

Auftraggeber:
AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG

JOANNEUM RESEARCH
Institut für WasserRessourcenManagement
Hydrogeologie und Geophysik

BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT
Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt

ÖSTERREICHISCHE AGENTUR FÜR
GESUNDHEIT UND
ERNÄHRUNGSSICHERHEIT
Institut für Bodengesundheit und Pflanzenernährung

VERSUCHSREFERAT DER STEIRISCHEN
LANDWIRTSCHAFTSSCHULEN

*Ackerbauliche Maßnahmen für eine
grundwasserverträgliche Landwirtschaft im Murtal
(Graz bis Bad Radkersburg)*

*Univ. Doz. Dr. Johann Fank, Dipl. Ing. Franz Feichtinger,
Dipl. Ing. Dr. Georg Dersch, Dipl. Ing. Dr. Johannes Robier*

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	6
2	Definitionen	9
2.1	Grundwasserschonende Ackerbewirtschaftung.....	9
2.2	Begrünungen, Zwischenfrüchte unterschiedlicher Art	10
2.3	Düngung, Düngerart.....	10
3	Daten und Materialien	12
3.1	Das Projektgebiet	12
3.1.1	Physiogeographische und hydrometeorologische Beschreibung.....	12
3.1.2	Bodenverhältnisse.....	15
3.1.3	Agrarische Nutzung.....	16
3.1.4	Die Grundwasserverhältnisse	19
3.1.5	Bestehende Regelwerke und deren regionale Implikation	25
3.2	Landwirtschaftliche und bodenhydrologische Untersuchungsgebiete	29
3.2.1	Das Versuchsfeld Wagna.....	29
3.2.2	Versuchsgebiet Wagendorfer Terrasse	34
3.3	Statistische Datengrundlagen	35
3.4	Das Modellsystem SIMWASER/STOTRASIM	36
4	Ackerbauliche Bewirtschaftung und Ergebnisse zur Grundwasserqualität	38
4.1	Bodenanalysedaten im Kleinproduktionsgebiet Murtal	38
4.2	Teilnahme an grundwasserrelevanten Umweltmaßnahmen (ÖPUL) im Jahr 2008	40
4.3	Bisherige Detailuntersuchungen und deren Ergebnisse.....	43
4.3.1	Versuchsfeld und Lysimeterstation Wagna.....	43
4.3.2	Modellstudien zum Projektgebiet	53
4.3.3	Zusammenschau: Gnasbachtal, Knet, Feldgemüsebau, Lysimeter Wagna	63
4.3.4	Szenarienanalyse für eine grundwasserverträgliche Landwirtschaft im Murtal..	64
4.4	Faktoren für eine grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftung im regionalen Kontext.....	74
4.4.1	Düngung.....	74
4.4.2	Fruchtfolgegestaltung.....	76
4.4.3	Bodenstickstoff und Stickstoffbilanz.....	83
4.4.4	Güllemanagement.....	85
5	Erforderliche regionale Maßnahmen.....	88
6	Umsetzungs- und Kontrolloptionen.....	91
7	Literatur und Unterlagen	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet (Grundwassergebiete nach der Wasserrahmenrichtlinie [WRRL], Landschaftsgliederung, Geologie)	12
Abbildung 2: Klimadiagramme der Stationen Bad Radkersburg, Leibnitz und Graz-Thalerhof für die Periode 1971 bis 2000 (Daten entnommen aus Wakonigg).....	14
Abbildung 3: Mittlere monatliche klimatische Wasserbilanz (30-jährige Messperiode) der Station Leibnitz	15
Abbildung 4: Schwankungsbreite des Grundwasserstandes an der Messstelle Wagna im Zeitraum 1992 bis 2009. Darstellung der maximalen, mittleren und minimalen Grundwasserspiegellage im Jahreslauf sowie charakteristischer Jahresgrundwasserstandsganglinien	21
Abbildung 5: Mittlere langjährige Grundwasserströmungssituation und mittlere Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg	22
Abbildung 6: Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser an der Messstelle Wagna von 1992 bis 2009	24
Abbildung 7: Mittlere Grundwasserströmungssituation, wesentliche kommunale und regionale Wasserversorgungsanlagen und verordnete Grundwasserschongebiete für das seichtliegende Porengrundwasser der Grundwasserkörper nach der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Murtal von Graz bis Bad Radkersburg	28
Abbildung 8: Schematische Darstellung der in SIMWASER berücksichtigten Wasserflüsse (links) und der in STOTRASIM zum Stickstoffkreislauf berücksichtigten Prozesse (rechts)	36
Abbildung 9: Bodenreaktion der Bodenproben aus dem Murtal (KPG 703).....	38
Abbildung 10: Pflanzenverfügbare Phosphor-Gehalte der Bodenproben aus dem Murtal (KPG 703)	39
Abbildung 11: Pflanzenverfügbare Kalium-Gehalte der Bodenproben aus dem Murtal (KPG 703).....	40
Abbildung 12: Humus-Gehalte der Bodenproben aus dem Murtal (KPG 703).....	40
Abbildung 13: Messung der grünen Trockenmasse (GTM) und der Relation zum Stickstoffgehalt in der Winterbegrünung im Frühjahr 2008 am Versuchsfeld Wagna	45
Abbildung 14: Entwicklung der winterharten Gründecke bis zum 14.04.2009 (kurz vor Einarbeitung) links: Perko – Senf – Sonnenblumengemenge nach Wintergetreide rechts: Raygras als Untersaat bei Kürbis.....	47

Abbildung 15: Entwicklung des Perko – Winterroggen Gemenges als winterharte Gründecke auf Parzelle K2 des Versuchsfeldes Wagna vom 04.10.2007 (links oben) über 08.11.2007 (rechts oben), 03.03.2008 (links unten) bis 10.04.2008 (rechts unten).....	47
Abbildung 16: Ermittlung der mittleren Verlagerungsgeschwindigkeit des Wassers in der ungesättigten Zone aus der Schwerpunktkonzentration der Tracerdurchbruchskurven an Messstellen in unterschiedlichen Tiefen: Vergleich der Ergebnisse zweier Bromid-Tracerversuche unter unterschiedlichen hydrologischen Rahmenbedingungen.	48
Abbildung 17: Gegenüberstellung der akkumulierten Stickstoffeinträge und -austräge für die als Maismonokultur bzw. konventionell bewirtschaftete Seite der Lysimeterstation Wagna für den Zeitraum 1.1.1992-31.7.2009.....	50
Abbildung 18: Gegenüberstellung der akkumulierten Stickstoffeinträge und -austräge für die als Fruchtfolge bzw. biologisch bewirtschaftete Seite der Lysimeterstation Wagna für den Zeitraum 1.1.1992-31.7.2009	51
Abbildung 19: Mittlere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf den beiden Bewirtschaftungsseiten der Lysimeterstation Wagna für unterschiedliche Düngenniveaus und -szenarien und für den Zeitraum 1992-1999.....	54
Abbildung 20: Lage der Bodenschürfe im Bereich der Wagendorfer Terrasse zur Untersuchung der Stickstoffbelastung	56
Abbildung 21: Lage des Untersuchungsraumes, der Wasserversorgungsbrunnen Fluttendorf (F1 und F2) und Donnersdorf (D1 und D2) sowie der im erweiterten Planungsraum neu errichteten Bohrungen 1 bis 4.	57
Abbildung 22: Verortung des Projektgebietes zu „Prognosemodell Murtal-Aquifer“	59
Abbildung 23: Projektgebiet „Feldgemüsebau Grazer Feld“ rot schraffiert; Ausschnitt aus ÖK 1:50000	61
Abbildung 24: Mittlere jährliche Stickstoffversickerung in Relation zur Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche für Untersuchungsergebnissen aus der Projektregion	63
Abbildung 25: Mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser in Relation zur Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche für Untersuchungsergebnissen aus der Projektregion	64
Abbildung 26: Gewichtetes Mittel der berechneten Grundwasserneubildung für die Agrarflächen der Projektregion und den Zeitraum 1.1.1995-31.12.2008 für die 8 bewerteten Szenarien	67

Abbildung 27: Gewichtetes Mittel der berechneten Stickstoffversickerung für die Agrarflächen der Projektregion und den Zeitraum 1.1.1995-31.12.2008 für die 8 bewerteten Szenarien.....	68
Abbildung 28: Gewichtetes Mittel der berechneten Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Agrarflächen der Projektregion und den Zeitraum 1.1.1995-31.12.2008 für die 8 bewerteten Szenarien	68
Abbildung 29: Unter- bzw. Überschreitung des Grenzwertes 50 mg NO ₃ l ⁻¹ im Sickerwasser in der Projektregion auf Basis der Agrarszenarien FF-ZGtot-H, FF-ZGtot-M und FF-ZGtot-N	70
Abbildung 30: Flächenanteile der mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser zu den Agrarszenarien FF-ZGtot-H, FF-ZGtot-M und FF-ZGtot-N.....	71
Abbildung 31: Körnermaisversuch Wagna 2007-2009, Versuchsreferat Steiermark	74
Abbildung 32: Wintergerstendüngungsversuch Wagna, Nitratkurven des Wintergerstenversuches, Wagna	78
Abbildung 33: Wintergerstenversuch Wagna, durchschnittlicher Kornertrag	79
Abbildung 34: Ölkürbisversuch Kalsdorf	80
Abbildung 35: Begrünungsversuch Lebring	82
Abbildung 36: Maisdüngungsversuch Wagna, N _{min} -Kurven auf der Standardfläche Wagna	83
Abbildung 37: Reststickstoff, Standardversuch Wagna	84
Abbildung 38: Reststickstoff, Maisfelder	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Landwirtschaftliche Nutzfläche, Acker- und Grünland 2008 in der Projektregion.....	16
Tabelle 2: Kulturartenverteilung auf Ackerland 1999 und 2008.....	16
Tabelle 3: GVE in der Projektregion und %-Anteil der Tierkategorien in GVE 1999 und 2008	17
Tabelle 4: N-Anfall in kg aus der Tierhaltung	18
Tabelle 5: Flächen und Betriebe nach unterschiedlichem GVE-Bestand im Nordöstlichen Leibnitzer Feld	18

Tabelle 6: Flächen und Betriebe nach unterschiedlichem GVE-Bestand im Südlichen Grazer Feld...	18
Tabelle 7: Flächen und Betriebe nach unterschiedlichem GVE-Bestand im Südöstliches Leibnitzerfeld und Unteres Murtal	19
Tabelle 8: Flächen und Betriebe nach unterschiedlichem GVE-Bestand im Westlichen Leibnitzer Feld	19
Tabelle 9: Versuchplan 1 – 1987 bis 1997.....	30
Tabelle 10: Versuchsplan 2 – 1998 bis 2003.....	30
Tabelle 11: Kleinparzellenversuch Wintergerste Wagna	33
Tabelle 12: Körnermais Wagna.....	34
Tabelle 13: Körnermaisversuch Wagendorf.....	35
Tabelle 14: Teilnahme an ÖPUL-Maßnahmen mit reduzierten N-Obergrenzen 2008	42
Tabelle 15: Teilnahme an ÖPUL-Maßnahmen mit Bedeutung für den Grundwasserschutz 2008	42
Tabelle 16: Teilnahme an ÖPUL-Maßnahmen Begrünung von Ackerflächen und vorbeugenden Gewässerschutz 2008.....	42
Tabelle 17: Begrünte Ackerflächen in ha 2007/08 nach Varianten A (Sommer-/Herbstbegrünung), B abfrostende Herbst-/Winterbegrünung); C (winterharte Herbst-/Winterbegrünung) und D abfrostende Sommer-/Winterbegrünung) sowie Flächen von Winterraps (WR) und Ackerfutter (AF)	43
Tabelle 18: Ertragsergebnisse in kg ha ⁻¹ und Stickstoffentzug über das Erntegut (kg ha ⁻¹) aus den Versuchsvarianten des Versuchsfeldes Wagna 2005 bis 2009.	44
Tabelle 19: Nährstoffgehalte unterschiedlicher Wirtschaftsdüngervarianten	86

1 Einleitung

Das Grundwasser der quartären Lockersedimente des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg (Fläche etwa 300 km²) wird intensiv für die überregionale Versorgung der Bevölkerung mit Wasser in einem Radius von etwa 100 km genutzt (Grazer Stadtwerke, Wasserverband Umland Graz, Leibnitzerfeld Wasserversorgungs-Gesellschaft m.b.H., Leibnitzerfeld Süd Wasserversorgungs-Gesellschaft m.b.H., Wasserverband Grenzland Südost, kommunale Versorgungseinrichtungen und Einzelwasserversorgungen). Inklusiv der künstlichen Grundwasseranreicherung in Graz-Andritz liegen die bewilligten Entnahmemengen aus diesem Aquifer für die überregionalen Versorger bei 1500 l s⁻¹.

Die flächenhaften Stickstoffeinträge unter landwirtschaftlichen Nutzflächen stellen immer noch die wichtigste Quelle der Nitratbelastung des Grundwassers, und damit unserer Trinkwasserreserven dar. Unter Berücksichtigung des Forschungsbedarfs des Landes Steiermark – wasserwirtschaftliche Planung, Gewässeraufsicht, Abt. f. Wissenschaft und Forschung, Landwirtschaft – muss eine fachliche Neukonzeption der Bewertungsgrundlagen für die nächsten Jahre erarbeitet werden, die es erlaubt, auch unter sich ändernden Rahmenbedingungen hinsichtlich der landwirtschaftlichen Betriebsführung einen Einklang zwischen Landwirtschaft – Wasserwirtschaft – Ökologie und Ökonomie zu finden.

Die Nitratkonzentration im Grundwasser von seicht liegenden freien Porengrundwasserleitern ist nach derzeitigem Kenntnisstand 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 und dort über die Grundwasserströmung verteilt. Die teilweise sehr langen Verweilzeiten des Sickerwassers im Boden und in der ungesättigten Zone (mehrere Jahre) lassen einen direkten Rückschluss von den Grundwasserqualitätsdaten auf die agrarische Nutzungsintensität nur bedingt und dann in Ausnahmefällen zu.

Auf Basis vorliegender Versuchsergebnisse und den Ergebnissen von Modellberechnungen wurden in einem interdisziplinären Kooperationsprojekt zwischen JOANNEUM RESEARCH Institut für WasserRessourcenManagement – Hydrogeologie und Geophysik (WRM), dem Bundesamt für Wasserwirtschaft Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (IKT), der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Institut für Bodengesundheit und Pflanzenernährung (AGES) und dem landwirtschaftlichen Versuchswesen der Steiermark (VR), die bisherigen Kenntnisse und der aktuelle Wissensstand zusammengefasst:

- Statistische Datengrundlagen und Versuchsergebnisse ausgewertet,

- Der zeitliche Horizont des Wirksamwerdens von Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft auf die Grundwasserqualität in Abhängigkeit von Boden- und Witterungsverhältnissen definiert
- Modellbasierte Szenarienanalysen für eine grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsweise durchgeführt,
- Ackerbaulicher Maßnahmen zum generellen Schutz des Grundwassers des Murtales im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie und damit des Wasserrechtsgesetzes abgeleitet
- Umsetzungs- und Kontrolloptionen dieser Maßnahmen im Bereich des Murtales näher beleuchtet.

Das Projekt fokussiert klar auf die regionale Skala, d.h. es wird versucht einfache und durch den Landwirt nachvollziehbare Maßnahmen zu definieren, die es erlauben das Grundwasser des Murtal-Grundwasserleiters nachhaltig für die Trinkwasserversorgung nutzen zu können. Besonders schützenswerte Gebiete, wie z.B. die Einzugsgebiete von Wasserversorgungseinrichtungen werden nur insoweit behandelt, als die Zielgröße eine flächenhafte Reduktion der Nitratwerte im Grundwasser unter den Trinkwassergrenzwert von 50 mg l^{-1} ist. Darüber hinaus gehende Maßnahmen zur Verbesserung der Nitratsituation im Grundwasser für Trinkwassereinzugsgebiete werden nicht angesprochen. Damit ist definiert, dass in diesem Projekt auch keine Wertung der aktuell vorgeschriebenen Maßnahmen in den unterschiedlichen Grundwasserschongebieten explizit vorgenommen wird. Implizit werden diese naturgemäß dann zu diskutieren sein, wenn es für die Erreichung des allgemeinen Qualitätsziels erforderlich erscheint.

In diesem Projekt werden aufgrund der dominanten Problematik der Nitratsituation im Grundwasser auch andere Stoffe, die aus der Landwirtschaft stammend die Grundwasserqualität beeinflussen können, nicht explizit behandelt.

Aus den bisherigen Erfahrungen zeigte sich, dass alleine die Definition und Verordnung von Maßnahmen für eine Verminderung des Nitrataustrags aus der ungesättigten Zone ohne Kontrollmaßnahmen eine zu geringe Wirkung in ihrer Umsetzung auf regionaler Skala zeigen. Zudem ist davon auszugehen, dass eine flächenhafte Kontrolle aufgrund des erforderlichen Personal- und Untersuchungsaufwandes de facto nicht möglich ist. Es ist daher zu untersuchen, welche Möglichkeiten der effizienten Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen es unter Berücksichtigung der vorhandenen Werkzeuge gibt und wie diese auf regionaler Skala einsetzbar wären. Die Umsetzung selbst kann naturgemäß nicht im Rahmen dieses Projektes durchgeführt werden. Es ist auch davon auszugehen, dass die Erreichung des Qualitätszieles nur dann möglich ist, wenn alle an einem Strang ziehen. Dazu ist es jedenfalls erforderlich, dass die Notwendigkeit der Verbesserung der Grundwasserqualität auch in den Köpfen der Akteure verankert werden kann. Dies ist nur

denkbar, wenn es gelingt, in der Umsetzungsphase die ökologischen Erfordernisse mit den ökonomischen Notwendigkeiten der Landwirtschaft in Einklang zu bringen. Allerdings darf dabei aber auch die Bedeutung der Trinkwasserversorgung für den nicht-landwirtschaftlichen Anteil der Bevölkerung nicht außer acht gelassen werden.

2 Definitionen

2.1 Grundwasserschonende Ackerbewirtschaftung

Zuallererst ist die Frage „Was ist eine grundwasserschonende Ackerbewirtschaftung?“ zu diskutieren. 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 Stickstoffdüngerezufuhr ist gerade bei rasch reagierenden, gut durchlässigen und seichtgründigen Böden die dauernde Einhaltung des Trinkwassergrenzwertes für Nitrat im Sickerwasser (50 mg l^{-1}) unterhalb der Wurzelzone nicht möglich. Perioden höherer Austragskonzentrationen folgen Zeiträume mit niedrigeren Nitratwerten im Sickerwasser. Aber auch in gut speichernden, tiefgründigen Böden kommt es zu Nitratverlagerung in Richtung Grundwasser. Die Nitratbelastung des Grundwassers aus dem Sickerwasser ist stark von der Höhe der Grundwasserneubildung abhängig, sodass für deren Bewertung jedenfalls Stickstofffrachten, also die Menge des ausgewaschenen Stickstoffs heranzuziehen ist. So führt bei einer Sickerwasserneubildung von 200 mm a^{-1} die Auswaschung von $23 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zu einer mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg l^{-1} , bei einer Sickerwassermenge von 300 mm a^{-1} ist eine Auswaschung von $34 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zulässig, um im Mittel den Trinkwassergrenzwert für Nitrat nicht zu überschreiten.

Bewirtschaftungsformen, in denen die Nitratbelastung des Sickerwassers unterhalb der Wurzelzone im mehrjährigen Mittel kleiner als 50 mg l^{-1} liegt können 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 Grundwasser. 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.

Eine Beurteilung des Stickstoffaustrags aus ackerbaulich genutzten Flächen des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg auf Basis der Nitratkonzentrationsmessungen im Grundwasser selbst ist nicht zulässig, da in nahezu allen Teilbereichen die Nitratkonzentration des Grundwassers einerseits durch die Wechselwirkung mit den Oberflächengewässern (Fließgewässer und Nassbaggerungen), andererseits durch die Sickerwasserbildung unter nicht ackerbaulich genutzten Flächen (Wald, Siedlungen, Verkehrswege etc.) beeinflusst wird. Wird eine derartige Immissionsbewertung des Grundwassers als Richtschnur für die Landwirtschaft gelegt, so sind unter sonst vollkommen gleichen

Rahmenbedingungen aufgrund des Verdünnungseffektes unterschiedliche ackerbauliche Maßnahmen zulässig, ohne dass vorgegebene Grenzwerte überschritten werden. Wesentlich besser zur Bewertung der Auswirkung ackerbaulicher Maßnahmen auf die Grundwasserqualitätssituation geeignet ist eine emissionsseitige, wie sie im Rahmen der Richtlinien für Sachgerechte Düngung (RLSGD) oder auch in den neueren Schongebietsverordnungen des Murtales festgeschrieben ist.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden solche ackerbauliche Maßnahmen als grundwasserverträglich definiert, die es unter Berücksichtigung der gegebenen Standortverhältnisse (Boden, Klima, Kulturfolge) erlauben, die Nitratkonzentration des Sickerwassers oberhalb der Grundwasseroberfläche (und jedenfalls unterhalb des Wurzelraumes) im langfristigen Mittel unter 50 mg l⁻¹ zu halten.

2.2 Begrünungen, Zwischenfrüchte unterschiedlicher Art

Die Begrünung hat im Ackerbau verschiedene Aufgaben: Bodenbedeckung, Unterdrückung der Unkräuter, Humusaufbau, Speicherung der Bodennährstoffe, im Besonderen des Nitrates, in seltenen Fällen wird der Aufwuchs noch als Futter für Tiere oder für eine Biogasanlage (Zwischenfruchtfutterbau) gebraucht. Varianten der Begrünung sind

- Sommerzwischenfrucht nach Getreide und Raps,
- Winterzwischenfrucht nach Mais und Kürbis
- Grasuntersaat im Ölkürbis
- Sommerzwischenfrüchte mit/ohne Leguminosen
- Ansaatvarianten: Untersaat in die Kultur oder Stoppelsaat nach der Ernte

2.3 Düngung, Düngerart

Die Düngung dient zur Zuführung von Nährstoffen für Kulturen, deren optimaler Aufwuchs das Einkommen des Bauern sichert. Die Zufuhr von Nährstoffen (v.a. Stickstoff) zu Begrünungen wird demgemäß hier nicht als Düngung betrachtet. Die Stickstoffdüngung erfolgt durch Mineraldünger und Wirtschaftsdünger. Beim Einsatz von Wirtschaftsdünger sind alle Komponenten der Stickstofflieferung (NO₃, NH₄, mineralisierbarer organischer Stickstoffanteil etc.) in die Düngebemessung einzubeziehen

Der Einsatz von mineralischen N-Düngern ist in Österreich im internationalen Vergleich gering und hat in den letzten 10-15 Jahren einen eindeutig rückläufigen Verlauf. Die pro ha düngungswürdiger Fläche eingesetzten Mengen, berechnet aus den Absatzmengen, liegen nun bei etwa 50 kg N pro Jahr. Es kann angenommen werden, dass in günstigen Ackerbaugebieten, wie z.B. im Murtal, die ausgebrachten Mengen jedenfalls über dem Mittel liegen; konkrete Zahlen werden jedoch nicht erhoben.

Auch die Intensität der Tierhaltung (durchschnittlicher Viehbesatz pro ha LF (landwirtschaftlicher Nutzfläche)) ist in Österreich mit 0.67 vergleichsweise gering. Das INVEKOS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) verzeichnet für das Jahr 2004 112 600 Tierhalter, davon liegen 42 % bei einer Intensität von bis zu einer GVE ha⁻¹, 51 % zwischen 1 und 2 GVE und 7.5 % über 2 GVE ha⁻¹. Rund 1000 Betriebe können mit 2.5-3.0 GVE ha⁻¹ in der Nähe der 170 kg N ha⁻¹-Grenze der Nitratrictlinie liegen, wo sich die Frage eines überbetrieblichen Wirtschaftsdüngermanagements stellt. Nur in 7 Gemeinden lag 2004 eine GVE-Intensität über 2 je ha LF vor. Mit entsprechender Organisation und Kooperationsbereitschaft sollte sich auch für Betriebe mit dem Bestreben zu Intensitätssteigerungen eine umweltkonforme Bewirtschaftung möglich sein. Die Zahlen zeigen österreichweit, dass die Tierbestände leicht rückläufig sind, ausgenommen bei Pferden und Schafen. Die Rinderzahlen sind deutlich zurückgegangen, aber auch in der Schweine- und Geflügelhaltung ist eine leicht rückläufige Entwicklung gegeben; regionale Konzentrationsprozesse sind in Oberösterreich und in der Steiermark zu erkennen.

Eine Maßzahl für eine Gefährdung des Ökosystems durch N ist der N-Überschuss, der sich aus der N-Bilanz eines Landes errechnet. Pro ha LF betrug der N-Überschuss in Österreich nach OECD-Methode im Mittel der Jahre 2001-2003 43.0 kg ha⁻¹, zwischen 2004-2006 war eine Abnahme auf 30.4 kg ha⁻¹ gegeben (Österreichischer Bericht 2008). Anhand der Bilanzergebnisse ist eine zunehmend effiziente N-Anwendung anzunehmen, da sich im letzten Zeitraum auch höhere N-Entzüge einstellten. Es kann weiters angenommen werden, wenn die LF um extensiv genutztes Grünland wie z.B. Almen bereinigt wird, dass die N-Bilanz im Murtal über diesen oben genannten Mitteln liegt.

3 Daten und Materialien

3.1 Das Projektgebiet

Das Projektgebiet liegt im Süden bzw. Südosten der Steiermark und umfasst im Wesentlichen die ebenen Tallandschaften des österreichischen Murtales südlich des Stadtgebietes von Graz bis Bad Radkersburg. Nach der politischen Gliederung der Steiermark werden Teile der Bezirke Graz-Umgebung, Leibnitz und Bad Radkersburg einbezogen.

3.1.1 Physiogeographische und hydrometeorologische Beschreibung

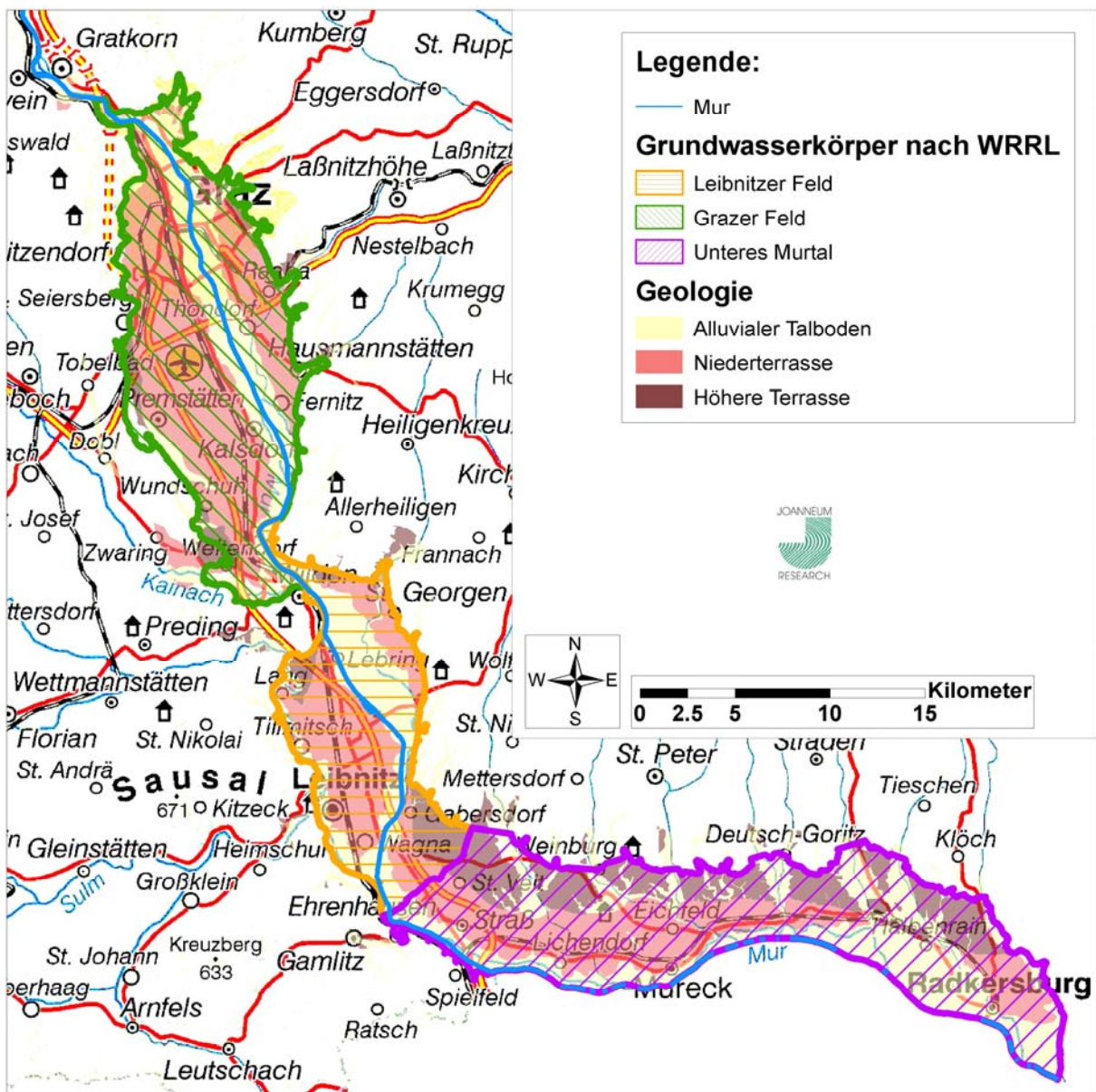


Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet (Grundwassergebiete nach der Wasserrahmenrichtlinie [WRRL], Landschaftsgliederung, Geologie)

Nach der Landschaftsgliederung der Steiermark (Lieb; Abbildung 1) entspricht der Untersuchungsraum den Teillandschaften Grazer Feld, das durch den Wildoner Buchkogel und dem Sukduller Karst vom Leibnitzer Feld getrennt wird und Unteres Murtal. Zusammen bilden die Teillandschaften einen geräumigen Talraum, der aus fluvialen und fluvioglazialen Sedimenten aufgebaut ist. Aus geologischer Sicht umfasst das Projektgebiet in erster Linie den alluvialen Talboden der Mur sowie die Niederterrassenlandschaft. In Randbereichen des Leibnitzer Feldes und im Norden des Unteren Murtales werden zu einem geringen Teil auch höhere pleistozäne Terrassen einbezogen (Abbildung 1).

Aufgrund der ebenen Landschaft bildet das Gebiet einen bedeutenden Siedlungsraum, der schon seit der Frühzeit auch als bedeutender Träger von Verkehrswegen fungiert. Die Böden bieten beste Bedingungen für den Ackerbau, die Sedimente bilden eine hervorragende Basis für die Rohstoffgewinnung und die Mur wird in zunehmendem Umfang für die Energiegewinnung aus Wasserkraft genutzt.

Nach der letzten Eiszeit schüttete die Mur Kiese und Sande auf die unterlagernden jungtertiären grundwasserstauenden Sedimente auf, worauf sich aufgrund der hydrogeologischen Rahmenbedingungen in allen drei Teilbecken ein wasserwirtschaftlich bedeutender Aquifer ausbildete, mit dem die umliegende Bevölkerung, aber auch die Bewohner des ost- und weststeirischen Hügellandes mit Trinkwasser versorgt werden. Die Grundwassermächtigkeit beträgt 2-20 m, wobei die Mächtigkeit wie auch die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters mit zunehmender Entfernung von der Endmoräne der Mur bei Judenburg, etwa 150 km stromaufwärts, abnehmen. Aufgrund der hydraulischen Bedingungen des Aquifers und der Verteilung der Grundwasserneubildung in räumlicher und zeitlicher Hinsicht ist nur die unterste Schicht der jungquartären Lockergesteinsablagerungen mit Grundwasser gefüllt. Eine mehrere Meter mächtige Zone aus Kiesen und Sanden überlagert das Grundwasser und bildet zusammen mit den darüber befindlichen gering mächtigen feinklastischen Böden die ungesättigte Zone.

Hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse hat das Projektgebiet Anteil an den Klimaregionen „A.2 Östliche Grazer Bucht“, „A.12 Grazer Feld mit unterem Kainachtal“ und „A.5 Unteres Murtal mit zugehöriger Terrassenlandschaft“ (Wakonigg 1978). Generell können dem Projektgebiet die Merkmale mäßig kontinental (große Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter), sommerwarm und wintermild zugesprochen werden. Der Winter ist hochnebelreich und sonnenscheinarm, der Sommer hingegen sonnenscheinreich und warm mit deutlicher Neigung zu Schwüle, Gewitter und Hagel. Nebelreichtum und Schwüle sind Wirkungen der Windarmut, die ihrerseits wieder aus der starken Abschirmung von Fremdwetter aus Westen bis Norden resultiert. Die Niederschläge nehmen von Südwesten nach Nordosten ab und sind zu einem Großteil an Wetterlagen mit Feuchtigkeitszufuhr aus Süden bis Südosten gebunden (Podesser & Wakonigg o. J.).

