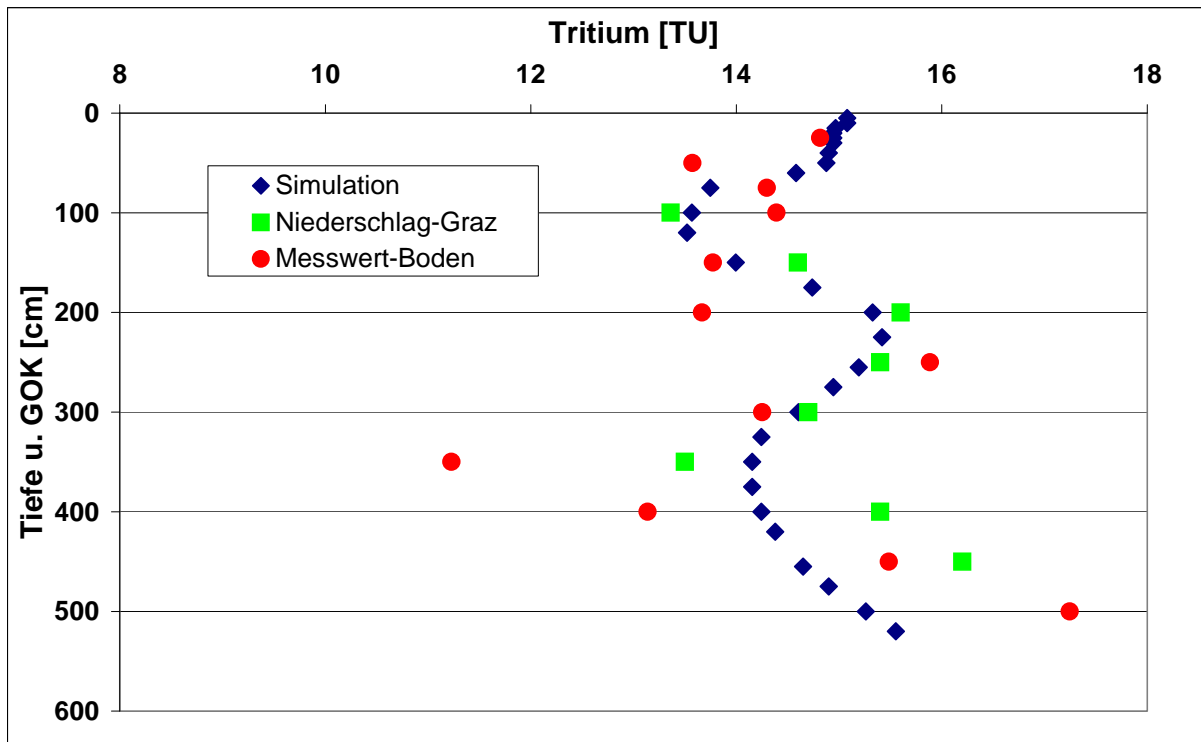


Abbildung 3: Gemessene und berechnete Tritiumprofile am Schürf 1 am 12. Okt. 1999

2.2.4.2 NO₃ – Tiefenprofile

Für die Schürfprofile S1, S2, S3, S4 und S5 liegen NO₃-N Konzentrationen für alle Beprobungstiefen in DALLA-VIA & FANK, 2000 vor. Mit den Bewirtschaftungsannahmen wie unter Punkt. 2.2.2.2.1.3. angegeben, wurden mit dem Modell STOTRASIM die NO₃ Konzentrationen zum Stichtag 1999-10-12 berechnet. Die gemessenen NO₃-N Konzentrationen wurden in NO₃-Konzentrationen umgerechnet und mit den im Modell berechneten NO₃-Konzentrationen verglichen, was in Abbildung 4 grafisch dargelegt ist. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich ist wurde bei Schürf S1 und S2 eine gute Übereinstimmung von Messung und Berechnung erreicht, hingegen treten bei den Profilen 3 bis 5 teils starke Differenzen auf. Dazu ist zu bedenken, dass nicht bekannt ist, was auf dem einzelnen Schlag tatsächlich an Bewirtschaftung erfolgte und die Düngung jeweils als „Gemeindedurchschnitt“ in die Modellrechnung einging. Speziell zu Schürf S5 ist festzustellen, dass zur Probennahme der Boden über das gesamte Profil nach Gülle roch und hier auch die gemessenen Konzentrationen an NO₃ fünf bis zehnmals größer als bei den anderen Schürfen waren.

Auffällig ist dabei, dass bei allen Profilen mit Ausnahme von Schurf 3 die berechneten Nitratkonzentrationen im Bodenwasser unter den gemessenen zu liegen kommen. In Schurf 1 ist dies vor allem für die seichteren Bereiche, in Schurf 2, Schurf 4 und Schurf 5 besonders in den tieferen Bodenschichten auffallend. Es ist also davon auszugehen, dass in der Vergan-

genheit (80er und 90er Jahre des 20. Jahrhunderts) die eingesetzten Stickstoffmengen noch deutlich über den angegebenen (Tabelle 1) gelegen waren. Gerade diese enorm hohe Intensität der ackerbaulichen Bewirtschaftung in der Vergangenheit ist für die aktuelle Nitratproblematik im Grundwasser der Wagendorfer Terrasse hauptsächlich verantwortlich. Bei einer Verlagerungsgeschwindigkeit von 0.65 m/Jahr ist davon auszugehen dass bei den vorherrschenden Überdeckungsmächtigkeiten des Grundwassers die Verweilzeiten von Wasser und Stickstoff im Boden und in der ungesättigten Zone zwischen 5 und mehr als 20 Jahren anzusetzen ist.

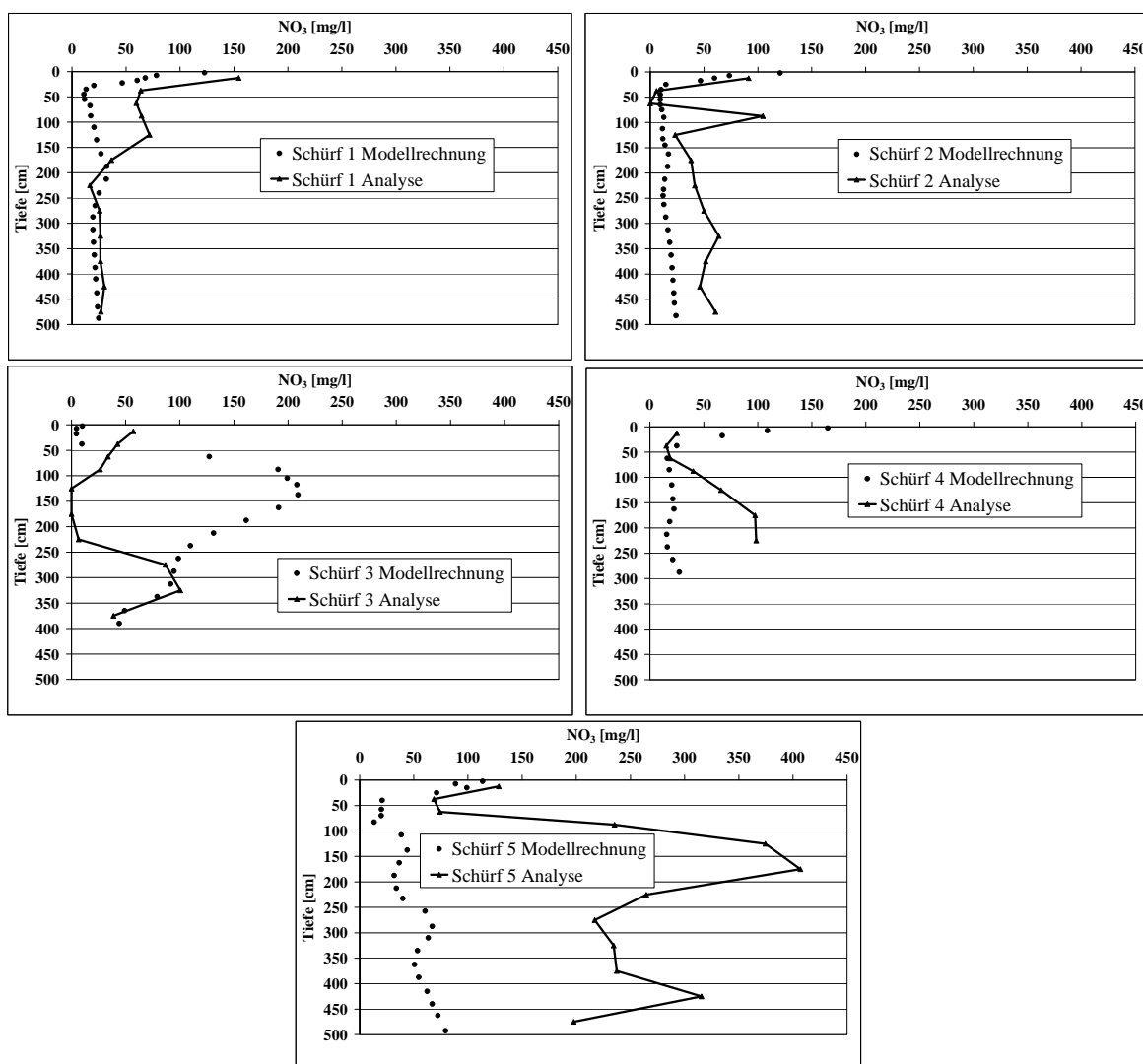


Abbildung 4: Gemessene und berechnete NO_3 -Konzentrationsprofile zum 12.10.1999 an den Schürfen 1 bis 5

2.2.4.3 Anwendung im Projektgebiet

Nachfolgend werden einige Ergebnisse, die Mittelwerte aus der Modellbetrachtung aus dem Zeitraum 1985-Okt.2000 darstellen, dargelegt. Vorerst werden in Abbildung 5 bis Abbildung

9 die errechneten N-Versickerungen für die vier Düngungsstufen im Vergleich einer Maismonokultur mit und ohne Winterbegrünung gegenübergestellt. Aus diesen Grafiken und den zugehörigen Werten geht hervor, dass die Reduktion der N-Versickerung infolge Winterbegrünung zwischen null (bei bereits sehr geringem Austrag bei Schwarzbrache im Winter) und 25-30 kg N/ha*a liegt, jedoch die prozentuale Reduktion mit steigender N-Zufuhr (bei höherem Düngungsniveau) abnimmt.

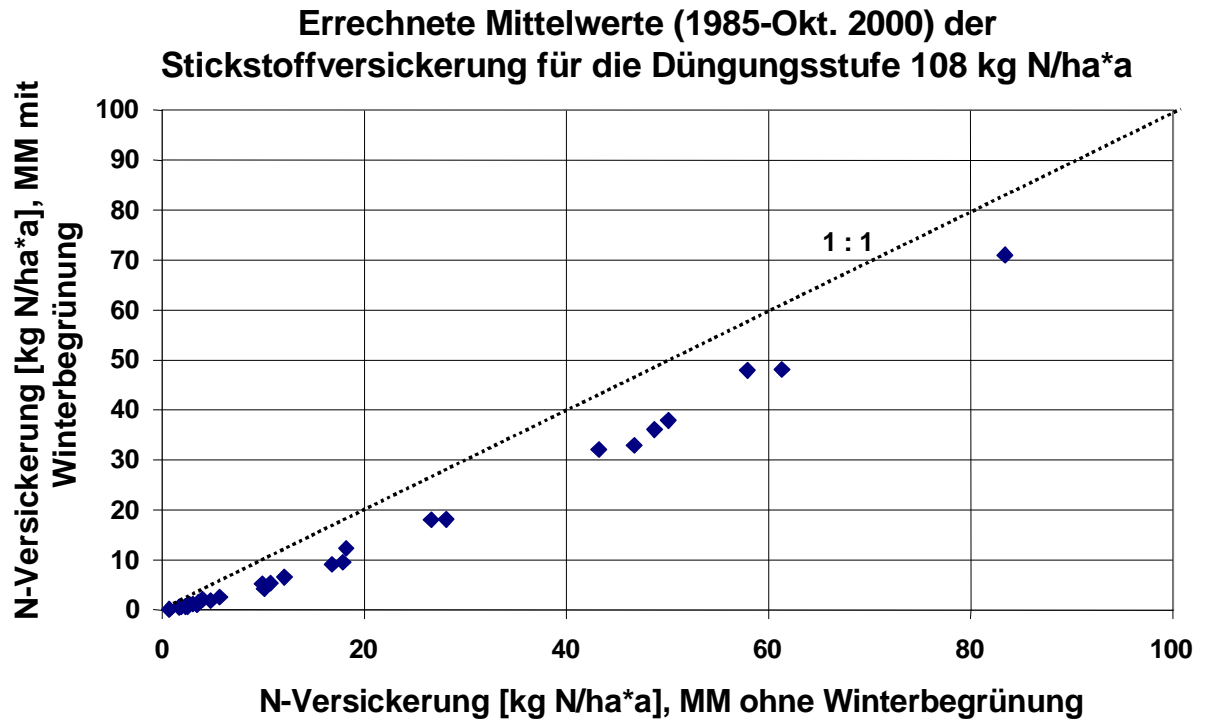


Abbildung 5: Gegenüberstellung der Stickstoffversickerung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung bei einer jährlichen Stickstoffdüngung von 108 kg N/ha*a

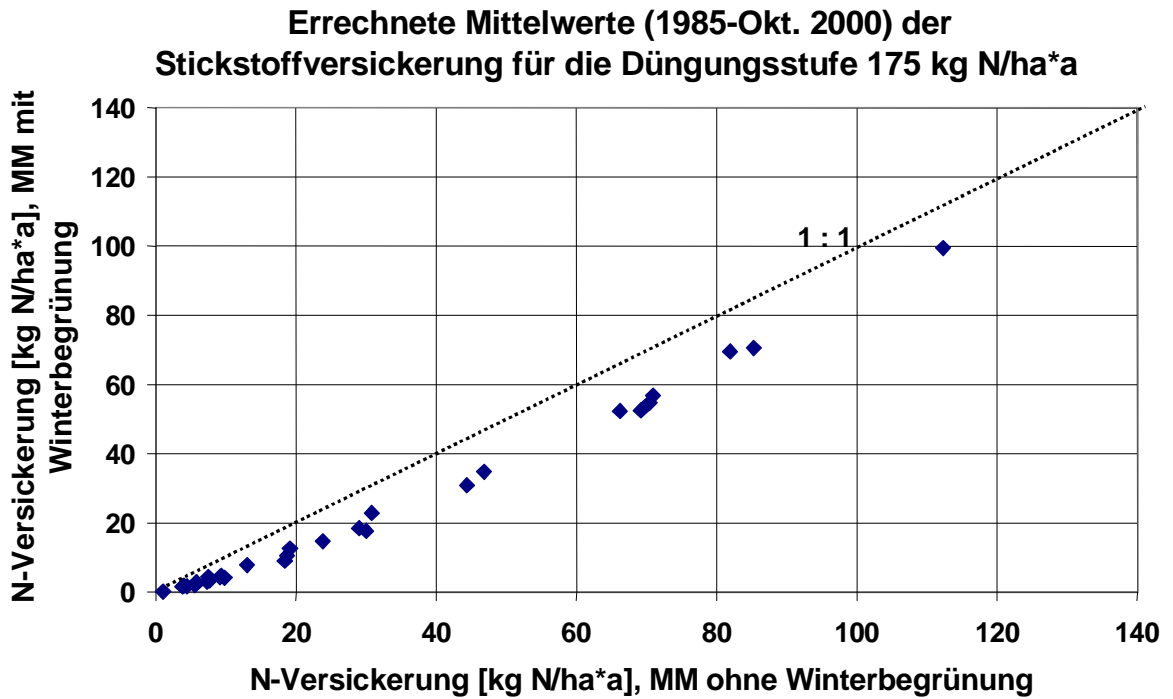


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Stickstoffversickerung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung

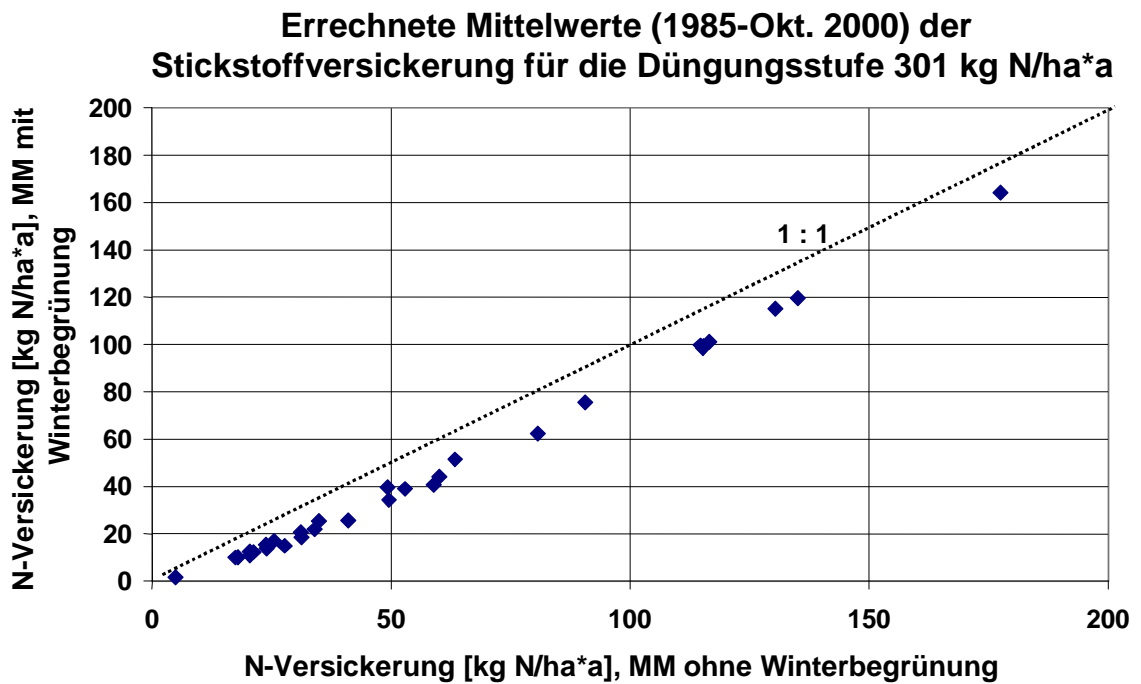


Abbildung 7: Gegenüberstellung der Stickstoffversickerung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung bei einer jährlichen Stickstoffdüngung von 301 kg N/ha*a

Errechnete Mittelwerte (1985-Okt. 2000) der Stickstoffversickerung für die Düngungsstufe 486 kg N/ha*a

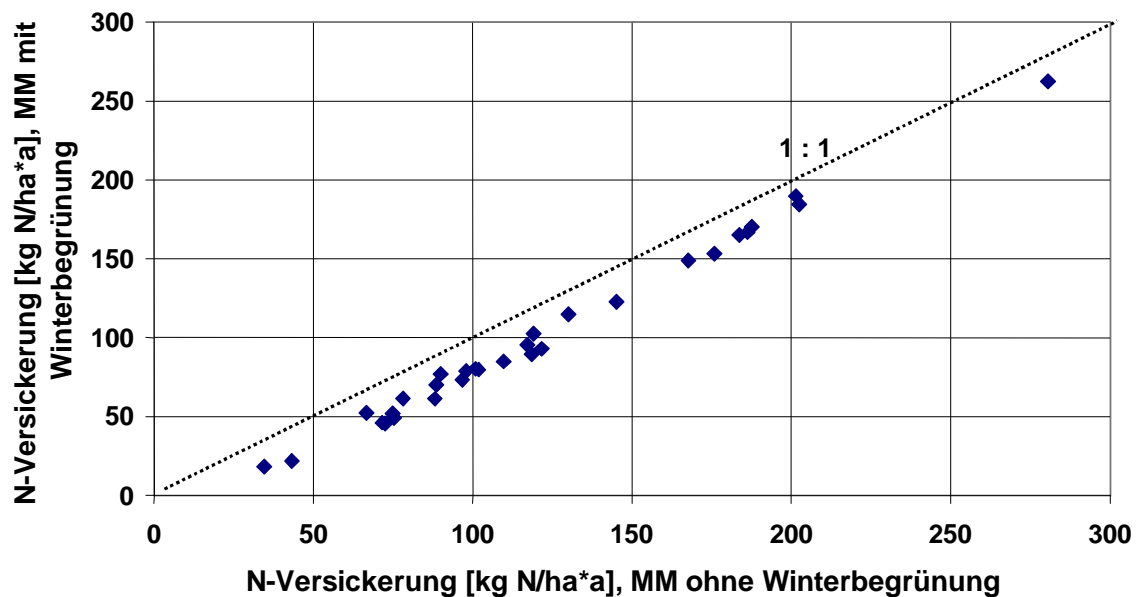


Abbildung 8: Gegenüberstellung der Stickstoffversickerung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung bei einer jährlichen Stickstoffdüngung von 486 kg N/ha*a

In Abbildung 9 ist die Veränderung der Grundwasserneubildung infolge Winterbegrünung dargelegt. Die Winterbegrünung reduziert gegenüber der Variante ohne Winterbegrünung die Grundwasserneubildung um 25-55 mm, was bei niedriger Grundwasserneubildung eine massive (bis zu ~ 60-ige) prozentuale Reduktion darstellt.

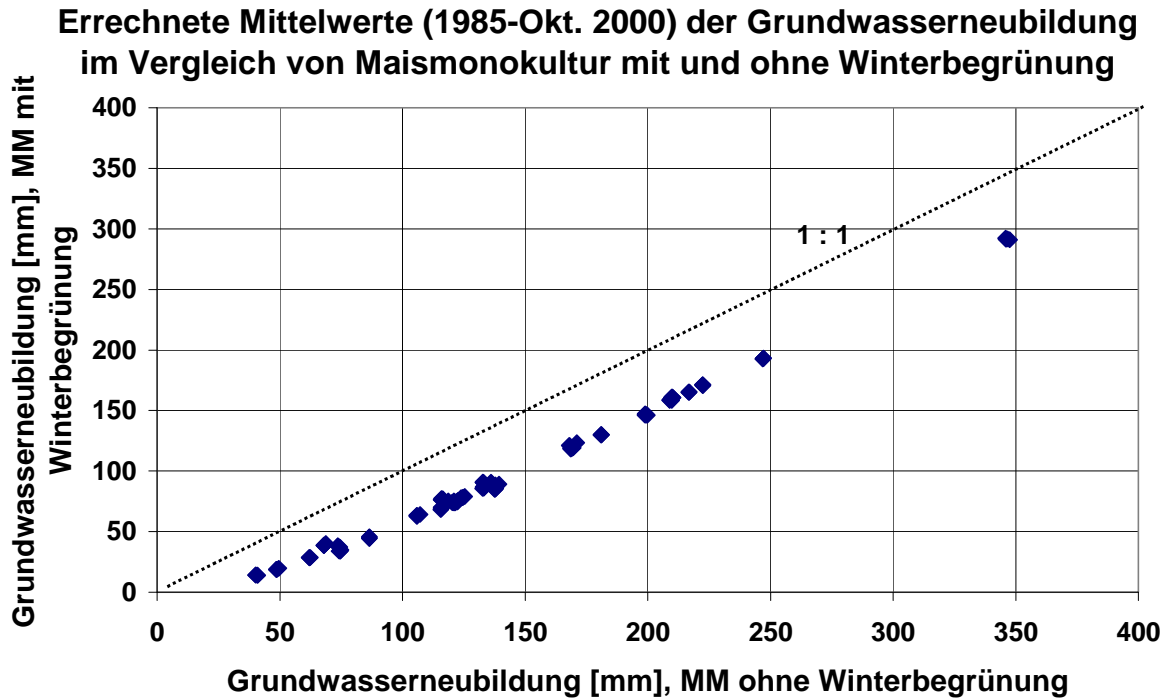


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Grundwasserneubildung bei Mais mit und ohne Winterbegrünung

Abbildung 10 zeigt die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für alle Simulationsfälle von Mais ohne Winterbegrünung und Mais mit Winterbegrünung verglichen.

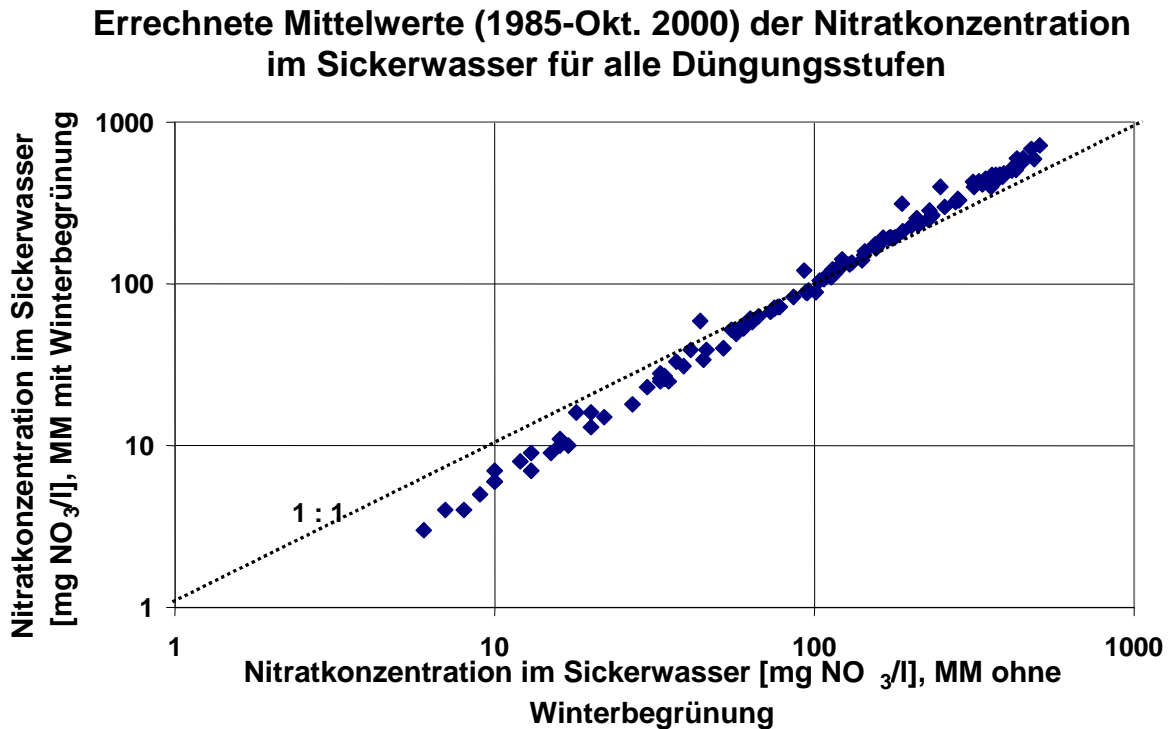


Abbildung 10: Vergleich der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser bei Mais mit und ohne Winterbegrünung für alle ÖBK-Bodenformen und die vier Düngungsstufen

Daraus resultiert, dass bei niedrigeren Konzentrationen eine Reduktion der Nitratkonzentration gegeben ist und ab etwa 100 mg NO_3/l eine gleichbleibende bis erhöhte Nitratkonzentration resultiert. Bei Einzelbetrachtung der 4 Dünge­stufen zeigt sich, dass vorwiegend bei den beiden höheren Dünge­stufen durch Winterbegrünung eine Erhöhung der Nitratkonzentration im Sickerwasser errechnet wird. Die Erklärung dürfte im deutlichen Stickstoffüberangebot liegen, wodurch in diesen Fällen die anteilmäßige Reduktion bei der Sickerwassermenge (Lösungsmittel) höher ist als bei der versickerten Nitrat-N-Fracht, woraus eine Konzentrations­erhöhung resultiert.

In Abbildung 11 und Abbildung 12 werden für sämtliche Simulationsfälle die errechneten N-Versickerungen (Abbildung 11) und Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (Abbildung 12) den über Düngemittel importierten Stickstoffmengen (organisch und mineralisch) gegenübergestellt. Weiters ist jeweils eine Ausgleichs­linie (Polynom 2. Ordnung) hinzugefügt. Obwohl bewusst ist, dass die Einzelergebnisse zu den jeweiligen Bodenformen für eine Flächeninterpretation unterschiedliche Flächengewichte haben und somit nicht gleichwertig sind, ist in einer ersten Einschätzung doch anzunehmen, dass die im Grundwasser der Helfbrunner Terrasse vorgefundenen $\sim 150 \text{ mg } \text{NO}_3/\text{l}$ bei Verknüpfung mit landwirtschaftlicher Bodennutzung von N-Importen von $300 \text{ kg N/ha} \cdot \text{a}$ bzw. mehr herrühren und auch deutliches Reduktionspotential zur Nitratkonzentration im Grundwasser bei angepassten N-Importen vorliegt. Wesentlich ist dabei aber auch die zeitliche Komponente, die im Bericht (DALLA-VIA & FANK, 2000) bereits angesprochen und im „Tritium-Profil“ verdeutlicht ist.

Errechnete Mittelwerte (1985-Okt. 2000) der Stickstoffversickerung zu 30 ÖBK-Bodenformen und eine Maismonokultur ohne Winterbegrünung

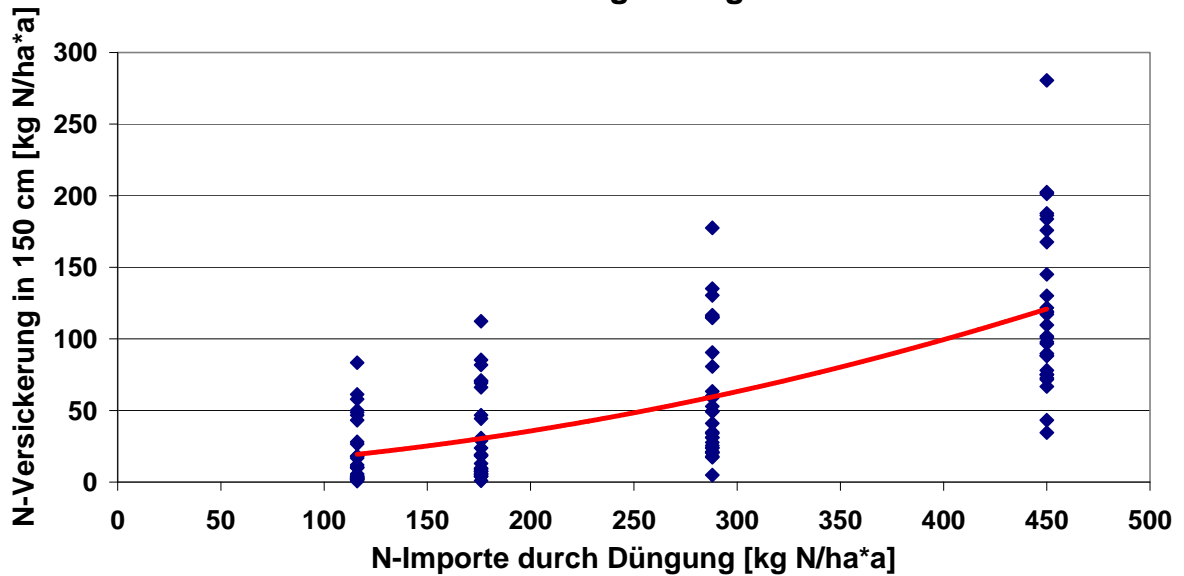


Abbildung 11: Modellergebnisse zur Versickerung von Nitratstickstoff bei Mais ohne Winterbegrünung für alle ÖBK-Bodenformen und die vier Düngungsstufen

Errechnete Mittelwerte (1985-Okt. 2000) der Nitratkonzentration zu 30 ÖBK-Bodenformen und eine Maismonokultur ohne Winterbegrünung

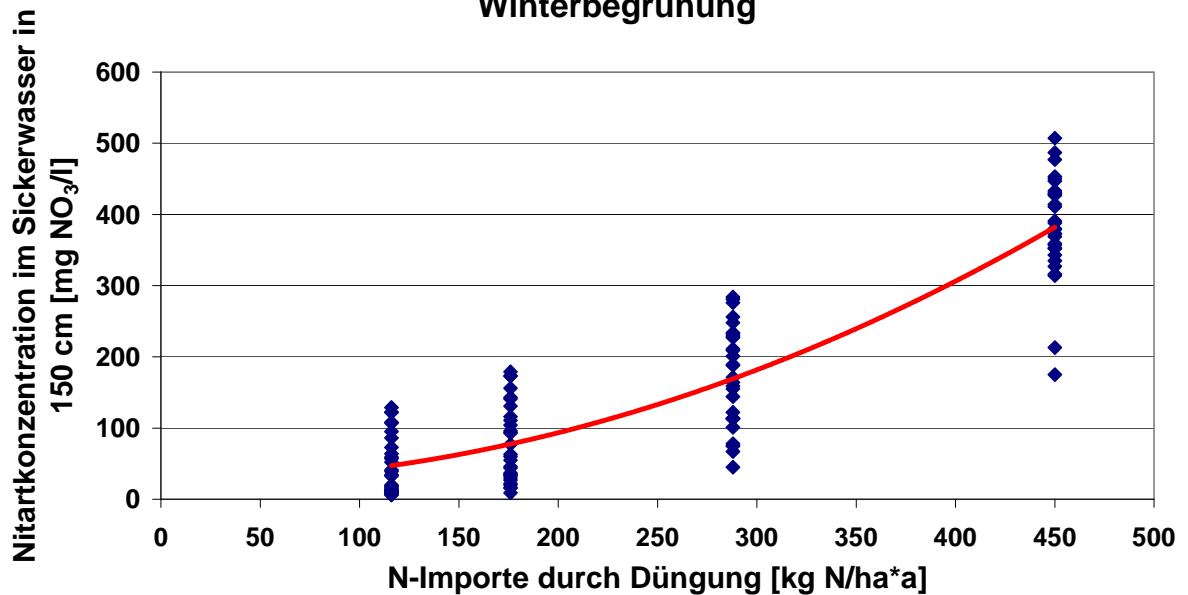


Abbildung 12: Modellergebnisse zur Nitratkonzentration im Sickerwasser bei Mais ohne Winterbegrünung für alle ÖBK-Bodenformen und die vier Düngungsstufen

3 Die aktuelle Grundwasser – Qualitätssituation und deren zeitliche Entwicklung hinsichtlich Nitrat im Untersuchungsgebiet

Einen Überblick über die aktuelle Nitratsituation im südöstlichen Leibnitzer Feld gibt die Auswertung der Nitratverteilung (Abbildung 13) im Murtal als Medianwert aller Messdaten an allen verfügbaren Messstellen (KUPFERSBERGER & DALLA-VIA, 2007). In dieser Auswertung wurden neben den Messdaten der Wassergüteehebungsverordnung (WGEV) und des Sondermessprogrammes des Landes Steiermark (FA17C) auch die Nitratmesswerte der Wasserversorgungsunternehmen berücksichtigt. Zur Interpretation der Verteilung wurden nicht nur die Messdaten selbst, sondern auch die Grundwasserströmungssituation sowie die Wirkung relevanter Oberflächengewässer und größerer Siedlungsgebiete herangezogen.

Deutlich zu erkennen ist in dieser Darstellung, dass der größte Teil des Grundwassers im südöstlichen Leibnitzer Feld durch mittlere Nitratkonzentrationswerte von >60 mg/l zu charakterisieren ist. Berücksichtigt man auch noch den Wertebereich >45 mg/l also über dem Grundwasserswellenwert für Nitrat liegend, dann sind nur noch nördliche Anstrombereich der Wagendorfer Terrasse (die Waldgebiete von Karwald und Rabenhof) sowie der durch die Mur beeinflusste Talauenbereich von den Belastungsbereichen ausgenommen. Deutlich erkennbar ist auch die Abhängigkeit der Nitratverteilung von der Grundwasserströmung.

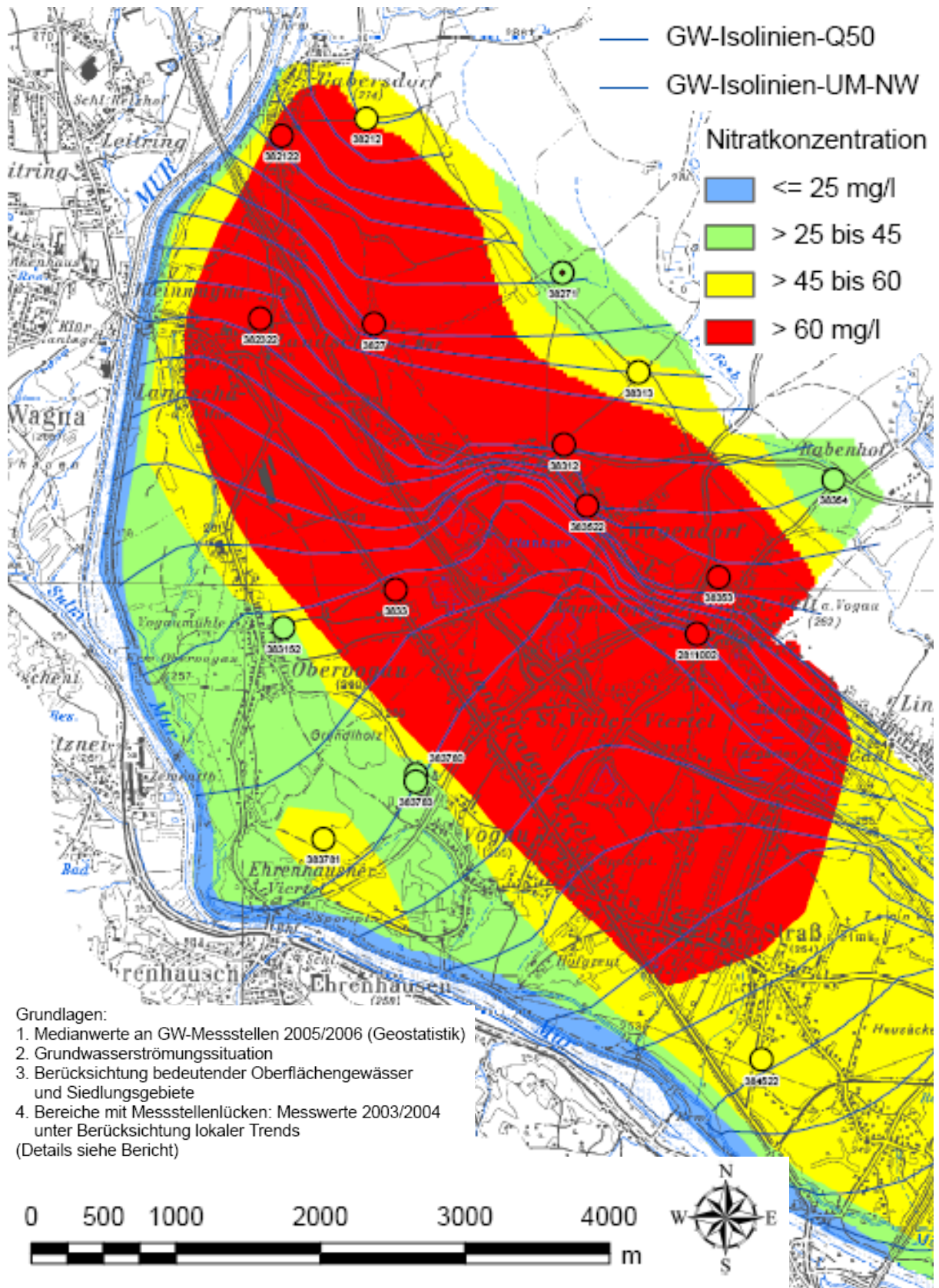


Abbildung 13: Nitratbelastung des Grundwassers im südöstlichen Leibnitzer Feld als Median der gemessenen Nitratkonzentration in den Jahren 2005/2006 (KUPFERSBERGER & DALLAVIA, 2007)