Für die Grundwasserverhältnisse und die sie beeinflussende Grundwasserneubildung sind in erster Linie die Niederschlagsverhältnisse und die Verdunstung, welche signifikant von der Temperatur gesteuert wird, relevant. Zur Beurteilung der hydrometeorologischen Situation in den drei Teilbereichen des Projektgebietes wurden für die Periode 1971 bis 2000 die mittleren Monatssummen des Niederschlags (Wakonigg o. J. b) und die mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur (Wakonigg o. J. a) in Abbildung 2 in Form eines Klimadiagramms vergleichend dargestellt. Der jahreszeitliche Verlauf der Lufttemperatur ist an allen drei Stationen praktisch ident, die mittleren Jahresmittelwerte nehmen mit zunehmender Seehöhe der Station leicht von 9.3 °C in Bad Radkersburg auf 8.7 °C in Graz-Thalerhof ab. Die mittleren Jahressummen des Niederschlags sind in Bad Radkersburg und in Graz-Thalerhof fast gleich hoch, Leibnitz weist dem gegenüber einen Überschuss von 70 mm auf. Der jahreszeitliche Verlauf zeigt an allen drei Stationen ein deutliches Sommermaximum und ein Winterminimum, welche allerdings in Graz-Thalerhof im Vergleich zu den beiden anderen Stationen deutlicher ausgeprägt ist. In den weiter südlich gelegenen Stationen Leibnitz und Bad Radkersburg sind im Vergleich zu Graz-Thalerhof deutlich höhere Herbstniederschläge erkennbar.

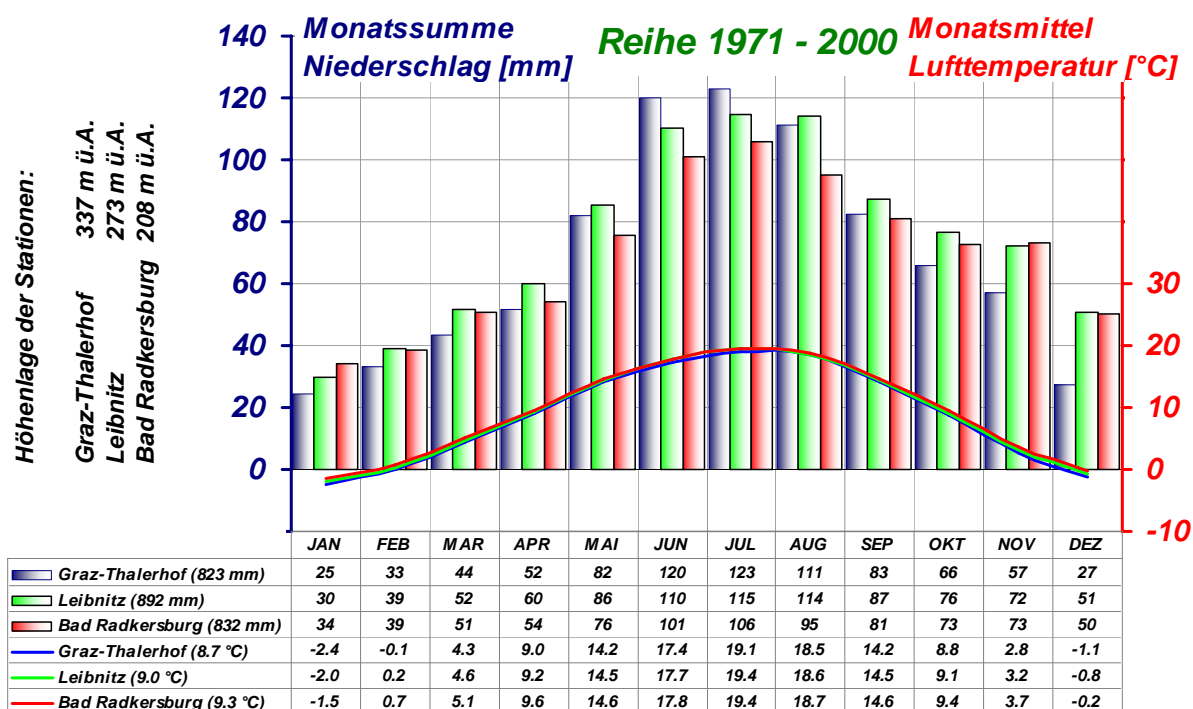


Abbildung 2: Klimadiagramme der Stationen Bad Radkersburg, Leibnitz und Graz-Thalerhof für die Periode 1971 bis 2000 (Daten entnommen aus Wakonigg)

Aus den meteorologischen Messdaten kann beispielsweise über die Penman-Monteith Gleichung die Gras-Referenzverdunstung berechnet werden. Diese berechneten Werte entsprechen in etwa der potentiellen Verdunstung, also dem Wassertransfer in die Atmosphäre bei uneingeschränkter Wasserverfügbarkeit. In Abbildung 3 sind die mittleren Monatssummen von Niederschlag und Verdunstung einer 30-jährigen Messreihe an der meteorologischen Station Leibnitz

gegenübergestellt. Aus der Differenz wurde die mittlere monatliche klimatische Wasserbilanz berechnet und dargestellt.

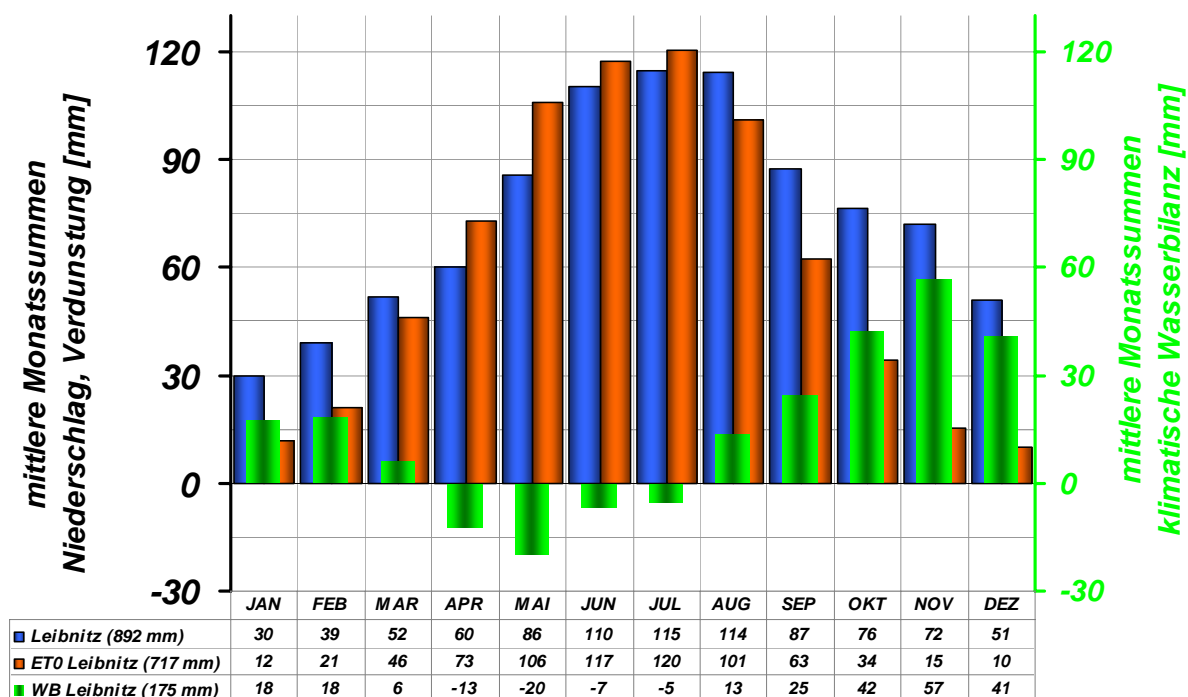


Abbildung 3: Mittlere monatliche klimatische Wasserbilanz (30-jährige Messperiode) der Station Leibnitz

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den hydrometeorologischen Bedingungen des Projektgebietes in der mittleren Jahressumme ein deutlicher Überschuss des Niederschlags gegenüber der Verdunstung (an der Station Leibnitz in Höhe von 175 mm) besteht. Ein Wasserbilanzdefizit existiert nur in den Monaten April bis Juni (in Höhe von 45 mm). Auffällig ist der hohe Wasserbilanzüberschuss in den Herbstmonaten Oktober bis Dezember, der in Summe bereits 140 mm ausmacht.

3.1.2 Bodenverhältnisse

Flächendeckende Informationen zu den Bodenverhältnissen der landwirtschaftlich genutzten Böden in der Projektregion liegen durch die Unterlagen der Österreichischen Bodenkartierung (ÖBK) und durch jene der Amtlichen Bodenschätzung vor. Die ÖBK-Angaben sind in den Unterlagen zu den Kartierungsbereichen Graz-Nord, Graz-Süd, Wildon, Leibnitz, Mureck und Radkersburg enthalten. Demnach sind die Böden und deren Genese an die Landschaftsräume der Region gebunden. So finden sich im Aubereich der Mur neben der Dominanz von Auböden auch Gleye. Auf der Niederterrasse überwiegen Lockersediment-Braunerden, sind aber auch Pseudogleye, Gleye, Braunlehme und Kulturrohböden mehrfach ausgewiesen. In den Talböden der Nebengerinne kommen Lockersediment-Braunerden, Pseudogleye, Gleye und Auböden vor. Für das Tertiär-Hügelland und die Quartär-Terrassen sind Lockersediment-Braunerden, Pseudogleye, Braunlehme, Kulturrohböden,

Auböden, Gleye und Anmoore genannt. Für weitere Differenzierungen und Details wird auf die oben erwähnten ÖBK-Unterlagen verwiesen.

3.1.3 Agrarische Nutzung

In der Projektregion überwiegen die Ackerflächen mit einem Anteil von etwa 90 %, nur im Westlichen Leibnitzer Feld ist der Grünlandanteil mit 15 % etwas höher (Tabelle 1). Andere Nutzungen wie Obst- oder Weinbau haben keine relevante Bedeutung.

Tabelle 1: Landwirtschaftliche Nutzfläche, Acker- und Grünland 2008 in der Projektregion

Gebiet	LF (ha)	Ackerland	Acker in %	Grünland	Grünland in %
Nordöstliches Leibnitzerfeld	3415	3060	90	247	7
Südliches Grazer Feld	5386	4801	89	534	10
Leibnitzerfeld und Unteres Murtal	13512	12447	92	751	6
Westliches Leibnitzer Feld	2679	2218	83	412	15

Auf Ackerland nimmt der Mais die überragende Stellung ein, wobei sich im letzten Jahrzehnt dieser Trend in allen Gebieten mit Zunahmen zwischen 7-10 % verstärkt hat, wie dies auch aus Tabelle 2 ersichtlich ist. Der Maisanteil liegt nunmehr im Nordöstlichen Leibnitzer Feld und im Südöstlichen Leibnitzer Feld sowie im Unteren Murtal über 70 %. Der Mais hat dabei vor allem die Sojabohne und Sommer- und Wintergerste verdrängt, Winterweizen und Winterraps blieben auf einem niedrigen Niveau stabil. Deutlich geringer bei knapp 50 % ist der Maisanteil im Südlichen Grazer Feld; dort hat vor allem der Anbau von Ölkürbis eine hohe Bedeutung (über 22 %) sowie Getreide, Kartoffel und der Feldgemüsebau mit über 2 %.

Ausgehend von den Ackerkulturen gilt die Fruchtfolge als N-zehrend, weil bei mehr als 2 Drittel der Fläche die N-Düngeempfehlung der angebauten Kulturen bei mittlerer Ertragslage über 80 kg ha⁻¹ (für Mais, Wintergerste, Winterweizen, Raps und Kartoffel nach Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 6. Auflage) liegt. Nur im Südlichen Grazer Feld wird wegen des hohen Ölkürbisanteils dieser Wert von über 2 Dritteln im Mittel nicht ganz erreicht. Der Anteil von Kulturen, für die auch im Herbst in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung ausdrücklich eine moderate N-Düngung empfohlen wird (zu Winterraps) ist sehr gering.

Die Tierhaltung hat eine hohe Bedeutung, wobei die Schweinehaltung mehr als 80 % der GVE ausmacht, am höchsten ist dieser Anteil im Nordöstlichen und im Südöstlichen Leibnitzer Feld und Unteren Murtal mit etwa 90 % (siehe Tabelle 3). Insgesamt ist ein leicht rückläufiger Trend bei der Anzahl der GVE erkennbar, vor allem bei der Rinderhaltung. Im Südlichen Grazer Feld hat die Rinderhaltung einen relativ höheren Anteil, in dieser Region ist der Viehbestand bezogen auf die

Fläche jedoch deutlich geringer als in den anderen Gebieten. Einen höheren Rinderanteil mit etwa 16 % gibt es auch im Westlichen Leibnitzer Feld, was sich auch in dem höheren Grünland- und Silomaisanteil widerspiegelt (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).

Tabelle 2: Kulturartenverteilung auf Ackerland 1999 und 2008

Gebiet	Jahre	Körnermais	Mais (incl. Silomais)	Wintergerste	Winterweizen	Winterraps	Kartoffeln	Sommergerste	Sojabohne	Ölkürbis
Nordöstliches Leibnitzerfeld	1999	64	65	6,1	2,8	1,8	0,0	1,9	3,9	4,3
	2008	71	72	4,9	2,1	3,0	0,0	0,6	1,2	5,5
Südliches Grazer Feld	1999	38	40	7,1	4,3	0,6	4,3	5,5	2,9	22,7
	2008	47	49	6,2	3,1	0,5	4,9	1,3	0,6	22,2
Südöstliches Leibnitzerfeld und	1999	60	61	5,7	4,7	1,9	0,4	1,9	2,9	11,5
	2008	67	71	3,6	3,2	1,4	0,1	0,2	1,1	13,4
Westliches Leibnitzer Feld	1999	55	57	7,8	3,0	1,1	0,1	3,1	2,3	10,7
	2008	60	65	4,8	2,3	0,9	0,1	0,5	0,6	13,0

Tabelle 3: GVE in der Projektregion und %-Anteil der Tierkategorien in GVE 1999 und 2008

Gebiet	Jahre	GVE	Schweine	Rinder	Geflügel	Pferde
Nordöstliches Leibnitzerfeld	1999	2.479	87	7	4	1
	2008	4.078	93	3	2	1
Südliches Grazer Feld	1999	4.114	65	30	1	2
	2008	3.456	64	29	1	5
Südöstliches Leibnitzerfeld und	1999	16.439	85	11	3	1
	2008	14.184	88	8	3	1
Westliches Leibnitzer Feld	1999	3.274	80	17	1	2
	2008	3.161	78	16	1	3
Gesamt	1999	26.308	81	14	3	1
	2008	24.879	84	11	2	2

Der N-Anfall aus der Tierhaltung wurde auf Basis der Tierzahlen entsprechend den Tabellen in den Richtlinien der sachgerechten Düngung errechnet. Die Zunahme der GVE bzw. des N-Anfalls im Nordöstlichen Leibnitzer Feld im betrachteten Zeitraum ist auf ein methodisches Problem bei der Datenaufbereitung zurückzuführen. Die Betriebe werden der Gemeinde zugeordnet, in der der Betriebssitz liegt, es werden somit auch Flächen aufgenommen, die wahrscheinlich knapp außerhalb der Projektregion liegen; zugleich können auch Flächen im Projektgebiet nicht berücksichtigt werden, wenn der Betrieb seinen Betriebssitz nicht im Projektgebiet hat, jedoch Flächen im Projektgebiet bewirtschaftet. Diese Unschärfe hätte nur umgangen werden können, wenn Auswertungen auf Basis der Feldstücke durchgeführt worden wären. In den anderen Gebieten stimmen die ermittelten Zahlen weitestgehend überein.

Im N-Anfall in kg sowie in kg N ha^{-1} nach Tabelle 4 ist der Brutto-N nach Abzug der Stall- und Lagerverluste ausgewiesen, die jährlich ausgebrachte Menge darf entsprechend dem Aktionsprogramm „Nitrat“ nicht mehr als 170 kg N ha^{-1} landwirtschaftlich genutzter Fläche betragen. Im Mittel der Gebiete wird dieser Begrenzungswert bei weitem nicht erreicht. Die höheren N-Anfallswerte pro ha sind im Nordöstlichen und Südöstlichen Leibnitzer Feld und Unterem Murtal mit knapp 60 kg ha^{-1} , im Südl. Grazer Feld ist dieser Wert deutlich niedriger. Nach Abzug der Ausbringungsverluste (13 % bei Gülle und Jauche, 9 % bei Stallmist) ergibt sich die N-Menge in feldfallender Form (nach Tab. 52 in BMLFUW 2006), die jahreswirksame N-Menge wurde nach den Prozentsätzen in Tab. 58 in BMLFUW 2006 errechnet.

Rein rechnerisch trägt der jahreswirksame N in den 3 Gebieten (ausgenommen Südliches Grazer Feld) etwa ein Drittel zum N-Bedarf der angebauten Kulturen bei, unter der Annahme einer mittleren Ertragslage. Wie in den nun folgenden Tabellen ersichtlich, ist der Tierbestand jedoch keineswegs gleichmäßig auf die Betriebe und Flächen verteilt.

Tabelle 4: N-Anfall in kg aus der Tierhaltung

Gebiet	Jahre	N-Anfall	kg N/ha (Tab.51)	kg N (Tab.52)	kg N (Tab.58)
Nordöstliches Leibnitzerfeld	1999	139.405	53	46	36
	2008	197.089	58	51	40
Südliches Grazer Feld	1999	215.418	40	35	27
	2008	171.287	32	28	22
Südöstliches Leibnitzerfeld und	1999	891.944	66	58	45
	2008	687.625	51	45	35
Westliches Leibnitzer Feld	1999	174.434	60	53	41
	2008	149.987	56	49	38

Im Nordöstlichen Leibnitzer Feld (Tabelle 5) werden aktuell fast 30 % der Fläche ohne Viehhaltung bewirtschaftet, während der Anteil der Flächen über 2 GVE ha⁻¹ nun bei 17 % liegt.

Im Südlichen Grazer Feld, wie aus Tabelle 6 ersichtlich, ist der GVE-Bestand pro ha am niedrigsten mit nunmehr 0.64; fast 38 % der Fläche werden ohne Tierhaltung geführt, der Anteil der Flächen mit über 2 GVE ha⁻¹ liegt bei knapp 6 %.

Tabelle 5: Flächen und Betriebe nach unterschiedlichem GVE-Bestand im Nordöstlichen Leibnitzer Feld

Klassen GVE/ha	Summe LF ha	Acker-fläche ha	Grünland ha	Summe GVE	Mittel GVE/ha	Anzahl Betriebe	ha pro Betrieb	Anteil Fläche
über 4 GVE/ha	3	3	0	13	4,08	1	3,1	0,1
3-4 GVE/ha	7	7	1	27	3,71	1	7,3	0,2
2-3 GVE/ha	247	220	26	594	2,41	19	13,0	10,1
1-2 GVE/ha	1036	928	105	1668	1,61	56	18,5	39,9
0-1 GVE/ha	432	364	64	178	0,41	39	11,1	24,2
0 GVE/ha	923	777	67	0	0,00	75	12,3	25,5
Gesamt-1999	2649	2299	262	2480	0,94	191	13,9	100,0
über 4 GVE/ha	90	88	1	398	4,42	5	18,0	2,6
3-4 GVE/ha	79	59	20	282	3,56	4	19,8	2,3
2-3 GVE/ha	418	395	16	1009	2,42	20	20,9	12,2
1-2 GVE/ha	1227	1150	72	2055	1,67	43	28,5	35,9
0-1 GVE/ha	598	528	70	334	0,56	39	15,3	17,5
0 GVE/ha	1003	840	65	0	0,00	69	14,5	29,4
Gesamt-2008	3415	3060	245	4078	1,19	180	19,0	100,0

Im Südöstlichen Leibnitzer Feld und Unterem Murtal (Tabelle 7) geht der Konzentrationsprozess in der Tierhaltung sehr deutlich voran. Während 1999 nur 17 % der Fläche als reiner Marktfruchtbetrieb geführt wurden, ist dieser Anteil nunmehr auf über 26 % gestiegen, der gesamte Viehbestand ist zugleich deutlich zurückgegangen. Der Flächenanteil mit über 2 GVE blieb nahezu unverändert bei 16 bzw. 17 %.

Im Westlichen Leibnitzer Feld (Tabelle 8) mit höherem Grünland- und Rinderanteil hat sich der Tierbestand kaum verändert, die Flächen, die von viehlosen Betrieben bewirtschaftet werden, sind mit 20 % gleich geblieben, deutlich zugenommen haben die Flächenanteile mit 1-2 GVE ha⁻¹. Etwa

17-18 % der Fläche weisen einen GVE-Besatz über 2 GVE ha⁻¹ auf, dieser Anteil lag 1999 noch unter 13 %.

Tabelle 6: Flächen und Betriebe nach unterschiedlichem GVE-Bestand im Südlichen Grazer Feld

Klassen GVE/ha	Summe LF ha	Acker-fläche ha	Grünland ha	Summe GVE	Mittel GVE/ha	Anzahl Betriebe	ha pro Betrieb	Anteil Fläche
über 4 GVE/ha	10	10	0	49	4,87	2	5,0	0,2
3-4 GVE/ha	22	17	3	70	3,21	3	7,3	0,4
2-3 GVE/ha	235	213	22	557	2,37	19	12,4	4,3
1-2 GVE/ha	1662	1393	268	2460	1,48	120	13,8	30,7
0-1 GVE/ha	1915	1622	284	968	0,51	165	11,6	35,4
0 GVE/ha	1567	1371	137	0	0,00	233	6,7	29,0
Gesamt-1999	5410	4626	714	4104	0,76	542	10,0	100,0
über 4 GVE/ha	19	12	6	128	6,80	4	4,7	0,4
3-4 GVE/ha	45	42	3	148	3,30	3	15,0	0,8
2-3 GVE/ha	242	238	4	632	2,61	12	20,2	4,5
1-2 GVE/ha	1247	1038	209	1823	1,46	70	17,8	23,1
0-1 GVE/ha	1814	1605	208	722	0,40	138	13,1	33,7
0 GVE/ha	2019	1865	105	0	0,00	171	11,8	37,5
Gesamt-2008	5386	4801	534	3454	0,64	398	13,5	100,0

Tabelle 7: Flächen und Betriebe nach unterschiedlichem GVE-Bestand im Südöstliches Leibnitzerfeld und Unteres Murtal

Klassen GVE/ha	Summe LF ha	Acker-fläche ha	Grünland ha	Summe GVE	Mittel GVE/ha	Anzahl Betriebe	ha pro Betrieb	Anteil Fläche
über 4 GVE/ha	65	62	4	340	5,19	14	4,7	0,5
3-4 GVE/ha	383	351	31	1282	3,35	29	13,2	2,8
2-3 GVE/ha	1751	1652	90	4088	2,34	117	15,0	13,0
1-2 GVE/ha	5856	5292	527	9430	1,61	417	14,0	43,5
0-1 GVE/ha	3076	2586	405	1300	0,42	405	7,6	22,8
0 GVE/ha	2334	1919	236	0	0,00	501	4,7	17,3
Gesamt-1999	13465	11862	1293	16439	1,22	1483	9,1	100,0
über 4 GVE/ha	210	201	9	1044	4,97	16	13,1	1,6
3-4 GVE/ha	476	450	25	1616	3,39	28	17,0	3,5
2-3 GVE/ha	1627	1577	47	3993	2,45	73	22,3	12,0
1-2 GVE/ha	3991	3747	217	6083	1,52	184	21,7	29,5
0-1 GVE/ha	3668	3317	290	1448	0,39	310	11,8	27,1
0 GVE/ha	3539	3155	162	0	0,00	406	8,7	26,2
Gesamt-2008	13512	12447	751	14184	1,05	1017	13,3	100,0

Tabelle 8: Flächen und Betriebe nach unterschiedlichem GVE-Bestand im Westlichen Leibnitzer Feld

Klassen GVE/ha	Summe LF ha	Acker-fläche ha	Grünland ha	Summe GVE	Mittel GVE/ha	Anzahl Betriebe	ha pro Betrieb	Anteil Fläche
über 4 GVE/ha	0	0	0	0	-	0	-	0,0
3-4 GVE/ha	105	91	14	333	3,18	10	10,5	3,6
2-3 GVE/ha	265	244	20	634	2,39	22	12,1	9,1
1-2 GVE/ha	1226	1003	217	1915	1,56	101	12,1	42,1
0-1 GVE/ha	762	593	156	392	0,51	98	7,8	26,2
0 GVE/ha	552	396	125	0	0,00	125	4,4	19,0
Gesamt-1999	2909	2328	532	3274	1,13	355	8,2	100,0
über 4 GVE/ha	100	96	3	476	4,78	4	24,9	3,7
3-4 GVE/ha	73	61	12	237	3,25	7	10,4	2,7
2-3 GVE/ha	322	274	48	803	2,50	17	18,9	12,0
1-2 GVE/ha	926	789	130	1334	1,44	53	17,5	34,5
0-1 GVE/ha	715	562	147	310	0,43	68	10,5	26,7
0 GVE/ha	544	435	73	0	0,00	83	6,6	20,3
Gesamt-2008	2679	2218	412	3161	1,18	232	11,5	100,0

Betriebswirtschaftliche Gegebenheiten in der Tierhaltung führen zu einem deutlichen Konzentrationsprozess, wobei weniger Betriebe mehr Tiere halten. Der N-Anfall aus der Tierhaltung ist in dem Projektgebiet jedoch kein Mengenproblem (bei tendenziell sinkenden Tierzahlen), sondern ein Verteilungsproblem.

3.1.4 Die Grundwasserverhältnisse

Die Morphologie des Untersuchungsgebietes ist geprägt von der weiten Terrassenfläche der Würmschotter, in welcher die Austufe der Mur als Erosionsform eingetieft ist. Die Oberfläche der Würmterrasse verläuft mit leichtem Gefälle von NW nach SE und weist eine gegenüber der Tertiäroberfläche stärker gegen SE ausgerichtete Neigungsrichtung aus, woraus dann deutliche Unterschiede in der Grundwassermächtigkeit und Grundwasserüberdeckung resultieren. Das in Form von meist sandig-schluffigem Material ausgebildete Tertiär kann generell als Wasserstauer des Untersuchungsgebietes angesehen werden.

Der Auebereich an der Mur zeigt über dem präquartären Untergrund einen Aufbau aus schwach schluffigen, sandigen Kiesen, über denen jedoch im Gegensatz zur Niederterrasse stellenweise eine 1.5 - 3 m mächtige Aulehmdecke liegt. Die würmzeitliche Niederterrasse wird vorwiegend aus gering schluffigen, sandigen Kiesen mit Steinen aufgebaut, die sich hauptsächlich aus kristallinen Geröllen (Quarz, Gneise, Amphibolite, metamorphe Schiefer usw.) und Kalken zusammensetzen. Die Komponenten sind durchwegs gut gerundet. Neben matrixfreien Kieslagen treten innerhalb des Terrassenkörpers immer wieder sandige, örtlich auch schluffige Partien von linsenförmigem Charakter auf. Die höheren (älteren) lehmbedeckten Terrassen sind teilweise sehr stark verschliffen und häufig in der Landschaft nur noch sehr schwach vom angrenzenden tertiären Riedelland zu unterscheiden. Die rißzeitliche Hochterrasse (Helfbrunner Flur) tritt im Wesentlichen im Bereich der Umrahmung des Leibnitzer Feldes und am Nordrand des Unteren Murtales auf und ist durch einen höheren Verwitterungsgrad der Schotter und eine mehrere Meter mächtige Staublehmdecke gekennzeichnet.

Die tieferen Bereiche der fluvioglazialen Würmschotter sind mit Grundwasser mit freier Oberfläche erfüllt. Bei mittlerem Grundwasserstand weist der Grundwasserkörper im Grazer Feld Mächtigkeiten von bis zu 15 m auf, im Leibnitzer Feld sind die Grundwassermächtigkeiten mit Werten zwischen 3 und 6 m schon deutlich geringer. Im Unteren Murtal erreichen die mittleren Grundwassermächtigkeiten kaum noch Werte > 4 m.

Die Erneuerung dieses Grundwasserkörpers erfolgt in erster Linie aus den infiltrierenden Niederschlägen im Bereich der Terrassen selbst als wesentlichste Komponente, aus der Wechselwirkung des Grundwassers mit relevanten Oberflächengewässern, in erster Linie der Mur und im Unteren Murtal deren nördliche Seitenzubringer (Grabenlandbäche) sowie Randzuflüssen aus den umgrenzenden hydrogeologischen Einheiten. Die jahreszeitlich unterschiedliche Grundwasserneubildung und die variierenden Wasserstände der Oberflächengewässer bewirken ein natürliches Schwankungsverhalten des Grundwasserspiegels von bis zu 2.5 m. Die Mächtigkeit des gesättigten Teiles des Grundwasserleiters und die der Grundwasserüberdeckung variieren dem gemäß in der Zeit. In Abbildung 4 ist für die Messstelle Wagna im westlichen Leibnitzer Feld die Schwankungsbreite des Grundwasserstandes im Zeitraum 1992 bis 2009 dargestellt. An dieser Messstelle wird die Variabilität des Grundwasserspiegels in der Zeit in erster Linie durch infiltrierende

Niederschläge hervorgerufen. Dabei fällt auf, dass die niedersten Grundwasserspiegellagen in den Jahren 2002 und 2003 geprägt wurden, die höchsten Grundwasserspiegellagen werden überwiegend durch die Grundwasserstandsganglinie des Jahres 2009 markiert. Gerade die Ganglinie des Jahres 2002 zeigt, dass durch ein nahezu singuläres Neubildungsereignis Anfang Dezember nahezu die gesamte Spannweite der Grundwasserspiegelschwankung durchschritten werden kann.

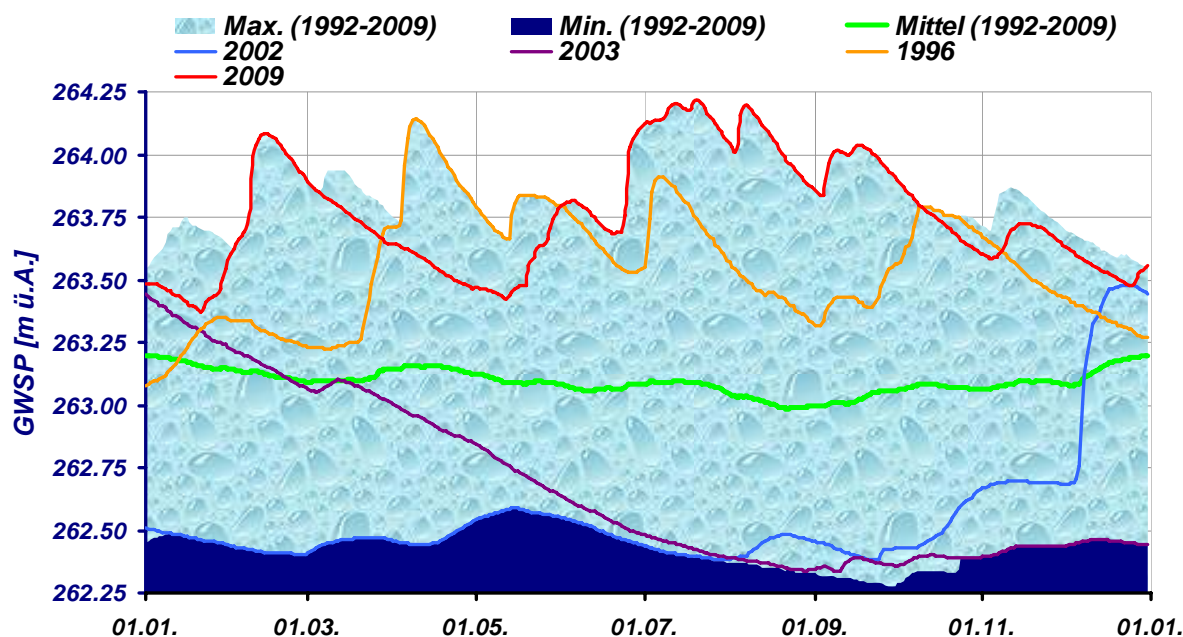


Abbildung 4: Schwankungsbreite des Grundwasserstandes an der Messstelle Wagner im Zeitraum 1992 bis 2009. Darstellung der maximalen, mittleren und minimalen Grundwasserspiegellage im Jahreslauf sowie charakteristischer Jahresgrundwasserstandsganglinien

Die Grundwasserstandsganglinie des Jahres 2009 belegt, dass bei entsprechenden Niederschlägen die Grundwasserneubildung auch in den Sommermonaten sehr hohe Beträge erreichen kann. Die höchsten Grundwasserspiegellagen dieses Jahres und damit auch des gesamten Beobachtungszeitraums wurden im Juli gemessen. Die mittlere Grundwasserstands-Jahresganglinie zeigt einen nahezu geradlinigen Verlauf, was belegt, dass es unter den gegebenen meteorologischen Verhältnissen bei den hier vorliegenden Bodenverhältnissen (mittelgründige sandig-schluffige Lockersediment-Braunerden auf Schotter) im langjährigen Mittel keine bevorzugten Zeiten der Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen gibt. Praktisch zu jeder Jahreszeit kann es zur Verlagerung von Sickerwasser in Richtung des Grundwasserspiegels kommen. Die ausgeglichene jahreszeitliche Verteilung bestätigt auch eine Auswertung der Grundwasserneubildung an diesem Standort, die monatliche Anteile an der Jahresgrundwasserneubildung von 5.2 % (Februar) bis 13.2 % (Dezember) ausweist.

Die Grundwasserströmungssituation im Murtal zwischen Graz und Bad Radkersburg ist in Abbildung 5 dargestellt.

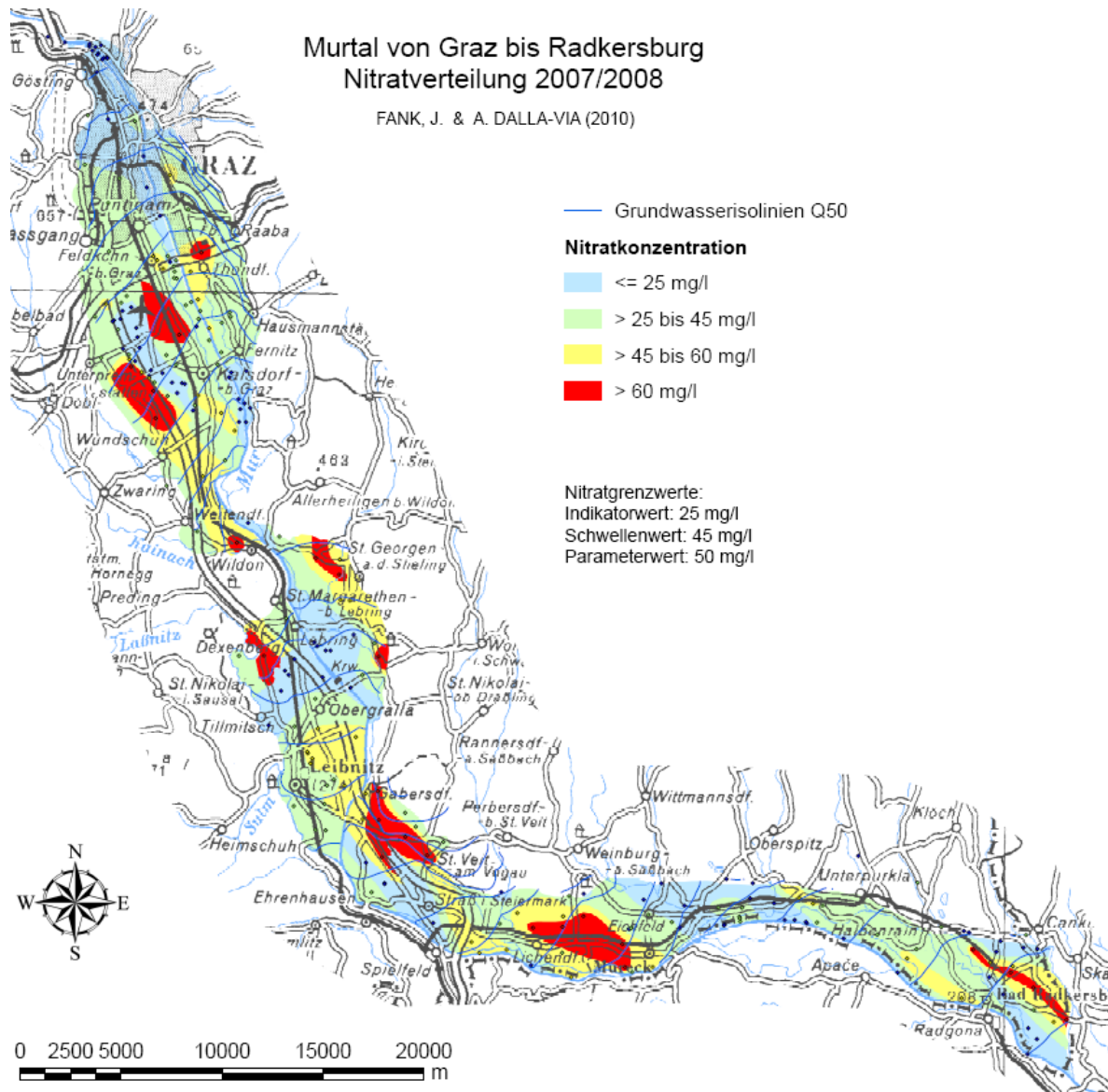


Abbildung 5: Mittlere langjährige Grundwasserströmungssituation und mittlere Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg

Generell ist die Grundwasserströmungsrichtung murparallel ausgerichtet, wobei aufgrund der Vorflutsituation üblicherweise eine leichte Orientierung zur Mur hin existiert. Einfluss auf die Grundwasserströmungsrichtung nehmen die Nassbaggerungen durch die Ausbildung einer ebenen Grundwasseroberfläche, was eine Aufweitung der Isohypsen, eine Versteilung im Anstrom- und im Abstrombereich und im Umgebungsbereich eine Veränderung der Strömungsrichtung bewirkt. Auch die Staustufen an der Mur zur Energiegewinnung bewirken lokale Veränderungen der Grundwasserströmungssituation, besonders deutlich erkennbar am Kraftwerk Gralla im Leibnitzer Feld. Die Randbereiche des östlichen und westlichen Grazer Feldes sind durch ein sehr steiles Grundwassergefälle gekennzeichnet, üblicherweise ist dieses aber im zentralen Bereich der Tallandschaften eher homogen und gleichförmig ausgeprägt. Dort wo Grundwasser aus höheren Terrassen in die Niederterrasse abströmt bilden sich steile Gefällsstufen aus, der Grundwasserspiegel

in den älteren randlichen Terrassenresten liegt mehrere Meter über dem Grundwasserspiegel der Niederterrasse. Bekannt sind diese Verhältnisse im Bereich der Wagendorfer Terrasse und auch im Bereich der Einmündung des Gnasbachtals in das Untere Murtal.

In der Austufe der Mur ist im Grazer Feld eine intensive Wechselwirkung des Grundwasserkörpers mit dem Oberflächengewässersystem bekannt. Im Unteren Murtal hat sich die Mur in den letzten Jahrzehnten aufgrund der fehlenden Nachlieferung von Sediment aus dem Einzugsgebiet so weit eingetieft, dass eine Anreicherung des Grundwassers nur mehr in geringem Maße bei hohen Flusswasserständen auftritt. Nichtsdestotrotz fungiert der Wasserspiegel der Mur als Regulativ für den Grundwasserspiegel, bei einem Anstieg des Oberflächengewässers steigt auch der Grundwasserspiegel rasch an, was aber die Folge eines Rückstaueffektes und nur in einigen Teilbereichen eine Anreicherung des Grundwassers durch Murwasser ist. Eine Ausnahme davon bildet der östlichste Teil des Untersuchungsgebietes, wo die Mur im Raum Sieldorf das Grundwasser großflächiger anreichert.

Diese Wechselwirkung des Grundwassers mit den Oberflächengewässersystemen – der Mur und den Nassbaggerungen – zeichnet sich auch in der Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Murtales durch (Abbildung 5). Die Auswertung basiert dabei auf den Messdaten im Rahmen der Grundwasserzustandsverordnung (GZÜV) und der Monitoringnetze des Landes Steiermark und der Wasserversorgungsunternehmen. Die Darstellung zeigt die Medianwerte der gemessenen Nitratkonzentration an den Messstellen für die Jahre 2007 und 2008 sowie eine Interpretation der flächenhaften Verteilung unter Berücksichtigung der Grundwasserströmungssituation.

Betrachtet man die Nitratverteilung in den Porengrundwassergebieten des Murtales zwischen Graz und Bad Radkersburg so ist klar erkennbar, dass die Einhaltung von Trinkwassergrenzwerten im nativen Grundwasser nur in jenen Bereichen möglich ist,

- in denen die Erneuerung des Grundwassers zusätzlich zur flächenhaften Neubildung über infiltrierende Niederschläge auch durch eine Wechselwirkung des Grundwassers mit Oberflächengewässern gesteuert wird (z. B. Haslacher Au im Leibnitzer Feld),
- die Messstellen im Aubereich situiert sind, wo große Teile des Einzugsgebietes durch geringe Boden- und Überdeckungsmächtigkeiten sowie durch Waldbestand gekennzeichnet sind (z.B. Fluttendorf-Donnersdorf im Unteren Murtal),
- oder eine Reduktion der Nährstoffkonzentrationen im Grundwasser im Zuge der Durchströmung von offenen Wasserflächen erfolgt (z.B. Tillmitscher Teiche im Leibnitzer Feld, Schwarzl Teiche im Grazer Feld).

Besonders hohe Nitratkonzentrationen finden sich im Grundwasser unter besonders intensiver ackerbaulicher Bewirtschaftung (Feldgemüsebauggebiet im westlichen Grazer Feld) und unter älteren

Terrassen (Rißterrasse bei Jöss, Wagendorfer Terrasse, Unteres Gnasbachtal), auf denen unter besonders günstigen ackerbaulichen Standortverhältnissen eine hohe Produktionsleistung mit hohen Düngemengen zu erzielen versucht wird. Zudem ist gerade unter diesen älteren Ablagerungen die Sickerwassergeschwindigkeit bei hohen Grundwasserüberdeckungen abgemindert, sodass die heute im Grundwasser gemessenen Werte teilweise auf Bewirtschaftungsmaßnahmen in den 80er und 90er Jahren des 20. Jahrhunderts zurückzuführen sind.

Grundsätzlich zeigt die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser der Niederterrasse im Murtal seit Anfang der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts einen deutlichen Rückgang. Beispielhaft dafür ist die Nitratkonzentrationsganglinie der Messstelle Wagna von 1992 bis 2009 in Abbildung 6 dargestellt.

Dieser Rückgang, der an dieser Messstelle von Werten über 60 mg l^{-1} im Jahr 1992 bis auf etwa 35 mg l^{-1} im Jahr 2000 kontinuierlich gemessen werden konnte, wurde in den Folgejahren von einem deutlichen Anstieg abgelöst, der in den Jahren 2004 bis 2006 in ein Plateau bei knapp unter 50 mg l^{-1} überging. Seit 2007 ist wieder ein deutlicher und anhaltend fallender Trend zu beobachten, der die Nitratkonzentrationswerte auf das Niveau des Jahres 2000 zurückführte. Ursache dafür war die Wettersituation der Jahre 2001 bis 2003, die zu einer Depotbildung von Stickstoff in der ungesättigten Zone führte; dieses wurde in den darauf folgenden Jahren mit hoher Grundwasserneubildung ins Grundwasser ausgetragen.

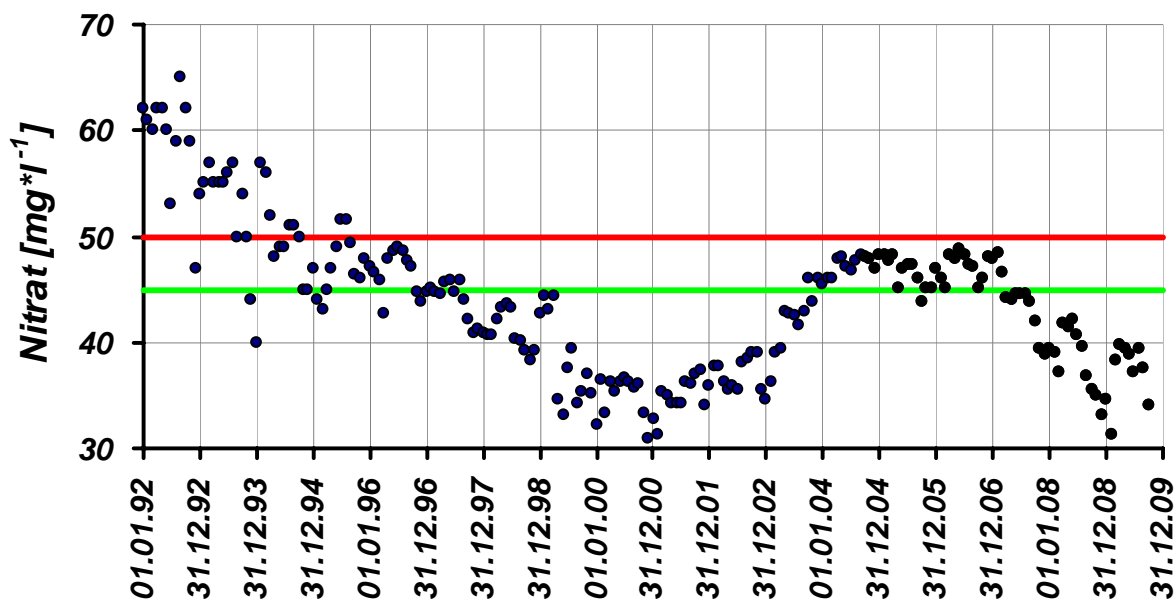


Abbildung 6: Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser an der Messstelle Wagna von 1992 bis 2009

Diese Beziehung zwischen Nitrat-Konzentrationsentwicklung und der Wettersituation lässt sich in dieser Eindeutigkeit nur an Messstellen mit seicht- bis mittelgründigen lehmig-sandigen Böden auf Schotter erkennen, die durch eine Wechselwirkung des Grundwasserkörpers mit

Oberflächengewässersystemen nicht entscheidend geprägt sind und in denen der Flurabstand in etwa im Bereich von 3 bis 6 m liegt. Im Bereich tiefgründigerer Böden mit entsprechend längerer Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone sind durchaus auch noch steigende Trends zu beobachten, an Messstellen, die im Aublich liegen oder die durch sonstige Interaktion mit Oberflächengewässern geprägt sind, ist dieser Anstieg auch gar nicht zu erkennen.

In Teilbereichen der Einzugsgebiete von großen Wasserversorgungseinrichtungen ist auch die Wechselwirkung des Grundwasserkörpers der Niederterrasse mit dem Grundwasserkörper der Hochterrasse nachgewiesen (Wagendorfer Terrasse, Gnasbachtal). Diese Bereiche der Hochterrasse wurden in der Vergangenheit und werden auch heute noch sehr intensiv landwirtschaftlich genutzt, was zu sehr hohen Nitratkonzentrationen im Grundwasser führt. In Tiefenprofilen des Bodens und der Ungesättigten Zone wurden über die gesamte Profilmächtigkeit sehr hohe Gehalte an mineralisiertem Stickstoff weit unterhalb des Wurzelraumes gefunden. Das Grundwasser der Hochterrasse strömt in den Grundwasserbereich der Niederterrasse und beeinträchtigt in weiterer Folge die Wasserqualität in den Entnahmebrunnen. Aufgrund der mächtigen lehmigen Bodendecke und der darunter anschließenden ungesättigten Zone liegen die Verweilzeiten des Sickerwassers in diesen Bereichen in Zeiträumen von einer bis mehreren Dekaden. Maßnahmen hinsichtlich einer nachhaltigen ackerbaulichen Bewirtschaftung können erst in Zukunft (ein bis mehrere Dekaden) signifikante Auswirkungen auf die Nitratkonzentration im Grundwasser der Entnahmebrunnen zeigen. Diese zeitliche Verzögerung beruht auf wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen über die Prozesse der Wasserbewegung und des Stofftransporte in Boden und ungesättigter Zone, ist aber für den praktizierenden Landwirt nur schwer nachvollziehbar.

3.1.5 Bestehende Regelwerke und deren regionale Implikation

3.1.5.1 EU-Wasserrahmenrichtlinie

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000/60/EG) hat eine systematische Verbesserung und keine weitere Verschlechterung des Gewässerzustandes und somit das Erreichen des „guten Zustands“ im Jahr 2015 für alle europäischen Gewässer zum Ziel. Für Grundwasser lautet das Ziel Schutz, Verbesserung und Sanierung aller Grundwasserkörper sowie Gewährleistung eines Gleichgewichts zwischen Entnahme und Grundwasserneubildung.

Umgesetzt wurde die o.g. WRRL im Jahr 2003 (BGBl. Nr. 82/2003). Die für den Gewässerschutz relevanten Rechtsvorschriften sind das Wasserrechtsgesetz und die dazugehörigen Verordnungen: Wassergüte-Erhebungs-VO, Grundwasserschwellenwert-VO und Trinkwasser-VO i.d.g.F. Bezüglich Grundwasser ist es unverändert das klare Ziel, Grundwasser in Trinkwasserqualität zu erhalten und die natürliche Beschaffenheit der Gewässer zu sichern. Die Ergebnisse der über 1700 Messstellen in den Porengrundwassergebieten zeigt, dass die Schwellenwerte bei den meisten der rund 100 gemessenen Parametern deutlich unterschritten werden, es gibt jedoch in einigen Gebieten Probleme

bezüglich Nitrat. Die Zeitreihe weist seit Beginn der Erhebungen auf eine Entlastung des Grundwassers hin, ab 2003 kam es jedoch wieder zu leicht steigenden Tendenzen, was mit den extremen Witterungssituationen in Zusammenhang stehen dürfte.

3.1.5.2 Cross Compliance

Die Bezieher von Marktordnungs-Direktzahlungen sind seit 2005 verpflichtet, bestimmte Grundanforderungen an die Betriebsführung zu erfüllen und ihre Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand zu erhalten. Die gilt auch für Bezieher von Zahlungen im Rahmen von Maßnahmen im Rahmen der Ländlichen Entwicklung.

Rechtliche Grundlage für die Cross Compliance sind die Verordnungen (EG) Nr. 1782/2003, Nr. 796/2004 und Nr. 1698/2005 sowie die nationale INVEKOS-Umsetzungs-VO 2005, BGBl. II Nr. 474/2004. Neben anderen Bestimmungen (z.B. Klärschlammanwendung) nimmt der Grundwasserschutz durch bestimmte gefährliche Stoffe und der Schutz vor Verunreinigung durch Nitrat eine zentrale Rolle ein. In der Grundwasserschutz-VO BGBl. II Nr. 398/2000 sind die Stoffe verlaubar, die nicht direkt ins Grundwasser (z.B. über Sickerschacht) eingeleitet werden dürfen oder für deren indirekte Einleitung (z.B. Versickern über den Boden) ein Bewilligung durch die Wasserrechtsbehörde erfolgen muss. Auf landwirtschaftlichen Betrieben finden sich solche Stoffe bei Betrieb von Hoftankstellen, in Abwässern, die Pflanzenschutzmittelrückstände enthalten können sowie die Sickerwässer von Mistlagerstätten, Silos, Gülle und Jauche. Bei Cross-Compliance Kontrollen wird dies auch geprüft und bewertet.

Die höchste Relevanz hat die EU-Nitratrichtlinie 91/676/EWG, die in Österreich über das Nitrataktionsprogramm umgesetzt wird; damit sollen die Oberflächengewässer und Grundwasserkörper geschützt werden. Die zentralen Punkte sind eine zeitliche und mengenmäßige Beschränkung der Ausbringung von N-hältigen Düngemitteln, Lagerkapazität von mindestens 6 Monaten für alle Vieh haltenden Betriebe, Regelungen für die Ausbringung entlang von Gewässern und in Hanglagen sowie die zeitlich und mengenmäßig bedarfsgerechte Ausbringung. Auch die Düngung zu Gründecken im Herbst ist geregelt:

„Eine Düngung ist bei Anlage von Gründeckungen vom 1. Oktober bis spätestens 14. November mit bis max. 60 kg Gesamt-N möglich. Der Anbau der Gründeckung muss, auch wenn er erst nach dem 15. Oktober möglich ist, jedoch so rechtzeitig erfolgen, dass eine N-Aufnahme gewährleistet ist“ (Aktionsprogramm Nitrat 2008). Dadurch wird eindeutig vermieden, dass Gülle auf Schwarzbrache im Herbst ausgebracht wird, die dadurch mögliche Verwertung von Gülle-N im Herbst ist jedoch keineswegs pflanzenbaulich optimiert und nur von eher mäßiger Effizienz. Im Rahmen der Kontrollen kann die auf einem Betrieb zur Verwertung anstehende N-Menge recht genau überprüft werden (z.B. Einhaltung der N-Obergrenze von 170 kg N ha^{-1} aus Wirtschaftsdüngern). Werden mehr als 80 kg N aus Wirtschaftsdünger pro ha eingesetzt, wird im Rahmen der AMA-Kontrollen auch der

bedarfsgerechte Einsatz nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 6. Auflage, überprüft, herangezogen wird dabei die Einschätzung der Ertragslage des Landwirts.

Als weitere allgemeine Vorschriften sind angeführt, dass N-hältige Düngemittel nur auf bedecktem Boden oder unmittelbar vor der Feldbestellung oder bis max. 30 kg N ha⁻¹ zur Strohrotte ausgebracht werden dürfen sowie die Teilung schnell wirksamer, leicht löslicher N-Gaben von mehr als 100 kg ha⁻¹ und Jahr, ausgenommen sind Hackfrüchte und Gemüse auf Böden mit mehr als 15 % Tongehalt.

Weiters sind u.a. noch N-Obergrenzen für Gemüse pro ha festgelegt, die für Ölkürbis bei 105, 120 bzw. 140 kg liegen je nach Ertragslage. Ob die N-Düngemittel zeitlich und mengenmäßig bedarfsgerecht eingesetzt wurden, kann nicht im Detail überprüft werden.

3.1.5.3 Schutz und Schongebietsverordnungen

Das Grundwasser des Untersuchungsgebietes wird durch eine Vielzahl von Einzelwasserversorgungen, landwirtschaftlichen Bewässerungsbrunnen und gewerblichen und industriellen Entnahmeanlagen zur Trink- und Nutzwasserversorgung der Bevölkerung und Wirtschaft im Projektgebiet genutzt. Daneben wird das Grundwasser des Murtales zwischen Graz und Bad Radkersburg auch durch mehrere große kommunale bzw. regionale Wasserversorgungseinrichtungen zur Trinkwasserversorgung der Bevölkerung des Murtales aber auch der West- und Oststeiermark sehr intensiv genutzt. Im Grazer Feld sind dies in erster Linie die Wasserversorgungseinrichtungen der Stadt Graz in Andritz (liegt außerhalb des gegenständlichen Projektgebietes) und in Feldkirchen, die Brunnen der Gemeinde Seiersberg sowie die Anlagen des Wasserverbandes Umland Graz in Kalsdorf und des Wasserverbandes Grazerfeld Südost in Gössendorf. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld liegen die Brunnen der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges. mbH. in St. Georgen und in der Haslacher Au sowie die Brunnen der Gemeinde Ragnitz. Im westlichen Leibnitzer Feld liegen die Wasserversorgungseinrichtungen der Gemeinde Lebring-St. Margarethen, der Gemeinde Retznei sowie die Brunnen Kaindorf, Leibnitz und Leitring der Leibnitzerfeld Wasserversorgungsges. mbH. Im Südöstlichen Leibnitzer Feld liegen die Brunnen Ehrenhausen/Vogau des Wasserverbandes Leibnitzerfeld Süd. Die Wasserversorgung der Stadt Bad Radkersburg und deren Umland wird durch den Stadtbrunnen Radkersburg und den Brunnen Dedenitz im Unteren Murtal gewährleistet. Der Wasserverband Grenzland Südost betreibt die Brunnenanlagen in Mureck (von hier wird auch die Stadt Mureck versorgt), in Gosdorf und in Fluttendorf/Donnersdorf.

Zum Schutz der Brunnenanlagen sind neben den Schutzgebieten auch großflächige Schongebiete verordnet (Abbildung 7), die durch unterschiedliche Auflagen und bewilligungspflichtige Maßnahmen auch den Schutz vor einer erhöhten Belastung des Grundwassers vor diffusen Einträgen aus ackerbaulichen Maßnahmen gewährleisten sollen.

Während in den Schongebieten des Grazer Feldes, im Schongebiet Haslacher Au und im Schongebiet für die Wasserversorgungsanlagen der Brunnen Mureck aufgrund der geringen Nitratbelastung die die Landwirtschaft betreffenden Maßnahmen in erster Linie aus generellen Schutzempfehlungen und wasserrechtlichen Bewilligungspflichten bestehen, weisen die übrigen ausgewiesenen Schongebiete im Leibnitzer Feld und im Unteren Murtal hinsichtlich der ackerbaulichen Bewirtschaftung Maßnahmen zur Düngerbeschränkung aus, die detailliert auf die Bodenverhältnisse nach der Finanzbodenschätzung abgestimmt sind. Auch die Verwendung unterschiedlicher Arten organischen Düngers sowie dessen Ausbringungszeitpunkte für die zulässigen Fruchtfolgen sind sehr detailliert vorgeschrieben.

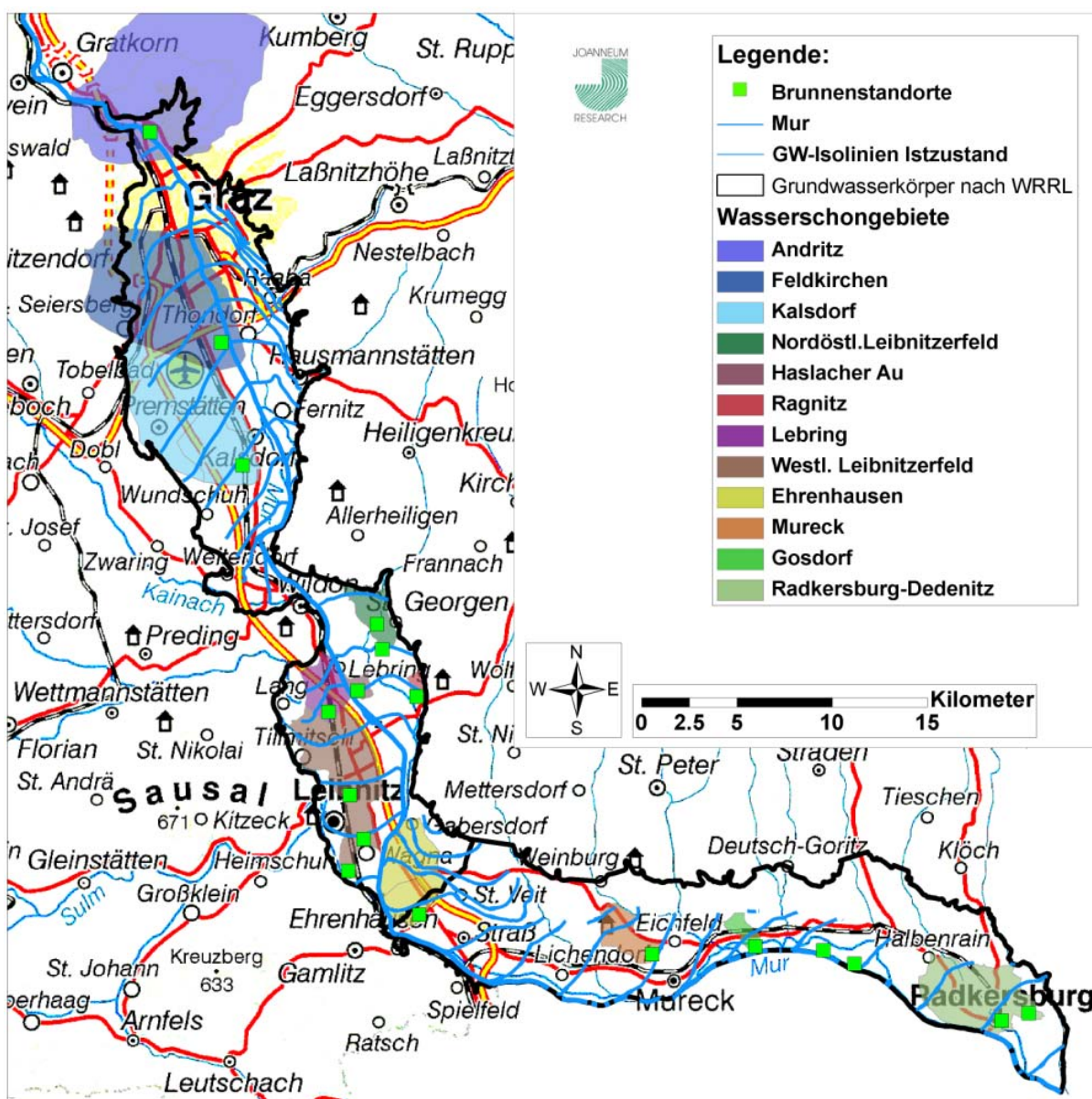


Abbildung 7: Mittlere Grundwasserströmungssituation, wesentliche kommunale und regionale Wasserversorgungsanlagen und verordnete Grundwasserschongebiete für das seichtliegende Porengrundwasser der Grundwasserkörper nach der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Murtal von Graz bis Bad Radkersburg

Insgesamt trug die Einrichtung der Grundwasserschongebiete dazu bei, dass in den Einzugsgebiete der Wasserentnahmen kommunaler und regionaler Versorgungseinrichtungen die Nutzung des Grundwassers zur Trinkwasserversorgung mit einigen Ausnahmen grundsätzlich erlaubt. Allerdings liegen die größeren Brunnenanlagen naturgemäß eher in einem Bereich, in dem aufgrund von naturräumlichen Gegebenheiten (Wechselwirkung mit Oberflächengewässern) bzw. als Folge von anthropogenen Maßnahmen (Schottergewinnung durch Nassbaggerung) die Nitratwerte generell niedriger liegen als in anderen Teilbereichen des Untersuchungsgebietes. Generell zeigt die Nitratkonzentration des Grundwassers an Messstellen außerhalb des Einflussbereiches von Oberflächengewässern oder sonstigen Verdünnungsquellen in den Grundwasserschongebieten keine signifikant andere Tendenz als Messstellen in vergleichbarer Position (hinsichtlich hydro(geo)logischer Verhältnisse, ackerbaulicher Bewirtschaftung etc.) außerhalb von Grundwasserschongebieten. Eine deutliche Reaktion der Nitratgehalte im Grundwasser auf die gesetzten Maßnahmen ist nur selten identifizierbar. Wahrscheinlichste Ursache dafür ist, dass sich die Landwirte mit der Notwendigkeit der Schongebietsmaßnahmen nicht identifizieren, eine flächendeckende Kontrolle aber de facto nicht möglich ist.

3.2 Landwirtschaftliche und bodenhydrologische Untersuchungsgebiete

3.2.1 Das Versuchsfeld Wagna

Am Versuchsfeld Wagna (Steiermark, Österreich) werden seit 1987 ackerbauliche Versuche mit insgesamt 8 Fruchtfolgen durchgeführt, die in mehrjährigen Versuchszeiträumen durch unterschiedliche Fruchtfolgeglieder und differenzierte Stickstoff-Düngeniveaus gekennzeichnet waren (Fank et al. 2006; Fastl & Robier 2008). Ein Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Auswirkung von Düngung mittels Schweinegülle und/oder Mineraldünger auf die Ertragssituation bei Körnermaisbau und bei Mais-dominierten Fruchtfolgen.

3.2.1.1 Der Großparzellenversuch in Wagna

Der Feldversuch Wagna befindet sich im Grundwasserschongebiet des Leibnitzer Feldes. Das Ausgangsmaterial bildet eine silikatische Lockersedimentbraunerde auf sandig schottrigem Terrassenmaterial. Der Tongehalt beträgt im Mittel 14.6 % (Schwankung von 12.0 bis 17.8 %), der Sandanteil 51.8 % (Schwankung von 46.8 und 55.2 %). Der Humusgehalt schwankt zwischen 1.3 und 2.2 %. Die Mächtigkeit der Feinsedimente über Schotter reicht von 25 cm bis 150 cm und mehr. Das Versuchsfeld ist in sich sehr heterogen und es wechseln sehr seichtgründige mit tiefgründigen Stellen auf engem Raum. Meist handelt es sich um leichte Böden mit geringem Wasserspeichervermögen.

Der Feldversuch in Wagna stellt einen langjährig geführten Großparzellenversuch (Parzellengröße 1000 m²) dar. Die Bewirtschaftung wird mit praxisüblichen Geräten durchgeführt. Der Versuch besteht seit 1987, ab 1992 ist eine Lysimeteranlage integriert. Zwischen 1987 und 1997 wurde nach dem

Versuchsplan 1 (Tabelle 9) und zwischen 1998 und 2003 wurde nach dem Versuchsplan 2 (Tabelle 10) gearbeitet. Der Versuch nach Versuchsplan 1 (Tabelle 9) besteht aus 4 Düngungsvarianten in der Körnermaismonokultur und 4 Varianten in Fruchtfolge. Diese 8 Varianten wurden mit 2 verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (konventionell und alternativ) bearbeitet.