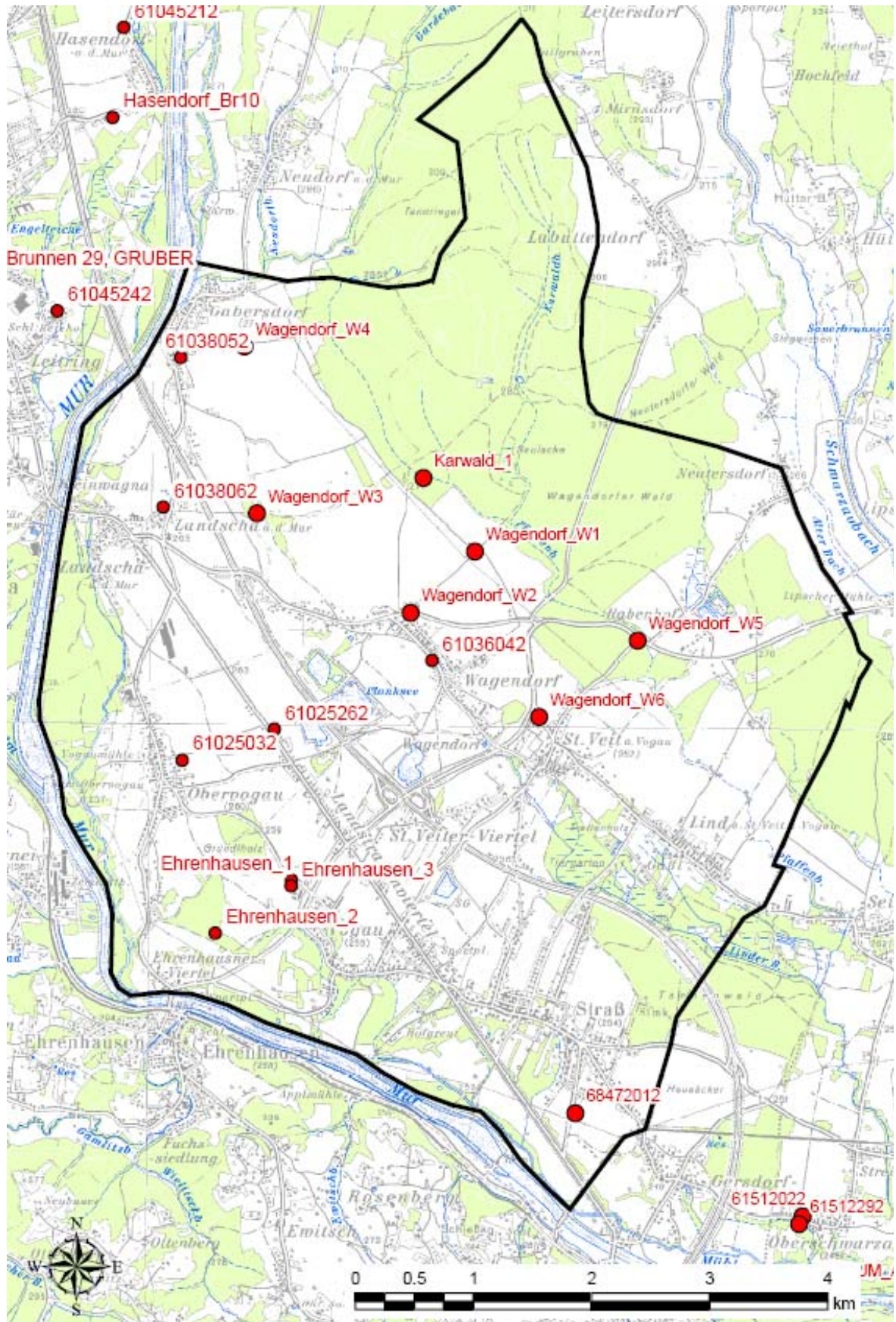


Abbildung 14: Lage der Grundwasser-Gütemessstellen im Untersuchungsgebiet

Grundlage für die Interpretation der zeitlichen Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser sind die regelmäßig beprobten Grundwasserqualitätsmessstellen, die für das Untersuchungsgebiet in Abbildung 14 kartographisch dargestellt sind. Durch die im Jahr 1999 errichteten Messstellen ergibt sich in Ergänzung zu den schon längerfristig im Rahmen der WGEV beobachteten Sonden und den Förderbrunnen des Wasserverbandes Leibnitzerfeld Süd ein recht dichtes Netz mit einer flächenhaft guten Verteilung, um die Entwicklung der Nitratkonzentration einerseits zeitlich, andererseits unter Berücksichtigung der Grundwasserströmungsverhältnisse zu charakterisieren.

Im Nordwestteil des Untersuchungsgebietes strömt das Grundwasser aus dem Raum östlich Gabersdorf in südliche Richtung und quert dabei das intensiv landwirtschaftlich genutzte Gebiet der Wagendorfer Terrasse. Der Strömungsweg des Grundwassers ist in Abbildung 15 durch blaue Pfeile angedeutet. Betrachtet man die Nitratentwicklung an den drei Messstellen Wagendorf W4, 6103806 und Wagendorf W3 in ihrer zeitlichen Ausprägung, zeigt sich in den Jahren 1999 bis 2003 ein leichter Rückgang, der in den darauffolgenden Jahren bis 2006 durch einen deutlichen Anstieg abgelöst wird. Wie Untersuchungen am Versuchsfeld Wagna belegen, ist der dafür wesentlichste Faktor die Wetterentwicklung in diesen Jahren – den Trockenjahren 2001 bis 2003 folgten eher feuchte Jahre, der im Boden zwischengespeicherte Stickstoff wird in der Folge mit einer zeitlichen Verzögerung, die von den Verweilzeiten in der ungesättigten Zone abhängt ausgewaschen.

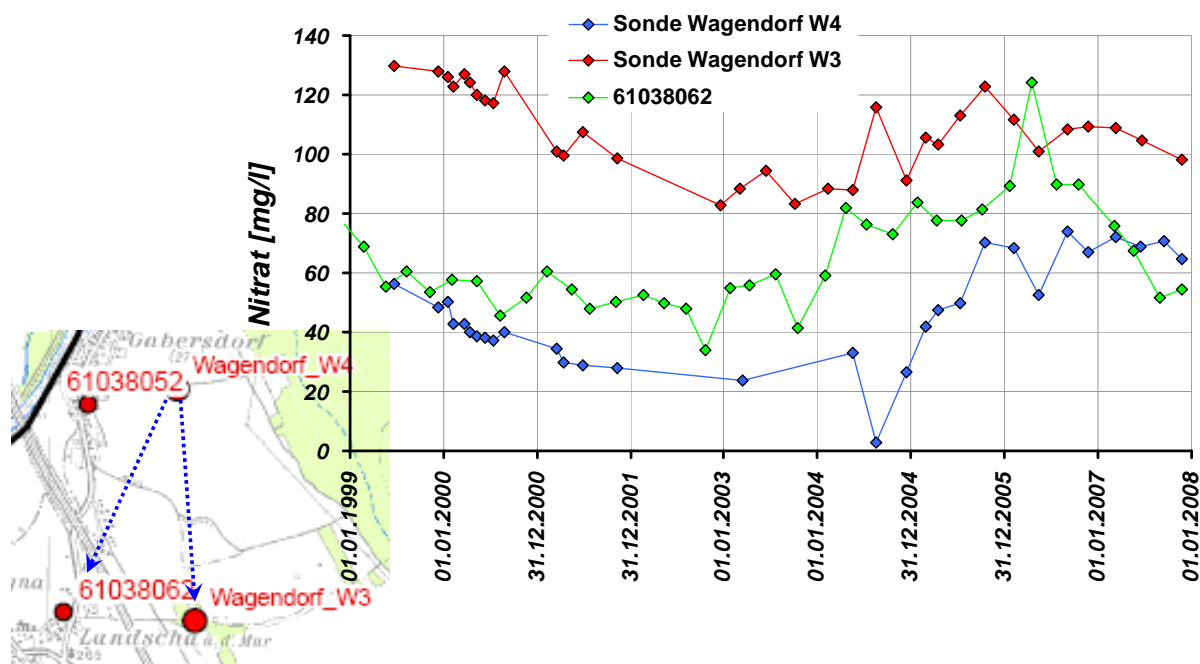


Abbildung 15: Ganglinien der Nitratkonzentration des Grundwassers im Westteil des Untersuchungsgebietes – Nitratentwicklung entlang eines Grundwasserströmungspfad

Im gegenständlichen Fall belegt die zeitliche Variabilität der Nitratkonzentration, dass diese Messstellen durch eine relativ gering mächtige Grundwasserüberdeckung einerseits und durch den Einfluss von Verdünnungseffekten (erkenntlich besonders an Wagendorf W4) durch Oberflächengewässer bzw. durch Neubildung in Siedlungsbereichen gekennzeichnet werden können. Entlang des Strömungspfadades ist allerdings aufgrund des Eintrages aus der intensiven Landwirtschaft eine Erhöhung der Nitratkonzentration von etwa 40 mg/l auf >100 mg/l festzustellen. Da in diesem Bereich andere Quellen für einen Anstieg der Stickstoffkonzentration im Grundwasser de facto ausgeschlossen werden können, ist davon auszugehen, dass die vergangene und auch die aktuelle landwirtschaftliche Bewirtschaftung nicht grundwasserverträglich sind.

In Abbildung 16 ist die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im zentralen Bereich der Wagendorfer Terrasse entlang von Grundwasserströmungspfaden dargestellt.

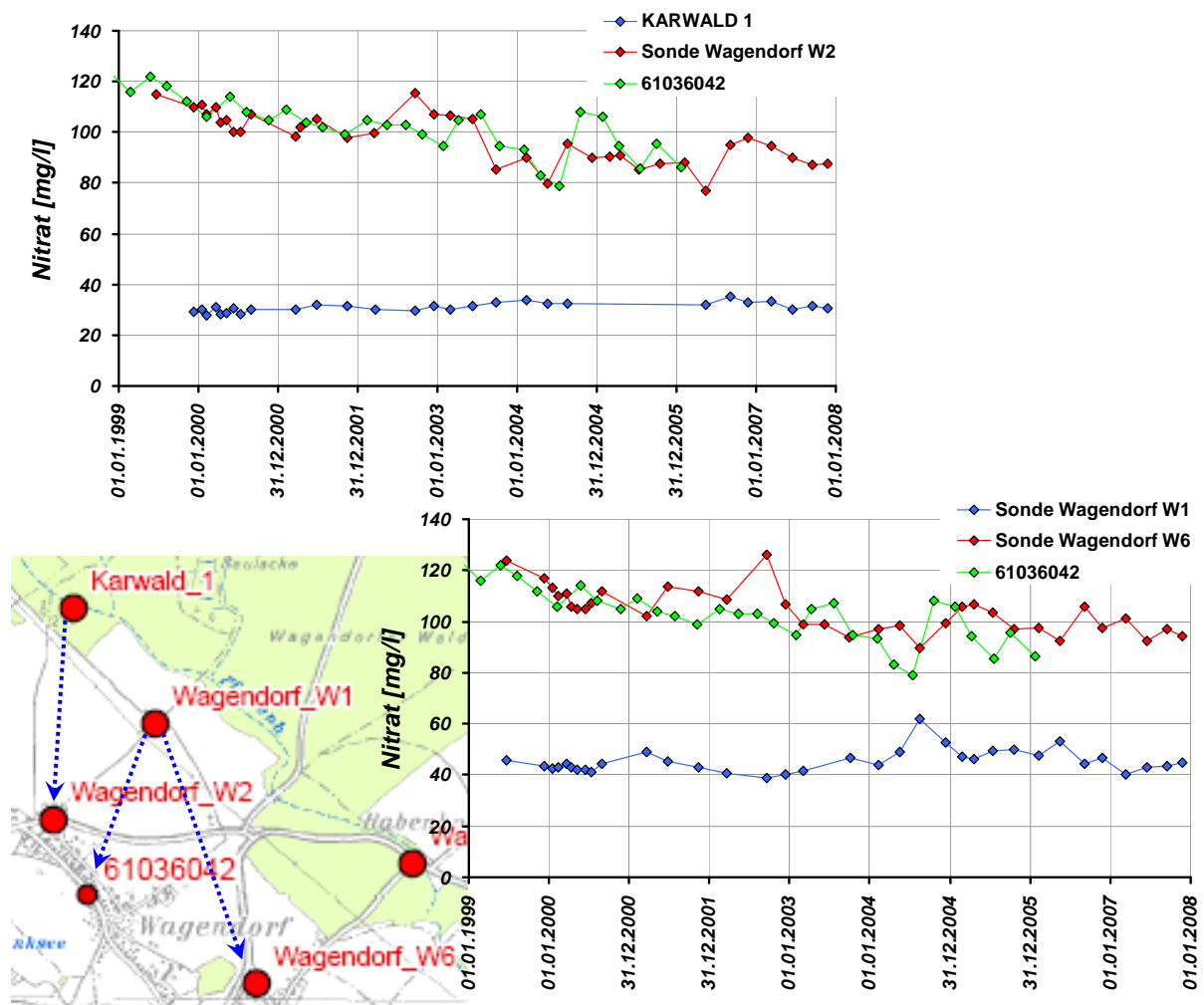


Abbildung 16: Ganglinien der Nitratkonzentration des Grundwassers im Zentralbereich der Wagendorfer Terrasse – Nitratentwicklung entlang der Grundwasserströmungspfade

Im Vergleich zum vorher diskutierten westlichen Teil der Wagendorfer Terrasse ist dieser zentrale Bereich durch eine nur geringe Variabilität der Nitratkonzentration in der Zeit zu charakterisieren. Im Einstrombereich zur Wagendorfer Terrasse liegt die Nitratkonzentration im Karwald (Messstelle Karwald_1) bei konstant zwischen 30 und 35 mg/l bzw. zwischen 40 und 50 mg/l an der Messstelle Wagendorf_W1, die in bereits ackerbaulich genutztem Gelände liegt. Auch die Messstellen am Südrand der Wagendorfer Terrasse (Wagendorf_W2, Wagendorf_W6 und 61036042) weisen nur eine geringe zeitliche Variabilität auf. Diese zeitlichen Verläufe sind ein Hinweis auf sehr lange Verweilzeiten des Wasser in der ungesättigten Zone, die Auswirkungen der unterschiedlichen Witterungsbedingungen während der letzten 7 Jahre sind hier nicht zu erkennen. Tendenziell zeigen die Messstellen am Südrand der Wagendorfer Terrasse eine leicht fallende Tendenz, was auf einen Rückgang der Düngemittelmengen im Verlauf der letzten 20 Jahre hindeuten könnte. Dies steht auch im Einklang mit den Ergebnissen der Erhebung des Düngemittelsatzes durch die Landwirtschaftskammer, welche die Grundlage für die Modellierung des Stickstoffaustrages war (vgl. Kap. 2.2.2.2.1.3).

Noch deutlicher ausgeprägt als im Westteil der Wagendorfer Terrasse ist allerdings hier im Zentralbereich die Zunahme der Nitratkonzentration mit dem Grundwasserströmungsweg. Die Nitratkonzentration steigt von etwa 30 mg/l am Südrand des Karwaldes auf 90 bis 100 mg/l am Südrand der Wagendorfer Terrasse (Wagendorf_W2) an. Der gleiche Anstieg ist auch zwischen den Messstellen Wagendorf_W1 und Wagendorf_W6 festzustellen. Auch in diesem Bereich kommen für die Erhöhung der Nitratbelastung des Grundwassers praktisch nur verstärkte Einträge aus der ackerbaulichen Nutzung in Frage. Aufgrund der langen Verweilzeit ist eine Aussage über die Bedeutung der aktuellen Bewirtschaftungssituation für die Nitratbelastung des Grundwassers nicht möglich – dieser Bereich ist durch extrem lange Verweilzeiten in der ungesättigten Zone geprägt.

In Abbildung 17 ist der zeitliche Verlauf der Nitratkonzentration an den beiden WGEV-Messstellen 61025032 und 61025262 mit den gemessenen Nitratwerten am Brunnen Ehrenhausen I dargestellt. Alle drei Ganglinien weisen die für ihre Lage auf der Niederterrasse (61025262) bzw. im Bereich der Austufe typische zeitliche Variabilität auf. Diese ist bei den Messstellen 61025032 und Ehrenhausen 1 noch wesentlich charakteristischer ausgeprägt und hat hier schon fast saisonalen Charakter – ein Hinweis auf den durch die Wasserspiegelschwankungen der Mur geprägten Zustrombereich im Bereich der Austufe.

Charakteristisch ist auch die Ähnlichkeit der Ganglinie des Brunnens Ehrenhausen 1 mit der Nitratganglinie der Messstelle 61025032, was einen deutlichen Hinweis auf das hauptsächliche Einzugsgebiet des Brunnens in westlicher Richtung auf die Mur hin ausgerichtet gibt. Die Nitratkonzentration an der Messstelle 61025262 ist deutlich höher, der Verlauf eher vergleichbar mit Niederterrassenmessstellen im westlichen Leibnitzer Feld, die auch durch einen kontinuierlichen Rückgang der Nitratwerte in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts und einem darauf folgenden Anstieg in den Jahren 2004 bis 2006 aufgrund der besonderen Witterungsbedingungen gekennzeichnet sind.

Die hier erkennbare Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser in ihrer räumlichen Verteilung und deren zeitlicher Entwicklung lässt die Vermutung aufkommen, dass das Einzugsgebiet der Brunnen Ehrenhausen üblicherweise in Richtung WNW auf die Mur hin ausgerichtet ist. In Abhängigkeit von den Grundwasserspiegellagen im Verein mit den Entnahmemengen strömt immer wieder höher nitratbelastetes Grundwasser aus dem im N angrenzenden Niederterrassenbereich in das Brunneneinzugsgebiet ein und führt zu kurzfristigen Nitratspitzen, die in manchen Fällen den Trinkwassergrenzwert von 50 mg/l übersteigen.

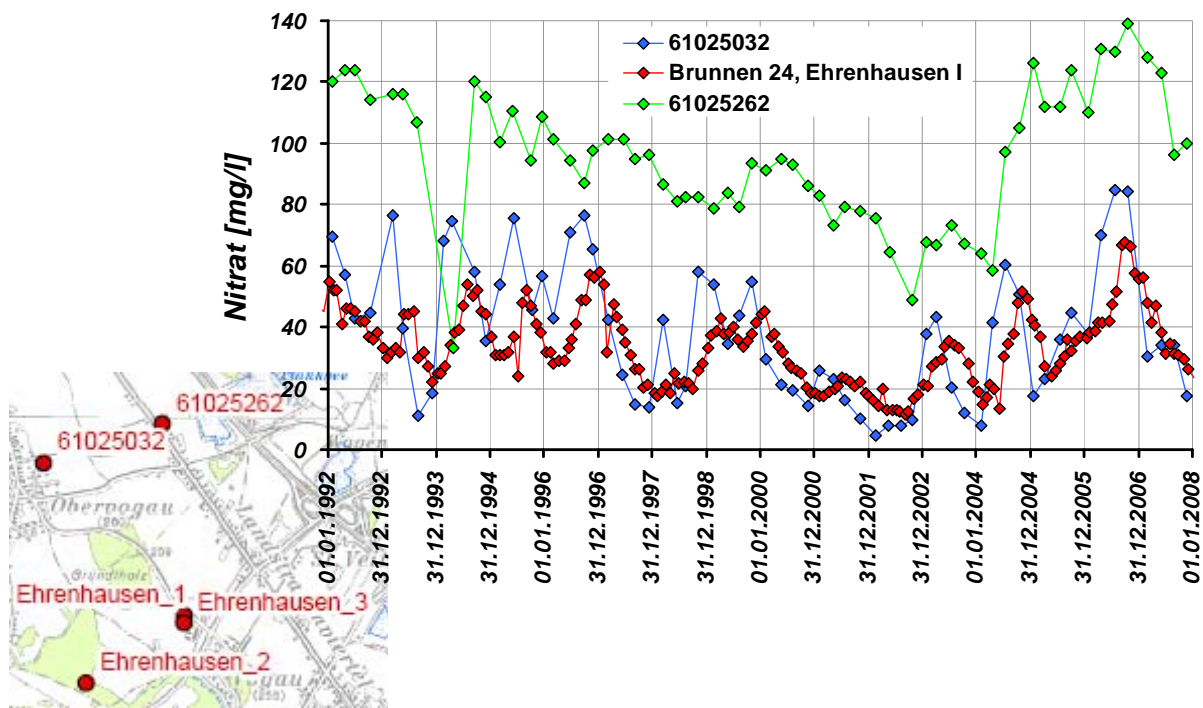


Abbildung 17: Ganglinien der Nitratkonzentration des Grundwassers im Brunnen Ehrenhausen I und im Brunnenanstrombereich

In Abbildung 18 wurde versucht, den zeitlichen Verlauf der Nitratkonzentration des Grundwassers anhand von Messstellen entlang eines Grundwasserströmungspfad im Einzugsbereich des Brunnens Ehrenhausen 1 darzustellen. Grundsätzlich wird durch diese Darstel-

lung die oben getroffene Aussage über das Brunneneinzugsgebiet bestätigt, es dürfte sich bei dieser Grundwasser-Bahnlinie aber um eine durch geringe Transportvolumina zu charakterisierende handeln – der Großteil des anströmenden Wassers stammt aus dem westlichen Teil, nur ein geringer Teil strömt aus dem nördlichen Bereich zu. Leider existieren zur Stärkung dieser These keine entsprechenden Grundwasserqualitätsmessstellen im westlichen Einzugsgebiet im murnahen Bereich der Austufe.