Tabelle 9: Versuchsplan 1 – 1987 bis 1997

Versuchsanlage:	mehrfaktoriell	
	Parzellenzahl:	16 Varianten mit 2 Wiederholungen = 32 Parzellen
Düngungsvarianten in einer Körnermaismonokultur (KM = Körnermais):		
<i>Der Güllestickstoff wird als feldfallender Stickstoff (Gesamt N * 0.75) gerechnet.</i>		
* KM1 in der Monokultur: verminderte mineralische N-Düngung		120 kg N ha⁻¹
60 kg N ha ⁻¹ aus Mineraldünger zum Anbau		
60 kg N ha ⁻¹ aus Mineraldünger Ende Mai/Anfang Juni		
* KM2 in der Monokultur: mineralische N-Düngung		180 kg N ha⁻¹
60 kg N ha ⁻¹ aus Mineraldünger zum Anbau		
60 kg N ha ⁻¹ aus Mineraldünger im Mai		
60 kg N ha ⁻¹ aus Mineraldünger Anfang Juni		
* KM3 in der Monokultur: Güllegabe mit Herbstgüllung		180 kg N ha⁻¹
60 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle im Herbst zur Strohhrotte		
60 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle vor dem Anbau		
60 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle in den Bestand Anfang Juni		
* KM4 in der Monokultur: Güllegabe im Frühjahr und Juni		180 kg N ha⁻¹
90 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle vor der Saat		
90 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle in den Bestand Anfang Juni		
Fruchtfolgevarianten:		
* Körnermais (KM5) in der Fruchtfolge nach Sommerzwischenfrucht mit Leguminosenanteil:		120 kg N ha⁻¹
60 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle vor der Saat		
60 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle in den Bestand Anfang Juni		
* Körnermais (KM6) in der Fruchtfolge: nach KM5		180 kg N ha⁻¹
Düngung wie KM3		
* Wintergetreide: mit nachfolgendem Winterkörnerrapsanbau		
60 kg N ha ⁻¹ aus Schweinegülle (Güllegabe im Herbst zum Anbau und im zeitigen Frühjahr), mineralische Ergänzung nach Beobachtung		
* Winterkörnerraps mit nachfolgender Sommerzwischenfrucht mit Leguminosenanteil		
150 kg N ha ⁻¹ aus Schweinegülle (60 kg N ha ⁻¹ zum Anbau im Herbst und 90 kg N ha ⁻¹ im zeitigen Frühjahr) mineralische Ergänzung bis zu 180 kg N ha ⁻¹		
Konventionelle Bodenbearbeitung: Herbstfurche mit Pflug und übliche Saatbeetbereitung		
Alternative Bodenbearbeitung: Frühjahrsfurche mit üblicher Saatbeetbereitung großteils nach einer Gründedecke bei Körnermais. Bei Getreide und Raps erfolgte die Bodenbearbeitung mit dem Grubber, danach wurde die Saat mit einer zapfwellenbetriebenen, rotierenden Taumelscheibenegge (Fa. Safental) und Drillmaschine in einem Arbeitsgang durchgeführt.		

1998 wurde der Versuch grundsätzlich umgestellt. Im Versuchsplan 2 (1998 bis 2003; Tabelle 10) wurden weitere Maßnahmen zur Reduktion des Nitratreintrages verwirklicht. Die Maßnahmen sind eine starke Reduzierung der N-Düngung, keine Leguminosen in den Zwischenfrüchten, winterharte Gründedecken in allen Varianten, keine Herbstgüllung weder auf Gründedecken noch vor Wintergetreide, Frühjahrsfurche bei Mais und Kürbis. Zusätzlich werden diese Varianten mit einer Standardvariante verglichen, und ein Sollwertsystem sollte abgetestet werden.

Auf Grund der analytisch gefundenen niedrigeren N-Gehaltswerte der Gülle in den Jahren 1992 bis 1997 kam es zu Abweichungen der gedüngten N-Menge in der Praxis im Vergleich zum

Versuchsplan. Daher ergeben sich im Versuchsplan 1 zwei Phasen mit unterschiedlicher N-Düngungsintensität. Eine dritte Phase ergibt sich mit dem Versuchsplan 2.

Phase 1: Versuchsplan 1 1987 bis 1991: mittlere Düngung aller Varianten 178 kg N ha^{-1} (mittlere N-Düngung aller Körnermaisvarianten 184 kg N ha^{-1})

Phase 2: Versuchsplan 1 1992 bis 1997: mittlere N-Düngung aller Varianten 140 kg N ha^{-1} (mittlere N-Düngung aller Körnermaisvarianten 137 kg N ha^{-1})

Phase 3: Versuchsplan 2 1998 bis 2003: mittlere N-Düngung aller Varianten 122 kg N ha^{-1} (mittlere N-Düngung aller Körnermaisvarianten 128 kg N ha^{-1})

In Phase 1 und Phase 2 wurde in einzelnen Varianten eine Herbstgüllegabe verabreicht und ein Leguminosenanteil in der Sommerzwischenfrucht angebaut. In der Phase 3 wurde auf diese Maßnahmen verzichtet.

Tabelle 10: Versuchsplan 2 – 1998 bis 2003

Versuchsanlage:	Parzellenzahl:	8 Varianten mit 4 Wiederholungen = 32 Parzellen
<u>Düngungsvarianten in einer Körnermaismonokultur (KM = Körnermais):</u>		
<i>Der Güllestickstoff wird als feldfallender Stickstoff (Gesamt N * 0.75) gerechnet.</i>		
* KM1 in der Monokultur: N-Düngung nach der Empfehlung der landwirtschaftlichen Umweltberatung		107 kg N ha⁻¹
	50 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle vor der Saat	
	57 kg N ha ⁻¹ mineralisch zur Hacke Ende Mai/Anfang Juni	
* KM2 in der Monokultur: N-Düngung nach der Sollwertmethode		(95)-145 kg N ha⁻¹
	0-50 kg N ha ⁻¹ aus Mineraldünger zum Anbau je nach N _{min} -Gehalt im Boden	
	35 kg N ha ⁻¹ aus Mineraldünger im Mai	
	60 kg N ha ⁻¹ aus Mineraldünger Ende Mai/Anfang Juni	
* KM3 in der Monokultur: Standardvariante		175 kg N ha⁻¹
	70 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle vor der Saat	
	50 kg N ha ⁻¹ mineralisch zum Anbau	
	55 kg N ha ⁻¹ mineralisch zur Hacke Ende Mai/Anfang Juni	
* KM4 in der Monokultur: optimierte Gülleanwendung		107 kg N ha⁻¹
	50 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle vor der Saat	
	57 kg N ha ⁻¹ als Schweinegülle in den Bestand Ende Mais Anfang Juni	
<u>Fruchtfolgevarianten:</u>		
* Körnermais (KM5) in der Fruchtfolge nach Kürbis mit Untersaat		107 kg N ha⁻¹
	Düngung wie KM4	
* Körnermais (KM6) in der Fruchtfolge nach Körnermais 5		107 kg N ha⁻¹
	Düngung wie KM4	
* Wintergerste	mit nachfolgender Gründüngung ohne Leguminosen	
	50 kg N ha ⁻¹ aus Schweinegülle im Frühjahr	
	mineralische Ergänzung nach Beobachtung	
* Ölkürbis	mit Untersaat aus englischem Raygras	
	40 kg N ha ⁻¹ Gülle vor dem Anbau	
	mineralische Ergänzung nach Beobachtung	
Ergänzung zu KM2:		
Da die gemessenen N _{min} -Gehalte im Boden knapp vor dem Anbau sehr gering waren, empfahl die Sollwertmethode immer eine Anbaudüngung mit der maximalen Menge von 50 kg N ha^{-1} . Aus der Sollwertvariante wurde daher in den 6 Jahren eine Variante mit mineralischer N-Düngung von 145 kg N ha^{-1} .		

An der in den Versuch integrierten Lysimeteranlage wurde in zwei Versuchspartellen die Auswirkung der landwirtschaftlichen Maßnahmen auf das seichtliegende Grundwasser analysiert (Fank 1999). Unter Verwendung dieser Messdaten konnten die Modelle SIMWASER (Stenitzer 1988) und STOTRASIM (Feichtinger 1998) standortspezifisch kalibriert werden (Fank et al. 2004).

Im Jahr 2004 wurde der Versuchsplan für den Großpartellenversuch Wagna umgestellt. Für einen Vergleich der Auswirkungen einer konventionellen ackerbaulichen Bewirtschaftung mit einer organisch-biologischen Bewirtschaftung wurde das Versuchsfeld geteilt: 16 Partellen werden unter konventioneller Bewirtschaftung nach den Richtlinien der sachgerechten Düngung (BMLFUW 2006) und einer Fruchtfolge Kürbis, Mais, Mais, Winterweizen (bzw. Triticale) gefahren. Als Zielgröße für die Stickstoffdüngung wird für Mais eine Jahres N-Menge von 150 kg N ha^{-1} (80 kg wirksamer Stickstoff je ha aus Gülle, 70 kg mineralisch zu Anbau und Hacke), zu Wintergetreide eine Jahres N-Menge 130 kg N ha^{-1} (Startdüngung im Herbst mit max. 60 kg N aus Gülle und zweimalige mineralische Restdüngung) und zu Kürbis eine maximale Stickstoffdüngung von 80 kg N ha^{-1} (40 kg N in Form von Gülle vor dem Anbau und maximale mineralische N-Düngung von 30 kg bei der ersten Hacke) definiert. Nach Ernte der Hauptkultur wird umgehend eine winterharte Gründেকে angebaut. Zu Kürbis wird diese in Form einer Untersaat angelegt. Eine Herbstdüngung wird nicht durchgeführt, die hauptsächliche Bewirtschaftung erfolgt im Frühjahr durch Pflügen.

Die übrigen 16 Partellen des Versuchsfeldes Wagna werden organisch-biologisch mit einer Fruchtfolge Kürbis, Mais, Klee/Grasgemisch, Triticale gefahren. In den winterharten Gründecken sind verstärkt Leguminosen eingebaut. Eine zusätzliche Düngung wird nicht durchgeführt. Üblicherweise wird die Bodenbearbeitung mittels Grubber durchgeführt, Pflügen erfolgt nur nach Erfordernis zur Unkrautbekämpfung. In beiden Bewirtschaftungsvarianten wird die winterharte Gründেকে nach Kürbis als Kürbisuntersaat gefahren. Detaillierte Informationen über die versuchstechnische Umsetzung gibt Köstenbauer (2008).

Für die Lysimeteranlage in Wagna (Österreich) wurde ein neuartiges Lysimeter entwickelt und zwei Stück davon im August 2004 installiert. Das Lysimeter ist mit einem Präzisionswägesystem ausgestattet und jeweils in einer Großpartelle von 1000 m^2 unter konventioneller und unter organisch-biologischer Bewirtschaftung implementiert. Vorteil dieses wägbaren Lysimeters ist, dass sowohl der das Lysimeter direkt umgebende Boden als auch die Lysimeteroberfläche selbst in gleicher Weise wie die gesamte Untersuchungsfläche bewirtschaftet werden kann. Durch die Tiefe des monolithisch entnommenen Lysimeterkörpers von 2 m ist gewährleistet, dass an der als Sickerfläche ausgebildeten Lysimeterunterseite nur noch nach unten gerichtete Wasserbewegung auftritt. Die detaillierte Erfassung der Sickerwassermenge und deren Stoffkonzentrationen erlauben in Kombination mit der genauen Wasserbilanz des Standortes die Erarbeitung sehr präziser Bilanzen über die Grundwasserbelastung aus unterschiedlichen ackerbaulichen Praktiken. Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse in quantitativer und qualitativer Sicht ergänzen die Bodenwasserhaushaltsuntersuchungen und bilden in Summe eine gute Basis für die Validierung

unterschiedlicher numerischer Modellansätze. Gekoppelte Modelle unterstützen die Entscheidungsfindung für Grundwasser schonende ackerbauliche Bewirtschaftungsformen.

Im Frühjahr 2006 wurde in einem sehr seichtgründigen Standort auf einer Grünfläche, die seit Beginn der Versuchstätigkeit im Jahre 1987 als ungedüngter Grünlandstandort mit mehrmaligem Mulchen des Grasbestandes gefahren wird, ein Präzisionslysimeter eingebaut um einerseits die Berechnungsformeln der Gras-Referenzverdunstung regionalspezifisch überprüfen und parametrisieren zu können und andererseits den Stickstoffaustrag untersuchen zu können.

3.2.1.2 Kleinparzellenversuche

Das Ackerfläche Wagna zwischen der Straßenmeisterei und der Südbahn, welche Eigentum des Landes Steiermark ist und derzeit unter der Verwaltung der Fachschule Silberberg steht, wird seit mehr als 30 Jahren als Versuchsfläche für pflanzenbauliche Fragen genutzt. Neben dem Großparzellenversuch stehen auf dieser Fläche Kleinparzellenversuche zur Thematik der Stickstoffdüngung im Mais-, Getreide- und Kürbisbau. Das Ausgangsmaterial bildet eine silikatische Lockersedimentbraunerde auf sandig schottrigem Terrassenmaterial. Der Tongehalt der beträgt im Mittel 14 %, der Sandanteil 51 % und der Schluffanteil 39 %. Der Humusgehalt liegt bei 2.3 %, der pH-Wert mit 6.1 im leicht saurem Bereich. Die Mächtigkeit reicht von 25 cm bis 150 cm und mehr. In Summe handelt es sich um leichte Böden mit geringem Wasserspeichervermögen. Das Versuchsfeld ist in sich sehr heterogen und es wechseln sehr seichtgründige mit tiefgründigen Stellen auf engem Raum. Der Gehalt an Phosphor und Magnesium ist ausreichend, der Gehalt an Kalium ist hoch.

Der aktuelle Wintergerstenversuch (Tabelle 11) geht der Frage der zeitlich unterschiedlichen Düngungstermine und der Gegenüberstellung von Mineral- und Wirtschaftsdünger in der Wirkung auf den Ertrag nach. Die Versuchsanlage ist ein lateinisches Quadrat mit 6 Düngungsvarianten und 6 Wiederholungen.

Tabelle 11: Kleinparzellenversuch Wintergerste Wagna

	Herbst (vor Anbau-13.10.)	Frühjahr (Vegetationsbeginn 11.3.-EC 23-24)	Frühjahr (April 16.4.-EC 31)	Gesamt-N
O	--	--	--	0
A	50 N Gülle 16 m ³ = 43 N ff Sp.W. 4.5 (3.11 GN, 2.60 NH ₄)	--	60 N KAS	110 (103 ff)
B	--	50 N Gülle 26 m³ 72 N ff Sp.W. 2.5 (3.17 GN, 2.47 NH ₄)	60 N KAS	110 (132 ff)
C	50 N KAS	--	60 N KAS	110
D		50 N KAS	60 N KAS	110
E	--	50 N Gülle 26 m³ 72 N ff Sp.W. 2.5 (3.17 GN, 2.47 NH ₄)	60 N Gülle 13 m³ 67 N ff Sp.W. 7.0 (5.96 GN, 3.50 NH ₄)	110 (139 ff)

Der aktuelle Stickstoffsteigerungsversuch (Tabelle 12) im Maisbau bildet eine Blockanlage mit 12 Varianten und 6 Wiederholungen. Insgesamt sind dies 72 Parzellen. Die Nettoparzellengröße beträgt 12.6 m². In Summe handelt es sich um einen leichten Böden mit geringem Wasserspeichervermögen. Das Versuchsfeld ist in sich sehr heterogen und es wechseln sehr seichtgründige mit tiefgründigen Stellen auf engem Raum, daher sind 6 Wiederholungen in der Versuchsanordnung notwendig.

Die Varianten beim Maisdüngungsversuch decken Stickstoffgaben in der Höhe von 0 bis 175 kg ha⁻¹ ab. Weiters sind Gülle- und Mineraldüngervarianten mit unterschiedlichen Düngungszeitpunkten eingeplant. Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Varianten der Düngung. Die monatlichen N_{min}-Messungen geben ein gutes Bild über die Veränderungen des Bodenstickstoffgehaltes im Laufe eines Vegetationsjahres.

Tabelle 12: Körnermais Wagna

	April			Anf. Mai	Ende Mai/Anfang Juni			
	Gülle vor Anbau flächig (12 m ³ - 16.4.) <small>Sp.W. 7.0 = 5.96 GN, 3.50 NH₄</small>	min. N-Düngung beim Anbau (17.4.)	min. PK	KAS ab 10.5. (11.5. - EC 13)	Gülle wie Schleppschl auch (23 m ³ - 26.5.-EC 19) <small>Sp.W. 3.8 = 2.74 GN, 1.93 NH₄</small>	KAS (26.5.-EC 19)	① KAS nach N _{min} -Sollwert (26.5.-EC 19)	Summe N (kg ha ⁻¹)
0	--	--	ja	--	--	--	--	0
A		45 KAS (UF)	ja			45 KAS (RD)		90
B		55 KAS (UF)	ja			60 KAS (RD)		115
C			ja	55 KAS (RD)		60 KAS (RD)		115
D			ja ③	55 KAS (RD)	60 (55 ff)			115 (110 ff)
E	55 (62 ff)		ja ③			60 KAS (RD)		115 (122 ff)
F	55 (62 ff)		ja ③				N _{min} -Soll = 48	103 (110 ff)
G		55 KAS (UF)	ja				N _{min} -Soll = 60	115
H		55 Entec 26	ja			60 KAS (RD)		115
I	55 (62 ff)				60 (55 ff)			115 (117 ff)
K		55 KAS (UF)	ja			90 KAS (RD)		145
L		55 KAS (UF)	ja	60 KAS (RD)		60 KAS (RD)		175

KAS = Kalkammonsalpeter UF = Unterfußdüngung bei Saat RD = Reihendüngung mit/ohne Hacke flä = Flächendüngung
PK-Düngung: 375 kg ha⁻¹ DC45neu (0/12/20+8S) flächig am 15.4.2009 ③ bei Variante D, E und F nur alle 2 Jahre PK-Düngung, Beginn 2009

(ff) = feldfallender Stickstoff bei Gülle, 87 % vom Gesamtstickstoff (lt. chem. Analyse) ist feldfallender Stickstoff

3.2.2 Versuchsgebiet Wagendorfer Terrasse

Der Maisdüngungsversuch Wagna wiederholt sich in Wagendorf auf der Helfbrunner Terrasse (Tabelle 13). Sie nimmt östlich der Mur zwischen Neudorf und Seibersdorf große Flächen ein und wird von einem mindestens 3-4 m mächtigen Schotterkörper und einer Lehmmaße von mehreren Metern aufgebaut. Dieser Bodentyp wurde gewählt, weil er in der Bodenqualität und in der Gründigkeit

vollkommen anders zur Fläche in Wagna ist. Es ist ein lehmiger Schluff mit einer Gründigkeit von mehreren Metern.

Der Boden setzt sich aus 9 % Sand, 19 % Ton und 72 % Schluff zusammen. Der Nährstoffgehalt bei Phosphor und Kali liegt in der Klasse D und ist damit hoch versorgt. Der Humusgehalt weist 2.4 % auf und der pH-Wert liegt mit 5.3 im saurem Bereich.

Die Varianten decken Stickstoffgaben in der Höhe von 0 bis 210 kg ha⁻¹ ab. Weiters sind Gülle- und Mineraldüngervarianten mit unterschiedlichen Düngungszeitpunkten eingeplant. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Varianten der Düngung. Die monatlichen N_{min}-Messungen geben ein gutes Bild über die Veränderungen des Bodenstickstoffgehaltes im Laufe eines Vegetationsjahres.

Tabelle 13: Körnermaisversuch Wagendorf

	April			Anf. Mai	Ende Mai/Anfang Juni			Summe N (kg ha ⁻¹)
	Gülle vor Anbau flächig (18 m ³ - 8.4.) <small>Sp.W. 4.4 = 3.50 GN, 2.83 NH₄</small>	min. N- Düngung beim Anbau (8.4.)	min. PK	KAS ab 10.5. (11.5.-EC 14)	Gülle wie Schlepp- schlauch (27 m ³ - 26.5.-EC 18) <small>Sp.W. 3.0 = 1.85 GN, 1.60 NH₄</small>	KAS (26.5.-EC 18)	① KAS nach N _{min} -Soll- wert (26.5.- EC 18)	
0	--	--	ja	--	--	--	--	0
A		45 KAS (UF)	ja			45 KAS (RD)		90
B		55 KAS (UF)	ja			60 KAS (RD)		115
C			ja	55 KAS		60 KAS (RD)		115
D			ja ③	55 KAS	60 (43 ff)			115 (98 ff)
E	55 (55 ff)		ja ③			60 KAS (RD)		115 (115 ff)
F	55 (55 ff)		ja ③				N _{min} -Soll = 0	55 (55 ff)
G		55 KAS (UF)	ja				N _{min} -Soll = 0	55
H		55 Entec 26	ja			60 KAS (RD)		115
I	55 (55 ff)				60 (43 ff)			115 (98 ff)
K		55 KAS (UF)	ja			90 KAS (RD)		145
L		55 KAS (UF)	ja	60 KAS		60 KAS (RD)		175
M		70 KAS (UF)	ja	70 KAS		70 KAS (RD)		210

KAS = Kalkammonsalpeter UF = Unterfußdüngung bei Saat RD = Reihendüngung mit/ohne Hacke flä = Flächendüngung
(ff) = feldfallender Stickstoff bei Gülle (87 % vom Ges.-N) PK-Düngung: 2008 und 2009 keine PK-Düngung (wegen hoher PK-Versorgung)
③ bei Var. D, E und F nur alle 2 Jahre PK-Düngung, Beginn 2010

3.3 Statistische Datengrundlagen

Die Bodendaten wurden von der LWK-Steiermark im Rahmen eines Kooperationsprojektes für die ÖPUL-Evaluierung „Schutzgut Boden“ zur Verfügung gestellt und auf Basis der Gemeindegrenzlinie einem Kleinproduktionsgebiet zugeordnet. Nachdem das Projektgebiet weitestgehend mit dem KPG 703 „Ebenen des Murtales“ übereinstimmt, wurden nur diese Daten für die Auswertungen ausgewählt.

Die Daten betreffend Kulturarten und Flächenanteile stammen von den Agrarstrukturerhebungen, die Viehbestandszahlen sowie ÖPUL-Teilnahmeflächen stammen von INVEKOS-Daten (L005-Tierliste; L008-ÖPUL-Auswertung; L038-Parzellen ÖPUL-Begrünung). Die Auswertungen wurden auf Gemeindeebene durchgeführt und dann den 4 Gebieten im Projektgebiet zugeordnet. Es wurden alle Betriebe aufgenommen, die den Betriebssitz in einer Gemeinde des Projektgebietes haben. Gewisse Unschärfen sind nicht auszuschließen, weil somit auch Flächen von außerhalb des Projektgebietes einbezogen werden können als auch Flächen im Projektgebiet von einem Betrieb bewirtschaftet werden können, der seinen Betriebssitz nicht in einer Gemeinde des Projektgebietes hat. Die Daten wurden vom BMLFUW im Rahmen von ÖPUL-Evaluierungsprojekten zur Verfügung gestellt.

3.4 Das Modellsystem SIMWASER/STOTRASIM

Das Modellkonzept SIMWASER/STOTRASIM (STENITZER 1988 und FEICHTINGER 1988) ist ein Rechenmodell, welches für die ungesättigte Zone landwirtschaftlich genutzter Flächen die Wasser- und Stickstoffflüsse in eindimensionaler, vertikaler Richtung beschreibt und bewertet. Das Grundkonzept dieses Modells ist in Abbildung 8 skizziert. Gewisse Adaptierungen sind in Fank et al. 2008a beschrieben.

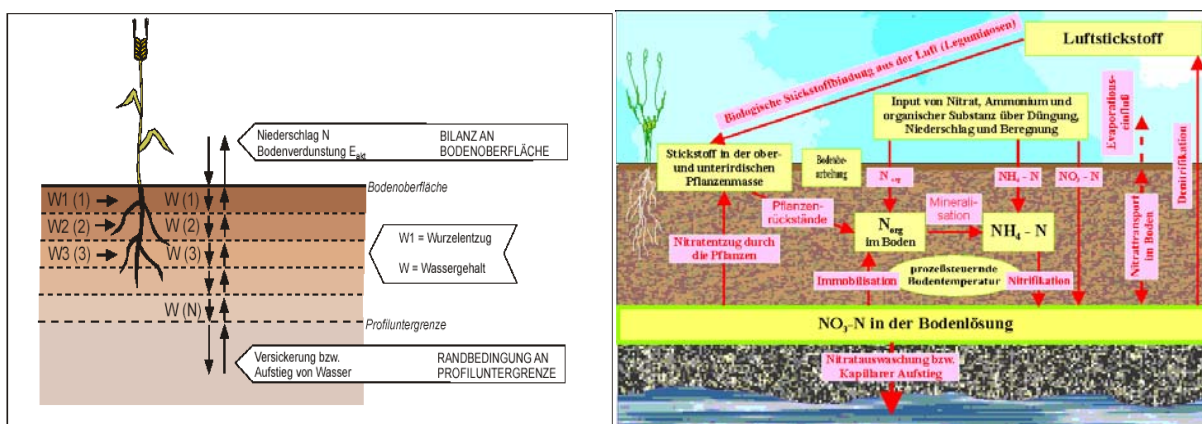


Abbildung 8: Schematische Darstellung der in SIMWASER berücksichtigten Wasserflüsse (links) und der in STOTRASIM zum Stickstoffkreislauf berücksichtigten Prozesse (rechts)

SIMWASER berechnet die Wasserbilanz und das Pflanzenwachstum für eine beliebig lange Fruchtfolge einer Nutzfläche auf Tagesbasis. An der Bodenoberfläche werden Niederschlag und Beregnung als Eintrag und die Evapotranspiration als Wasserentzug in Rechnung gestellt. Interzeption wird berücksichtigt. Die Kalkulation der Wasserbewegung im Boden folgt dem Darcy-Gesetz unter Beachtung der Wasserspeicherefähigkeit des Bodenprofils. Die Untergrenze des Bodenprofils ist durch die Grundwasseroberfläche gegeben oder in einer Tiefe angesetzt, in der kein Einfluss des Wurzelentzuges mehr vorliegt. Der Wasserfluss an der Profiluntergrenze ergibt die Tiefsickerung oder Grundwassererneubildung bzw. den kapillaren Aufstieg.

STOTRASIM berechnet die Stickstoff- und partiell die Kohlenstoffdynamik eines landwirtschaftlich genutzten Bodens. Dabei werden als Stickstoffeinträge an der Bodenoberfläche Düngung, Niederschlag, Beregnung und die Bindung aus der Luft durch Leguminosen berücksichtigt. Pflanzenaufnahme, Denitrifikation und Ammoniumausgasung sind entsprechende Stickstoffausträge. Mineralisation und Immobilisation gehen in die Berechnung des bodenbürtigen Stickstoffumsatzes ein. Der an die Wasserbewegung gebundene, vertikale Stickstofftransport erfolgt ausschließlich als Nitrat. Der an der Untergrenze des Bodenprofils berechnete Nitratfluss formuliert somit die Stickstoffversickerung bzw. kapillaren Aufstieg.

Vor Anwendung von SIMWASER/STOTRASIM in der Projektregion wurden einige Prozess steuernde Beiwerte an den Daten der Lysimeterstation Wagna justiert bzw. regionalspezifisch festgelegt.

4 Ackerbauliche Bewirtschaftung und Ergebnisse zur Grundwasserqualität

4.1 Bodenanalysedaten im Kleinproduktionsgebiet Murtal

Im Rahmen von zumeist freiwilligen Bodenuntersuchungen der Landwirte zur Ermittlung der Phosphor-, Kalium- und Kalkdüngempfehlungen zeigte sich, dass sich der überwiegende Anteil der untersuchten Proben von Ackerstandorten aus dem Murtal im anzustrebenden, optimalen Gehaltsniveau befindet.

Der pH-Wert von etwa 70 % der beprobten Ackerstandorte liegt im schwach sauren und neutralen Bereich zwischen 5.5-7.25, in dem die Nährstoffverfügbarkeit durchwegs als günstig bezeichnet werden kann. Auf etwa 30 % der Standorte liegt der pH-Wert unter 5.5, es besteht vor allem für schwere und mittlere Böden ein Aufkalkungsbedarf, um den pH-Wert auf etwa 6.0-6.5 anzuheben. Zwischen 5 und 10 % der Proben weisen einen pH-Wert kleiner 5 auf, was insbesondere bei kalkbedürftigen Ackerkulturen wie Raps, Zuckerrübe, aber auch bei Mais zu relevanten Ertragseinbußen führen kann. Die Daten zeigen, dass in den letzten Jahren der Anteil dieser Proben (pH < 5) rückläufig ist (Abbildung 9). Bei den Standorten, auf denen Gemüse gepflanzt wird, ist der Anteil zu niedriger pH-Werte viel geringer, er liegt unter 2 %.

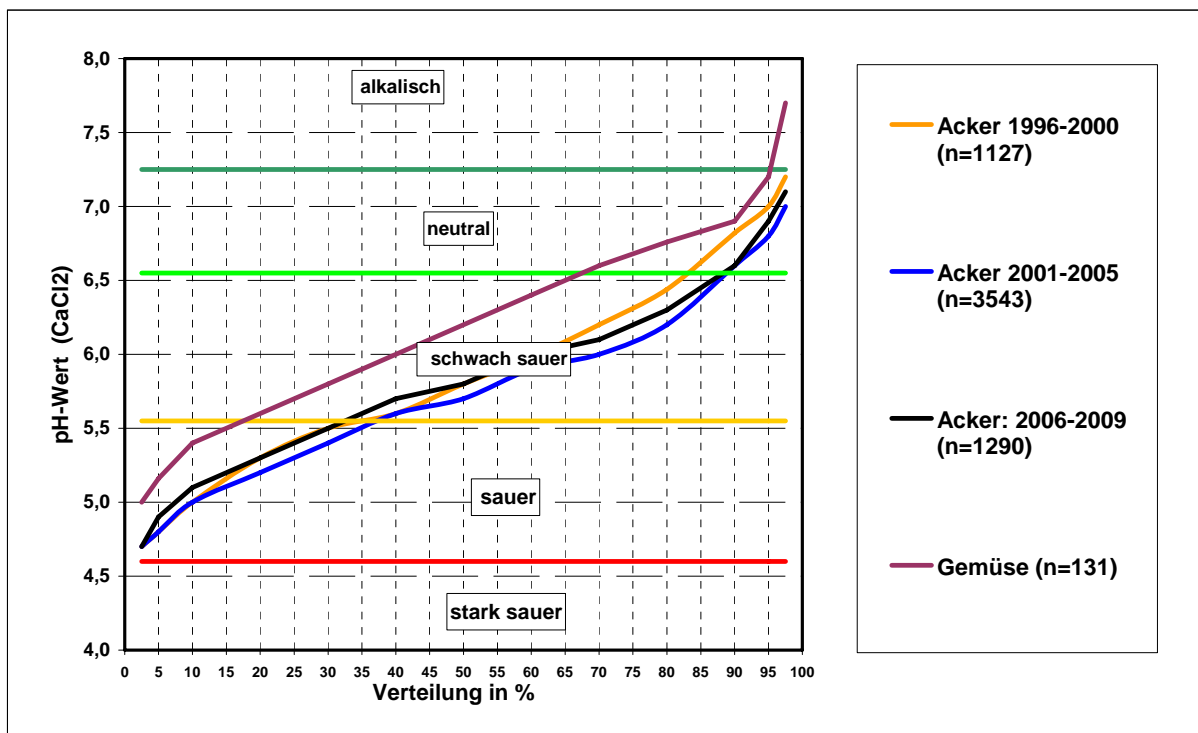


Abbildung 9: Bodenreaktion der Bodenproben aus dem Murtal (KPG 703)

Die pflanzenverfügbaren Phosphor-Gehalte (Abbildung 10) haben sich im Verlauf der vergangenen 10 Jahre relativ deutlich in den anzustrebenden Gehaltsbereich C entwickelt. Vor allem der Anteil zu

niedrig versorgter Standorte (Stufen A und B) ist von 30 % auf knapp 20 % zurückgegangen, gleichzeitig hat sich auch der Anteil zu hoch versorgter Ackerproben um etwa 3 % auf 17 % vermindert, sodass nunmehr etwa 60 % der Standorte als optimal versorgt zu bezeichnen sind.

Dieses Ergebnis kann auch als Hinweis interpretiert werden, dass es kein Mengenproblem mit Wirtschaftsdüngern in diesem Gebiet gibt, sondern nur ein Verteilungsproblem, von dem etwa 5-10 % der beprobten Flächen durch zu hohe Ausbringungsmengen betroffen sind; eine exakte Zuordnung, ob die überhöhten Nährstoffgehalte durch organische oder mineralische Düngung verursacht wurden, ist nicht möglich. Etwa 30 % der Gemüseflächen zeigen eine Überversorgung mit Phosphor, eine Interpretation der Daten im zeitlichen Verlauf ist wegen der viel geringeren Probenzahl nicht möglich.