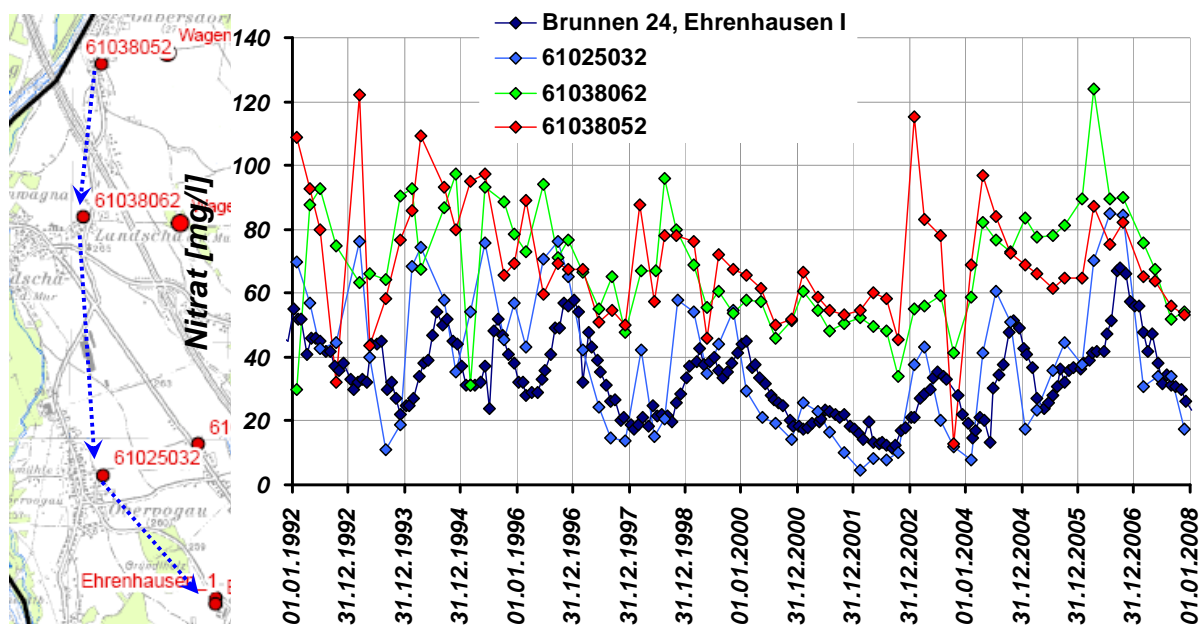


Abbildung 18: Ganglinien der Nitratkonzentration des Grundwassers entlang eines Strömungspfad im Anstrombereich des Brunnens Ehrenhausen I

Aus den Auswertungen der Grundwasser-Nitratkonzentrationen im südöstlichen Leibnitzer Feld ist unter Berücksichtigung der Grundwasserströmungsverhältnisse erkennbar, dass das Einzugsgebiet der Brunnen Ehrenhausen zwar hauptsächlich im Bereich der Austufe der Mur zu liegen kommt, allerdings trägt das Grundwasser der Niederterrasse in Abhängigkeit von den Wasserspiegellagen der Mur, den Grundwasserspiegellagen der Niederterrasse und auch der Nachlieferung von Grundwasser aus dem Bereich der Wagendorfer Terrasse in größerem oder geringerem Umfang zur Nitratsituation in den Brunnen bei.

Aus diesen Auswertungen der vorliegenden Qualitätsdaten unter Berücksichtigung der Grundwasserströmungsverhältnisse ist der Beitrag der Wagendorfer Terrasse eher auf den westlichsten Teil (Raum Gabersdorf und östlich bis in den Anströmbereich der Sonde Wagendorf_W3) beschränkt. Der zentrale und östliche Bereich der Wagendorfer Terrasse entwässert östlich des Einzugsgebietes der Brunnen Ehrenhausen in das Grundwasser der Niederterrasse des Murtales.

4 Zu erwartende Nitrateinträge an der Grundwasseroberfläche bei langfristiger Beibehaltung der aktuellen Bewirtschaftungsintensität

Die Angaben der Landwirtschaftskammer über die zeitliche Entwicklung der Düngeraufwandsmengen in den letzten 30 Jahren zeigen einen deutlichen Rückgang des Einsatzes von Stickstoff (vgl. Kap. 2.2.2.2.1.3). Die aktuellen Nitratkonzentrationen im Grundwasser zeigen v.a. in jenen Gebieten, in denen dieser nahezu ausschließlich über die Intensität der ackerbaulichen Bewirtschaftung gesteuert wird auch aktuell noch wesentlich zu hohe Werte in Relation zu den in Österreich gültigen Schwellen- und Grenzwerten der notwendigen Grundwasserqualität (vgl. Kap. 3). Gerade in jenem Teil des Untersuchungsgebietes, in denen die Nitratkonzentrationen im Grundwasser auch heute noch bei etwa 100 mg/l liegen, ist die Verweildauer des Sickerwassers in der ungesättigten Zone sehr hoch (bis > 20 Jahre), sodass auch bei einer heute grundwasserverträglichen ackerbaulichen Bewirtschaftung ein Rückgang der Nitratkonzentration im Grundwasser erst mit erheblicher Verzögerung erwartet werden darf. Somit ist eine Überprüfung der Grundwasserverträglichkeit der aktuellen Bewirtschaftung weder durch Messungen im Boden (z.B. N_{\min} -Messungen) noch durch die Grundwasserqualitätsbeobachtung möglich. Aus diesem Grund wurde mit Hilfe des kalibrierten Stickstofftransportmodells eine aktuelle Bewirtschaftungssituation hinsichtlich der Fruchtfolgen und auch des Einsatzes von Düngemitteln über einen langen Zeitraum verrechnet um Aussagen über die langfristig zu erwartende Grundwasserbelastung bei Beibehaltung der aktuellen Bewirtschaftungsintensität zu erhalten.

4.1 Rahmenbedingungen und Modellannahmen

Die Berechnungen der Grundwasserneubildung, des Stickstoffaustrages ins Grundwasser und der Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche wurde mit Hilfe des Modells STOTRASIM (FEICHTINGER, 1998) in der Version 2007 durchgeführt. Gegenüber dem früher verwendeten Modell (vgl. Kap. 2) wurden wesentliche Verbesserungen in der Berechnung des Stickstoffumsatzes implementiert. Außerdem wurden alle Berechnungen unter Berücksichtigung des Grundwasseranschlusses der Hydrotope durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen bilden auch die Basis für die Berechnung der Stickstoffausbreitung im Grundwasser mit Hilfe des Grundwassertransportmodells. Daher wurde ein einheitlicher Berechnungszeitraum für die Periode 1993 bis 2006 gewählt um die wechselnden Witterungsbedingungen einerseits und die Schwankungen des Grundwasserspie-

gels andererseits berücksichtigen zu können. Zur Systemstabilisierung wurde das Stickstofftransportmodell für die ungesättigte Zone für den Zeitraum 1987 bis 2006 betrieben, die ersten 6 Berechnungsjahre wurden aus der Auswertung genommen.

Um den Einfluss der Grundwasserspiegelschwankung auf die Nitratkonzentration des Sickerwassers berücksichtigen zu können wurden alle Berechnungsvarianten der einzelnen Hydrotopen – der Verschnitt der Bodenformen mit den Katastralgemeindegrenzen – mit stationären Grundwasserspiegellagen in 25 cm – Abständen zwischen der Geländeoberfläche und dem tiefsten zu erwartenden Grundwasserspiegel berechnet. Zur Auswertung der Grundwasserneubildung, des Stickstoffaustrags und der Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche wurde anhand der aktuellen Grundwasserstandsdaten auf diese Berechnungsergebnisse zurückgegriffen und auf Tagesbasis für die aktuelle Grundwasserspiegellage interpoliert. Zu diesem Zweck mussten den Bodenformen (bzw. den Hydrotopen) im Untersuchungsgebiet die entsprechenden Grundwasserstandsmessstellen mit einer durchgehenden Beobachtung im Zeitraum 1993 bis 2006 zugeordnet werden. In Abbildung 19 sind die untersuchten Bodenformen und die zugeordneten Pegel für das gesamte Untersuchungsgebiet dargestellt.

Bewirtschaftungsdaten liegen über die INVEKOS – Datenbank für das Untersuchungsgebiet auf der Ebene der Katastralgemeinden vor. Detaillierter – z.B. auf Grundstücksebene - sind Auswertungen der Fruchtfolge aus Datenschutzgründen nicht zulässig. Aus diesem Grund wurden aus den erhobenen Informationen über die Bewirtschaftungsintensität und die Verteilung der Kulturarten sowohl in ihrer regionalen Splittung als auch in ihrem zeitlichen Verlauf Leitfruchtfolgen entwickelt. Mit diesen Leitfruchtfolgen wurden die Modellberechnungen durchgeführt und die Ergebnisse der Berechnung derart ausgewertet, dass in jeder Katastralgemeinde die Fruchtfolgeglieder in ihrer zeitlichen Abfolge als auch in ihrer prozentuellen Häufigkeit bis auf einen Fehler von $< 5\%$ abgebildet wurden. Den Fruchtfolgegliedern wurden im Zuge der Modellvorbereitungen Stickstoffdüngemengen – unterschieden nach Wirtschaftsdünger und nach mineralischem Dünger, Düngetermine und Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Bodenbearbeitungstermine zugeordnet.

Die Wetterdaten wurden für den Modellierungszeitraum von der Wetterstation der Forschungsstation Wagna verwendet. Datenlücken in den Wetterdaten wurden mit Hilfe der Wetterstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Leibnitz und seit 2003 ebenfalls am Versuchsfeld Wagna ergänzt.

Die Bodeninformationen wurden der Österreichischen Bodenkartierung (ÖBK 1:25.000) entnommen. Die Parameterisierung der einzelnen Schichten der Bodenprofile wurde aus der Modellanwendung (vgl. Kap. 2.2.3) übernommen.

Für die Berechnung des Stickstoffaustrages ergaben sich insgesamt 72 Hydrotope, an denen die Grundwasserneubildung, der Stickstoffaustrag ins Grundwasser und die Nitratkonzentration des Sickerwassers auf Tagesbasis für den Modellzeitraum ausgewiesen wurde.

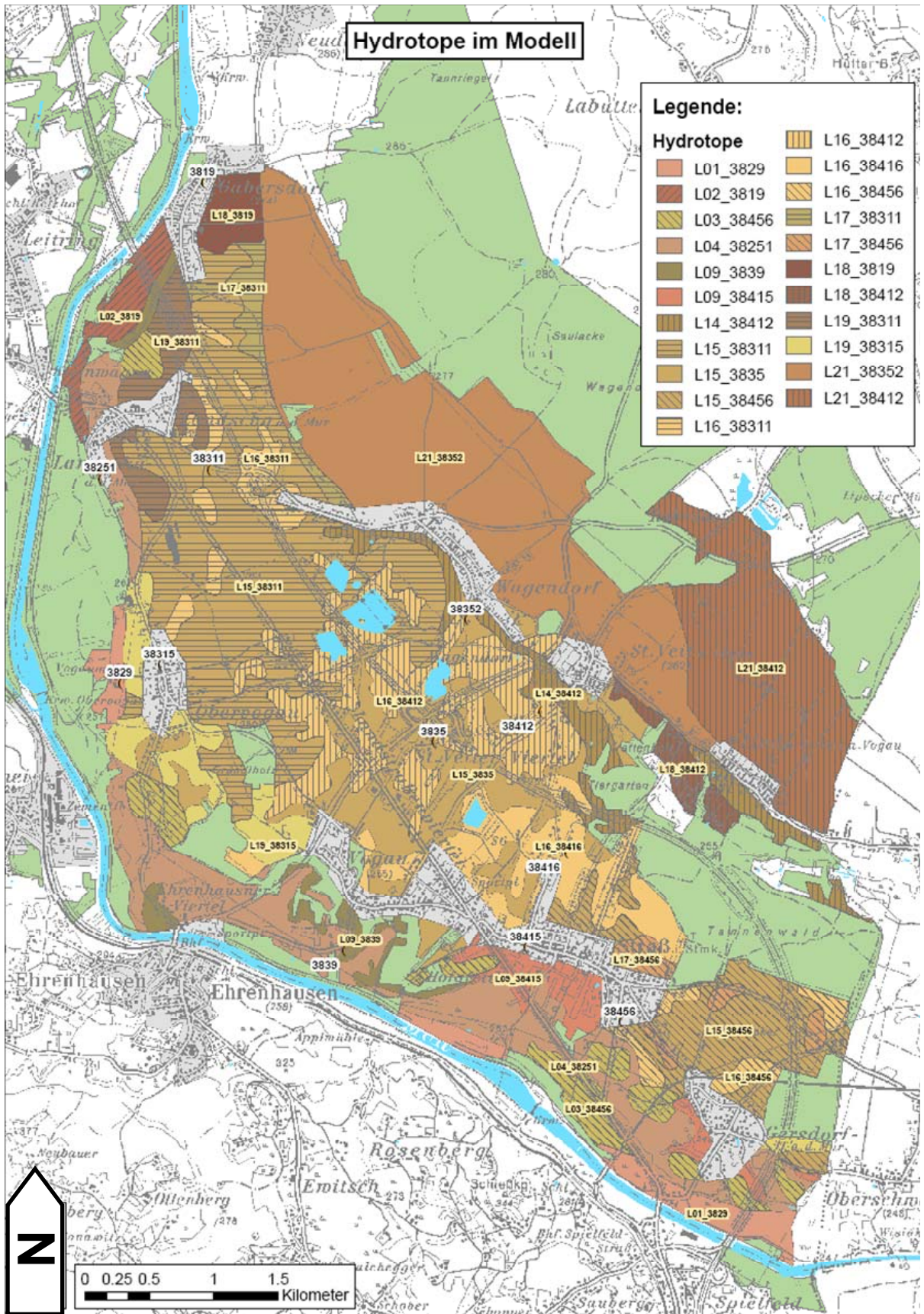


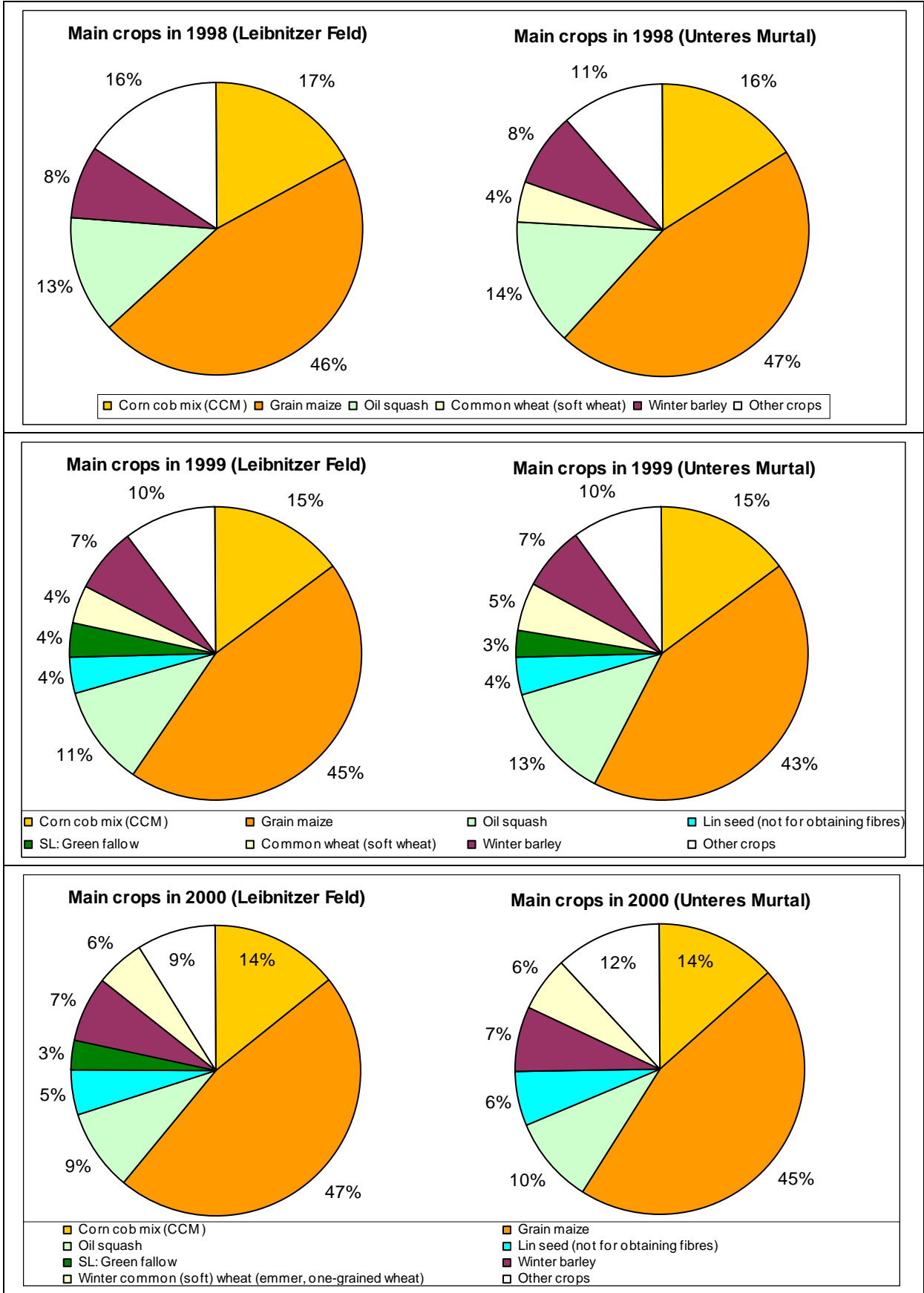
Abbildung 19: Zuordnung der Bodenformen lt. ÖBK im Untersuchungsgebiet zu Grundwasserpegeln mit einer durchgehenden Beobachtungszeit des Wasserspiegels von 1993 bis 2006

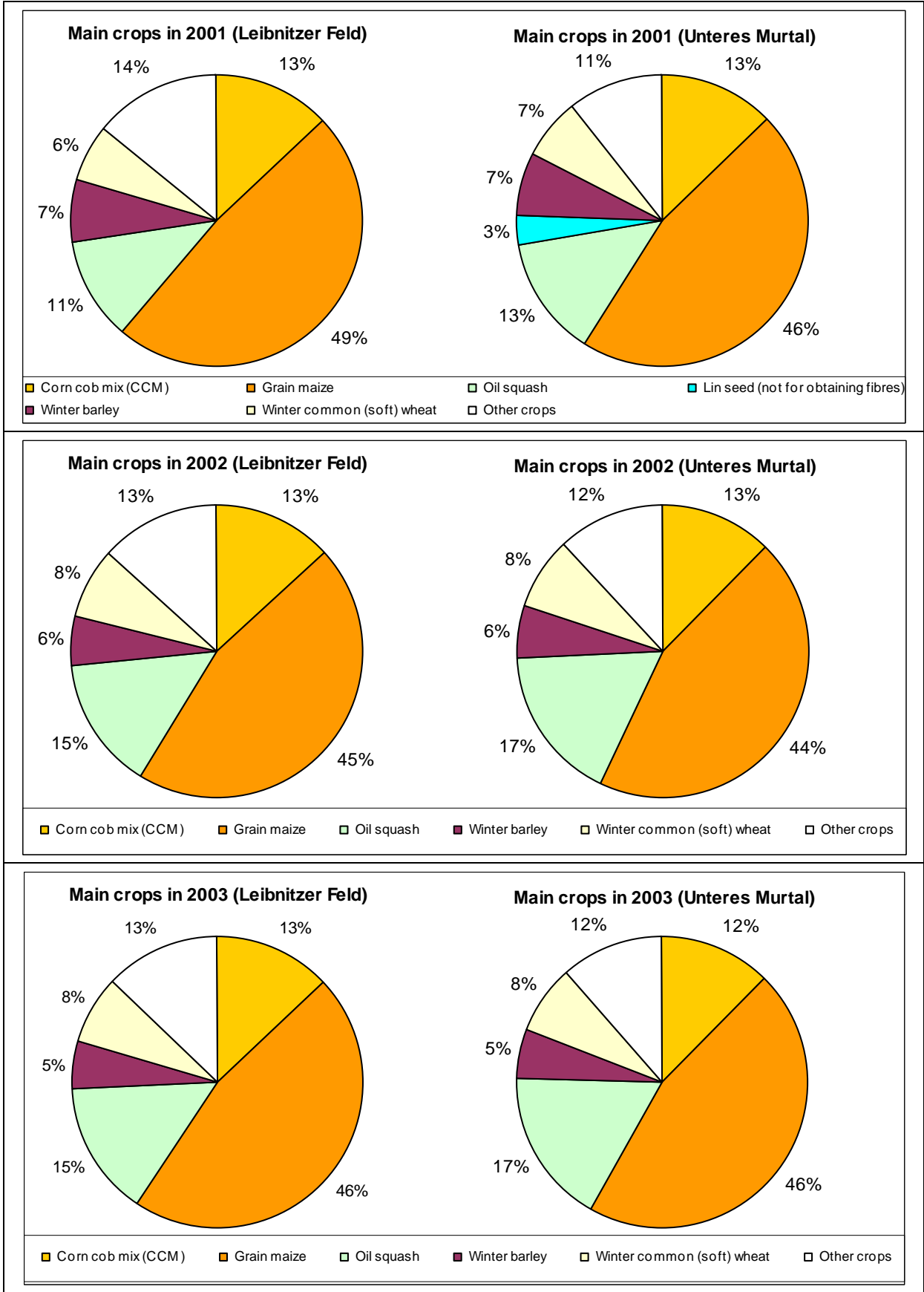
4.2 Bewirtschaftung und Düngemaßnahmen

Seitens der Mitarbeiter der Umweltberater der Steiermärkischen Landesregierung wurde in den Bezirken Radkersburg und Leibnitz eine Erhebung über den Einsatz von Düngemitteln bei den ackerbaulichen Hauptkulturen sowie der örtlich üblichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Bearbeitungstermine als Grundlage für die Erstellung der Modellfruchtfolgedaten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3: Erhebungen der Steiermärkischen Umweltberatung über den Einsatz von Düngemitteln bei den ackerbaulichen Hauptkulturen in den Bezirken Radkersburg und Leibnitz sowie der örtlich üblichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen und -termine (FEICHTINGER et al., 2005).

Fruchtfolgeglieder für Radkersburg und Leibnitz											
	1	1a	2	2a	3	4	5	6	7	8	9
Kultur	Körner-, CCM-Mais	Körner-, CCM-Mais	Ökürbis	Ökürbis	Wintergerste	Winterweizen	Winterraps	Sojabohne	Kartoffel	Öllein	SL Grünbr
Anbaufläche	16%	42%	11%	6%	6%	7%	3%	0%	0%	4%	5%
Aussaat	15.4	15.4	22.4	22.4	10.10.	18.10.	10.9.			10.5.	
Saatiefe [mm]	40	40	30	30	25	25	20			25	
Ernte	5.10.	5.10.	15.9.	15.9.	1.7.	25.7.	3.7.			wird	
Ertrag in kg/ha	11500 (14,5% F)	11500 (14,5% F)	600 (7% F)	600 (7% F)	6000	7000	3000			geschleigt	
Dünger Datum Menge in kg/ha		SO: Gülle 5.10. 14 m3		SO: Gülle 10.0. 15 m3	SO: Gülle 12.10. 15 m3	SO: Gülle 12.10. 15 m3	SO: Gülle 7.9.				
		SO: Gülle 10.4. 22 m3	SO: Gülle 10.4.	SO: Gülle 19.4. 15 m3	SO: Gülle 19.4. 15 m3	Linzer Top 2.3. 200	Linzer Top 2.3. 350	SO: Gülle 20.2. 20 m3			
		Linzer Top 15.4. 150	Linzer Top 15.4. 200	DC 37 22.4. 250	DC 37 22.4. 100	NAC 15.4. 200	NAC 18.4. 200	NAC 20.4. 190			
		NAC 22.5. 220	NAC 22.5. 200								
Bodenbearbeitung Datum	Pflug 20.10.	Grubber 8.10.		Grubber 11.8.	Pflug 7.10.	Pflug 15.10.	Pflug 1.9.			Pflug 20.10.	
	EGge 11.4.	Pflug 15.3.		Pflug 20.10.	EGge 10.10.	EGge 18.10.	EGge 10.9.			EGge 9.5.	
	Hacke 22.5.			EGge 20.4.	EGge 20.4.						
				Hacke 15.5.+29.5.	Hacke 15.5.+29.5.						
Bemerkungen	SO: 3,5 kg Nanr./m ²	7.10. Begrünung		11.8. Begrünung						Untersaat mit Klee gras	





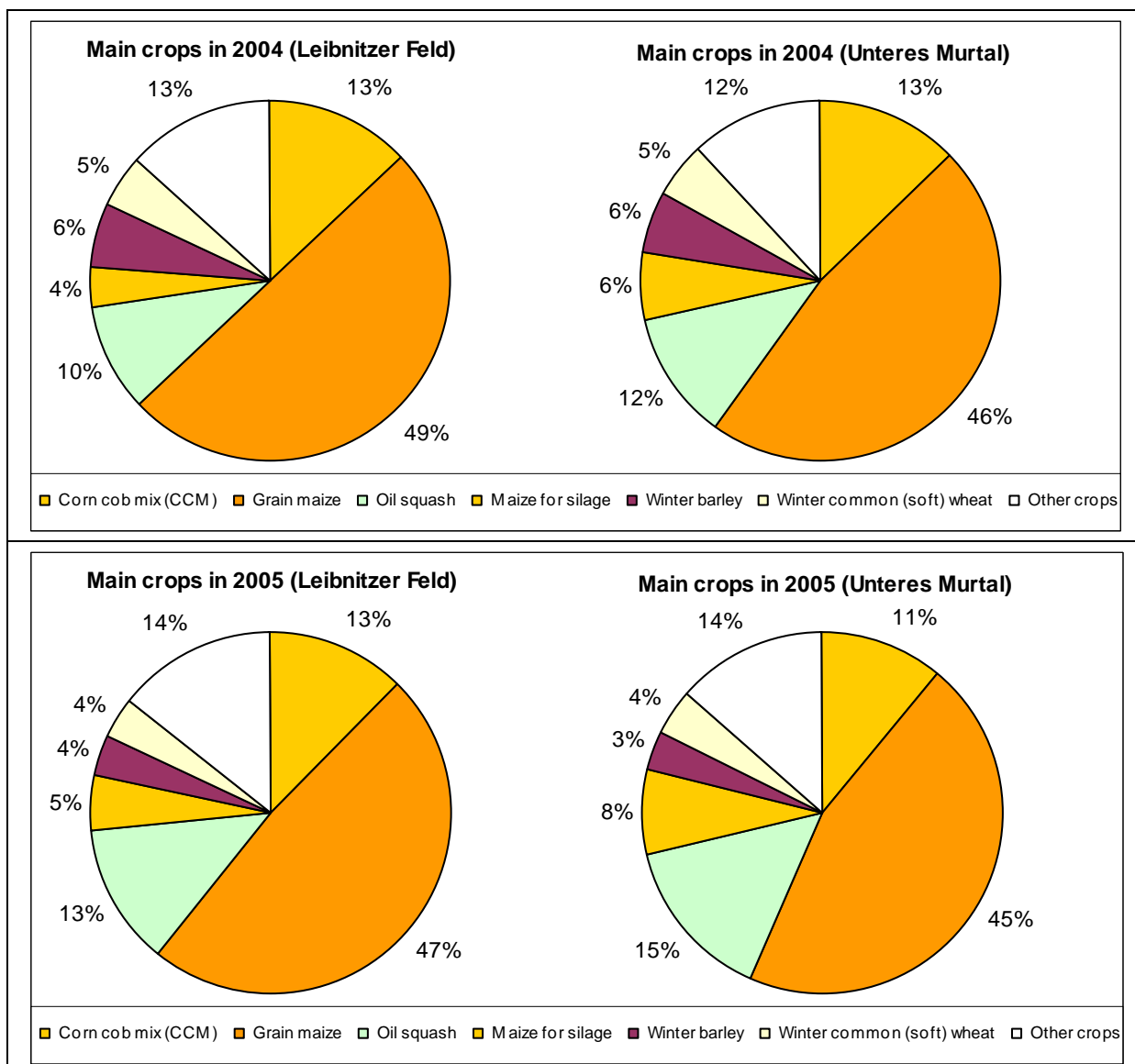


Abbildung 20: Hauptfruchtarten der ackerbaulich bewirtschafteten Flächen im Leibnitzer Feld und im Unteren Murtal in den Jahren 1998 bis 2005 auf Basis der INVEKOS-Daten.

Tabelle 4: Aus der Auswertung der INVEKOS – Daten abgeleitete Hauptfrüchte für die untersuchten Katastralgemeinden für die Jahre 1998 bis 2005.

Katastralgemeinde	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
66187 (Untervogau)	K	M	WG	M	K	M	WG	M
66179 (Straß)	M	WG	M	K	M	WG	M	K
66168 (St. Veit am Vogau)	M	WG	M	K	M	WG	M	K
66157 (Obervogau)	WG	M	K	M	WG	M	K	M
66151 (Neutersdorf)	K	M	WG	M	K	M	WG	M
66140 (Lind)	K	M	WG	M	K	M	WG	M
66135 (Landscha)	K	M	WG	M	K	M	WG	M
66116 (Gersdorf)	WG	M	K	M	WG	M	K	M
66113 (Gabersdorf)	M	K	M	WG	M	K	M	WG

Hauptfrüchte: K = Kürbis; WG = Wintergetreide; M = Mais

Die Auswertung der Hauptfruchtarten der ackerbaulich bewirtschafteten Flächen im Leibnitzer Feld und im Unteren Murtal für die Jahre 1998 bis 2005 sind in Abbildung 20 grafisch für die Einzeljahre dargestellt. In Tabelle 4 sind schließlich die aus der Auswertung der einzelnen Katastralgemeinden hervorgehenden Hauptfruchtarten für den Zeitraum 1998 bis 2005 dargestellt. Wie zu erwarten ist die bedeutendste Ackerfrucht der Mais, gefolgt von Kürbis und Wintergetreide.

Basierend auf den Ergebnissen aus Tabelle 3 wurden schließlich Mais eine Jahresstickstoffdüngermenge von etwa 170 kg N/ha*a, den Getreidefrüchten in etwa dieselbe Menge und Kürbis nach Mais etwa 30 kg N/ha*a, Kürbis nach Getreide etwa 80 kg N/ha*a zugewiesen. In den Leitfruchtfolgen wurde eine winterharte Gründেকে mit einem Auftreten in jedem 3. Jahr oder in etwa 30 % der Flächen berücksichtigt.

Die aus diesen Auswertungen resultierenden Modellfruchtfolgen mit den ackerbaulichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen sowie den Düngemengen und den Terminen der Bodenbearbeitung und Düngung entsprechen somit dem regional üblichen Vorgehen der Landwirte. Maßnahmen hinsichtlich einer bodenabhängigen Stickstoffdüngehöhe, wie sie in der Schongebietsverordnung für das südöstliche Leibnitzer Feld vorgeschrieben sind, wurden nicht berücksichtigt.

4.3 Berechnungsergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Modellberechnungen zeigen also ein Bild der Grundwasserneubildung und des Stickstoffaustrages in das Grundwasser, das sich langfristig einstellen würde, wenn die aktuelle Bewirtschaftung des Untersuchungsgebietes sowohl hinsichtlich der Fruchtfolgegestaltung als auch hinsichtlich der Bewirtschaftungsintensität über einen langen Zeitraum unter den Witterungsbedingungen der Jahre 1993 bis 2006 einstellen würde. Die Ergebnisse der Modellberechnungen können somit dahingehend interpretiert werden, inwieweit die aktuelle ackerbauliche Bewirtschaftung im Untersuchungsgebiet grundwasserverträglich ist oder nicht.

4.3.1 Die flächenhafte Verteilung von Grundwasserneubildung und Stickstoffaustrag

In Abbildung 21 ist die mittlere Jahressumme der Grundwasserneubildung aus den unterschiedlichen Hydrotopen dargestellt. Sie zeigt eine Variabilität zwischen etwa 240 mm und 330 mm, wobei überwiegend der Bereich zwischen 270 und 295 mm vertreten ist. Auf der

Wagendorfer Terrasse ist die Neubildung mit Werten zwischen 245 und 270 mm etwas reduziert.

Abbildung 22 zeigt die mittlere Jahressumme des Stickstoffaustrages für die berechneten Einheiten. Die Werte liegen zwischen etwa 40 und 110 kg N/ha*a. Auch im Bereich der Wagendorfer Terrasse werden dabei Werte zwischen 40 und 50 kg N/ha*a erreicht. Im langjährigen Mittel repräsentiert dieser Wert den Düngerüberschuss gegenüber dem Abtransport durch die Feldfrüchte, da in einer Bilanzierung eine Veränderung des Humusgehaltes als Speicher nicht detektierbar war.

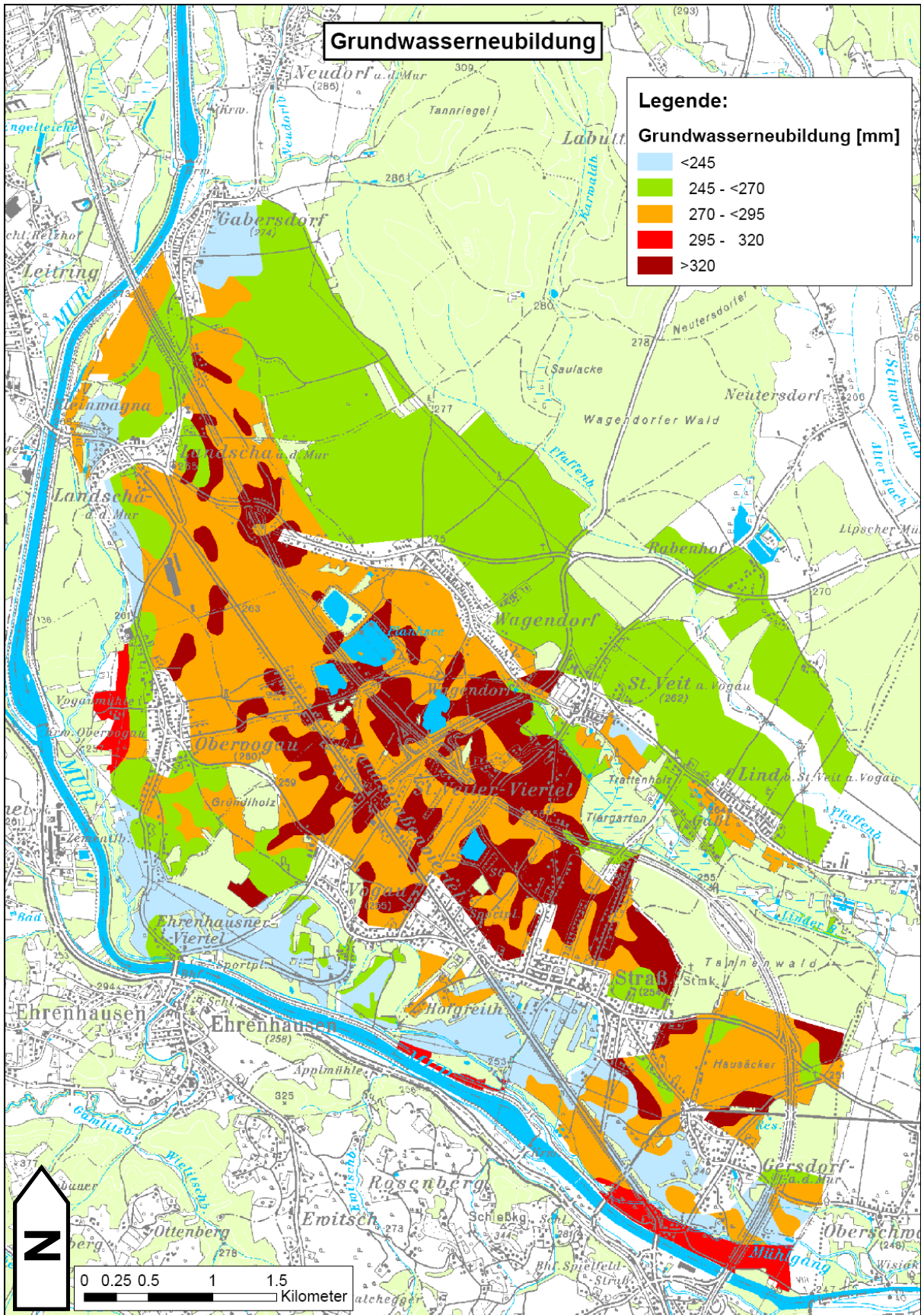


Abbildung 21: Mittlere Jahressumme der Grundwassererneubildung der Periode 1993 bis 2006