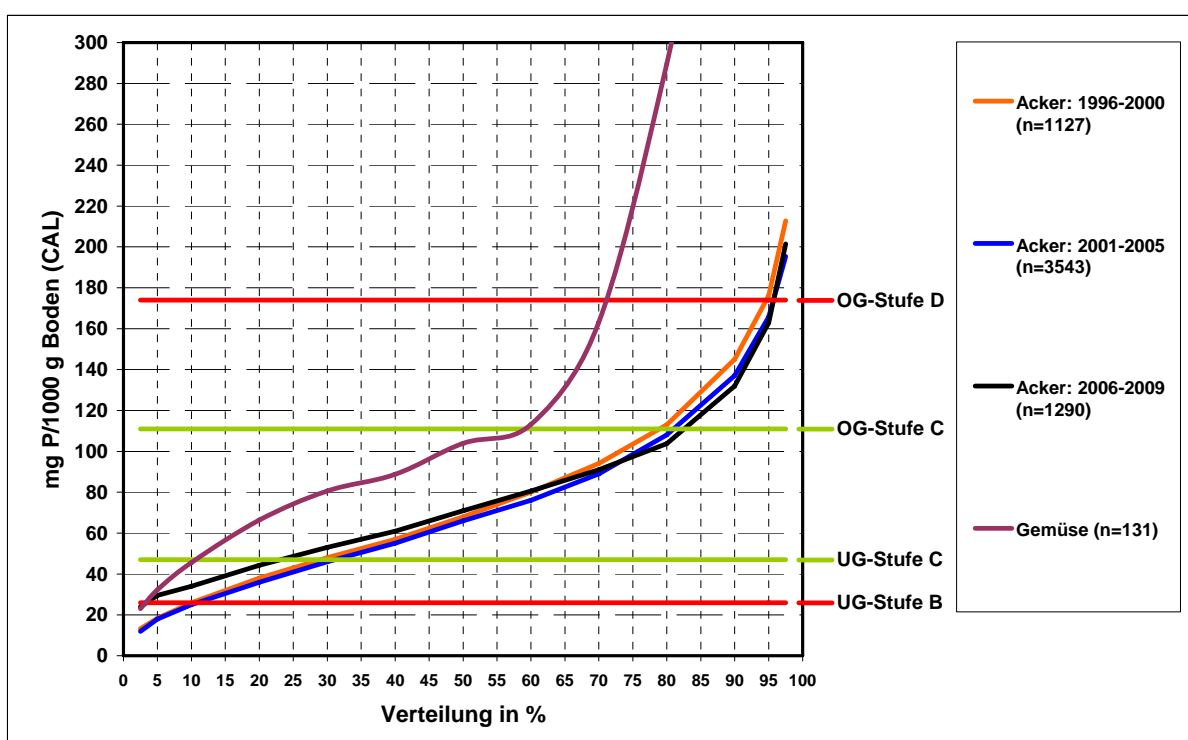


Abbildung 10: Pflanzenverfügbare Phosphor-Gehalte der Bodenproben aus dem Murtal (KPG 703)

Die pflanzenverfügbaren Kaliumgehalte liegen geogen bedingt in vielen Regionen Österreichs in deutlich günstiger versorgten Stufen als die P-Gehalte. Die Bodendaten zeigen im zeitlichen Verlauf, dass der Bodenvorrat bei der K-Düngung im Murtal zunehmend mitberücksichtigt wird. Der Anteil der sehr hoch versorgten Ackerstandorte ist von über 15 % auf unter 10 % zurückgegangen, der Anteil der niedrig versorgten Standorte ist hingegen unverändert bei knapp 20 % geblieben (Abbildung 11). Die Gehalte der Gemüseflächen unterscheiden sich nur wenig von denen der Ackerflächen, nur der Anteil gering versorgter Flächen ist geringer.

Bei den Humusgehalten ist zu berücksichtigen, dass die Proben in der Steiermark nach wie vor nach dem Verfahren der Nassoxidation (ÖNORM L 1081) untersucht werden, diese Werte liegen um etwa 0.3-0.5 % unter dem Ergebnis, das mit der Trockenoxidation (ÖNORM L 1080) erzielt wird.

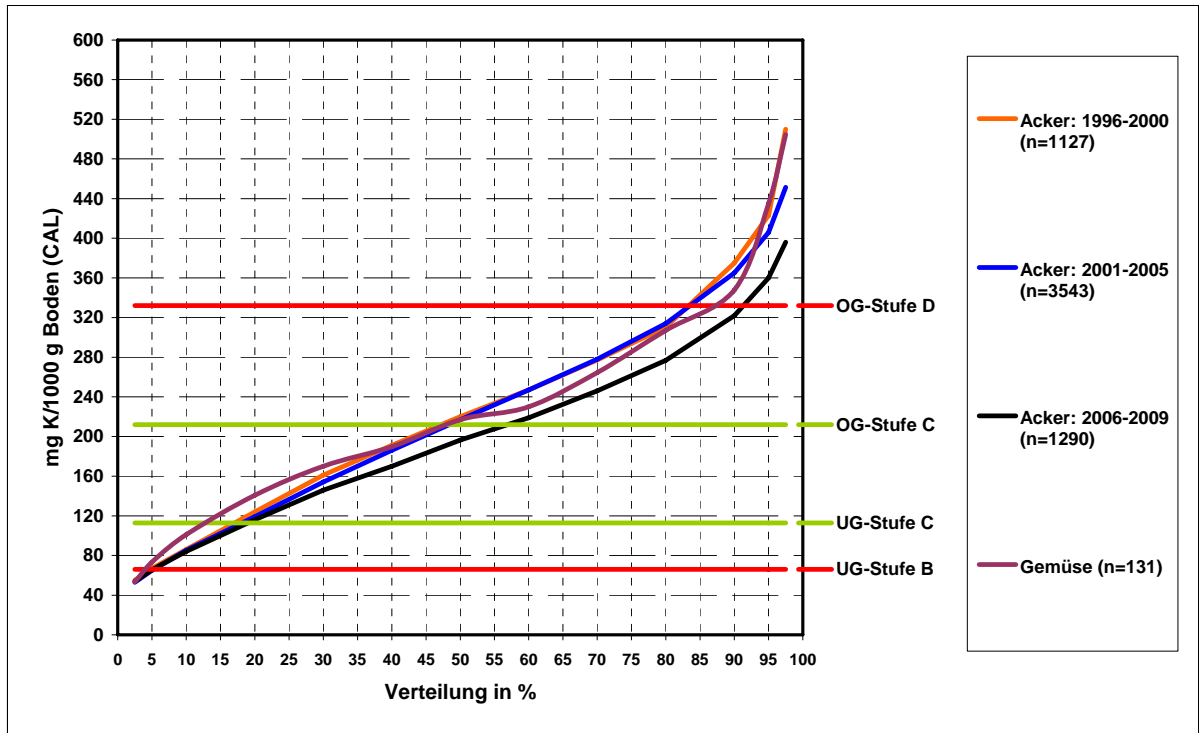


Abbildung 11: Pflanzenverfügbare Kalium-Gehalte der Bodenproben aus dem Murtal (KPG 703)

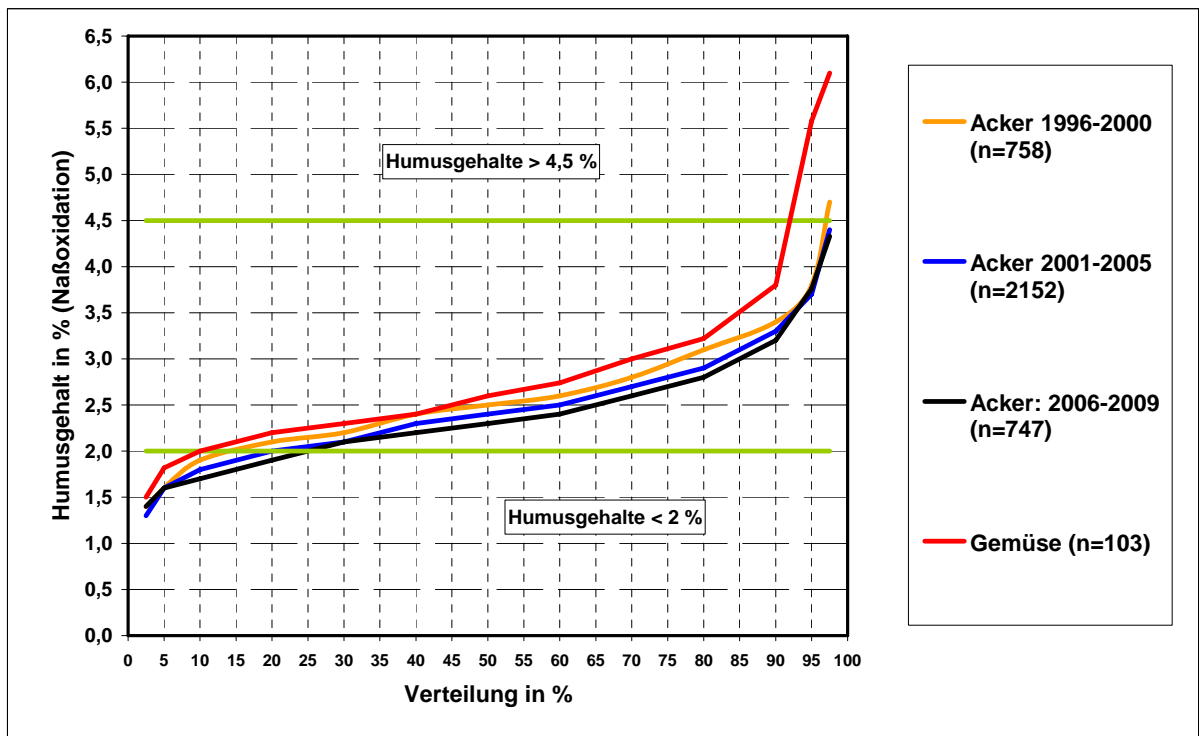


Abbildung 12: Humus-Gehalte der Bodenproben aus dem Murtal (KPG 703)

Diese methodische Umstellung wurde bei der 6. Auflage der Richtlinien für die sachgerechte Düngung berücksichtigt, sodass seither Humusgehalte zwischen 2.0-4.5 als „ausreichend“ bewertet werden; nach der 5. Auflage galt noch der Bereich von 1.5-4.0 als mittel. Wenn man diese methodischen Unterschiede entsprechend mitbewertet, liegen die Humusgehalte auf den Ackerflächen im Murtal fast

durchwegs im mittleren Bereich, der Anteil zu niedriger bzw. zu hoher Gehalte liegt jeweils unter 5 %. Auf den Gemüseflächen werden etwas höhere Gehalte gefunden, der Median liegt bei 2.6 % im Vergleich zu 2.3-2.5 auf den Ackerstandorten. Eine relevante Gefährdung des Grundwassers durch N-Mineralisierungsschübe von stark humosen Standorten ist auf Basis dieser Daten nicht anzunehmen. Ein schwacher Trend von 0.1 % zu niedrigeren Humuswerten ist ersichtlich (Abbildung 12), was in Zukunft weiter beobachtet werden muss. Dieses Ergebnis kann auch in die Richtung gedeutet werden, dass bislang nicht in einem relevanten Umfang eine Umstellung hin zur Minimalbodenbearbeitung stattgefunden hat.

4.2 Teilnahme an grundwasserrelevanten Umweltmaßnahmen (ÖPUL) im Jahr 2008

Für die folgenden Tabellen wurden die ÖPUL-Teilnahmeflächen des Jahres 2008 herangezogen. Es ist dabei zu beachten, dass im Jahr 2008 sowohl Maßnahmen nach dem aktuellen Programm ÖPUL 2007 angenommen werden konnten als auch noch Maßnahmen aus dem vorangegangenen Programm ÖPUL 2000. Das war für die Bewirtschafter möglich, die erst bis zum 3. Jahr in das Programm eingestiegen sind, und für die dann der 7-jährige Verpflichtungszeitraum begann. Ab 2010 kann nur noch nach dem aktuellen Programm gearbeitet werden, die entsprechenden Teilnahmeflächen werden erst im Verlauf des heurigen Jahres vorliegen.

Im Murtal wurde noch in einem relativ hohem Maß die Reduktionsmaßnahme von ertragssteigernden Betriebsmittel auf Ackerland des ÖPUL 2000 angenommen (Tabelle 14), durch die N-Obergrenzen fixiert werden; z.B. bei Mais 150 kg ha^{-1} , bei Raps 140 kg ha^{-1} . Diese Maßnahme wird im ÖPUL 2007 durch die „Umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker und Grünland“ ersetzt, bei der keine starren N-Obergrenzen mehr bestehen, jedoch andere Einschränkungen wie z.B. die Absenkung der N-Obergrenze von 210 kg ha^{-1} nach dem Wasserrechtsgesetz auf 150 kg , den maximalen Flächenanteil von 75 % für Getreide und Mais, wobei keine Kultur über 66 % Flächenanteil am Ackerland haben darf. Weiters gilt der generelle Verzicht auf die Ertragslage „hoch 3“.

Alle Maßnahmen, die als Förderungsvoraussetzung eine Reduktion der N-Düngungshöhe im Vergleich zum Nitrat-Aktionsprogramm haben, wurden in der folgenden Tabelle 15 zur Kategorie „Ackerland mit red. N-Düngereinsatz“ zusammengefasst. Dabei ist ersichtlich, dass damit im Südlichen Grazer Feld knapp 60 % der Ackerflächen dem entsprechend bewirtschaftet werden, in den anderen 3 Gebieten liegt dieser Anteil deutlich niedriger zwischen 32-38 %. Die Ursache dafür ist einerseits der geringere Viehbesatz und der höhere Kürbis- und Gemüseanteil im Südlichen Grazer Feld, die nach den Richtlinien der Integrierten Produktion geführt werden. Die hohen Flächenanteile für die Grundförderung nach ÖPUL 2000 zeigen ebenfalls, dass der Umstieg ins ÖPUL 2007 sehr schleppend erfolgte. Auf den Ackerflächen des Murtals hat die Biologische Wirtschaftsweise nur eine sehr geringe Bedeutung, die Anteile liegen bei etwa 1 %, nur im Westlichen Leibnitzer Feld bei etwa 4 %.

Tabelle 14: Teilnahme an ÖPUL-Maßnahmen mit reduzierten N-Obergrenzen 2008

Gebiet	Reduktion: Mais (ÖPUL 2000)	Reduktion: Feldgemüse (ÖPUL 2000)	Integr. Prod. Gemüse (ÖPUL 2007)	Reduktion: Ölsaaten (ÖPUL 2000)	Umweltger. Bewirt. von Acker- und Grünland (ÖPUL 2007)
Nordöstliches Leibnitzerfeld	582	85	19	142	153
Südliches Grazer Feld	798	604	280	15	1172
Südöstliches Leibnitzerfeld und Unteres Murtal	2207	955	322	272	1007
Westliches Leibnitzer Feld	301	123	48	14	231

Tabelle 15: Teilnahme an ÖPUL-Maßnahmen mit Bedeutung für den Grundwasserschutz 2008

Gebiet	Grundförderung (ÖPUL 2000)	Biolog. Wirtschaftsweise	Ackerland mit red. N-Düngereinsatz	Anteil Acker in % mit red. N-Einsatz (ÖPUL) 2008
Nordöstliches Leibnitzerfeld	1161	18	981	32,1
Südliches Grazer Feld	1963	51	2869	59,8
Südöstliches Leibnitzerfeld und Unteres Murtal	4762	83	4763	38,3
Westliches Leibnitzer Feld	704	90	717	32,3

Tabelle 16: Teilnahme an ÖPUL-Maßnahmen Begrünung von Ackerflächen und vorbeugenden Gewässerschutz 2008

Gebiet	Begrünung von Ackerflächen (ÖPUL 2007)	Begrünung von Ackerflächen (ÖPUL 2000)	Vorbeug. Boden- und Gewässerschutz (ÖPUL 2007)	Vorbeug. Gewässerschutz Stmk. (ÖPUL 2000)	Vorbeug. Gewässerschutz Stmk.: erweiterte Begrünung (ÖPUL 2000)	Schlagbez. Planung, Aufzeichnung und Bilanzierung (ÖPUL 2007)
Nordöstliches Leibnitzerfeld	96	1103	103	1148	897	73
Südliches Grazer Feld	616	1943	805	1948	1342	498
Südöstliches Leibnitzerfeld und Unteres Murtal	564	4631	862	4712	3848	617
Westliches Leibnitzer Feld	202	649	181	684	557	168

Auch die Begrünungsmaßnahmen wurden 2008 noch in einem hohen Umfang nach dem ÖPUL 2000 durchgeführt (Tabelle 16), wobei zu beachten ist, dass ab ÖPUL 2007 bei den genannten Maßnahmen nur die aktiv begrünte Fläche ausgewiesen wird. Hinzuweisen ist auf den relativ hohen Anteil an Ackerland im Südlichen Grazer Feld von etwa 10 %, wofür die Verpflichtung zu schlagbezogener Planung, Aufzeichnung und Bilanzierung eingegangen wurde. In den anderen Gebieten ist bislang der entsprechende Flächenanteil viel geringer. Es wird zu erheben sein, wie hoch die Akzeptanz dieser Maßnahme ab 2010 ist, nachdem der N-Bilanz im Rahmen dieser Arbeit eine überragende Bedeutung eingeräumt wurde.

In Tabelle 17 sind die Flächen, die nach den unterschiedlichen Varianten begrünt wurden, zusammengefasst. Die Varianten A, B und D, bei denen der Anbau bereits im Sommer bis spätestens 20.9. zu erfolgen hat, haben im Murtal nur eine geringe Bedeutung. Flächenmäßig überwiegen die

winterharten Begrünungen der Variante C, die bis 15.10 angebaut sein müssen, und jedenfalls bis 1. März zu belassen sind. Diese Variante wird in der Regel nach Mais angelegt. Den größten Effekt für den Grundwasserschutz hat diese Variante aber vor allem dann, wenn die Begrünung weit über den 1. März hinaus bis in den April belassen wird, weil besonders in dieser Zeit erst bedeutende Trockenmassezunahmen und Nährstoffaufnahmen möglich sind. Aktiv begrünt werden somit etwa 26 % des Ackerlandes im Nordöstlichen und Südöstlichen Leibnitzer Feld und Unterem Murtal, im Südlichen Grazer Feld liegt dieser Anteil mit 37 % am höchsten.

Tabelle 17: Begrünte Ackerflächen in ha 2007/08 nach Varianten A (Sommer-/Herbstbegrünung), B abfrostende Herbst-/Winterbegrünung); C (winterharte Herbst-/Winterbegrünung) und D abfrostende Sommer-/Winterbegrünung) sowie Flächen von Winterraps (WR) und Ackerfutter (AF)

Gebiet	Var A	Var B	Var C	Var D	Summe	% Begr.	WR+AF	Ackerland
Nordöstliches Leibnitzerfeld	41	28	712	9	789	25,8	39	3060
Südliches Grazer Feld	257	18	1381	122	1778	37,0	77	4801
Südöstliches Leibnitzerfeld und Unterem Murtal	352	69	2803	55	3279	26,3	98	12447
Westliches Leibnitzer Feld	25	3	611	39	678	30,6	66	2218

4.3 Bisherige Detailuntersuchungen und deren Ergebnisse

Zur Frage des Einflusses der ackerbaulichen Bewirtschaftung auf die Grundwasserqualität des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg liegen bereits eine Vielzahl von Untersuchungen vor. Wesentliche Zusammenfassungen dazu finden sich in Bernsteiner et al. (2008). Neben diesen publizierten Ergebnissen finden sich relevante Untersuchungen aber auch in nicht publizierten Forschungsberichten, von denen die für das Untersuchungsziel wichtigsten im Folgenden kurz zusammengefasst und diskutiert werden sollen.

4.3.1 Versuchsfeld und Lysimeterstation Wagna

Bereits 1987 wurde in hydrogeologisch und bodenkundlich repräsentativer Lage das Versuchsfeld Wagna (vgl. Kap. 3.2.1) eingerichtet. Im Jahre 1991 wurde in diesem Versuchsfeld eine erste Lysimeterstation zur Verfolgung des Wassers von der Atmosphäre über die Pflanze, den Boden, die Ungesättigte Zone bis ins Grundwasser eingerichtet (Fank 1999). Diese Lysimeteranlage wurde im Jahre 2004 vollständig erneuert und auf den wissenschaftlich neuesten Stand gebracht (Fank & Unold 2007; Unold & Fank 2008; Lanthaler & Fank 2008; Rock & Fank 2008). Wesentliche Ergebnisse aus den bisherigen Untersuchungen werden kurz zusammengefasst.

4.3.1.1 Ertragsergebnisse und Stoffentzüge

In den Jahren zwischen 1988 und 1997 lagen die Maiserträge aller Bewirtschaftungsvarianten (vgl. Tabelle 9) im Mittel der Jahre zwischen 7880 und 9880 kg ha⁻¹. Eine geminderte mineralische Stickstoffdüngung bei Körnermais (120 anstelle 180 kg N ha⁻¹ a⁻¹) ergab einen gesicherten Minderertrag von 935 kg. Die reine Gülledüngung bei Körnermais bringt bei nahezu gleicher

Stickstoffdüngungshöhe gesicherte Mindererträge gegenüber der reinen mineralischen Stickstoffdüngung (Fastl & Robier 2008). Die Getreideerträge lagen für diesen Untersuchungszeitraum im Mittel bei $4990 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Im zweiten Versuchszeitraum (1998 bis 2003; Versuchsanstellung und Varianten siehe Tabelle 10) lagen die Kornerträge von Mais zwischen 7300 und $9100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, die Getreideerträge lagen im mehrjährigen Mittel bei $4960 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Einen statistisch gesicherten Minderertrag von 462 kg bringt die Variante mit $107 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Vergleich zur Variante mit $175 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, beide wurden mit Gülle und Mineraldünger gemischt gedüngt. Körnermais in der Fruchtfolge hat bei gleicher Düngung den gesichert höheren Ertrag als Körnermais in der Monokultur (Fastl & Robier 2008). Bei Körnermais entspricht die Stickstoffdüngung in den Varianten mit reduzierter Stickstoffgabe dem Stickstoffzug durch den Kornertrag.

Für die Jahre 2005 bis 2009 sind die Ertragsergebnisse in Tabelle 18 zusammengefasst. Getreide wurde dabei auf der konventionellen Seite in den Jahren 2005 bis 2007 in Form von Wintergerste, danach als Triticale gebaut. Auf den organisch-biologisch geführten Parzellen wurde Getreide 2005 bis 2007 in Form von Dinkel, danach in Form von Triticale gefahren. Die zugeführten Düngermengen wichen naturgemäß gegenüber den in Kap. 3.2.1 definierten Zielgrößen ab, da die Analyse der Gülleinhaltsstoffe erst im Nachhinein durchgeführt werden kann. Im Mittel der 5 Jahre wurden zu Mais $155 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (anstelle von geplanten 150 kg), zu Getreide $126 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (anstelle von geplanten 130 kg) und zu Kürbis $70 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (anstelle von geplanten 80 kg) gegeben.

Sowohl die Maiserträge beider Varianten, als auch die Getreideerträge der konventionellen Variante zeigen die hohe Bedeutung einer ausreichenden Wasserversorgung. In den Jahren 2008 und 2009 mit hohen Niederschlagssummen und dauernd ausreichender Wasserversorgung lagen die Erträge bei gleicher Düngung deutlich höher als in den Jahren davor. In den seltenen Jahren, in denen über die gesamte Vegetationsperiode kein Wasserstress auftritt, sind auch die lehmig sandigen Böden der Niederterrasse des Murtales in der Lage deutlich mehr als $10\,000 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Körnermaisertrag zu liefern.

Im Zuge der Ernte der Hauptfrüchte wurden aus repräsentativen Teilbereichen der Parzellen händische Ernten durchgeführt und im Kornertrag der Stickstoffgehalt analysiert. Die mittleren Stickstoffgehalte bei Mais lagen dabei bei $0.014 \text{ kg N je kg Korn}$ (Trockengewicht). Im Getreide wurde im Mittel ein Stickstoffgehalt von $0.017 \text{ kg N je kg Korn}$ (Trockengewicht) gemessen und im Kürbis lagen die Entzugszahlen von Stickstoff bei $0.056 \text{ kg N je kg Kern}$ (Trockengewicht). Im Mittel errechnen sich danach die in Tabelle 18 angegebenen Stickstoffentzüge. Im Vergleich zu den Düngergaben ergibt sich, dass der Mais entzugsgerecht gedüngt wird. Zu Kürbis und zu Getreide liegen die Entzüge etwas unter den zugeführten Stickstoffmengen.

Tabelle 18: Ertragsergebnisse in kg ha^{-1} und Stickstoffentzug über das Erntegut (kg ha^{-1}) aus den Versuchsvarianten des Versuchsfeldes Wagna 2005 bis 2009.

Jahr	Konventionell (KON)			organisch-biologisch (BIO)		
	Mais	Getreide	Kürbis	Mais	Getreide	Kürbis
2005	9855	6140	639	9157	2471	834
2006	7790	4644	569	4934	1906	690
2007	9636	5725	759	9164	2010	688
2008	11810	6089	727	12498	4784	502
2009	12810	7307	418	10576	3939	293
Mittelwert	10380	5981	622	9266	3022	601
N-Entzug	145	99	35	130	50	34

4.3.1.2 Winterharte Gründecken und Stickstoffaufnahme

Im Frühjahr 2008 wurden vor dem Umbruch der Gründecke bzw. vor deren Einarbeitung die oberirdische Biomasseentwicklung (GTM) und der Gehalt an Gesamtstickstoff in den Pflanzen für die unterschiedlichen Fruchtfolgen näher beleuchtet. Dazu wurden auf den je 1000 m² großen Versuchspartzellen 1 m² große Teilflächen ausgewählt, auf diesen die Pflanzen mit der Hand geschnitten, gewogen, getrocknet und der Stickstoffgehalt dieser Proben bestimmt und die Ergebnisse auf eine Fläche von 1 ha hochgerechnet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abbildung 13 dargestellt.

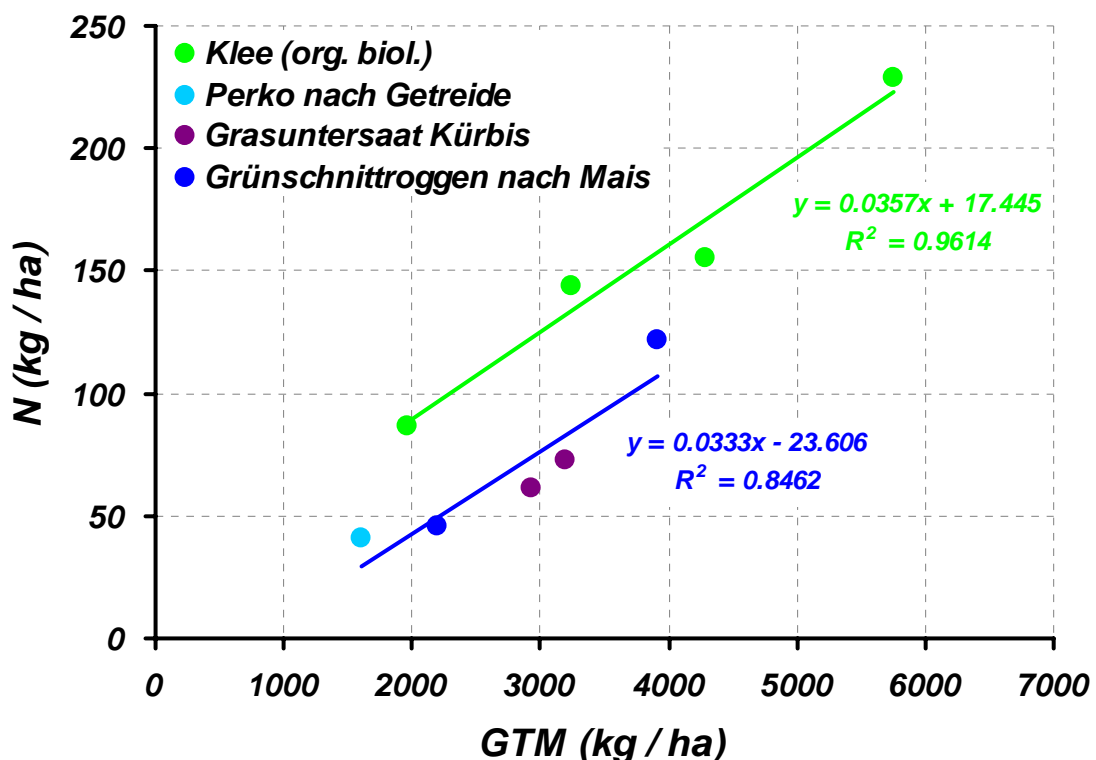


Abbildung 13: Messung der grünen Trockenmasse (GTM) und der Relation zum Stickstoffgehalt in der Winterbegrünung im Frühjahr 2008 am Versuchsfeld Wagna

Da die organisch-biologische Bewirtschaftungsform des Versuchsfeldes Wagna weder mineralischen noch organischen Dünger verwendet, erfolgt der Stickstoffinput in das System durch die Anlage von

Leguminosen, in der hier untersuchten Form als Klee, bzw. Klee gras. Die dargestellten Punkte repräsentieren dabei die Entwicklung der grünen Trockenmasse in Relation zum Stickstoffgehalt für vier verschiedene Parzellen mit unterschiedlichen Vorfrüchten (mit aufsteigender GTM): Klee als Kürbis-Untersaat, Klee gras als Gründüngung während der gesamten Vegetationsperiode des Jahres 2007, Klee als Untersaat in Triticale (Getreide). Letztere Variante wurde an zwei Stellen der Versuchsparzelle untersucht, um Daten über die kleinräumige Variabilität der Biomasseproduktion und der Stickstoffaufnahme zu erhalten. Der Schnitt und damit die Einarbeitung der Gründücke erfolgten am 27.03.2008. Das Ergebnis zeigt eine sehr strenge Abhängigkeit der Stickstoffeinlagerung (und damit des Nitratzuges aus dem Boden) von der Biomasseentwicklung. Je besser die Pflanzenentwicklung zum Schnittzeitpunkt ist, desto höher ist auch die eingelagerte Stickstoffmenge, die in Folge als organische Masse in den Boden rückgeführt wird. Durch den relativ hohen Stickstoffgehalt im Klee wurden dabei in der grünen Trockenmasse Stickstoffmassen von 90 bis 230 kg ha⁻¹ gemessen.

Von den konventionell bewirtschafteten Parzellen wurde eine Perko/Senf/Sonnenblumen Gründücke nach Getreide, eine Raygraseinsaat nach Kürbis in zwei Teilflächen und eine Gründücke aus Grünschnittroggen nach Kürbis – ebenfalls in zwei Teilflächen – untersucht. Die Ansaat der Zwischenfrucht nach Getreide erfolgte am 21.07.2007, die Einsaat des Raygrases in den Kürbis erfolgte am 01.06.2007 und die Anlage der Grünschnittroggen-Gründücke nach der Maisernte erfolgte am 24.09.2007. Die Ernte der Gründücke für die Untersuchungen erfolgte am 14.04.2008.

Die Ergebnisse der Auswertung ergaben auch für die Gründücken auf den konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldern eine strenge Abhängigkeit der Stickstoffaufnahme von der Biomasseproduktion in Form der grünen Trockenmasse. Aufgrund des abfrostenden Teiles im Gemenge der Zwischenfrucht nach Getreide ist zum Erntezeitpunkt die Biomasse des Perko/Senf/Sonnenblumengemisches mit 1600 kg ha⁻¹ am geringsten. Sowohl die Graseinsaat in den Kürbis als auch der Grünschnittroggen nach Mais weist zum Erntezeitpunkt vor dem Anbau der nächsten Kultur eine grüne Trockenmassenproduktion von etwa 3000 kg ha⁻¹ auf, wobei v.a. die Spannweite der Trockenmassebildung beim Grünschnittroggen von 2100 kg bis fast 4000 kg ha⁻¹ auffällig groß ist. Erkennbar ist, dass bei mittlerer Pflanzenentwicklung der Gründücke etwa 70 kg an Stickstoff in den Pflanzen gebunden werden können.

Abbildung 14 zeigt die Entwicklung der winterharten Gründücke bis zum 14.04.2009, einerseits des Perko/Senf/Sonnenblumengemisches (links), andererseits des Raygrases als Kürbis-Untersaat. Dabei ist, was optisch nicht eindeutig erkennbar ist, die grüne Trockenmasse und damit auch der darin gespeicherte Stickstoff im Gras etwa doppelt so hoch (3200 kg : 1600 kg). Ursache dafür ist das Abfrostern eines Großteils der Gemenge-Zwischenfrucht.



Abbildung 14: Entwicklung der winterharten Gründecke bis zum 14.04.2009 (kurz vor Einarbeitung)
 links: Perko – Senf – Sonnenblumengemenge nach Wintergetreide
 rechts: Raygras als Untersaat bei Kürbis



Abbildung 15: Entwicklung des Perko – Winterroggen Gemenges als winterharte Gründecke auf Parzelle K2 des Versuchsfeldes Wagna vom 04.10.2007 (links oben) über 08.11.2007 (rechts oben), 03.03.2008 (links unten) bis 10.04.2008 (rechts unten).