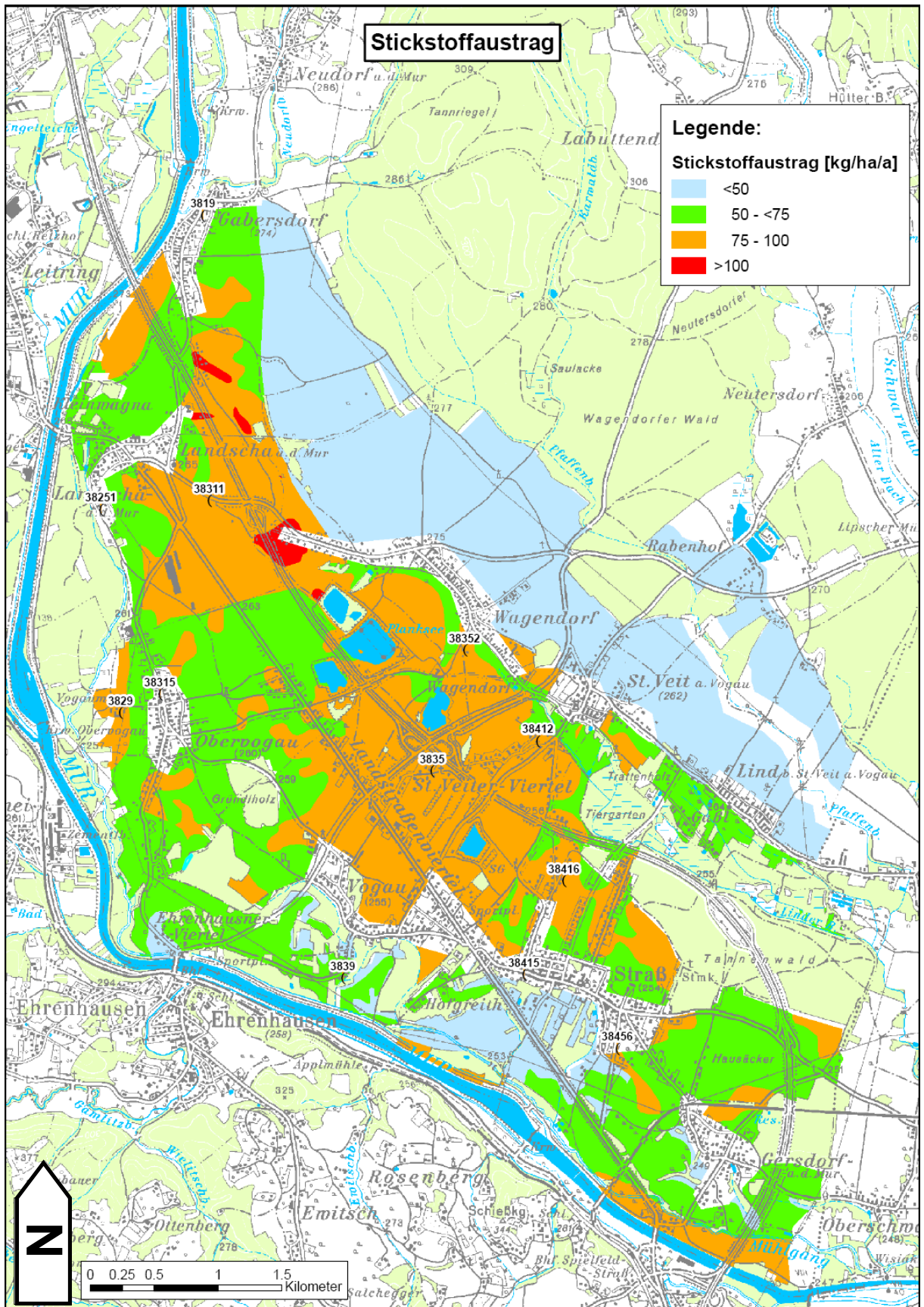


Abbildung 22: Mittlere Jahressumme des Stickstoffaustrages ins Grundwasser der Periode 1993 bis 2006

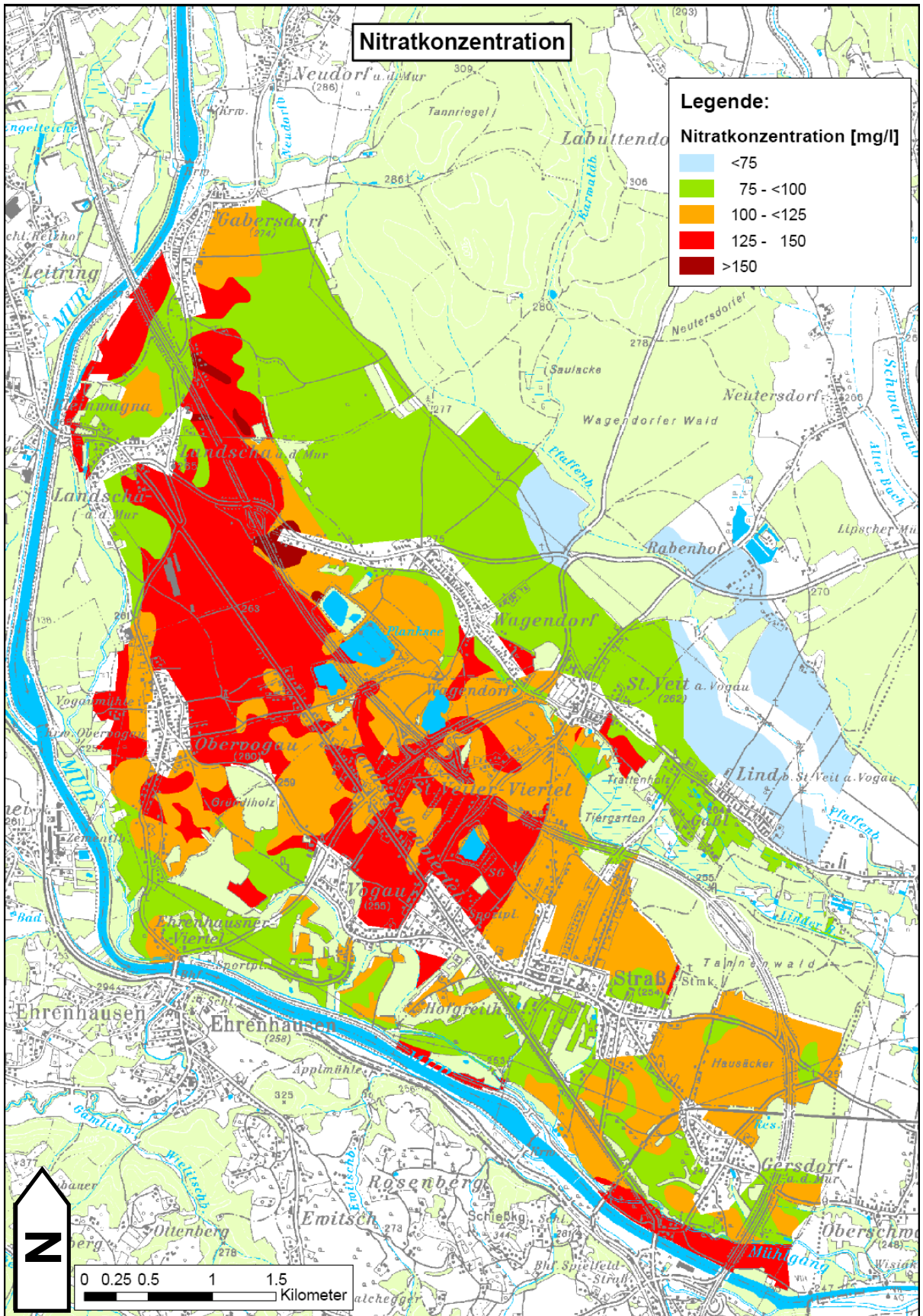


Abbildung 23: Mittlere Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche für die Periode 1993 bis 2006

Aus diesen Stickstoffüberschüssen resultiert auch die mittlere Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche, deren flächenhafte Verteilung in Abbildung 23 dargestellt ist. Die Nitratbelastung liegt im Bereich der Wagendorfer Terrasse bei etwa 70 bis 100 mg/l, in den Niederterrassenbereichen, die durch gut durchlässige Böden mit geringer Wasserspeicherfähigkeit gekennzeichnet sind, liegen die berechneten Nitratwerte zwischen 125 und 150 mg/l. Im Bereich der Wagendorfer Terrasse, in denen nahezu ausschließlich die ackerbauliche Bewirtschaftung die Nitratkonzentration im Grundwasser bestimmt, ist unter Beibehaltung der aktuellen Bewirtschaftungsform auch langfristig nur mit einem Rückgang der Nitratwerte auf etwa 75 mg/l zu rechnen. In den Niederterrassenbereichen und in der Austufe verdünnen die Einflüsse von Oberflächengewässern sowie die Grundwasserneubildung aus Waldbereichen sowie aus Siedlungsbereichen die Nitratkonzentration, sodass dort niedrigere Werte gemessen werden. Diese sind aber nicht auf die ackerbauliche Nutzung zurückzuführen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die aktuelle im Untersuchungsgebiet übliche ackerbauliche Bewirtschaftung außerhalb von Schongebieten keinesfalls grundwasserverträglich ist. Inwieweit sich die Bewirtschaftungsweisen in den Schongebieten tatsächlich unterscheiden, ist nicht festschreibbar, weil auch nur sehr schwer kontrollierbar.

4.3.2 Grundwasserneubildung und Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von den Bodenformen

In Abbildung 24 ist der zeitliche Verlauf der Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche als Mittelwert über alle Hydrotöpfe im Untersuchungsgebiet sowie die mittlere langfristige Nitratbelastung aus der Landwirtschaft dargestellt.

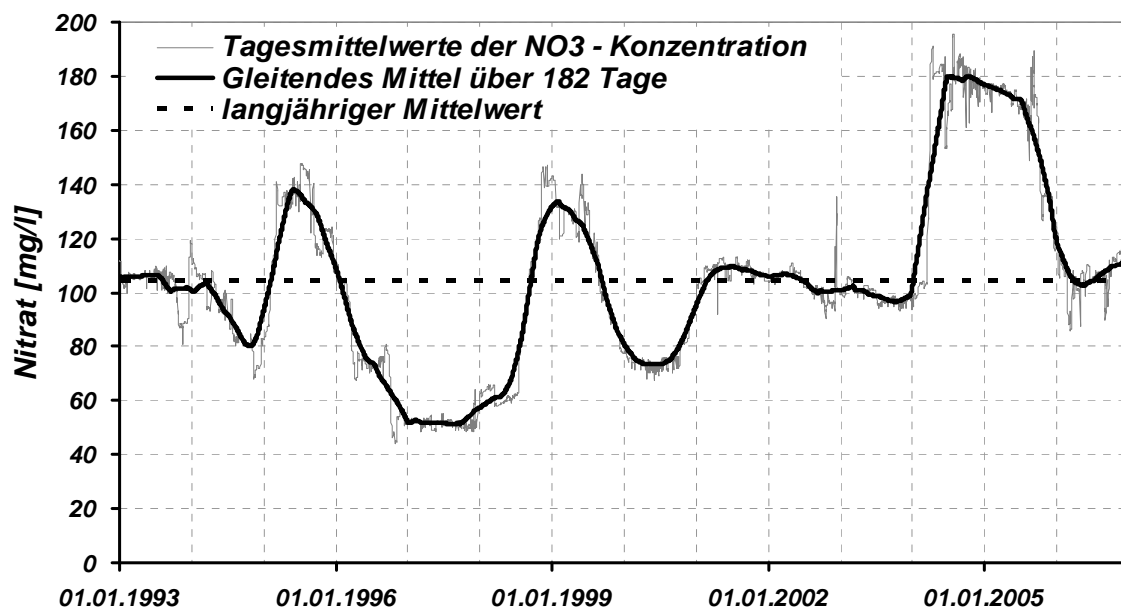


Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf der Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche als Mittelwert über alle Hydrotope im Untersuchungsgebiet sowie langjähriger Mittelwert für die Periode 1993 bis 2006.

Über das gesamte Untersuchungsgebiet liegt die mittlere Belastung bei etwa 104 mg/l, wobei im langfristigen Verlauf deutliche Schwankungen auftreten: so ist das Minimum der Konzentration im Jahr 1997 auf die Verdünnung und Auswaschung aufgrund der starken Niederschläge – und der hohen Grundwasserneubildungsrate – des Jahres 1996 zurückzuführen, die extrem hohen Werte der Jahre 2004 bis 2006 sind eine Folge der Trockenjahre 2001 bis 2003 – die Bewirtschaftungsart und –intensität wurde im Modell ja gegenüber den Vorjahren nicht verändert.

Aufgrund der unterschiedlichen Bodenformen, die sich im Untersuchungsgebiet finden, war es von Interesse, die Nitrataustragskonzentration im Sickerwasser an der Grundwasseroberfläche flächengewichtet für die einzelnen Bodenformen auszuwerten. Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Jahresmittelwerte und langjähriger Mittelwert der Nitratkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche flächengewichtet für die untersuchten Bodenformen (L??)

	L01	L02	L03	L04	L09	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L21
1993	63	74	99	99	80	51	202	125	140	136	98	76
1994	91	56	91	135	75	111	71	90	91	126	66	94
1995	80	152	89	115	119	141	201	84	83	171	181	92
1996	54	75	67	90	59	49	71	90	77	88	87	91
1997	53	87	45	39	38	26	26	94	73	23	28	90
1998	147	160	101	53	58	94	71	79	87	52	57	76
1999	103	110	84	109	113	103	187	110	107	163	115	65
2000	82	86	78	67	48	59	75	108	74	83	63	96
2001	331	134	153	62	48	55	58	148	72	74	64	96
2002	181	174	162	84	50	73	57	90	84	65	141	80
2003	74	158	153	67	82	61	135	206	64	57	54	74
2004	305	161	199	100	153	127	258	218	120	117	125	59
2005	227	142	164	138	154	182	210	173	120	148	235	59
2006	58	245	110	109	112	99	111	111	76	126	64	61
MW	132	130	114	91	85	88	124	123	91	102	98	79

Wie zu erwarten ist die Nitratkonzentration des Sickerwassers unter der Bodenform L21, der Hauptbodenform auf der Wagendorfer Terrasse am niedrigsten. Ein langjähriger Mittelwert von 79 mg/l unter den aktuell herrschenden Bewirtschaftungsbedingungen zeigt aber, dass auch unter Vernachlässigung der Verweilzeit des Wassers mit hohen Belastungen aus der Vergangenheit, auch in diesem Bereich noch intensive Maßnahmen zur Erreichung einer grundwasserverträglichen ackerbaulichen Bewirtschaftung erforderlich sein werden. Unter den Bodenformen der Niederterrasse und der Austufe liegen die mittleren langjährigen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zwischen etwa 90 und 130 mg/l – Werte die nur unter Berücksichtigung von Verdünnungseffekten eine Grundwassernutzung zur Trinkwassergewinnung möglich machen. Es ist klar ersichtlich, dass keine der im Untersuchungsgebiet gelegenen Bodenformen aktuell grundwasserverträglich bewirtschaftet wird.

5 Szenariosimulationen von Bewirtschaftungsintensitäten zur Erreichung einer nachhaltigen Grundwassersanierung für Nitrat

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. be-

trächtlichen 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 (z.B. LANTHALER et al., 2007).

Die Nitratkonzentration im Grundwasser von Grundwasserleitern mit gering mächtiger Überdeckung durch mehr oder weniger gut durchlässige Schichten ist in erster Linie eine Folge der Art und Intensität der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Stickstoff aus der Düngung wird über infiltrierende Niederschläge über das Sickerwasser aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser eingetragen. Die Nitratkonzentration im Grundwasser ist 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 Stickstoffdüngung ist gerade bei rasch reagierenden, gut durchlässigen und seichtgründigen Böden die dauernde Einhaltung des Trinkwassergrenzwertes für Nitrat im Sickerwasser (50 mg/l) unterhalb der Wurzelzone nicht möglich. Jedoch können Bewirtschaftungsformen, in denen die Nitratbelastung des Sickerwassers unterhalb der Wurzelzone im mehrjährigen Mittel bei weniger als 50 mg/l liegt jedenfalls als grundwasserverträglich eingestuft werden, da hierbei die gesetzlichen Grenzwerte der Nitratkonzentration im Grundwasser auch dann eingehalten werden können, wenn im gesamten Wassereinzugsgebiet ackerbauliche Bewirtschaftung gegeben ist. Eine eventuelle Verdünnung durch Zustrom von infiltrierendem Oberflächenwasser oder durch Grundwasserneubildung unter Wald- bzw. Siedlungsgebieten führt jedenfalls zu einer noch weiter führenden Reduktion der Nitratkonzentration im Sickerwasser. Umgekehrt kann die Landwirtschaft eines untersuchten Bereiches bei Einhaltung dieser Rahmenbedingungen keinesfalls für erhöhte Nitratwerte im Grundwasser verantwortlich gemacht werden, die aus dem Zustrom aus sonstigen Quellen stammen.

Am Versuchsfeld Wagner werden seit 1987 auf einem für das Murtal zwischen Graz und Radkersburg repräsentativen Standort Untersuchungen über die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten auf die Grundwasserqualitätssituation untersucht. Die Ergebnisse der Auswertungen der Modellrechnungen zu Körnermaisbau und dessen Auswirkung auf die Sickerwasser- und Grundwasserqualität sind umfassend dokumentiert in FANK et al. (2006), LANTHALER et al. (2006) und BERNSTEINER et al. (2007). Der be-

grenzende Faktor für die Ertragsentwicklung ist v.a. in Jahren mit geringem Wasserangebot in der Hauptwachstumsperiode die verfügbare Wassermenge und nicht das Stickstoffangebot. Die der Berechnung zugrunde liegenden Düngemengen entsprechen den Düngeempfehlungen nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW 2006). Dabei ist aufgrund der Untersuchungsergebnisse am Versuchsfeld die Ertragslage für Körnermais als Mittel (6 bis 10 t/ha) anzuschätzen. Die Empfehlungsgrundlage für die Stickstoff-Düngerbemessung von 120 bis 140 kg/ha/a deckt sich beim Lysimeterstandort am Versuchsfeld Wagna auch mit den gemessenen Entzugszahlen des Jahres 2006: In den Maiskörnern wurde bei einem Ertrag von etwa 9000 kg/ha eine Stickstoffmenge von 137 kg/ha gemessen (FANK, 2007 c). Wesentlich sind auf den seichtgründigen hoch nitrataustragsgefährdeten Böden jedoch die unbedingte Einhaltung der standörtlich bestimmten Stickstoffobergrenzen und deren effiziente Kontrolle. Der zu erwartende Maisertrag am Standort des Versuchsfeldes Wagna steigt bei einer Erhöhung der Stickstoffdünger-Jahresgabe von 145 kg/ha auf 175 kg/ha um weniger als 500 kg an. Gleichzeitig ist aber im Mittel des Versuchsfeldes mit einem Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser von 42 mg/l auf 81 mg/l zu rechnen (FANK 2007 a; FANK 2007 b). Klar ersichtlich ist auch, dass unter gegebenen Witterungsbedingungen bei Maisanbau jeder Boden eine maximale grundwasserverträgliche Jahres-Stickstoffdüngermenge verträgt: Bei sehr seichtgründigen, leichten Böden überschreitet die mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser den Trinkwassergrenzwert bereits bei 115 kg/ha, bei mittelgründigen Böden wird der Nitrat-Trinkwassergrenzwert erst bei einer Jahres-Stickstoffdüngermenge von 160 kg/ha erreicht.

Die Erkenntnisse aus den Messungen und Modellberechnungen am Versuchsfeld Wagna wurden genutzt, um für den Bereich des südöstlichen Leibnitzer Feldes Fruchtfolgeszenarien zu definieren, um mit Hilfe des Modells STOTRASIM die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftung auf die Grundwasserqualitätssituation abschätzen zu können und Angaben über eine grundwasserverträgliche Bewirtschaftung ableiten zu können. Die Berechnungsszenarien sind in Tabelle 6 zusammenfassend dargestellt. Bei den Varianten KM1 bis KM4 handelt es sich dabei um Maismonokulturvarianten, die Szenarien KM5 bis KM7 stellen maisbetonte Fruchtfolgevarianten (50 %) mit Kürbis und Wintergetreide als weitere Feldfrüchte dar.

Tabelle 6: Szenarienliste für die Berechnung des Stickstoffaustrags und der Nitratbelastung des Sickerwassers. Der Güllestickstoff wird als feldfallender Stickstoff (Gesamt N * 0.75) gerechnet.

<u>Düngungsvarianten in einer Körnermaismonokultur (KM = Körnermais):</u>	
* KM1 in der Monokultur: N- Düngung nach der Empfehlung der landwirtschaftlichen Umweltberatung 50 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat 57 kg N/ha mineralisch zur Hacke Ende Mai/Anfang Juni	107 kg N/ha

* KM2 in der Monokultur: N- Düngung nach der Sollwertmethode 0-50 kg N/ha aus Mineraldünger zum Anbau je nach N _{min} - Gehalt im Boden 35 kg N/ha aus Mineraldünger im Mai 60 kg N/ha aus Mineraldünger Ende Mai/Anfang Juni	145 kg N/ha

* KM3 in der Monokultur: Standardvariante 70 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat 50 kg N/ha mineralisch zum Anbau 55 kg N/ha mineralisch zur Hacke Ende Mai/Anfang Juni	175 kg N/ha

* KM4 in der Monokultur: optimierte Gülleanwendung 50 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat 57 kg N/ha als Schweinegülle in den Bestand Ende Mai Anfang Juni	107 kg N/ha

<u>Fruchtfolgevarianten (KM = Körnermais):</u>	
* KM5 in der Fruchtfolge nach Kürbis mit Untersaat Düngung wie KM4	107 kg N/ha
* KM5 Wintergerste (mit nachfolgender Gründüngung ohne Leguminosen) 50 kg N/ha aus Schweinegülle im Frühjahr 50 kg N/ha mineralische Ergänzung	100 kg N/ha
* KM5 Ölkürbis (mit Untersaat aus englischem Raygras) 40 kg N/ha Gülle vor dem Anbau 20 kg N/ha mineralische Ergänzung	60 kg N/ha

* KM6 in der Fruchtfolge nach Kürbis mit Untersaat 82 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat 93 kg N/ha als Schweinegülle in den Bestand Ende Mai Anfang Juni	175 kg N/ha
* KM6 Wintergerste (mit nachfolgender Gründüngung ohne Leguminosen) 66 kg N/ha aus Schweinegülle im Frühjahr 64 kg N/ha mineralische Ergänzung	130 kg N/ha
* KM6 Ölkürbis (mit Untersaat aus englischem Raygras) 40 kg N/ha Gülle vor dem Anbau 20 kg N/ha mineralische Ergänzung	60 kg N/ha

* KM7 in der Fruchtfolge nach Kürbis mit Untersaat 75 kg N/ha als Schweinegülle vor der Saat 70 kg N/ha als Schweinegülle in den Bestand Ende Mai Anfang Juni	145 kg N/ha
* KM7 Wintergerste (mit nachfolgender Gründüngung ohne Leguminosen) 66 kg N/ha aus Schweinegülle im Frühjahr 64 kg N/ha mineralische Ergänzung	130 kg N/ha
* KM7 Ölkürbis (mit Untersaat aus englischem Raygras) 40 kg N/ha Gülle vor dem Anbau 20 kg N/ha mineralische Ergänzung	60 kg N/ha

Durch GIS-Verschneiden Bodenformen nach der Österreichischen Bodenkartierung mit den Repräsentativgebieten der im Zeitraum 1987 bis 2006 durchgehende beobachteten Grundwasserpegel wurden insgesamt 22 Hydrotupe (Flächen in sich homogener Boden- und Nut-

zungseigenschaften) abgeleitet (Abbildung 19). Auf Basis der Wetterdaten der meteorologischen Station Leibnitz der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik für den Zeitraum 1976 bis 1991 und den Wetterdaten der Station Wagna von 1992 bis 2006 wurden die Modelle SIMWASER und STOTRASIM für die angeführten Hydrotope verwendet, um täglich die ober- und unterirdische Trockenmassebildung, die Grundwasserneubildung und den Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone in Richtung Grundwasser zu berechnen. Da STOTRASIM nur mit einer zeitlich unveränderlichen Bilanzierungsebene ausgestattet ist, wurde eine nachfolgende separate Auswertung zur Ermittlung der Grundwasserneubildung und Stickstofffracht am täglich variierenden Grundwasserspiegel durchgeführt. Dabei wird an jedem Tag innerhalb der Simulationsperiode der Saugspannungsgradient am Grundwasserspiegel sowie anhand der ku -Kurve der Sand-/Kiesschicht des jeweiligen Hydrotops die zugehörige ungesättigte Durchlässigkeit ermittelt und dann nach der Formel von DARCY die Grundwasserneubildungsrate berechnet. Die Stickstoffaustragsfracht ergibt sich dann aus der Multiplikation der Grundwasserneubildungsrate mit dem Stickstoffanteil der Nitratkonzentration. In dieser Ermittlung der Neubildung und des Stickstoffaustrages kann naturgemäß ein kapillarer Grundwasseraufstieg nicht berücksichtigt werden.

Für die unterschiedlichen Szenariorechnungen wurde die variierende ackerbauliche Nutzung und Düngungshöhe in jedem Szenario für alle Hydrotope einheitlich simuliert, um die Einflüsse unterschiedlicher Vorfruchtkulturen, unterschiedlicher Böden und unterschiedlicher Witterungsverhältnissen auf das Ergebnis zu minimieren. Die Berechnung wurde für den Zeitraum 1976 bis 2006 durchgeführt, die Auswertung der Ergebnisse erfolgte für den Zeitraum 1987 bis 2006 um einen ausreichend langen Zeitraum für die Stabilisierung der Modellrechnung zu gewährleisten. In weiterer Folge wurden die Ergebnisse flächengewichtet zusammengefasst und Jahressummen- bzw. -mittelwerte der einzelnen Parameter ermittelt.

In Tabelle 7 sind die aus der Berechnung resultierenden Jahreswasserbilanzen der Jahre 1987 bis 2006 sowie die mittlere Jahreswasserbilanz für das Untersuchungsgebiet zusammenfassend dargestellt. Einer mittleren Jahressumme des Niederschlags steht eine mittlere potentielle Gras-Referenzverdunstung von 728 mm gegenüber. Aus der klimatischen Wasserbilanz errechnet sich für das südöstliche Leibnitzer Feld eine mittlere jährliche Grundwasserneubildung bei Grünlandnutzung von 183 mm. Die Jahre 2001 und v.a. 2003 weisen eine negative Wasserbilanz auf, in allen übrigen Jahren ist der Niederschlag höher als die potentielle Verdunstung.

Tabelle 7: Jahreswasserbilanzen 1987 bis 2006 und mittlere Jahreswasserbilanz für das Untersuchungsgebiet (ET_0 = potentielle Gras-Referenzverdunstung, NB = Neubildung, WB = klimatische Wasserbilanz, E_{Tr} = reelle Verdunstung) untergliedert nach dem gesamten Untersuchungsgebiet, im Schongebiet nach der Wagendorfer Terrasse, dem Niederterrassenbereich und der Austufe der Mur (Bilanzgrößen in mm)

	Wetter Leibnitz			Gesamtgebiet		Wagendorfer Terrasse		Niederterrasse		Austufe	
	Niederschlag	ET_0	NB (WB)	E_{Tr}	NB	E_{Tr}	NB	E_{Tr}	NB	E_{Tr}	NB
1987	901	713	187	599	302	676	225	604	297	652	249
1988	914	783	131	662	251	724	189	663	251	707	206
1989	823	728	95	651	172	698	125	655	168	673	150
1990	871	764	107	785	86	806	65	787	84	826	45
1991	975	704	271	670	305	749	226	674	301	706	269
1992	906	656	249	524	382	664	242	517	389	549	356
1993	932	782	150	722	210	795	137	721	211	792	140
1994	1085	738	347	624	461	737	348	621	464	657	428
1995	1083	724	358	663	419	756	327	664	418	685	398
1996	1113	672	440	468	644	665	448	461	652	475	637
1997	803	712	90	663	140	689	113	667	136	692	111
1998	1043	678	365	603	440	744	299	599	444	621	422
1999	1097	677	419	643	454	788	308	643	453	653	444
2000	837	762	76	654	184	666	172	655	182	686	152
2001	709	743	-34	574	135	559	150	575	134	587	123
2002	886	758	129	769	118	817	70	769	117	840	47
2003	664	868	-205	544	120	514	150	545	119	553	111
2004	863	710	153	655	208	652	211	666	198	718	145
2005	839	684	155	620	218	663	175	626	212	652	186
2006	883	698	185	602	280	642	241	601	282	629	253
Mittelwert	911	728	183	635	276	700	211	636	276	668	244

Unter Berücksichtigung der Nutzung der Fläche durch eine maisbetonte Fruchtfolge errechnet sich eine mittlere Grundwasserneubildungsrate von 276 mm, die im Bereich der Wagendorfer Terrasse mit 211 mm signifikant niedriger ist als auf der Niederterrasse und der Austufe der Mur. Die Wasserspeicherverhältnisse der Böden der Wagendorfer Terrasse sind deutlich besser, Trockenstress der Kulturpflanzen tritt wesentlich seltener auf. Aber in den Jahren 2001 und 2003 waren die Niederschläge in der Vegetationszeit so gering, dass auch auf der Wagendorfer Terrasse die tatsächliche Verdunstung auf unter 600 mm zurückging. Die Komplexität der Zusammenhänge ist auch darin ersichtlich, dass die Grundwasserneubildung in den Jahren 1990 und 2002 mit Werten < 100 mm an niedrigsten war – allerdings gekoppelt mit einer für die Vegetationsentwicklung sehr günstigen Verteilung und damit verbundenen hohen Verdunstungsraten. Daraus wird klar ersichtlich dass die Jahresniederschlagssumme und auch die Jahresgrundwasserneubildung kein schlüssiger Hinweis auf die Wasserversorgung der Kulturpflanzen darstellt. Die Auswertung der unterschiedlichen

Fruchtfolgen zeigte eine nur geringe Variabilität der Grundwasserneubildung, sodass auf eine detaillierte Anführung hier verzichtet wird.

In Tabelle 8 sind schließlich die berechneten mittleren Nitratkonzentrationswerte des Sickerwassers auf Höhe des Grundwasserspiegels in Abhängigkeit von den Fruchtfolgen und den Hydrotopen im Untersuchungsgebiet zusammengefasst. In den Gebietsmittelwerten wird dabei zwischen dem Gesamtgebiet sowie den im Schongebiet südwestliches Leibnitzer Feld gelegenen Teilbereichen der Wagendorfer Terrasse, der Niederterrasse und der Austufe der Mur unterschieden.

Tabelle 8: Mittlere Nitratkonzentration [mg/l] des Sickerwassers in Abhängigkeit von den Fruchtfolgen und den Hydrotopen im Untersuchungsgebiet gegliedert nach dem Gesamtgebiet und im Schongebiet nach Wagendorfer Terrasse, Niederterrassenbereich und Austufe der Mur.

Boden / FF	KM1	KM2	KM3	KM4	KM5	KM6	KM7
L01-3829	64	73	133	58	116	140	131
L02-3819	63	78	133	54	114	140	130
L03-38456	26	27	78	24	57	75	67
L04-38251	51	63	115	46	106	129	121
L09-38415	8	8	14	8	9	10	10
L09-3839	8	8	12	8	9	10	9
L14-38412	17	19	56	15	45	58	53
L15-38456	76	88	146	69	129	154	145
L15-3835	75	86	145	68	130	152	144
L15-38311	76	87	147	69	128	151	143
L16-38456	96	110	168	86	141	164	156
L16-38416	97	111	169	86	139	163	154
L16-38412	96	110	168	86	139	162	153
L16-38311	96	109	168	85	139	162	154
L17-38311	56	66	123	52	101	122	115
L17-38456	56	66	123	52	100	122	114
L18-38412	68	82	139	61	119	142	133
L18-3819	68	81	136	60	117	139	131
L19-38315	56	67	118	51	99	120	112
L19-38311	56	66	119	51	97	117	110
L21-38412	20	25	65	18	68	86	80
L21-38352	18	23	58	18	45	58	54
MW Gesamtgebiet	50	59	106	46	89	108	101
Schongebiet:							
Wagendorfer Terrasse	18	22	56	17	47	60	56
Niederterrasse	73	83	139	65	121	143	135
Austufe	49	58	105	43	95	116	108

Die Ergebnisse der Auswertungen zeigen, dass im Mittel über das gesamte Untersuchungsgebiet nur die Fruchtfolgen KM1 und KM 4 als grundwasserverträglich eingestuft werden können. Die am höchsten Stickstoff-austragsgefährdeten Böden sind die Bodenformen L15

und L16, an denen auch eine Maismonokultur mit weniger als 110 kg Stickstoffgabe im Jahr zu Nitratwerten im Sickerwasser von >50 mg/l führt. Wie zu erwarten sind die Nitratwerte im Sickerwasser unter den Böden der Wagendorfer Terrasse deutlich niedriger – auf diesen Standorten sind auch die Varianten KM2 und KM5 als grundwasserverträglich einzustufen.

Die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Sickerwasser für die unterschiedlichen Fruchtfolgeszenarien sind für das gesamte Untersuchungsgebiet zusammen mit den langjährigen Mittelwerten in Abbildung 25 dargestellt. Dabei zeigt sich, einerseits das unterschiedliche Verhalten der Nitratkonzentrationswerte bei den Maismonokulturvarianten im Vergleich zu den Varianten mit mehreren Fruchtfolgegliedern, andererseits die zunehmende Sensibilität auf außergewöhnliche Witterungsbedingungen bei zunehmendem Stickstoffeinsatz.

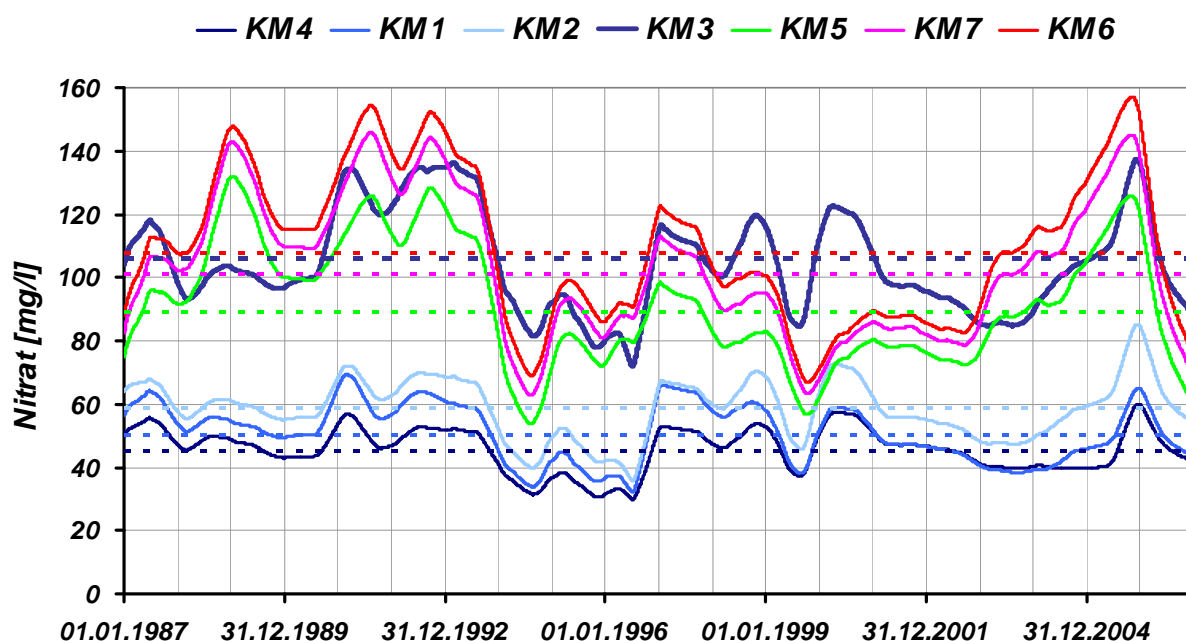


Abbildung 25: zeitlicher Verlauf der mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser für das Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Fruchtfolgeszenarien.

Eine Fruchtfolge mit 2 mal Mais, Kürbis und Wintergetreide zeigt hier, wie auch schon bei den Auswertungen der Messungen und der Berechnungsergebnisse am Versuchsfeld Wagna (FANK, 2008) deutlich schlechtere Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität. Die Ursachen dafür sind trotz einer Vielzahl von Simulationsrechnungen mit Hilfe des Bodenwasserhaushaltsmodells STOTRASIM noch nicht endgültig klar. Am wahrscheinlichsten scheinen jedoch die in der Fruchtfolge erforderlichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu Zeiten hoher Mineralisierungsraten von Stickstoff im Boden gefolgt von Phasen mit keiner oder geringer Pflanzenbedeckung zu sein. Da die Anlage von Fruchtfolgen mit den getesteten Fruchtfolgegliedern im Bereich des Murtal-Grundwasserleiters als zentrales Element ei-

ner grundwasserschonenden ackerbaulichen Bewirtschaftung in viele Richtlinien und Verordnungen Eingang gefunden hat, ist hier höchster Forschungs- und Untersuchungsbedarf gegeben. Die am Versuchsfeld Wagner aufgenommenen Daten und die vorliegenden Modelle der ungesättigten Zone in Koppelung mit dem Grundwassertransportmodell stellen für derartige Szenariorechnungen eine ausgezeichnete Grundlage dar.

In Abbildung 26 ist die Abhängigkeit der berechneten oberirdischen Trockenmassebildung und der Nitratkonzentration im Sickerwasser an der Grundwasseroberfläche in Relation zur Jahresstickstoffgabe für die unterschiedlichen Teilbereiche dargestellt.

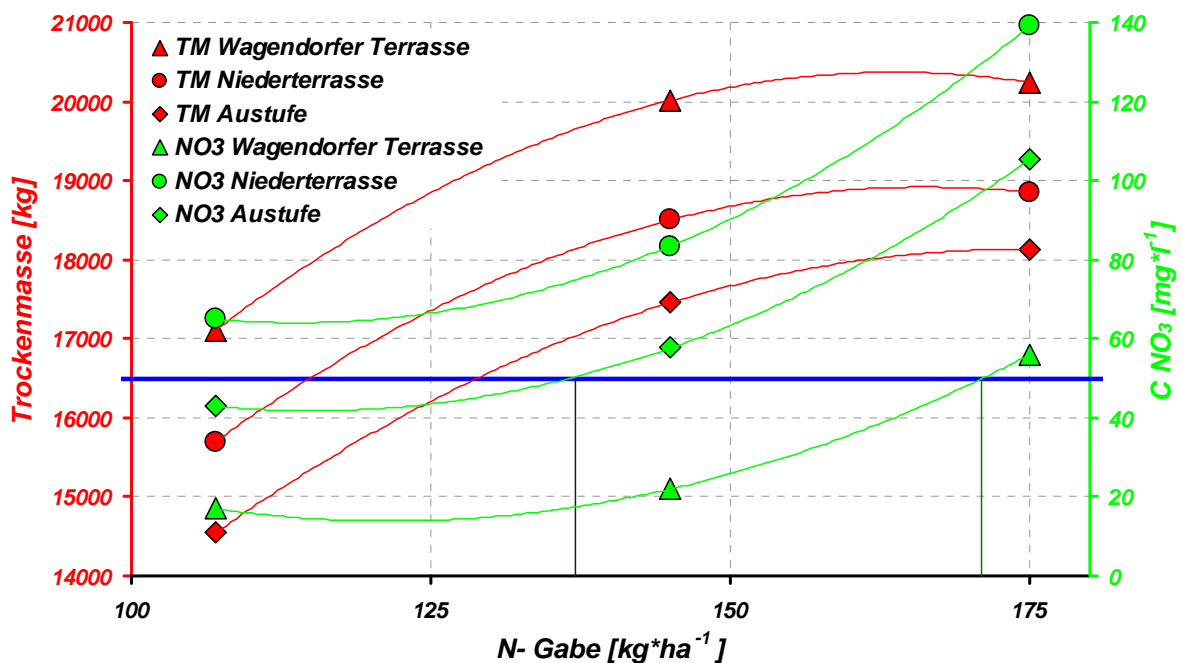


Abbildung 26: Relation zwischen der Stickstoffzufuhr bei den Mais-Monokulturszenarien, der mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser sowie der oberirdischen Trockenmassebildung als Maßzahl für die Ertragssituation gegliedert nach Wagendorfer Terrasse, Niederterrassenbereich und Austufe der Mur.

Klar ersichtlich ist, dass unter gegebenen Witterungsbedingungen bei Maisanbau bei niederm Düngungsniveau die Ertragssituation (ausgewiesen als berechnete oberirdische Trockenmasse) auf eine Erhöhung der Jahresstickstoffgabe deutlich ansteigt. Bei weiterer Erhöhung der Stickstoffmenge nimmt dagegen die Trockenmassebildung nur noch geringfügig zu, demgegenüber steigt die Nitratkonzentration im Sickerwasser deutlich an. Auf den Böden der Niederterrasse ist aufgrund der hohen Nitrataustragsgefährdung der dominanten Bodenformen L15 und L16 auch bei Einhaltung von sehr geringen Stickstoffgaben die Erreichung von 50 mg/l Nitrat im Sickerwasser auch im langjährigen Mittel nicht möglich. Auf den Böden der Austufe des Murtales wird der Trinkwassergrenzwert für Nitrat bei einer Jahresstickstoffgabe von etwa 140 kg N/ha*a überschritten. Die besser speichernden Böden auf der Wa-

gendorfer Terrasse überschreiten diesen Grenzwert erst bei einer Jahresstickstoffgabe von etwa 170 kg N/ha*a.