Abbildung 15 zeigt die Entwicklung des Perko-Winterroggen Gemenges als winterharte Gründecke auf Parzelle K2 des Versuchsfeldes Wagna vom 04.10.2007 über den 08.11.2007, den 03.03.2008 bis zum Einarbeitungstermin am 10.04.2008. Die Gründecke wurde in das gehäckselte Maisstroh durch eine seichte Grubberung angesät. Während im Herbst und damit bis zum Spätwinter Anfang März nur eine sehr mäßige Pflanzenentwicklung erkennbar ist, führt der Beginn des Vegetationszeitraumes im

März zu einem sehr starken Anwachsen der Gründecke. Dies belegt, wie wichtig der Bestand der Gründecke bis möglichst kurz vor dem Anbau der Hauptfrucht für ihre Schutzfunktion vor Nitratauswaschung in das Grundwasser ist. Gerade am Beginn der Vegetationsperiode entzieht die Gründecke dem Boden Stickstoff, der dann im Zuge der Einarbeitung in organisch gebundener Form der Folgekultur zur Verfügung gestellt wird. Aufgrund der relativ langen Umsetzungszeiten von organisch gebundenem Stickstoff in Nitrat ist damit ein wirksamer Schutz vor Tiefenverlagerung gegeben.

4.3.1.3 Sickerwasserverweilzeiten

In Abbildung 16 ist der Vergleich der Ergebnisse zweier Bromid-Tracerversuche am Versuchsfeld Wagna unter unterschiedlichen hydrologischen Rahmenbedingungen dargestellt: Während der Versuch 1993 im April bei beginnender Vegetationsperiode durchgeführt wurde, erfolgte die Tracerapplikation des Versuches 1997 im Dezember, um in erster Linie Evapotranspirationsverluste der Tracerlösung vermeiden zu helfen.

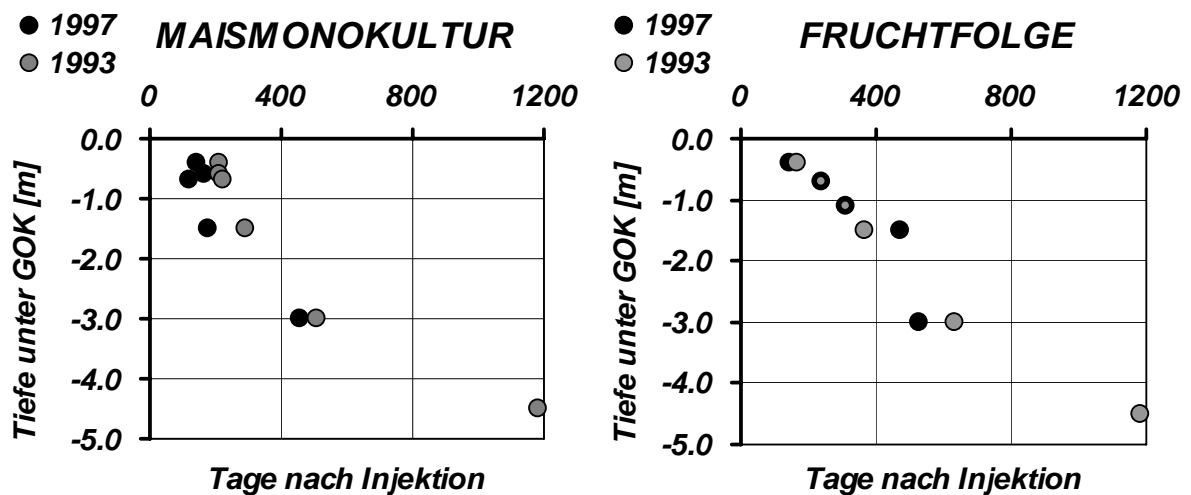


Abbildung 16: Ermittlung der mittleren Verlagerungsgeschwindigkeit des Wassers in der ungesättigten Zone aus der Schwerpunktkonzentration der Tracerdurchbruchkurven an Messstellen in unterschiedlichen Tiefen: Vergleich der Ergebnisse zweier Bromid-Tracerversuche unter unterschiedlichen hydrologischen Rahmenbedingungen.

Trotz dieser unterschiedlichen Bedingungen zeigt die mittleren Verlagerungsgeschwindigkeit in beiden Fällen nahezu identes Verhalten – ein Indiz dafür, dass aufgrund der langen Dauer der Prozesse die im Detail großen Unterschiede im Transportverhalten in Abhängigkeit von den hydrometeorologischen Rahmenbedingungen bei Betrachtung mittlerer Verhältnisse in vielen Fällen wieder verloren gehen.

Als wesentliches Ergebnis der Versuche kann klar dokumentiert werden, dass die mittlere Verweildauer eines konservativen Stoffes von der Geländeoberfläche bis in das Grundwasser (Flurabstand im Mittel 4.5 m) bei etwa 3.2 Jahren liegt. Diese Verweilzeit ist in Summe unabhängig

von den kurzfristigen unterschiedlichen hydrometeorologischen Verhältnissen unter den Klimabedingungen der südöstlichen Steiermark. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass jegliche Maßnahmen, die zur Verringerung des diffusen Stoffaustrages in das Grundwasser gesetzt werden, eine Verzögerung bis zu deren Auswirkung von zumindest 3 Jahren haben.

4.3.1.4 Wasser- und Stickstoffflüsse

An der Lysimeterstation Wagna werden, eingebettet in das Versuchsfeld Wagna (siehe Punkt 3.2.1), seit 1992 bis dato die Wasser- und Stickstoffflüsse für zwei für die Region typische Bewirtschaftungsformen des Ackerbaus im Detail erhoben. Untersucht wurde einerseits eine Maismonokultur (1992-2003) mit nachfolgender regional konventioneller Bewirtschaftung (nach Neuausstattung der Lysimeteranlage im Jahr 2004, MM/KON), andererseits eine Fruchtfolgevariante (1992-2003) mit nachfolgender biologischer Wirtschaftsweise (seit 2004, FF/BIO). Initial sind die bodenkundlichen, bodenhydrologischen und geohydrologischen Verhältnisse der Untersuchungsstandorte erhoben. Kontinuierlich wurden die standörtlichen Wetterdaten, das Agrarmanagement (Anbau und Ernte einzelner Ackerkulturen, Düngemenge, Düngerart, Düngerqualität, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, ...) und der Aufwuchs von Erntegut und Nichterntegut (Trockenmasse, Stickstoffgehalt) präzise festgehalten. Weiters erfolgte eine kontinuierliche Messung des Bodenwassers in Quantität und Qualität, der in den Untergrund versickernden Wasser- und Stickstoffmengen und der Grundwasserstände samt Qualität des Grundwassers (Fank et al. 2006; Fank & Unold 2007; Lanthaler & Fank 2008; Fank 2009a; Fank 2009b). Diese Daten sind eine fundierte Basis für Stoffstromanalysen und bestens geeignet, um Rechenmodelle für eine Modellierung der Wasser- und Stickstoffflüsse in der ungesättigten Zone (von der Bodenoberfläche bis zum Grundwasser) auf die regionalen Verhältnisse abzustimmen.

Mit den oben skizzierten Daten wurden für die Lysimeterstandorte Wagna zu den Stickstoffflüssen Input-/Outputbilanzen angestellt. Dazu wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Die Stickstoffimporte durch Mineraldünger sind nach angegebener Aufwandmenge und Produktangabe bewertet.
- Zu Wirtschaftsdünger ist der N-Import über die Aufwandmenge und den Stickstoffgehalt (Gülleanalyse oder Spindelwert) mit dem feldfallenden Anteil bewertet. Die N-Importe durch Wirtschafts- und Mineraldünger sind in den anschließenden Abbildungen unter „Dung“ zusammengefasst.
- Die N-Einträge aus der Atmosphäre (At) sind mit 1.1 mg N mm^{-1} bewertet (Schneider 1998) was bei $\sim 900 \text{ mm}$ Jahresniederschlag $\sim 10 \text{ kg N-Eintrag pro Jahr}$ bedeutet.
- Zu den Stickstoffimporten infolge biologischer Fixierung von Luftstickstoff durch Leguminosen wurde vorerst SIMWASER/STOTRASIM anhand der Daten von der biologisch

bewirtschafteten Seite von „Wagna-neu, ab 2004“ dafür justiert und danach wurden die Einträge aus der N-Fixierung durch Leguminosen (BNF-biologische Stickstofffixierung) mit dem Modell bewertet.

- Die N-Abfuhr mit dem Erntegut (Ernte) ist entweder anhand von Analysewerten (TM, Stickstoffgehalt; ab 2005) oder anhand der Hektarerträge, unter Berücksichtigung der „Standardwassergehalte“, 14 bzw. 9 %, und mittlerer Stickstoffgehalte für das Produkt (gemäß den Analysewerten ab 2005) errechnet.
- Die N-Exporte durch Versickerung in den Untergrund sind anhand der kontinuierlichen Lysimetermessungen bewertet.
- Diese Input/Output-Glieder wurden über die Zeit fortlaufend addiert und die resultierenden, akkumulierten Stickstoffein- und -austräge sind für beide Bewirtschaftungsseiten in den Abbildung 17 und Abbildung 18 gegenübergestellt.

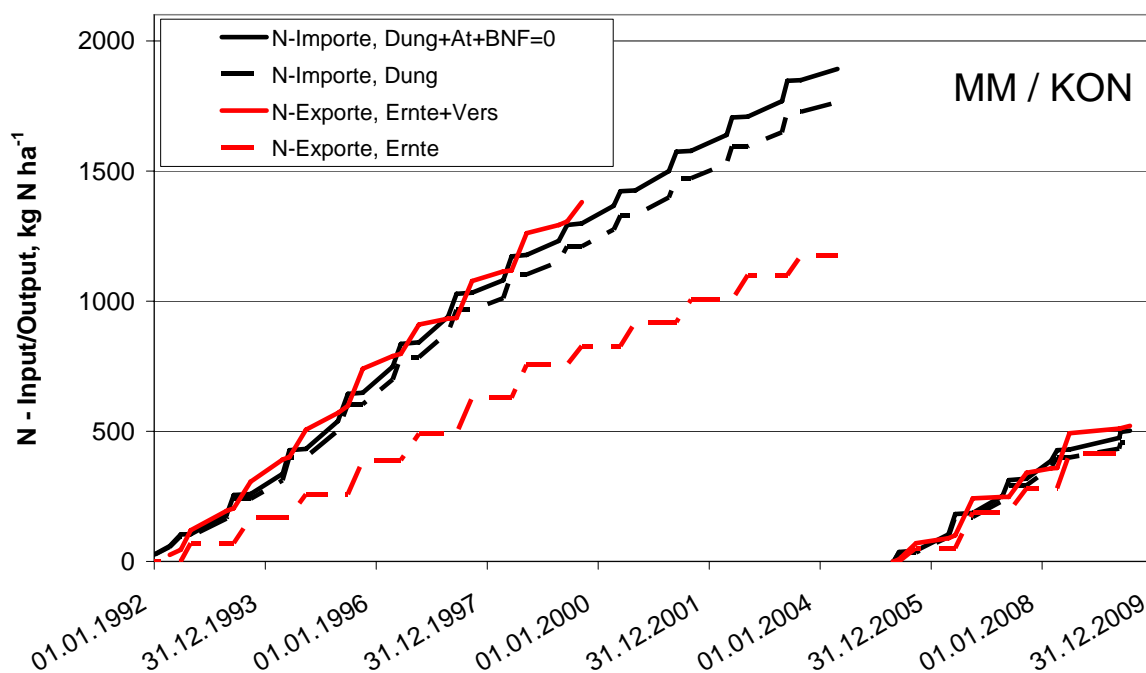


Abbildung 17: Gegenüberstellung der akkumulierten Stickstoffeinträge und -austräge für die als Maismonokultur bzw. konventionell bewirtschaftete Seite der Lysimeterstation Wagna für den Zeitraum 1.1.1992-31.7.2009

Diese Gegenüberstellungen führen zu folgendem Resümee:

- Auf beiden Lysimeterseiten halten sich über die Jahre hinweg die N-Einträge und N-Austräge die Waage. Nachdem die primären Austragspfade für Stickstoff die Abfuhr von Erntegut und die Versickerung sind, fließt der N-Import, welcher größer als die N-Abfuhr ist, in den Untergrund ab.

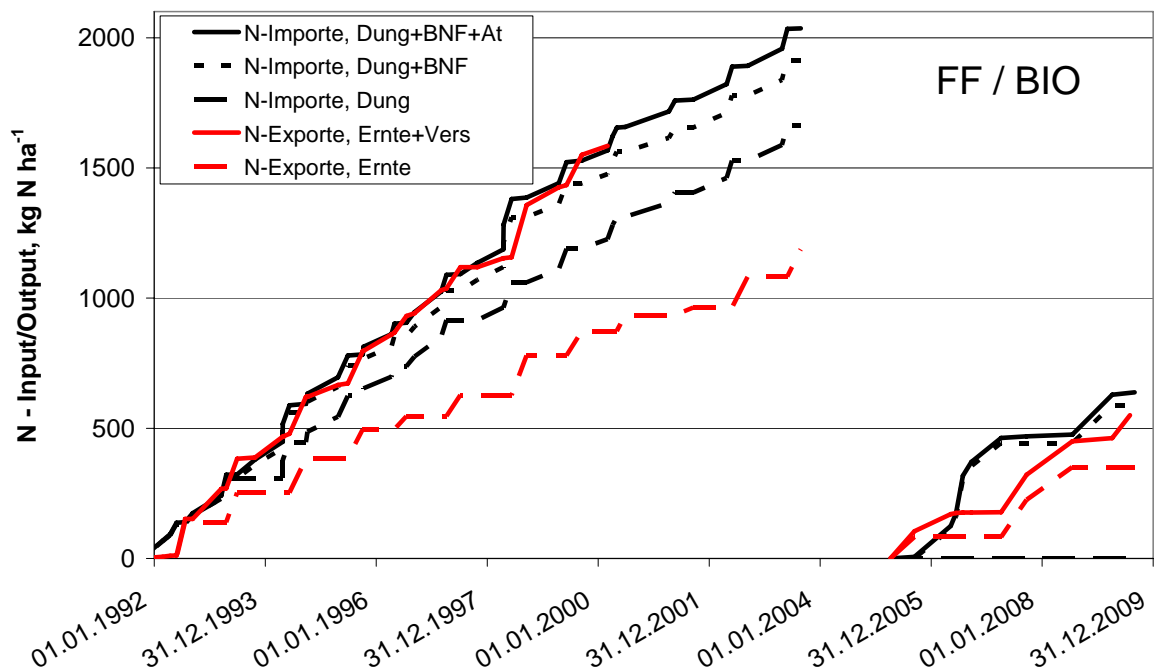


Abbildung 18: Gegenüberstellung der akkumulierten Stickstoffeinträge und -austräge für die als Fruchtfolge bzw. biologisch bewirtschaftete Seite der Lysimeterstation Wagna für den Zeitraum 1.1.1992-31.7.2009

- Auf der Lysimeterseite MM/KON, wo keine Leguminosen in der Fruchtfolge aufscheinen, ist neben einem geringen Anteil an atmosphärischen Eintrag der N-Eintrag mit Dünger, welcher deutlich über der Abfuhr mit dem Erntegut liegt, für die versickernde N-Fracht hauptverantwortlich.
- Auf der Lysimeterseite FF/BIO ist neben den Düngemitteln der N-Eintrag durch die Leguminosen von Bedeutung. Damit ist auch die Frage, warum die Fruchtfolgeseite höhere N-Austräge als die Maismonokultur aufweist, teilweise beantwortet, nachdem der N-Eintrag durch die Leguminosen bis 2003 in der Düngeplanung unberücksichtigt blieb.
- Jedenfalls verdeutlicht diese Bilanzierung, dass die Kenntnis von N-Einträgen und Austrägen essentiell ist, um grundwasserverträglichem Ackerbau nahe zu kommen. Es sind in dieser Region bei einer jährlichen Grundwasserneubildung in der Größenordnung von ~ 300 mm auf Ackerflächen eben max. 30-35 kg N ha⁻¹ a⁻¹ Überhang (Eintrag-Ernteabfuhr) möglich, um den Schranken der Grundwasserverträglichkeit (< 50 mg NO₃ l⁻¹) zu entsprechen. Dabei ist jedenfalls zu berücksichtigen, dass ~ 10 kg N ha⁻¹ a⁻¹ Eintrag bereits aus der Atmosphäre kommen und somit für grundwasserverträglichen Ackerbau die jährliche Bilanz von N-Eintrag durch Düngemittel, Leguminosen und sonstiges minus N-Austrag über Erntegut max. 20-25 kg N ha⁻¹ a⁻¹ betragen darf.

Basierend auf obigen Bilanzierungsgrundlagen wurden für die Fruchtfolge der Jahre 2005 bis 2008 der konventionell bewirtschafteten Seite (Kürbis, Mais, Mais, Getreide) Input/Output-Bilanzen für unterschiedliche Bereiche des Versuchsfeldes Wagna erstellt:

- Für das Präzisionslysimeter (1 m² Oberfläche) ergibt sich über die vier Jahre eine Sickerwassermenge von 1149 mm (im Mittel 287.25 mm a⁻¹). Einer Stickstoffzufuhr durch Düngung von 440 kg ha⁻¹ steht ein gemessener Stoffentzug über das abtransportierte Erntegut von 414 kg ha⁻¹ gegenüber. Unter Berücksichtigung eines Stickstoffimportes von 40 kg N ha⁻¹ über den atmosphärischen Niederschlag errechnet sich eine Nitrataustragskonzentration von 26 mg l⁻¹. Die aus der im Lysimeterabfluss gemessenen Stickstoffbefruchtung und der gemessenen Sickerwassermenge berechnete mittlere Nitratkonzentration wurde zu 29 mg l⁻¹ bestimmt. Die Übereinstimmung zwischen den gemessenen Stickstoffausträgen und den aus der Bilanz berechneten ist sehr gut und belegt die Qualität der Definition der Bilanzglieder (Düngung, Ertrag, N-Gehalt im Ertrag).
- Für die Versuchsparzelle 18 (~ 1000 m²), in der das Präzisionslysimeter installiert ist errechnet sich aus der Stickstoffzufuhr aus der Düngung (457 kg ha⁻¹), dem berechneten Stickstoffentzug über das Erntegut (409 kg ha⁻¹) und der Sickerwassermenge von 1149 mm eine mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser von 34 mg l⁻¹.
- Für das gesamte Areal des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes (16 Parzellen à ~ 1000 m²) wurde für den Bilanzzeitraum eine Grundwasserneubildungsrate aus der Schwankung der Grundwasserstandsganglinie von 1229 mm (307.25 mm a⁻¹) bestimmt. Aus den mittleren Erträgen aller Parzellen errechnet sich ein Stickstoffentzug von 425 kg ha⁻¹, dem eine Stickstoffzufuhr aus der Düngung von 506 kg ha⁻¹ gegenübersteht. Unter Berücksichtigung des N-Inputs aus dem Niederschlag errechnet sich aus dem Stickstoff-Bilanzüberschuss von 122 kg ha⁻¹ eine mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser von 44 mg l⁻¹.

Diese Bilanzberechnungen auf unterschiedlichen Teilskalen des Versuchsfeldes Wagna belegen, dass die hier gefahrene Bewirtschaftungsvariante in Anlehnung an die Richtlinien für sachgerechte Düngung (6. Auflage) bei korrekter Einschätzung des Ertragsniveaus aus mehrjährigen Messungen grundwasserverträglich ist. Die natürliche Heterogenität des Bodens, die hier bekanntermaßen sehr hoch, aber typisch für die Niederterrasse des Murtales zwischen Graz und Bad Radkersburg wird über die bilanzierte Fläche ausgeglichen. Die Input/Output-Bilanzierung stellt ein geeignetes Werkzeug zur Beurteilung der Grundwassergefährdung einer Bewirtschaftungsform dar, die dafür notwendigen Parameter sind Größen, die ein Landwirt zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit seiner Arbeiten jedenfalls kennen sollte: Ertrag und zugeführte Stickstoffmenge. Die Inhaltsstoffe des Erntegutes und die Sickerwassermenge können an Musterflächen untersucht und die Ergebnisse für die Landwirtschaft im Internet vorgehalten werden (Nitratinformationsdienst).

4.3.2 Modellstudien zum Projektgebiet

4.3.2.1 Lysimeter Wagna

Wie obige Input-/Outputbilanzierung illustriert, aber auch die Ergebnisse aus den unter den Punkten 4.3.2.1-4.3.2.6 vorgestellten Projekten verdeutlichen, ist die Stickstoffversickerung in den Untergrund am gravierendsten vom Verhältnis der an der Bodenoberfläche eingebrachten Stickstoffmenge und der mit Erntegut oder ähnlichem exportierten Stickstoffmenge geprägt und somit auch steuerbar. Zum Import an der Bodenoberfläche ist für Ackerflächen die Düngung und deren Menge ein dominanter Faktor und wie unter Punkt 4.3.2.6 ausgeführt wird, sollte bei Anwendung der Richtlinien für die sachgerechte Düngung bei der Düngebemessung im Regelfall von einer mittleren Ertragslage ausgegangen werden. Um diese Sensibilität zu auszuloten und hinsichtlich einer grundwasserverträglichen Landwirtschaft gemäß einleitender Definition zu prüfen, wurde die an der Lysimeterstation Wagna geübte landwirtschaftliche Praxis für unterschiedliche Dünge-niveaus analysiert. Dazu wurden die Bewirtschaftung einer Maismonokultur (1992-1999) und die Bewirtschaftung der Fruchtfolgeparzelle (1992-1999) auf unterschiedlichen Dünge-niveaus einer Modellanalyse mit SIMWASER/STOTRASIM unterzogen. Die bewerteten Dünge-niveaus waren:

- Stickstoffdüngung gemäß der auf der Parzelle praktizierten Realität (Praxis)
- Düngebemessung nach RLSDG, wobei die jährliche Einordnung zur Ertragslage in jene erfolgte, die dem nachfolgend erzielten Ertrag entspricht; in dieser Form ein „was wäre wenn“ – Variantenspiel (Ertrag-real).
- Die Bemessung der Stickstoffmenge erfolgte durchgehend nach mittlerer Ertragslage gemäß RLSDG (Ertrag-mittel)
- Die Bemessung der Stickstoffmenge erfolgte durchgehend nach hoher Ertragslage gemäß RLSDG (Ertrag-hoch)
- Ausgangsbasis ist „ Ertrag-real“, jedoch werden die N-Importe durch Leguminosen durch eine Reduktion der Folgedüngungen vollkommen kompensiert (Ertrag-real Leg. subst.); für BIO relevant
- Ausgangsbasis ist „ Ertrag-real“, Leguminosen werden aus der Fruchtfolge genommen und durch Grünschnittroggen ersetzt (Ertrag-real o. Leg.); für BIO relevant
- Bei der Bemessung der Stickstoffmenge nach RLSDG wurde jeweils das Mittel der angegebenen Spanne einer Ertragsklasse genommen.
- Es wurde in allen Fällen ein Zuschlag von 5 % aufgrund der Gründigkeit des Standortes berücksichtigt.

Die Ergebnisse zur mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser sind für den Zeitraum 1992-1999 in der folgenden Abbildung 19 dargestellt.

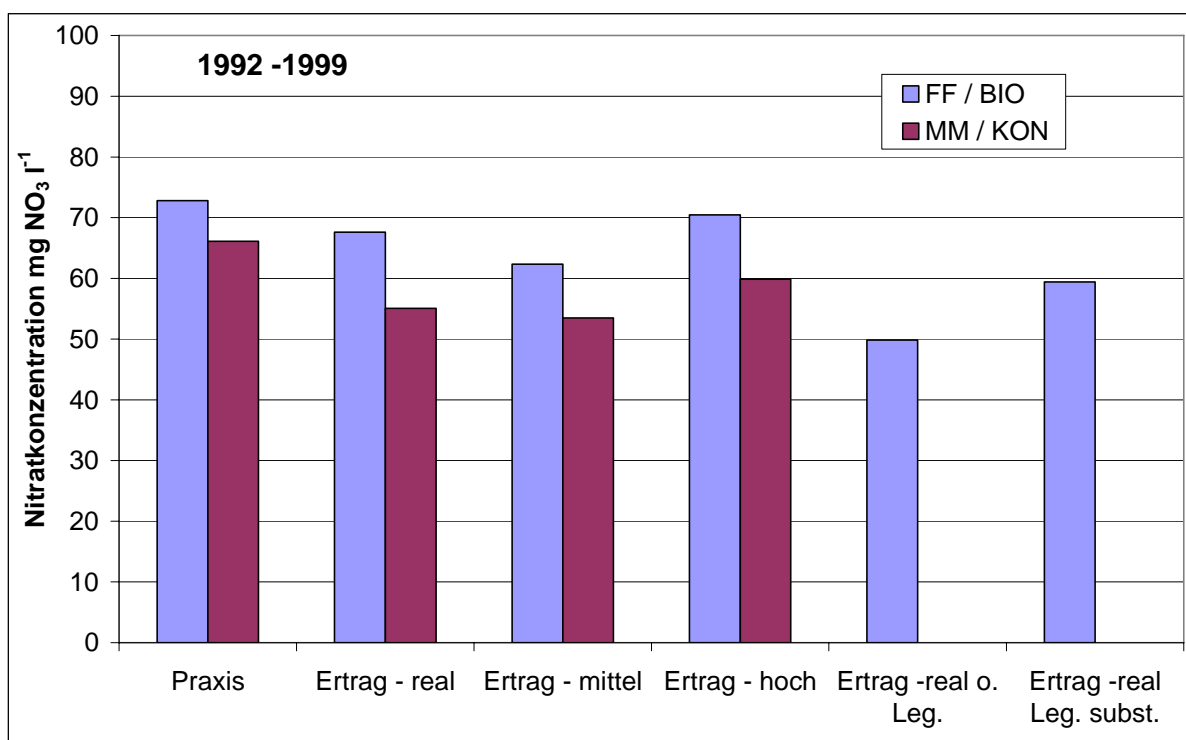


Abbildung 19: Mittlere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf den beiden Bewirtschaftungsseiten der Lysimeterstation Wagna für unterschiedliche Düngenniveaus und -szenarien und für den Zeitraum 1992-1999

Daraus ist folgendes Resümee zu ziehen:

- Die mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser (1992-1999) ist auf beiden Lysimeterseiten für die real geübte Praxis (Praxis) jeweils über jener gelegen, die einer Düngung gemäß hoher Ertragslage nach RLSGD (Ertrag-hoch) entspricht.
- Infolge der berechneten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser würde eine dem Realertrag entsprechende Düngung (Ertrag-real) eine Düngebemessung erfahren, die zwischen mittlerer und hoher Ertragslage gemäß RLSGD liegt.
- Eine Düngebemessung nach mittlerer Ertragslage (Ertrag-mittel) gemäß RLSGD kommt einer grundwasserverträglichen Stickstoffversickerung ($< 50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) sehr nahe (MM/KON).
- Leguminosen in der Fruchtfolge, wie dies im biologischen Landbau Notwendigkeit ist, sind aus Sicht des Grundwasserschutzes nicht per se außer Diskussion zustellen. Der durch Leguminosen importierte Stickstoff ist jedenfalls in schlagbezogene N-Bilanzen in voller Höhe einzubeziehen; die in den RLSGD zu Leguminosen angegebenen, kulturspezifischen N-Mengen als Vorfruchtwirkung (Tab. 60 der RLSGD) sind für die N-Bilanz jedenfalls zu

niedrig. Falls keine Messwerte vorliegen, sind kulturspezifische N-Mengen, wie sie von Götz (1998), Table 2.6 ausgewiesen sind, in die N-Bilanz aufzunehmen. Leguminosen bedürfen im Interesse des Grundwasserschutzes einerseits der Berücksichtigung in der schlagbezogenen N-Bilanz, andererseits eines gekonnten und fachkundigen Managements der eingeholten Stickstoffmengen.

4.3.2.2 Wagendorfer Terrasse

Im Zuge von Untersuchungen zur Festlegung von Schutz- und Schongebieten im Bereich der Würmterrasse des südöstlichen Leibnitzer Feldes musste festgestellt werden, dass das aus der Rißterrasse nördlich von Wagendorf in die Würmterrasse einströmende Grundwasser, trotz einer – wie aus bisherigen Untersuchungen vermutet – mächtigen Lehmüberdeckung teilweise in hohem Maße mit Nitrat belastet ist. Als Inputgebiet für das Grundwasser der Helfbrunner Terrasse kommt in erster Linie infiltrierendes Niederschlagswasser der intensiv ackerbaulich (Maismonokultur) genutzten Rißterrasse in Frage. Im engeren Untersuchungsgebiet der Wagendorfer Terrasse wurden 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 5 Schürfe bis in eine Tiefe von 5 m oder bis in das Grundwasser niedergebracht (Lage siehe Abbildung 20), in denen horizontspezifische Stechzylinderproben zur bodenphysikalischen Parametrisierung 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.

Die Analysenergebnisse im Grundwasser zeigen eine starke Zunahme der Nitratkonzentrationen auf der Wagendorfer Terrasse vom Waldrand im Nordosten des Untersuchungsgebietes in Richtung Südwesten bis zur Terrassenkante, die durch hohe Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft entstehen. Die zeitliche Variabilität der Nitratkonzentration im Grundwasser ist gering, eine deutliche Gruppierung der Messstellen aufgrund ihrer hydrogeologischen Position ist zu erkennen. Die Atrazinkonzentrationen sind ebenso wie die Chloridkonzentrationen an denselben 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 Messwerte aus dem Grundwasser der Helfbrunner Terrasse auch auf die lange Verweilzeit der Wässer im Bereich der ungesättigten Zone hin. In der Zeitreihe der gewichteten Jahresmittel der Tritium-Konzentrationen des Niederschlags an der Station Graz-Thalerhof fällt das Jahresmittel des Jahres 1992 durch einen sehr geringen Gehalt auf. Im Bodenwasser findet sich ein charakteristisches Minimum des Tritiumgehaltes in einer Tiefe von 3.5 m. Interpretiert man dieses Minimum als Abbild des negativen Tritiumpeaks in den

Niederschlägen des Jahres 1992 so kann daraus unter der Annahme einer gleichmäßigen Bewegung und der Gültigkeit des „Piston Flow Modells“ eine mittlere Verlagerungsgeschwindigkeit von 0.6 m pro Jahr errechnet werden. Es 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.

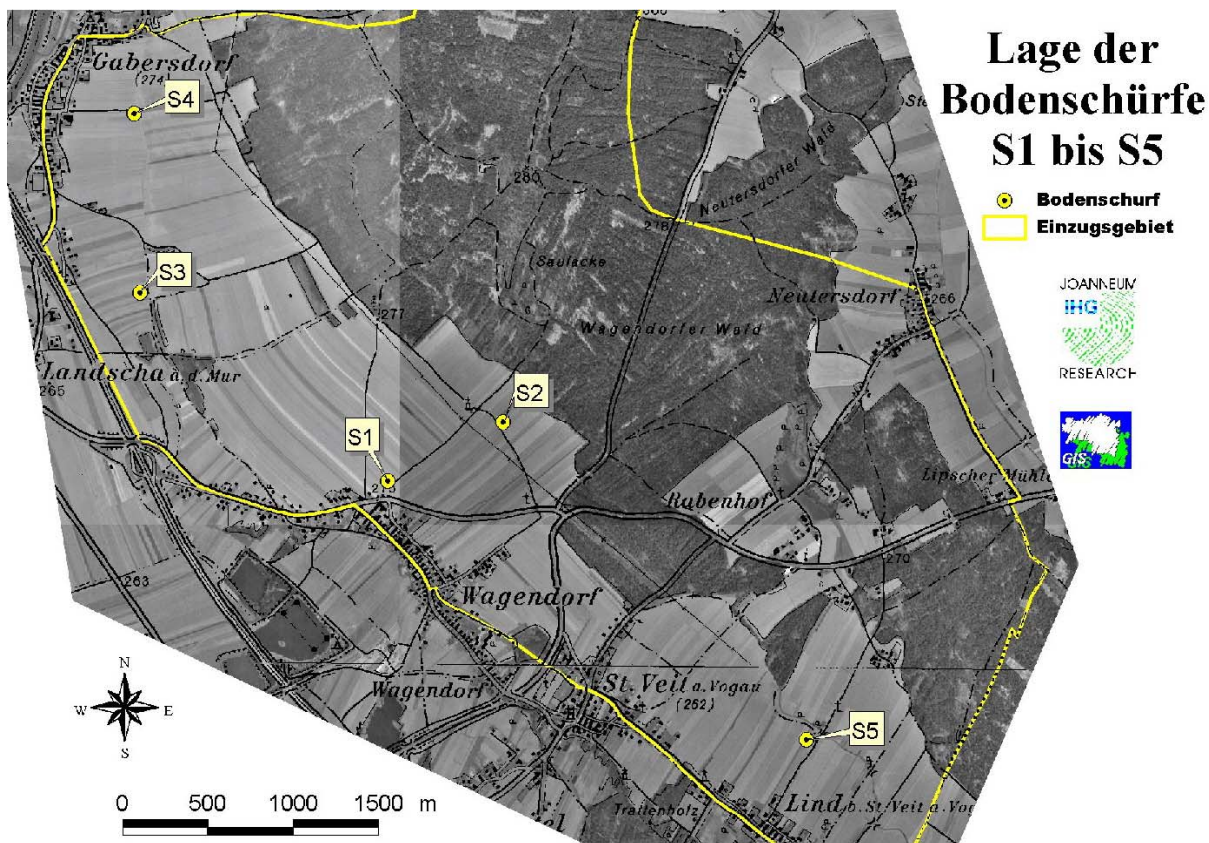


Abbildung 20: Lage der Bodenschürfe im Bereich der Wagendorfer Terrasse zur Untersuchung der Stickstoffbelastung

Die Tiefenverteilung des Chlorids in den Proben aus der Ungesättigten Zone liefert einen Hinweis auf die Intensität des Düngereinsatzes: Höhere Güllegaben liefern auch höhere Chloridmengen, die entsprechend dem konservativen Verhaltens 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 heutige.

Mit den Bewirtschaftungsannahmen, die seitens der Landwirtschaftskammer als regionsspezifisch erhoben worden waren, wurden mit dem Modell STOTRASIM die NO_3 -Konzentrationen zum Stichtag der Probenahme 12.10.1999 berechnet. 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

Vergangenheit (80er und 90er Jahre des 20. Jahrhunderts) die eingesetzten Stickstoffmengen noch deutlich über den angegebenen 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.

4.3.2.3 Hochterrasse Gnasbachtal

Das Projekt „Nitratmodellierung in Brunneneinzugsgebieten – Fallbeispiel Donnersdorf/Fluttendorf – Gnasbach“ wurde im Rahmen des Kompetenznetzwerkes Wasserressourcen GmbH (Knet Wasser GmbH) bearbeitet (Fank & Feichtinger 2008b). Anlass waren in den Jahren 2005 und 2006 steigende und teils den Trinkwassergrenzwert überschreitende Nitratkonzentrationen im Grundwasser der Brunnen Donnersdorf und Fluttendorf, welche vom Wasserverband GSO für die regionale Wasserversorgung genutzt werden. Für diese negativen Entwicklungstendenzen wurden mehrere mögliche Ursachen genannt (Fank et al. 2008b). Dabei wird einer Dotation des Grundwassers des Unteren Murtals aus dem Gnasbachtal speziell infolge Trockenperioden wie 2001 bis 2003 hohe Bedeutung beigegeben. Die lokale Situation ist in Abbildung 21 zusammengefasst.

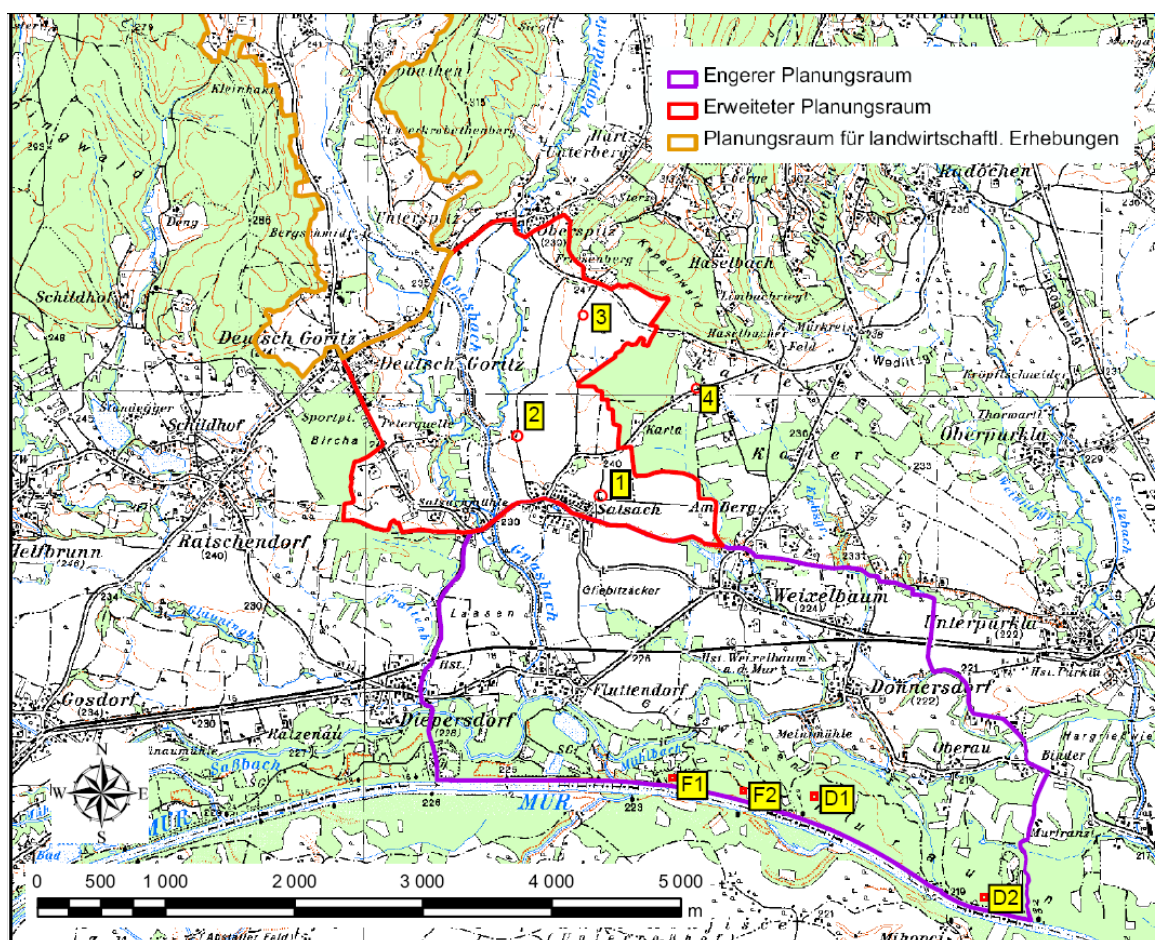


Abbildung 21: Lage des Untersuchungsraumes, der Wasserversorgungsbrunnen Fluttendorf (F1 und F2) und Donnersdorf (D1 und D2) sowie der im erweiterten Planungsraum neu errichteten Bohrungen 1 bis 4.

Für den „Planungsraum für landwirtschaftliche Erhebungen“ wurde eine Auswertung der Flächenstruktur und des Agrarmanagements zu den landwirtschaftlichen Nutzflächen, was Tierhaltung, Stickstoffanfall und die Beteiligung am ÖPUL-Programm inkludierte. Im „Erweiterten Planungsraum“ wurden grundwasser-hydrologische und bodenhydrologische Felderkundungen und Messungen am Gnasbach durchgeführt. Daraus resultierten genauere Kenntnisse über den Boden- und Substrataufbau von der Bodenoberfläche bis zum Grundwasser und die mineralischen Stickstoffvorräte in diesen Materialien, sowie über die Grundwasserdynamik und die Nitratkonzentrationen im lokalen Grundwasser. Es erfolgte auch eine Beprobung des Gnasbaches und von Dränwässern und samt deren chemische Analytik. Für den „Engeren Planungsraum“ und den „Erweiterten Planungsraum“ wurden mit SIMWASER/STOTRASIM Modellrechnungen durchgeführt, womit die Wasser- und Stickstoffflüsse in der ungesättigten Zone der Agrarflächen des Projektgebietes unter den regionalen Rahmenbedingungen von Wetter, Boden, Agrarmanagement und Grundwasser für den Zeitraum 1.1.1993-31.12.2006 bewertet wurden.

Neben wesentlichen geohydrologischen Erkenntnissen und einer Detailanalyse der lokalen Agrarstruktur erwachsen auch die folgenden Ergebnisse:

- Die gemessenen mineralischen Stickstoffvorräte, welche in den Bodenprofilen von Ackerflächen gemessen wurden, lassen auf Düngenniveaus von größer $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in der Vergangenheit und Gegenwart schließen.
- Die gemessenen mineralischen Stickstoffvorräte, welche in den Profilen der Tiefbohrungen festgestellt wurden, sind sehr unterschiedlich. Unerklärlich hohe Vorräte an mineralischem Stickstoff stehen neben geringen Stickstoffmengen in Profilen von vorwiegend an den Wegrändern abgeteufte Tiefbohrungen.
- Für entwässerte Flächen ist die über die Dräne abgeführte Wassermenge mit etwa 40 % der Gesamtversickerungsmenge anzuschätzen. Die Nitratkonzentration der untersuchten Dränwässer lag zwischen 50 und $140 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$. Die Dränwässer dotieren den Gnasbach.
- Die Nitratgehalte im Gnasbach schwanken zwischen 10 und 20 mg l^{-1} und sind für ein Oberflächengewässer recht hoch.
- Die modellmäßig untersuchten Agrarszenarien und Düngenniveaus führten letztendlich zu keiner allumfassenden Lösung einer grundwasserverträglichen Bewirtschaftung der Ackerflächen.
- Die Verweilzeit in der ungesättigten Zone ist für ein 10 m mächtiges Bodenprofil in Abhängigkeit von der Feinbodenmächtigkeit über Schotter zwischen 2.5 und 8.5 Jahren einzuschätzen. Eine Berücksichtigung der Abfuhr von Sickerwasser durch Dräne in 110 cm u. GOK erhöht die Verweilzeit auf ~ 4 bis annähernd 14 Jahre.

4.3.2.4 Prognosemodell Murtal-Aquifer

Das Projekt „Prognosemodell Murtal-Aquifer“ wurde im Rahmen des Kompetenznetzwerkes Wasserressourcen GmbH (Knet Wasser GmbH) bearbeitet (Fank et al. 2008a). Das bearbeitete Gebiet ist in Abbildung 22 durch die blau umrandeten Flächen abgegrenzt, welches sich in weiten Bereichen mit dem im gegenständlichen Projekt bearbeiteten Areal deckt.

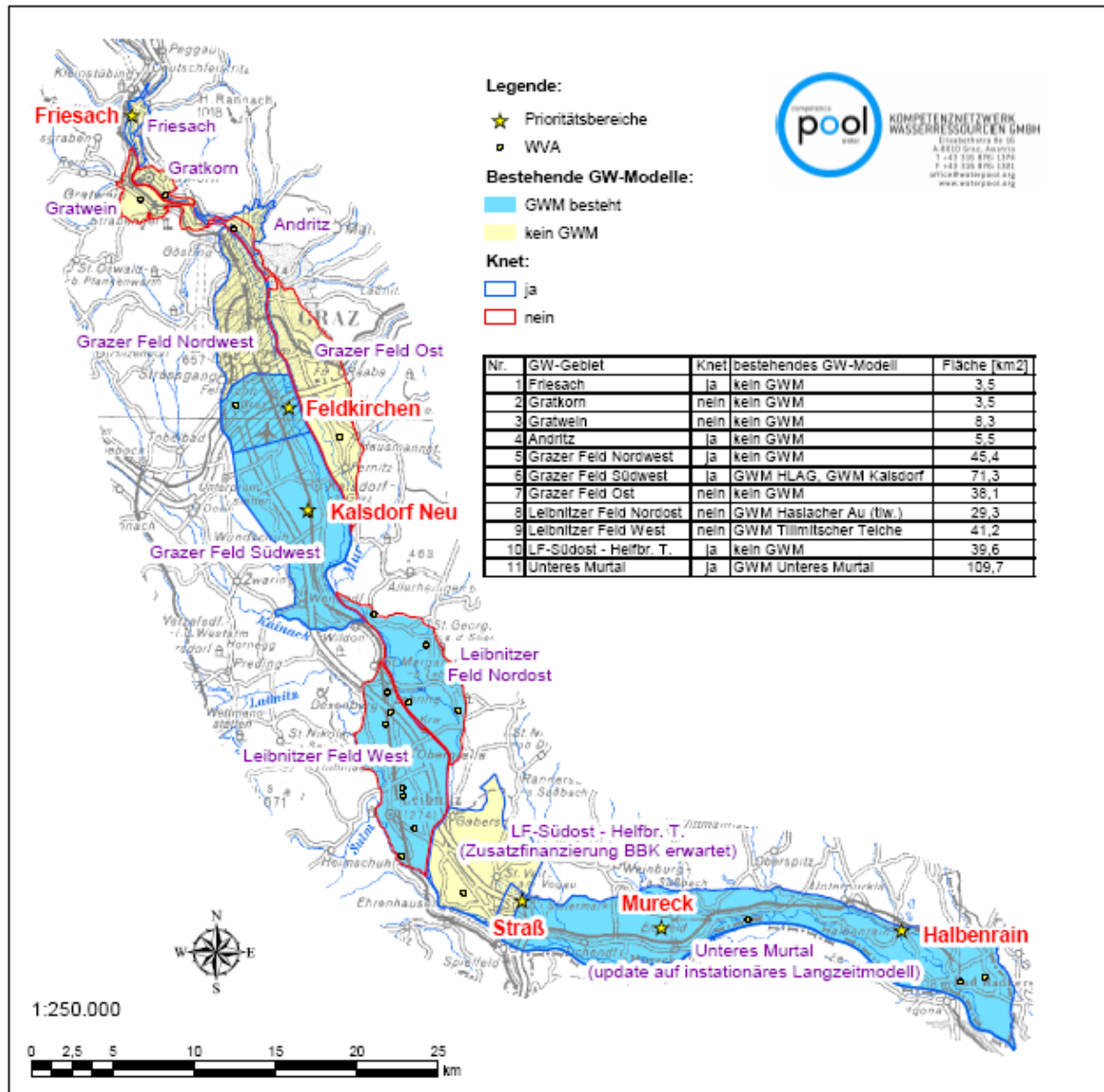


Abbildung 22: Verortung des Projektgebietes zu „Prognosemodell Murtal-Aquifer“

Es hatte zum Ziel, die erforderlichen Teilkomponenten eines Modells zur Bewertung der Grundwasserressourcen im seicht liegenden Porengrundwasserleiter des Murtales unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrößen zu identifizieren, vorhandene Modellansätze zusammenzuführen, an die Erfordernisse anzupassen oder neu zu entwickeln. Dabei waren unterschiedliche wissenschaftliche Teilgebiete (Landnutzung und Management der einzelnen Landnutzungsformen, Hydrographie, Oberflächenhydrologie, Bodenhydrologie, Hydrogeologie,

Grundwasserhydrologie, etc.) und Werkzeuge bzw. Herangehensweisen (Monitoring, Modellierung, GIS, DSS, etc.) eingebunden. In diesem Gesamtpaket war die Bewertung der Wasser- und Stickstoffflüsse für die Ackerflächen des Projektgebietes ein wesentlicher Meilenstein. Dies geschah mit dem Modellkonzept SIMWASER/STOTRASIM unter den regionalen Rahmenbedingungen von Wetter, Boden, Agrarmanagement und Grundwasser.

Aus dieser Arbeit resultierten unter anderem Ganglinien auf Tagesbasis zur Grundwasserneubildung, zur Stickstoffversickerung, und zur Nitratkonzentration im Sickerwasser für den Zeitraum 01.01.1993-31.12.2006 für jedes Hydrotop im bearbeiteten Gebiet (ein Hydrotop ist eine Fläche mit einheitlichen Bedingungen zu Wetter, Boden, Management und Grundwasser). Diese Ergebnisse fließen in die Zusammenschau bereits vorliegender regionaler Studien betreffend Stickstoffbefrachtung des Grundwassers aus Ackerflächen ein (siehe Punkt 4.3.3).

4.3.2.5 Feldgemüsebau Grazer Feld

Das Grazer Feld als Kerngebiet des Feldgemüsebaues in der Steiermark dient wesentlich der Nahversorgung der Stadt Graz. Gleichzeitig treten in dieser Region erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser auf. Im Projekt „Feldgemüsebau, Grazer Feld“ sollten ursächliche Zusammenhänge zwischen der agrarischen Nutzungsform „Feldgemüsebau“ und den erhöhten Nitratkonzentrationen abgeklärt und Managementstrategien hinsichtlich Grundwasserverträglichkeit bewertet werden. Dafür wurden Felderhebungen auf jeweils zwei Messpunkten eines biologischen Betriebes und eines Betriebes mit IP-Gemüseproduktion getätigt und daran angebunden Szenarienanalysen für das in Abbildung 23 abgegrenzte Gebiet mit dem Modellkonzept SIMWASER/STOTRASIM durchgeführt (Scheidl & Feichtinger 2006).

Neben wesentlichen geohydrologischen Erkenntnissen und einer Detailanalyse der lokalen Agrarstruktur konnten folgende Ergebnisse zusammengefasst werden:

- Die gemessenen Stickstoffversickerungen und Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zu biologischem Feldgemüsebau und zu IP-Feldgemüsebau stehen in einem Verhältnis von 1 : 2-3.
- Die Nitratauswaschung im biologischen Gemüsebau ist auf Grund der geringeren Düngermengen, sowie Untersaaten zu Gemüse geringer als im konventionellen Gemüsebau. Jedoch liegen in beiden Bewirtschaftungsformen die gemessenen Nitratkonzentrationen des Sickerwassers über dem Trinkwassergrenzwert und sind somit nicht grundwasserverträglich.
- Reduzierte Düngung und Zwischenbegrünungen mit ausreichender Grünmasseentwicklung und Untersaaten zu spät räumenden Gemüsesorten reduzieren die Nitratversickerung deutlich.

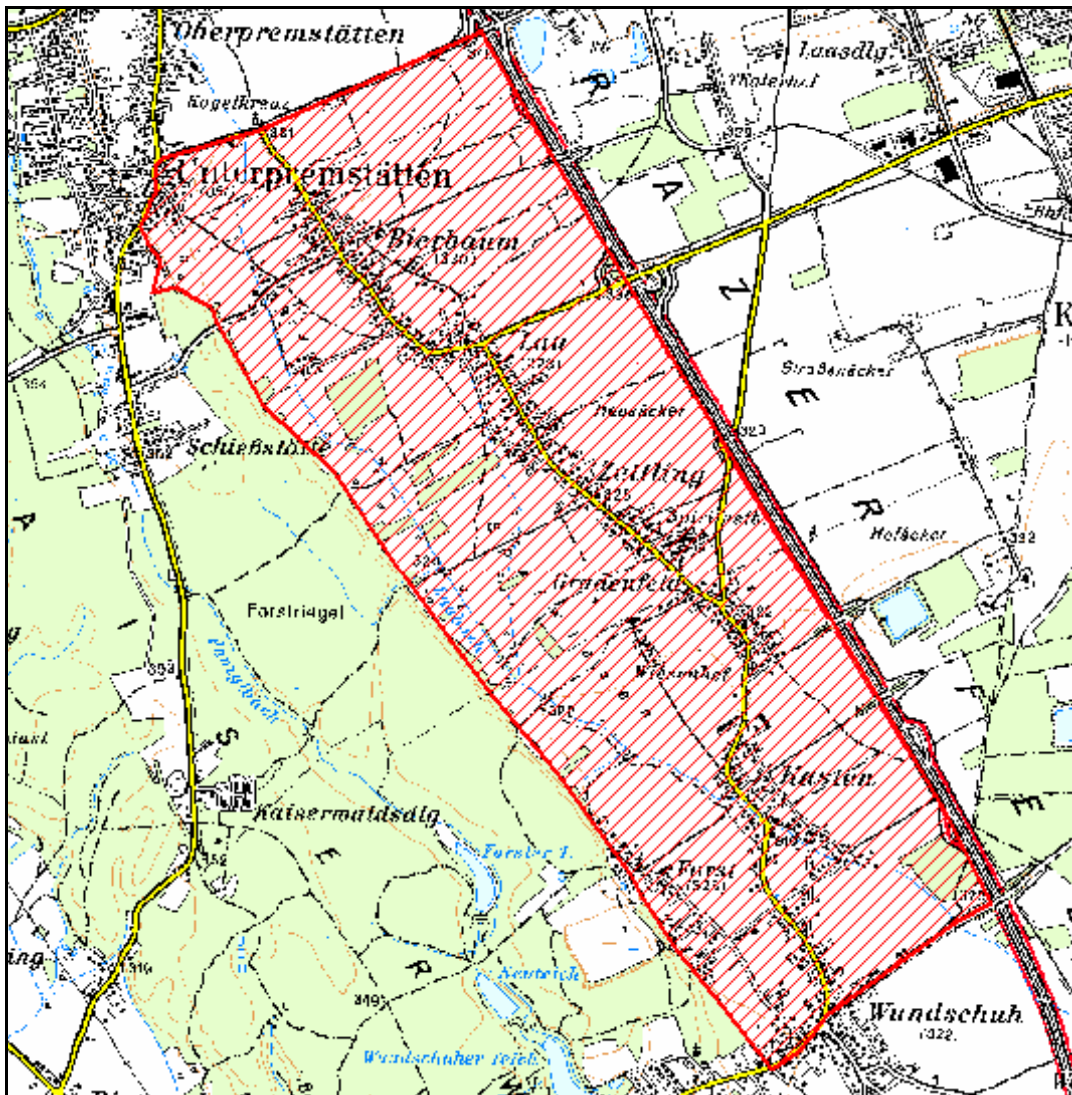


Abbildung 23: Projektgebiet „Feldgemüsebau Grazer Feld“ rot schraffiert; Ausschnitt aus ÖK 1:50000

4.3.2.6 ÖPUL-Evaluierungen; Begrünungen, Auswaschungsgefährdete Böden

Das Österreichische Programm für eine umweltgerechte Landwirtschaft (ÖPUL), welches aus EU-Fördergeldern und nationalen Beiträgen finanziert wird, wird laufend evaluiert. Aus einzelnen Evaluierungsprojekten resultieren einige projektrelevante Aspekte. Zu ÖPUL 2000 wurde die wasserwirtschaftliche Relevanz von Herbst- und Winterbegrünungen von Ackerflächen (Reduktion der Stickstoffversickerung in das Grundwasser) untersucht (Feichtinger et al. 2005). Zu ÖPUL 2007 wurden einerseits Veränderungen von Herbst- und Winterbegrünungen von Ackerflächen gegenüber ÖPUL 2000 hinsichtlich wasserwirtschaftlicher Relevanz bewertet (Wpa & BAW 2009a), andererseits die Einstufung auswaschungsgefährdeter Ackerflächen nach ÖBK bzw. Amtlicher Bodenschätzung und die daran geknüpfte Begrenzung einer Düngung geprüft (Wpa & BAW 2009b). Diese Evaluierungsstudien wurden jeweils für drei Testregionen (Trockengebiet Ostösterreichs, Zentralraum Oberösterreich, Südoststeiermark) durchgeführt, womit das Gebiet des gegenständlichen Projektes ebenfalls einbezogen war.

Zusammenfassende und für die gegenständliche Bearbeitung relevante Ergebnisse zur Südoststeiermark sind:

- Die Wasserrelevanz (Reduktion der Stickstoffversickerung in das Grundwasser) von Herbst- und Winterbegrünungen von Ackerflächen ist primär von der Wuchsleistung und somit Trockenmassebildung der Begrünung abhängig. Begrünungen, die nach Körnermais Mitte bis Ende Oktober angebaut werden und Feber/Anfang März umgebrochen werden, bilden kaum Trockenmasse und haben aus Sicht der Qualitätswasserwirtschaft praktisch keinen positiven Effekt. Wasserrelevante Begrünungen bedürfen daher entweder eines merklich früheren Anbautermins (bei ~ 70 % Körnermaisanteil in der Region schwer realisierbar), oder eines späteren Umbruchs (z.B. April des Folgejahres, unmittelbar vor dem nächsten Maisanbau).
- Die Analyse von gemessenen Erträgen und zugehörigen Bodenbewertungen (ÖBK: natürlicher Bodenwert, Bodenschätzung: Ackerzahl) ergab einen nur sehr schwachen Zusammenhang zwischen Bodenbewertung und Ertragshöhe. Die Analyse ergab auch, dass über alle Bodenbonitäten hinweg die Erträge zu 70 % die mittlere Ertragslage gemäß Tabelle 21 der Richtlinien für die sachgerechte Düngung (RLSGD; BMLFUW 2006) nicht überstiegen. Daher sollte im Sinne der Zielsetzung von ÖPUL und RLSGD im Regelfall bei der Düngebemessung von einer mittleren Ertragslage ausgegangen werden.

4.3.2.7 Berechnungen zur Auswirkung der Winterbegrünung nach Mais

Zur Beurteilung der Auswirkung der Anlage einer winterharten Gründecke nach Mais – sowohl in der Maismonokultur als auch in maisbetonten Fruchtfolgen – wurden mittels des Modellsystems SIMWASER/STOTRASIM die Auswirkung unterschiedlicher Fruchtfolgen auf den Nitrataustrag in das Grundwasser unter Berücksichtigung aller für das westliche und südwestliche Leibnitzer Feld verfügbaren Bodeninformationen durchgeführt. In einem weiteren Berechnungsschritt wurde die Abminderung der Nitratkonzentration im Sickerwasser bei unterschiedlichen Kulturführungen auf den im westlichen und südöstlichen Leibnitzer Feld vorkommenden Bodenformen bewertet. Insgesamt wurden 13 Fruchtfolgen mit verschiedenen Düngeneiveaus bewertet.

Aus den Ergebnissen von Modellrechnungen über einen Zeitraum von 30 Jahren für unterschiedliche Fruchtfolgen mit verschiedenen Düngerarten (Mineraldüngung, Gölledüngung, Mix aus beiden) und unterschiedlichen Düngehöhen ist die Reduktion der Stickstofffracht im Sickerwasser mit im Mittel etwa 15 % bei den unterschiedlichen Berechnungsvarianten für Fragen des Grundwasserschutzes relevant. Die Reduktion der Nitratkonzentration im Sickerwasser ist nach diesen Berechnungen deutlich erkennbar, sie ist aber immer abhängig von der tatsächlich realisierten Fruchtfolge und dem Untersuchungszeitraum (vgl. dazu auch Kap. 4.3.4). Wesentlich für die Wirkung auf die Nitratkonzentration ist die Bedeutung der Gründecke für den Wasserhaushalt, sprich die Grundwasserneubildung. Betrachtet man die prozentuelle Nitratreduktion im Sickerwasser der

unterschiedlichen Bodenformen der Österreichischen Bodenkartierung aufgrund der Anlage winterharter Gründecken nach Mais in der Fruchtfolge, so lassen sich keine gravierenden Abhängigkeiten vom Bodenwasserspeichervermögen (und damit von der Tiefgründigkeit oder Schwere) der Böden erkennen. Ursache dafür ist die üblicherweise zum Zeitpunkt der Anlage und des Aufwuchses der winterharten Gründecke ausreichende Wasserversorgung an allen Standorten des Untersuchungsgebietes. Auch ist keine signifikante Abhängigkeit der Nitratreduktion von der Fruchtfolge in Abhängigkeit von der Bodenform zu erkennen: die Reduktion ist bei allen Böden und allen relevanten Fruchtfolgen in einer ähnlichen Größenordnung.

4.3.3 Zusammenschau: Gnasbachtal, Knet, Feldgemüsebau, Lysimeter Wagna

Ein möglichst stabiles, ackerbauliches Bewirtschaftungssystem befindet sich einigermaßen in einem Fließgleichgewicht und hat mittel- bis langfristig keine wesentlichen Veränderungen der organischen Bodenvorräte. Für die Analyse eines solchen System sind aus den in der Kapitelüberschrift benannten Projekten, welche in vorangegangenen Abschnitten näher beschrieben sind, jene Ergebnisse ausgewählt worden, die im Bewertungszeitraum von keinen nennenswerten Veränderungen der organischen Bodenvorräte (N-Freisetzung bzw. N-Einlagerung) geprägt waren. Ebenso blieben Ergebnisse unberücksichtigt, die erheblichen Oberflächenabfluss aufwiesen, da vor allem das Versickerungsgeschehen beurteilt sein soll.

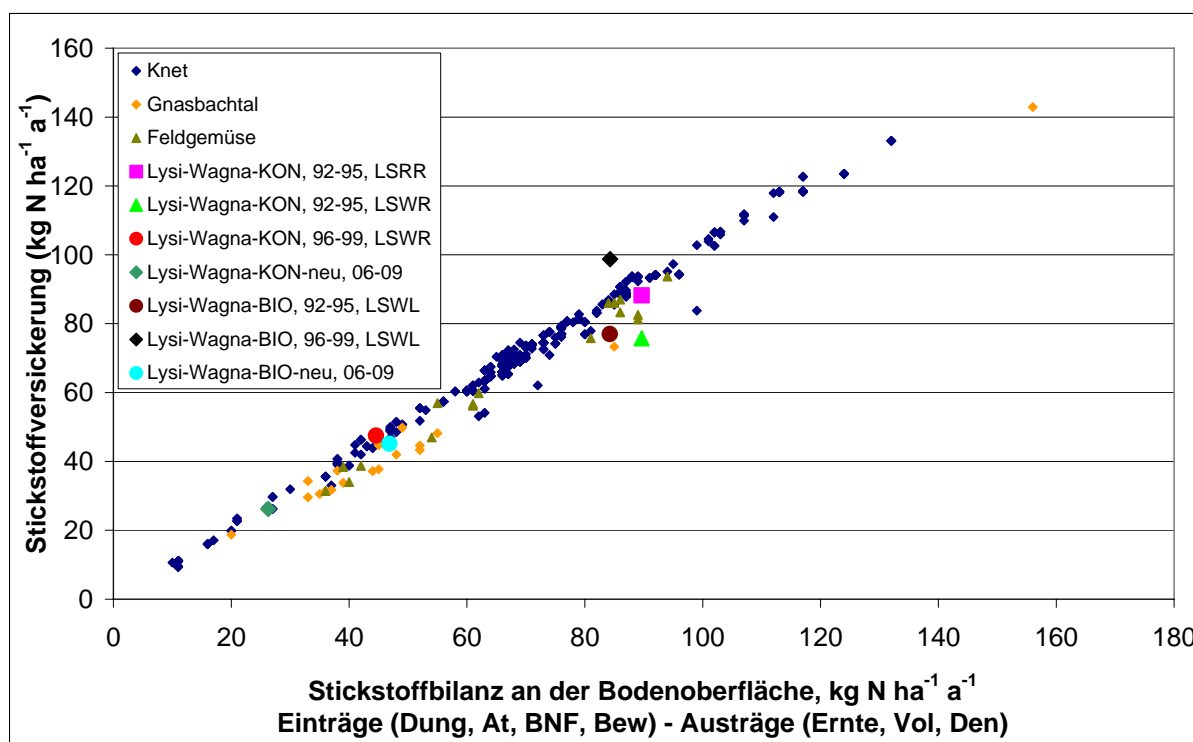


Abbildung 24: Mittlere jährliche Stickstoffversickerung in Relation zur Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche für Untersuchungsergebnissen aus der Projektregion

Zu diesen Mess- und Modellergebnissen sind einerseits die versickernden N-Frachten und die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser der Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche (Input/Output-Relation) gegenübergestellt. Die Abbildung 24 und Abbildung 25 stellen dies für die skizzierten Datensätze dar.

Diese Ergebnisse inkl. der Messwerte von der Lysimeterstation Wagna bestätigen einerseits, dass in einem einigermaßen stabilen System die N-Bilanzüberschüsse an der Bodenoberfläche der N-Versickerung in den Untergrund praktisch gleich sind und belegen andererseits die einfache Rechnung, dass der Austrag in den Untergrund bei $\sim 300\text{-}350 \text{ mm a}^{-1}$ GWNB die Einträge um max. $30\text{-}35 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ überschreiten darf, um die Schranke $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ einzuhalten. Somit dürfen in einem im Gleichgewicht befindlichen System für einen grundwasserverträglichen Ackerbau (gemäß einleitender Definition) mittel- bis langfristig die Einträge (Düngung, Atmosphäre, Bewässerung, N-Fixierung durch Leguminosen) max. $30\text{-}35 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ höher sein als die Austräge (N-Abfuhr mit der Ernte) an der Bodenoberfläche.