6 Zusammenfassung

Die Projektziele der abschließenden Arbeiten zum Projekt „*WASSERBEWEGUNG UND STICKSTOFFTRANSPORT IN DER UNGESÄTTIGTEN UND GESÄTTIGTEN ZONE DER HELFBRUNNER UND DER WAGENDORFER TERRASSE ZUR IDENTIFIKATION DER POTENTIELLEN GRUNDWASSERGEFÄHRDUNG VON WASSERVERSORGUNGSANLAGEN IN DEN QUARTÄREN SCHOTTERN DES UNTEREN MURTALES*“, die in zwei Teilprojekte gegliedert wurden, liegen in der Kalibrierung von numerischen Modellen des Wasser- und Stickstofftransportes des Untersuchungsgebietes und die Simulation unterschiedlicher Varianten mit dem Ziel der Ableitung von Maßnahmen zur nachhaltigen Verminderung der Grundwasserbelastung. Im gegenständlichen Projektteil wird die Wasserbewegung und der Stickstofftransport in der ungesättigten Zone beleuchtet und auch die dazu in Relation stehende qualitative Grundwassersituation diskutiert.

Die numerische Modellierung des Stickstoffaustrages aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsbereich der Wasserversorgungsanlagen Vogau in Abhängigkeit von Wetter, Boden und Bewirtschaftung zeigte, dass die Nitratbelastung des Grundwassers im Bereich der Wagendorfer Terrasse von aktuell noch ~ 100 mg/l das Ergebnis einer langfristig sehr intensiven ackerbaulichen Bewirtschaftung ist. Um die an Schürfen gemessenen Stickstoffvorräte im Boden nachbilden zu können, mussten in den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts Jahresstickstoffdüngermengen von annähernd 300 bis 400 kg N/ha*a angesetzt werden. Die Modellrechnungen zeigen, dass hier bei an den Pflanzenbedarf angepassten N-Importen ein deutliches Reduktionspotential für die Grundwasserbelastung gegeben ist. Wesentlich ist aber gerade im Bereich der Wagendorfer Terrasse die zeitliche Komponente, da aufgrund der hohen Verweilzeiten in der ungesättigten Zone mit einer Verzögerung der Reaktion der Nitratwerte im Grundwasser auf Maßnahmen seitens der Landwirtschaft von 10 bis 20 Jahren gerechnet werden muß.

Die aktuelle Nitratbelastung des Grundwassers im südöstlichen Leibnitzer Feld weist im überwiegenden Teil Trinkwassergrenzwertüberschreitungen auf. So liegen im gesamten Bereich der Wagendorfer Terrasse und im überwiegenden Teil der Niederterrasse die Nitratkonzentrationen an den Grundwassermessstellen > 60 mg/l. Aus den Auswertungen der Grundwasser-Nitratkonzentrationen im südöstlichen Leibnitzer Feld ist unter Berücksichti-

gung der Grundwasserströmungsverhältnisse erkennbar, dass das Einzugsgebiet der Brunnen Ehrenhausen zwar hauptsächlich im Bereich der Austufe der Mur zu liegen kommt, allerdings trägt das Grundwasser der Niederterrasse in Abhängigkeit von den Wasserspiegellagen der Mur, den Grundwasserspiegellagen der Niederterrasse und auch der Nachlieferung von Grundwasser aus dem Bereich der Wagendorfer Terrasse in größerem oder geringerem Umfang zur Nitratbelastung in den Brunnen bei. Der Beitrag der Wagendorfer Terrasse ist dabei eher auf den westlichsten Teil beschränkt. Der zentrale und östliche Bereich der Wagendorfer Terrasse entwässert östlich des Einzugsgebietes der Brunnen Ehrenhausen in das Grundwasser der Niederterrasse des Murtales.

Im Bereich südlich von Gabersdorf trifft eine intensive ackerbauliche Bodennutzung mit stark austragsgefährdeten Bodenformen zusammen. Diese Kombination bewirkt erhebliche und rasche Reaktionen der Nitratwerte im Grundwasser auf besondere Witterungsbedingungen, wie auch in Abbildung 27 dargestellt ist.

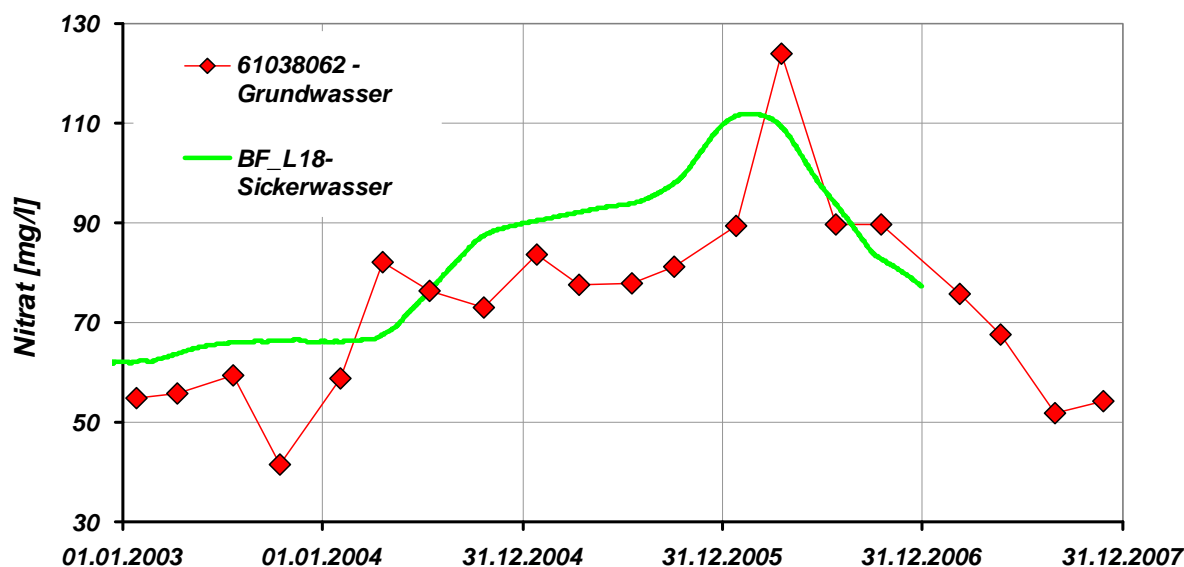


Abbildung 27: Vergleich der zeitlichen Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser (WGEV-Messstelle 61038062) mit der berechneten Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Bodenform L18.

Eine Simulation der Nitratkonzentration im Sickerwasser nahe der Grundwasseroberfläche bei Dauernutzung der Bodenform L18 durch Maismonokultur mit 145 kg N/ha*a Stickstoffdüngergabe zeigt eine verblüffende Übereinstimmung mit gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser der WGEV-Messstelle 61038062 sowohl in der Höhe der Belastung als auch in ihrem zeitlichen Verlauf. Da in dieser Simulation die Kulturführung und die Bodenverhältnisse konstant angenommen worden waren, muss diese Reaktion auf die besonderen Witterungsverhältnisse in den Jahren 2001 bis 2003 zurückgeführt werden.

Mit Hilfe des kalibrierten Stickstofftransportmodells wurde eine aktuelle Bewirtschaftungssituation hinsichtlich der Fruchtfolgen und auch des Einsatzes von Düngemitteln über einen langen Zeitraum verrechnet um Aussagen über die langfristig zu erwartende Grundwasserbelastung bei Beibehaltung der aktuellen Bewirtschaftungsintensität zu erhalten. Die Bewirtschaftungsdaten wurden dazu auf Katastralgemeindeebene aus der INVEKOS Datenbank ausgewertet, der Düngemiteleinsetzung sowie Art und Termine der Bodenbearbeitung wurden seitens der landwirtschaftlichen Umweltberatung als Typuskennzahlen für den Bereich Leibnitz – Radkersburg zur Verfügung gestellt. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die aktuelle im Untersuchungsgebiet übliche ackerbauliche Bewirtschaftung außerhalb von Schongebieten keinesfalls grundwasserverträglich ist. Inwieweit sich die Bewirtschaftungsweisen in den Schongebieten tatsächlich unterscheiden, ist nicht festschreibbar, weil auch nur sehr schwer kontrollierbar. Die Nitratkonzentration des Sickerwassers ist unter der Bodenform L21, der Hauptbodenform auf der Wagendorfer Terrasse am niedrigsten. Ein langjähriger Mittelwert von 79 mg/l unter den aktuell herrschenden Bewirtschaftungsbedingungen zeigt aber, dass auch unter Vernachlässigung der Verweilzeit des Wassers mit hohen Belastungen aus der Vergangenheit, auch in diesem Bereich noch intensive Maßnahmen zur Erreichung einer grundwasserverträglichen ackerbaulichen Bewirtschaftung erforderlich sein werden. Unter den Bodenformen der Niederterrasse und der Austufe liegen die mittleren langjährigen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zwischen etwa 90 und 130 mg/l – Werte die nur unter Berücksichtigung von Verdünnungseffekten eine Grundwassernutzung zur Trinkwassergewinnung möglich machen. Es ist klar ersichtlich, dass keine der im Untersuchungsgebiet gelegenen Bodenformen aktuell grundwasserverträglich bewirtschaftet wird.

Die Erkenntnisse aus den Messungen und Modellberechnungen am Versuchsfeld Wagna wurden genutzt, um für den Bereich des südöstlichen Leibnitzer Feldes Fruchtfolgeszenarien zu definieren, um mit Hilfe des Modells STOTRASIM die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftung auf die Grundwasserqualitätssituation abschätzen zu können und Angaben über eine grundwasserverträgliche Bewirtschaftung ableiten zu können. Bei den Varianten KM1 bis KM4 handelt es sich dabei um Maismonokulturvarianten, die Szenarien KM5 bis KM7 stellen maisbetonte Fruchtfolgevarianten (50 %) mit Kürbis und Wintergetreide als weitere Feldfrüchte dar. Unter Berücksichtigung der Nutzung der Fläche durch eine maisbetonte Fruchtfolge errechnet sich eine mittlere Grundwasserneubildungsrate von 276 mm, die im Bereich der Wagendorfer Terrasse mit 211 mm signifikant niedriger ist als auf der Niederterrasse und der Austufe der Mur. Die Wasserspeicherverhältnisse der Böden der Wagendorfer Terrasse sind deutlich besser, Trockenstress der Kulturpflanzen tritt wesentlich seltener auf. Die Ergebnisse der Auswertungen hinsichtlich der Nitratkonzentration im Sickerwasser zei-

gen, dass im Mittel über das gesamte Untersuchungsgebiet nur die Fruchtfolgen KM1 und KM 4 (mit Jahresstickstoffgaben von 110 kg N/ha*a) als grundwasserverträglich eingestuft werden können. Die am höchsten Stickstoff-austragsgefährdeten Böden sind die Bodenformen L15 und L16, an denen auch eine Maismonokultur mit weniger als 110 kg Stickstoffgabe im Jahr zu Nitratwerten im Sickerwasser von >50 mg/l führt. Wie zu erwarten sind die Nitratwerte im Sickerwasser unter den Böden der Wagendorfer Terrasse deutlich niedriger – auf diesen Standorten sind auch die Varianten KM2 (145 kg N/ha*a) und KM5 als grundwasserverträglich einzustufen.

Eine Fruchtfolge mit 2 mal Mais, Kürbis und Wintergetreide zeigt hier, wie auch schon bei den Auswertungen der Messungen und der Berechnungsergebnisse am Versuchsfeld Wagner deutlich schlechtere Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität. Die Ursachen dafür sind trotz einer Vielzahl von Simulationsrechnungen mit Hilfe des Bodenwasserhaushaltsmodells STOTRASIM noch nicht endgültig klar. Am wahrscheinlichsten scheinen jedoch die in der Fruchtfolge erforderlichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu Zeiten hoher Mineralisierungsraten von Stickstoff im Boden gefolgt von Phasen mit keiner oder geringer Pflanzenbedeckung zu sein. Da die Anlage von Fruchtfolgen mit den getesteten Fruchtfolgegliedern im Bereich des Murtal-Grundwasserleiters als zentrales Element einer grundwasserschonenden ackerbaulichen Bewirtschaftung in viele Richtlinien und Verordnungen Eingang gefunden hat, ist hier höchster Forschungs- und Untersuchungsbedarf gegeben.

Klar ersichtlich ist, dass unter gegebenen Witterungsbedingungen bei Maisanbau bei niedrigerem Düngungsniveau die Ertragssituation (ausgewiesen als berechnete oberirdische Trockenmasse) auf eine Erhöhung der Jahresstickstoffgabe deutlich ansteigt. Bei weiterer Erhöhung der Stickstoffmenge nimmt dagegen die Trockenmassebildung nur noch geringfügig zu, demgegenüber steigt die Nitratkonzentration im Sickerwasser deutlich an. Auf den Böden der Niederterrasse ist aufgrund der hohen Nitrataustragsgefährdung der dominanten Bodenformen L15 und L16 auch bei Einhaltung von sehr geringen Stickstoffgaben die Erreichung von 50 mg/l Nitrat im Sickerwasser auch im langjährigen Mittel nicht möglich. Aufgrund der hohen Sensibilität dieser Böden sollte in diesem Bereich eine Felderkundung und Laboruntersuchung der Bodenhorizonte durchgeführt werden um die Modellberechnungsergebnisse verifizieren zu können. Auf den Böden der Austufe des Murtales wird der Trinkwassergrenzwert für Nitrat bei einer Jahresstickstoffgabe von etwa 140 kg N/ha*a überschritten. Die besser speichernden Böden auf der Wagendorfer Terrasse überschreiten diesen Grenzwert erst bei einer Jahresstickstoffgabe von etwa 170 kg N/ha*a.

Alle Aussagen in diesem Bericht hinsichtlich der Grundwasserverträglichkeit von ackerbaulichen Bewirtschaftungsformen im gegenständlichen Untersuchungsgebiet beziehen sich auf die Auswertung von Modellberechnungsergebnissen der ungesättigten Zone. Als grundwasserverträglich wird dabei eine Nutzung eingestuft, wenn die berechnete Nitratkonzentration im Sickerwasser im langjährigen Mittel den Trinkwassergrenzwert nicht übersteigt. Diese Ergebnisse haben somit nur bedingte Aussagekraft hinsichtlich der Nutzungsmöglichkeit des Grundwassers für die Trinkwassergewinnung, da die Nitratkonzentration im Grundwasser nicht alleine aus der Versickerung aus ackerbaulich genutzten Flächen herrührt, sondern die Grundwasserneubildung aus Wald- und Siedlungsflächen ebenso zu einer Verdünnung führt, wie die Anreicherung des Grundwassers durch infiltrierende Oberflächengewässer, wie am Beispiel der Nitratwerte an den Brunnen Ehrenhausen klar ersichtlich wird. Weiterführende Aussagen über die Auswirkungen geänderter ackerbaulicher Bewirtschaftungsformen auf die Grundwassersituation selbst werden erst nach Kopplung der hier vorgestellten Ergebnisse mit dem instationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodell möglich sein. Das Grundwasserströmungsmodell zur Beschreibung der Interaktion des Grundwassers im südöstlichen Leibnitzer Feld mit den Oberflächengewässern (Mur, Ledererbach etc.) sowie mit dem Grundwasser der Wagendorfer Terrasse ist aktuell in Bearbeitung und wird mit Juni 2008 abgeschlossen sein.

Graz, 30.4.2008

Univ. Doz. Dr. Johann Fank
(Projektleiter)

7 Literatur und Unterlagen

- BERNSTEINER, A. M. CASPER, A. DALLA-VIA, J. FANK, G. FASTL, F. FEICHTINGER, A. GOBIET, A. HEUER, M. HÖFFERER, K. ISERMANN, R. ISERMANN, H. KÖSTENBAUER, H. KUPFERSBERGER, CH. LANTHALER, J. MAßWOHL, F. PRETTENTHALER, J. ROBIER, G. ROCK, H. TRUHETZ, & TH. ÜBLEIS (2007): Grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen über seichtliegenden gering mächtigen Grundwasserleitern.– In: Fank, J. & Ch. Lanthaler (Hrsg., 2007): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen.– Beiträge z. Hydrogeologie, **56**, (in Druck), Graz.
- BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft.– 6. Aufl., 80 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- DALLA-VIA, A. & J. FANK (2000): Wasserbewegung und Stofftransport in der ungesättigten Zone der Helfbrunner und Wagendorfer Terrasse zur Identifikation der Potentiellen Grundwassergefährdung von Wasserversorgungsanlagen in den Quartären Schottern des unteren Murtales (StA 105/99). – Unveröffentlichter Bericht, JOANNEUM RESEARCH - Institut für Hydrologie und Geothermie, 74 S., Graz.
- FANK, J., G. FASTL, H. KUPFERSBERGER, 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, Irtding-Gumpenstein.
- FANK, J. (2007 a): Die Nitratproblematik im Murtal von Graz bis Radkersburg aus hydrologischer Sicht. Wasserland Steiermark 01/2007, 14 – 17, Graz
- FANK, J. (2007 b): Nitrat im Grundwasser – der falsche Ort. Der fortschrittliche Landwirt – Fachzeitschrift für die bäuerliche Familie, 16, 64-65, Graz.
- FANK, J. (2007 c): Gemessene Erträge und Stoffentzüge an den Lysimetern in Wagna. Proceedings of the international conference on „Diffuse Inputs into the Groundwater: Monitoring – Modelling – Management, 29th – 31st January 2007, 273-274, Graz
- FANK, J. (2008): Die Auswirkung der Anwendung der „sachgerechten Düngung“ am Versuchsfeld Wagna auf die Sicker- und Grundwasserqualität. Bericht zum Umweltökologischen Symposium am 04. und 05. 03. 2008 in Raumberg – Gumpenstein, 29-34.
- FEICHTINGER, F. (1998): STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, 14-41.
- FEICHTINGER, F., A. SCHEIDL, J. DORNER (2005): "ÖPUL 2000 – Begrünungsvarianten (Pkt. 2.22)", "Evaluierung der wasserwirtschaftlichen Relevanz (Effizienz) einer Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter". Unveröff. Bericht Bundesamt für Wasserwirtschaft – Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 155 S., Petzenkirchen.
- FEICHTINGER, F., J. FANK & J. FÜRST (2008): WP 1.1.1: Prognosemodell Murtal-Aquifer.– In: KOMPETENZNETZWERK WASSERRESSOURCEN GMBH (Hrsg., 2008): Tagungsband zur

Internationalen Fachtagung „Wasserressourcen und deren Bewirtschaftung – Die Bedeutung von Netzwerken“, 22. bis 23. April 2008, Graz, 23–32, Graz.

IKT (2000): Bericht „Bodenphysikalische Parameterisierung der Materialien auf der Helfbrunner Terrasse“. Unveröffentlichter Bericht, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Zl. 562-373/13/00 Tö, 12. Juli 2000, Petzenkirchen.

KUPFERSBERGER, H. & A. DALLA-VIA (2007): Nitratverteilung im Murtal (Graz bis Radkersburg) 2005/2006. Unveröffentlichter Bericht, JOANNEUM RESEARCH – Institut für WasserressourcenManagement – Hydrogeologie und Geophysik, Graz.

LANTHALER, CH., J. FANK, H. KUPFERSBERGER (2007): Erarbeitung grundwasserverträglicher ackerbaulicher Bewirtschaftungsformen auf Basis von Langzeit-Modellierungen. Bericht zur 12. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimetrie im Konnex zu nationalen und internationalen Regelwerken“, 19.-20. April 2007, 121-124 Irdning.

MURER, E. (1998): Die Ableitung der Parameter eines Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelles aus den Ergebnissen der Bodenkartierung. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, 89 – 103

STENITZER, E. (1988): SIMWASER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standorts. – Mitt. der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt Nr. 31, A-3252 Petzenkirchen