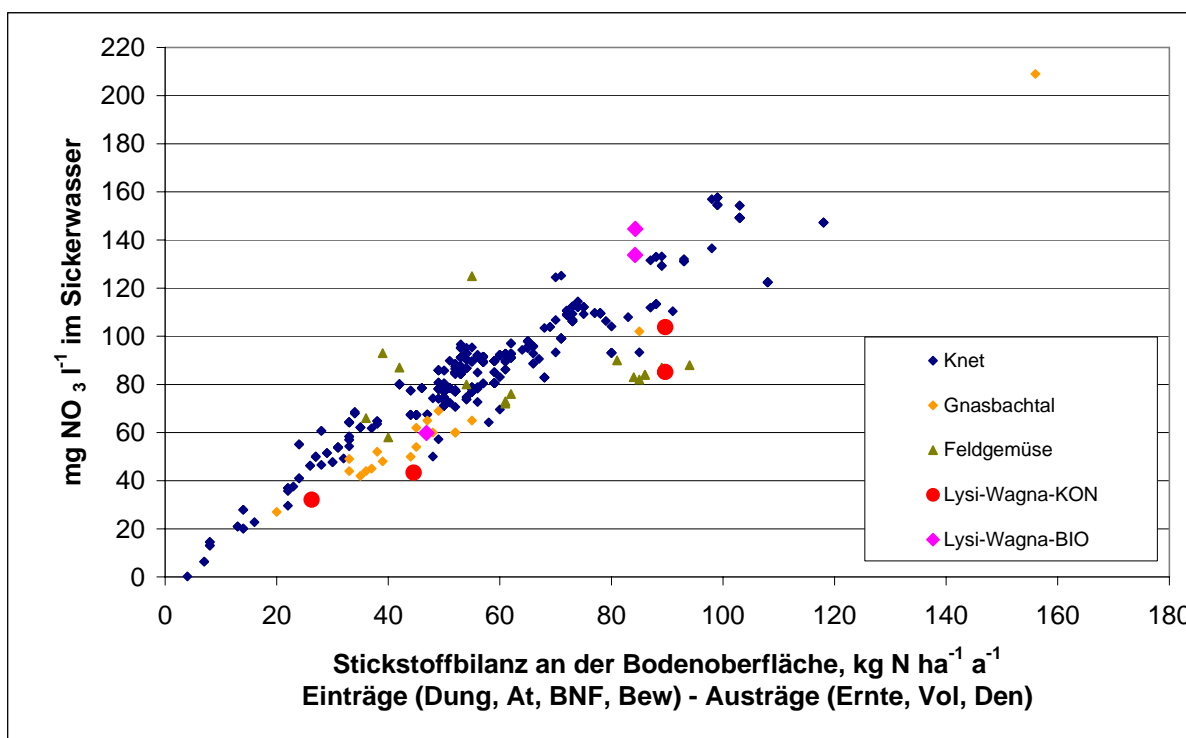


Abbildung 25: Mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser in Relation zur Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche für Untersuchungsergebnissen aus der Projektregion

4.3.4 Szenarienanalyse für eine grundwasserverträgliche Landwirtschaft im Murtal

Mit Fokus auf eine grundwasserverträgliche Landwirtschaft gemäß einleitender Definition wurden unter den regionalen Rahmenbedingungen betreffend Klima, Boden, landwirtschaftlicher Bodennutzung und zugehörigem Agrarmanagement verschiedene Szenarien (Fruchtfolgegestaltung inklusive Zwischen-begrünung, Düngemanagement, Bodenbearbeitung) einer Modellanalyse mit

SIMWASER/STOTRASIM unterzogen. Die nachfolgenden Punkte beschreiben die Rahmenbedingungen der Modellanalyse und die untersuchten Szenarien. Diese sind jeweils mit Kurzzeichen versehen, die in der weiteren Ergebnispräsentation zur Identifikation der Szenarien verwendet werden.

Rahmenbedingungen der Szenarienanalyse:

- **Boden**
Es wurden die von der ÖBK für Agrarflächen des Projektgebietes ausgewiesenen Bodeneinheiten in die Modellanalyse einbezogen. Die Parametrisierung der ÖBK-Angaben als Modell-Input für SIMWASER/STOTRASIM erfolgte nach Murer (1998). Die ÖBK-Angaben erstrecken sich über die Kartierungsbereiche Graz-Nord, Graz-Süd, Wildon, Leibnitz, Mureck und Radkersburg und umfassen ~ 200 Bodeneinheiten.
- **Klima**
Die Klimainformation ist durch die Tageswerte der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit, der Niederschlagsmenge und der Globalstrahlung von der Station Leibnitz bereitgestellt.
- **Atmosphärischer Stickstoffeintrag**
Als nennenswerte Abänderung gegenüber den übrigen für die Region durchgeführten Modellanalysen erfolgte zum Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre eine Reduktion von 3.0 mg N mm^{-1} Niederschlag auf 1.1 mg N mm^{-1} , was aufgrund einer bundesweiten Bewertung durch das Umweltbundesamt (Schneider 1998) und in Abstimmung mit den Messwerten zum Grünlandlysimeter an der Station Wagna notwendig und angebracht war.
- **Rahmenbedingungen zur Fruchtfolgegestaltung:**
Analyse des regionalen Ackerbaus (siehe Punkt 3.1.3):
Maisanteil 2008: Mittel 66 % (49-72 %)
Anteil Ölkürbis 2008: Mittel 14 % (5-22 %)
Anteil Wintergetreide (Wintergerste + Winterweizen) 2008: Mittel 7.4 %
Anteil Intensivkulturen ohne Mais 2008: 10.9 %
Mittlerer N-Anfall aus Wirtschaftsdünger 2008: ab Stall $47\text{-}50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$

Szenarienformulierung:

Es wurden Fruchtfolgen über 14 Jahre (1.1.1995-31.12.2008) bewertet und dieser Bewertung ist eine Vorlaufzeit ab 1.8.1986 mit derselben Fruchtfolgecharakteristik vorgeschaltet.

- **Modellfruchtfolge 1 (FF-ZG-M):**
In den 14 Jahren 10 x Mais, 2 x Ölkürbis, 1 x Wintergerste und 1 x Winterraps (d.h.: ~ 72 % Mais, 14 % Ölkürbis, 7 % Intensivkulturen und 7 % Wintergetreide).

Anbau und Erntedatum gemäß der Lysimeterstation Wagna oder gemäß regionaler Praxis
Düngung: gemäß mittlerer Ertragslage nach RLSDG im Mittel der Spanne; d.h.: Mais: zum
Anbau 50 kg N ha⁻¹ feldfallend aus Wirtschaftsdünger (WD/ff), Mitte Juni 80 kg N ha⁻¹ aus
Mineraldünger als NAC (MD)

Ölkürbis: zum Anbau 40 kg N ha⁻¹ WD/ff Winterraps: zum Anbau 30 kg N ha⁻¹ WD/ff, März und
April je 50 kg N ha⁻¹ MD

Wintergerste: Anfang März 50 kg N ha⁻¹ WD/ff., April 60 kg N ha⁻¹ MD

Begrünungen: immer wenn einige Wochen keine Vegetation = keine Schwarzbrachen

Winter: Grünschnittroggen, Sommer: Senf

Anbau bzw. Umbruch ~ 1 Woche nach Ernte bzw. vor Anbau

Keine Düngung der Begrünungen

Bodenbearbeitung: Pflug 25 cm, mehrfach Grubbern

- Modellfruchtfolge 2 (FF-ZG-H):
gleich der Modellfruchtfolge 1 (FF-ZG-M), jedoch mit kulturspezifischer N-Düngung
entsprechend der Obergrenze der Ertragslage hoch (RLSDG); d.h.: Mais und Winterraps
erhalten jeweils 168 kg N ha⁻¹, Wintergerste 144 kg N ha⁻¹ und Ölkürbis 80 kg N ha⁻¹ (in der
Praxis durchaus üblich).
Mais: zum Anbau 50 kg N ha⁻¹ WD/ff, 20. Mai: 58 kg N ha⁻¹ MD, 15. Juni: 60 kg N ha⁻¹ MD
Ölkürbis: zum Anbau 40 kg N ha⁻¹ WD/ff, 20. Mai: 40 kg N ha⁻¹ MD
Winterraps: zum Anbau 30 kg N ha⁻¹ WD/ff, März und April je 69 kg N ha⁻¹ MD
Wintergerste: Anfang März 50 kg N ha⁻¹ WD/ff., April 94 kg N ha⁻¹ MD
- Modellfruchtfolge 3 (FF-ZGtot-M):
gleich der Modellfruchtfolge 1 (FF-ZG-M), jedoch ohne jegliche Schwarzbrachetage; d.h.:
eine Winter-(Grünschnittroggen) wie Sommerbegrünung (Senf) beginnt am Folgetage des
Endes einer Hauptkultur und endet am Vortag vor der Ansaat der folgenden Hauptkultur.
Gleichzeitig erfolgt eine merkbare Reduktion der Bodenbearbeitung. Der Pflug wird einmal
und dies zum Ende der Begrünung mit verminderter Pflugtiefe von 15 cm eingesetzt. Alle
anderen „Boden-Maßnahmen“ erfolgen schonend (z.B.: Direktsaat).
- Modellfruchtfolge 4 (FF-ZGtot-H):
gleich bezüglich Kulturarten, Begrünungsmanagement und Bodenbearbeitung der
Modellfruchtfolge 3 (FF-ZGtot-M) und bezüglich Düngenniveau und Düngemanagement der
Modellfruchtfolge 2 (FF-ZG-H).
- Modellfruchtfolge 5 (FF-SB-M):
gleich der Modellfruchtfolge 3 (FF-ZGtot-M), jedoch sind sämtliche Begrünungen durch
Schwarzbrache ersetzt; d.h.: zwischen den Hauptkulturen durchgehende Schwarzbrache.

- Modellfruchtfolge 6 (FF-SB-H):
gleichet der Modellfruchtfolge 4 (FF-ZGtot-H), jedoch sind sämtliche Begrünungen durch Schwarzbrache ersetzt; d.h.: zwischen den Hauptkulturen durchgehende Schwarzbrache.
- Modellfruchtfolge 7 (FF-ZGtot-N):
gleichet der Modellfruchtfolge 3 (FF-ZGtot-M), jedoch mit einer kulturspezifischen N-Düngung entsprechend niedriger Ertragslage (RLSGD) = Mittel der jeweils angegebenen Spanne zur mittleren Ertragslage x 0.8. Das bedeutet Mais und Winterraps erhalten jeweils 104 kg N ha^{-1} , Wintergerste 88 kg N ha^{-1} und Ölkürbis 40 kg N ha^{-1} (keine Reduktion gegenüber FF-ZGtot-M).
Mais: zum Anbau 50 kg N ha^{-1} WD/ff, Mitte Juni: 54 kg N ha^{-1} MD
Ölkürbis zum Anbau 40 kg N ha^{-1} WD/ff
Winterraps: zum Anbau 30 kg N ha^{-1} WD/ff, März und April je 37 kg N ha^{-1} MD
Wintergerste Anfang März 50 kg N ha^{-1} WD/ff., April 38 kg N ha^{-1} MD
- Modellfruchtfolge 8 (FF-ZGtot-Null):
gleichet der Modellfruchtfolge 3 (FF-ZGtot-M), jedoch ohne jegliche N-Düngung.

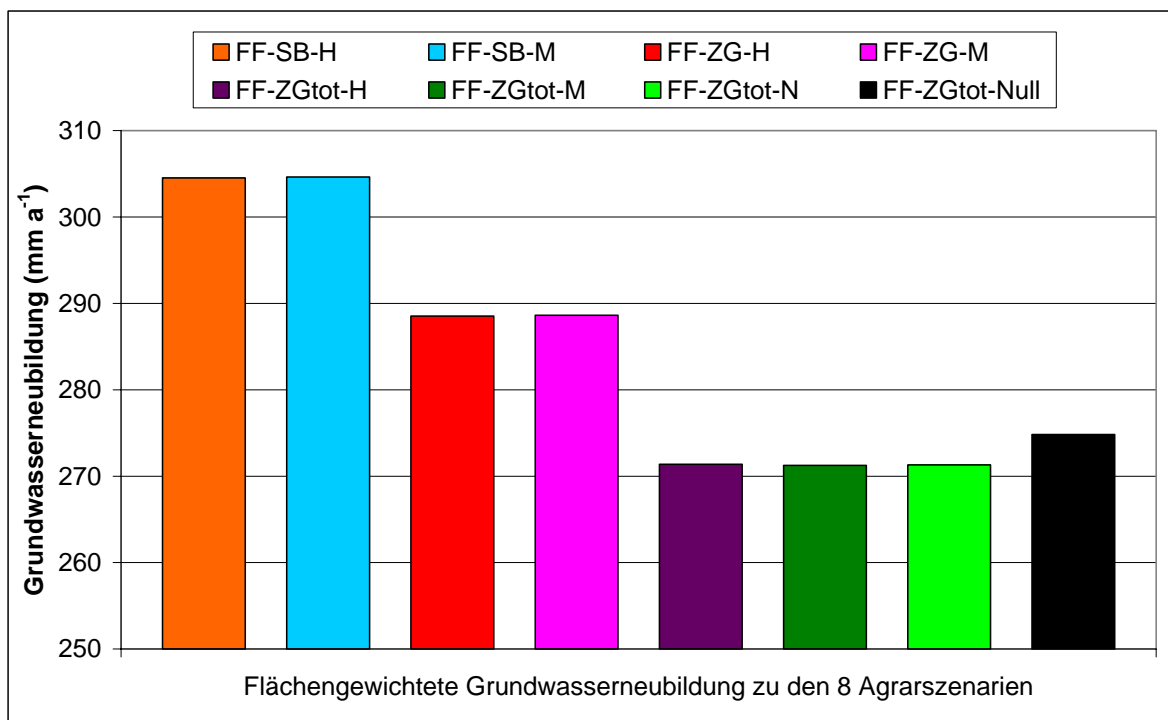


Abbildung 26: Gewichtetes Mittel der berechneten Grundwasserneubildung für die Agrarflächen der Projektregion und den Zeitraum 1.1.1995-31.12.2008 für die 8 bewerteten Szenarien

Aus der Modellanalyse resultieren für jedes Agrarszenario und jede Bodeneinheit ein Mittelwert der Grundwasserneubildung, der Stickstoffversickerung in den Untergrund und eine Nitratkonzentration der Grundwasserneubildung über den Bewertungszeitraum (14 Jahre, 1.1.1995-31.12.2008). Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der einzelnen Bodenformen wurden flächengewichtete Mittel für

die einzelnen Szenarien errechnet, welche in den Abbildung 26, Abbildung 27 und Abbildung 28 dargestellt sind.

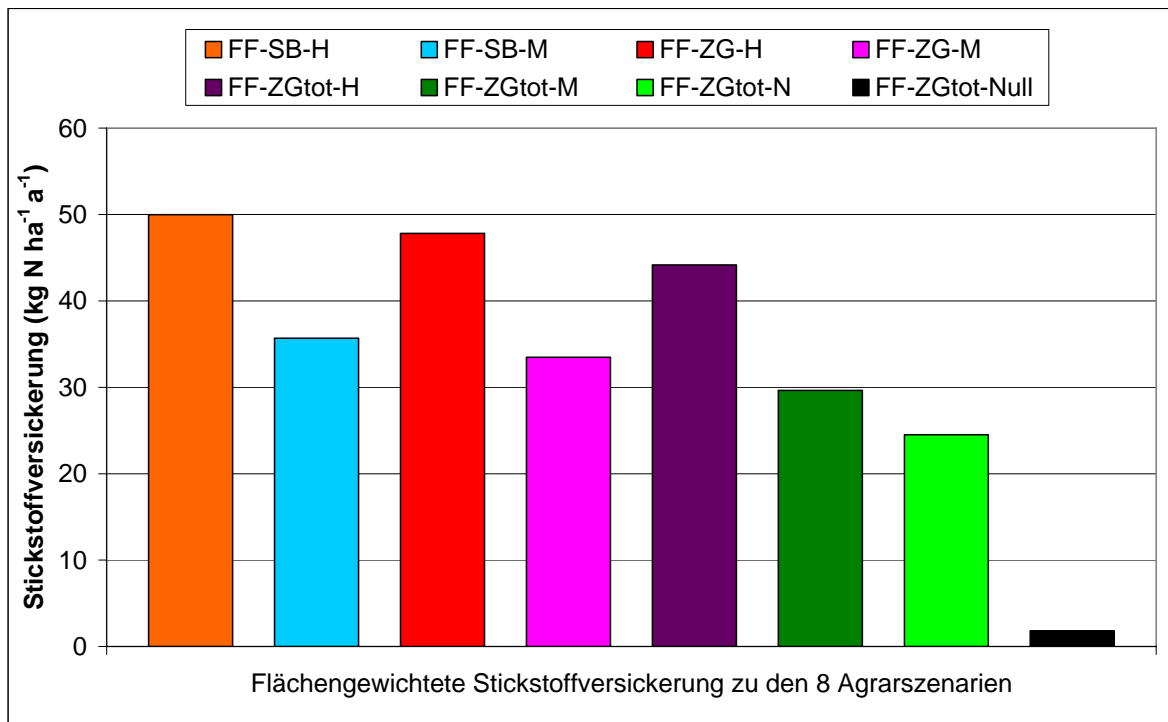


Abbildung 27: Gewichtetes Mittel der berechneten Stickstoffversickerung für die Agrarflächen der Projektregion und den Zeitraum 1.1.1995-31.12.2008 für die 8 bewerteten Szenarien

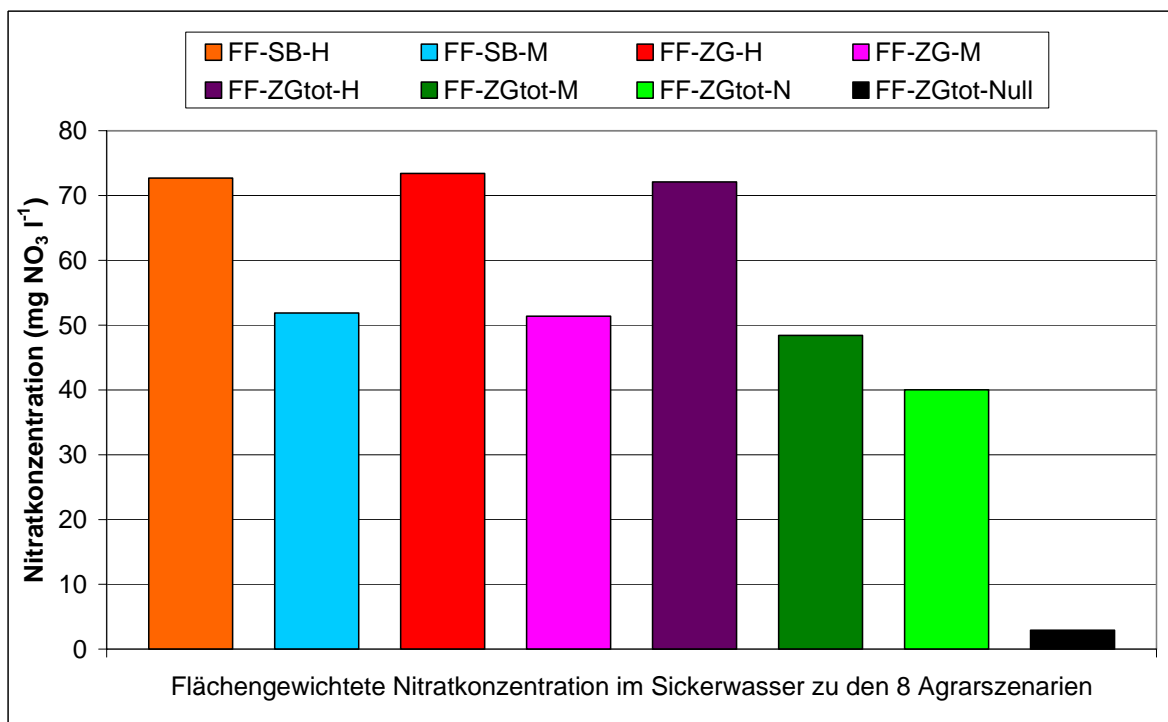


Abbildung 28: Gewichtetes Mittel der berechneten Nitratkonzentration im Sickerwasser für die Agrarflächen der Projektregion und den Zeitraum 1.1.1995-31.12.2008 für die 8 bewerteten Szenarien

Diese Ergebnisse sind folgendermaßen zusammenzufassen:

- Die Grundwasserneubildung ist vor allem vom Bewuchs der Flächen (Begrünung: Ja/Nein bzw. Begrünungsintensität) beeinflusst. Das Düngungsniveau hat mit Ausnahme der ungedüngten Variante, wo gravierende Wachstumsdepressionen durchschlagen, keinen nachhaltigen Einfluss auf die Grundwasserneubildung.
- Das Ausmaß der Stickstoffversickerung ist am stärksten vom Düngungsniveau geprägt, wird aber auch von der Begrünung bracher Ackerflächen deutlich beeinflusst. So reduziert sich die Stickstoffversickerung zu einer Düngung nach „Ertragslage-hoch, Obergrenze“ um etwa 30 % durch Düngung nach „Ertragslage-mittel“. Eine Düngung nach „Ertragslage-nieder“ reduziert die Stickstoffversickerung zu einer Düngung nach „Ertragslage-hoch, Obergrenze“ um etwa 45 %. Begrünungen, die weite Teile von Schwarzbracheperioden zwar abdecken jedoch 1-2 Wochen Brache zwischen Ernte der Hauptkultur und Anbau der Begrünung bzw. Umbruch der Begrünung und Anbau der folgenden Hauptkultur einräumen und gleichzeitig von mehrfachen Bodenbearbeitungen begleitet sind, reduzieren im Vergleich zu unbegrünten Ackerflächen (Schwarzbrachen) die Stickstoffversickerung um ~ 5-6 %. Durchgängige Begrünung von Schwarzbrachen (unmittelbarer Anbau nach Ernte der Hauptkultur bzw. Umbruch der Begrünung unmittelbar vor Anbau der folgenden Hauptkultur) in Kombination mit Minimalbodenbearbeitung reduzieren im Vergleich zu unbegrünten Ackerflächen (Schwarzbrachen) die Stickstoffversickerung um ~ 12-17 %.
- Die Nitratkonzentration im Sickerwasser, als Quotient von Stickstoffversickerung und Grundwasserneubildung, verhält sich gegenüber den unterschiedlichen Düngungsniveaus praktisch ident wie dies zum Ausmaß der Stickstoffversickerung beschrieben ist. Begrünungen, die weite Teile von Schwarzbracheperioden zwar abdecken jedoch 1-2 Wochen Brache zwischen Ernte der Hauptkultur und Anbau der Begrünung bzw. Umbruch der Begrünung und Anbau der folgenden Hauptkultur einräumen und gleichzeitig von mehrfachen Bodenbearbeitungen begleitet sind, erwirken keine merkbare Reduktion der Nitratkonzentration gegenüber unbegrünten Ackerflächen (Schwarzbrachen), da die Reduktion der Stickstoffversickerung durch entsprechende, gleichzeitige Reduktion der Grundwasserneubildung kompensiert wird. Durchgängige Begrünung von Schwarzbrachen (unmittelbarer Anbau nach Ernte der Hauptkultur bzw. Umbruch der Begrünung unmittelbar vor Anbau der folgenden Hauptkultur) in Kombination mit Minimalbodenbearbeitung reduzieren im Vergleich zu unbegrünten Ackerflächen (Schwarzbrachen) die Nitratkonzentration im Sickerwasser bis zu ~ 7 %.
- Die Nullvariante (keine Düngung, FF-ZGtot-Null) wurde eben als Nullvariante mitgeführt und zeigt auf welche Ergebnisse ohne Stickstoffdüngung zu erwarten wären. Dieses Szenario ist

zwar kein realistisches Agrarszenario, kann jedoch die Erwartungen an ein allfälliges „Ausstiegsszenario“ skizzieren helfen.

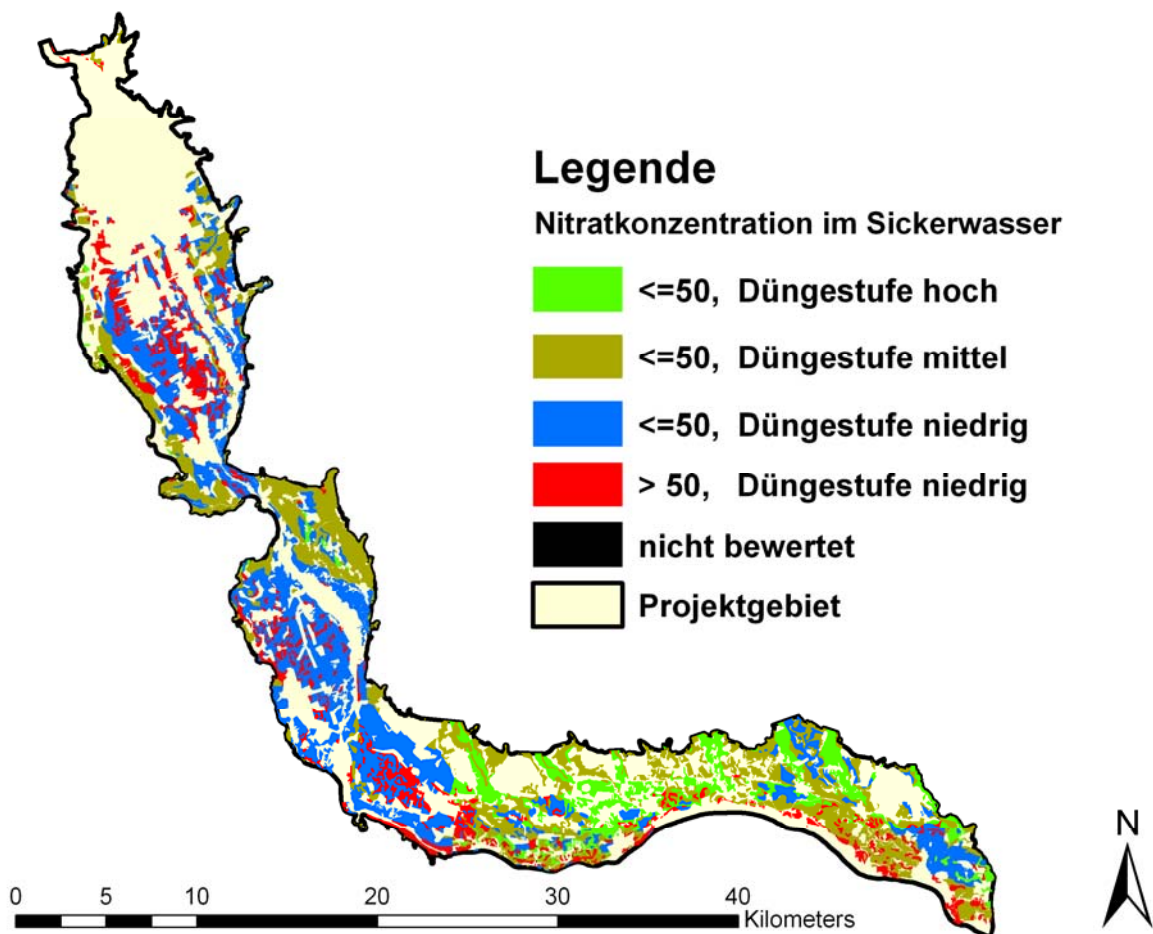


Abbildung 29: Unter- bzw. Überschreitung des Grenzwertes $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ im Sickerwasser in der Projektregion auf Basis der Agrarszenarien FF-ZGtot-H, FF-ZGtot-M und FF-ZGtot-N

- Diese Modellergebnisse lassen schließen, dass mit einer kulturspezifischen Stickstoffdüngung entsprechend „Ertragslage-mittel“ gemäß RLSGD ergänzt durch Begrünung der Ackerflächen in Bracheperioden inklusive Minimalbodenbearbeitung im flächengewichteten Mittel eine Nitratkonzentration im Sickerwasser erzielt wird, die entsprechend der einleitenden Definition als grundwasserverträglich einzustufen ist. Dies ist eine Orientierung und Zielgröße im Mittel der Region, bedarf jedoch einer ergänzenden Detailbetrachtung. Die Ergebnisse der Modellanalyse weisen nämlich auch aus, dass manche Bodeneinheiten bereits bei Düngung nach „Ertragslage-hoch“ mittlere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ als Resultat haben und andere Bodeneinheiten auch bei Düngung nach „Ertragslage-nieder“ mittlere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser über $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ erbringen. Diese Tatsache steht in deutlichem Zusammenhang mit der Speicherleistung der Böden und so sind Böden, die mit 1-2 dm Feinbodenüberdeckung über Schotter beschrieben sind, meist jene, die bei Düngung nach „Ertragslage-nieder“ mittlere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser über

50 mg NO₃ l⁻¹ aufweisen. Abbildung 29 verdeutlicht dies, indem den Bodenformen der ÖBK die errechneten mittleren Nitratkonzentrationen aus den Agrarszenarien FF-ZGtot-H, FF-ZGtot-M und FF-ZGtot-N zugewiesen sind und die Flächen dargestellt sind, welche zu den einzelnen Dünge­stufen den Grenzwert 50 mg NO₃ l⁻¹ unter- bzw. überschreiten, wobei die Unterschreitung in einer Dünge­stufe für niedrigere Dünge­ung auch zutreffend ist.

Weiters sind in Abbildung 30 für die ÖBK-Bodeneinheiten die Flächenanteile der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für die Agrarszenarien FF-ZGtot-H, FF-ZGtot-M und FF-ZGtot-N festgehalten. Diese Abbildung bestätigt, dass zu allen Szenarien ein breites Spektrum und Verteilungsmuster der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser vorliegt.

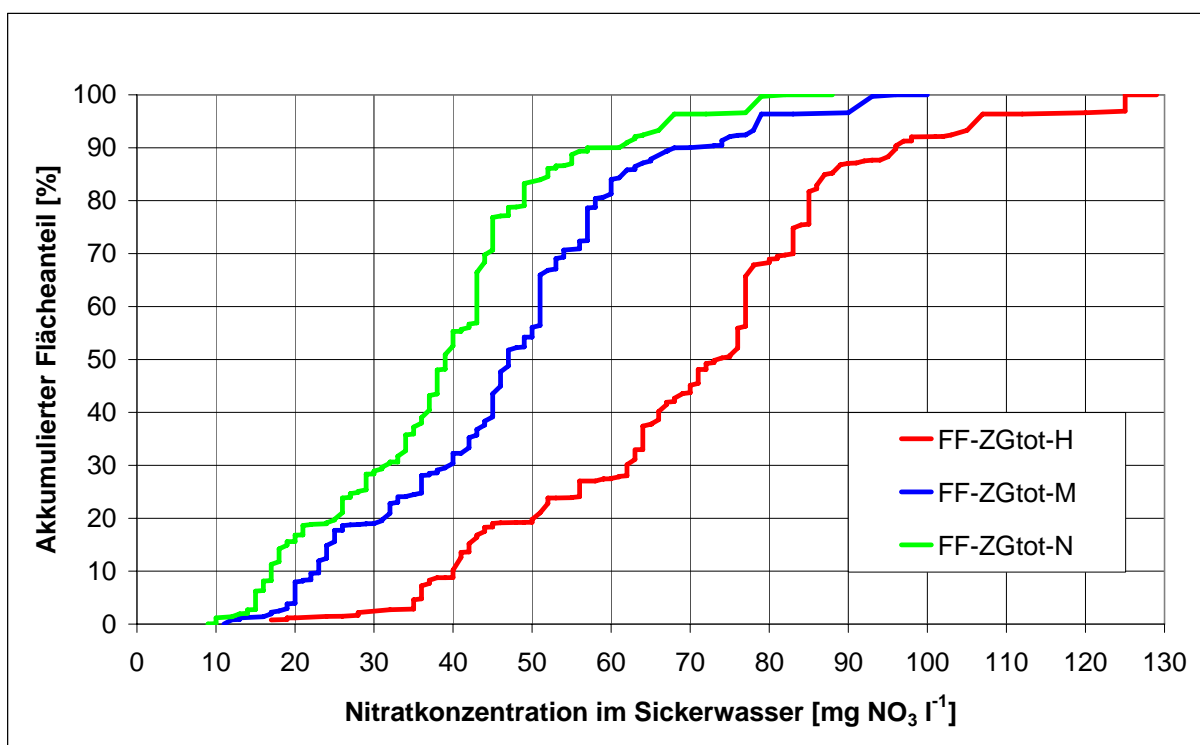


Abbildung 30: Flächenanteile der mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser zu den Agrarszenarien FF-ZGtot-H, FF-ZGtot-M und FF-ZGtot-N

Resümee daraus ist:

- Obwohl Abbildung 30 zu den Agrarszenarien ein Verteilungsmuster der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser ausweist und Abbildung 29 diese regional zuteilt, wird dringend davon abgeraten das einzelne Feldstück damit auf seine Austragskonzentration oder das erforderliche Dünge­niveau einzustufen. Dafür sind die verwendeten Unterlagen (ÖBK, 1:25 000) unzureichend georeferenziert, in ihrer Aussagegenauigkeit darauf nicht ausgelegt und ihre Aussagekraft überfordert. Die globale Anwendung für das Projektgebiet hat zum Ziel eben eine globale Aussage für Projektgebiet zu erhalten und damit einzuschätzen zu können

„Welcher praktikable Weg kann/soll zur Zielerreichung eingeschlagen und vorgeschlagen werden?“

- Weiters ist die Stickstoffversickerung aus einem Acker nicht nur vom Düngenniveau und den bereits angesprochenen Bewirtschaftungsstrategien abhängig, sondern auch die Erfahrung und das Geschick des Landwirtes und manches mehr fließen dazu ein und das sind sicherlich Dinge, die in der Modellanalyse nicht erfasst sind und nicht erfasst werden können.

Daher wird folgende, als praktikabel erachtete Vorgangsweise zur Zielerreichung einer Nitratkonzentration kleiner $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ im Sickerwasser der Ackerflächen des Murtales vorgeschlagen:

- Ausgehend von der Tatsache, dass der Quotient von versickernder Stickstofffracht und Grundwasserneubildung das Kriterium (kleiner $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) zu erfüllen hat, ist eine regionale mittlere Grundwasserneubildung einzuschätzen. In der Zusammenschau vorliegender Ergebnisse zur Grundwasserneubildung (siehe Abbildung 26: $272\text{-}305 \text{ mm a}^{-1}$, Lysimeter Wagna: $280\text{-}335 \text{ mm a}^{-1}$, zugehörige Jahresniederschläge: $900\text{-}960 \text{ mm a}^{-1}$) kann für die Region von einer mittleren Grundwasserneubildung von $\sim 300\text{-}310 \text{ mm a}^{-1}$ ausgegangen werden. Daraus resultiert eine maximal zulässige Versickerungsfracht von $35 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, um die Schranke der Grundwasserverträglichkeit von $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ einzuhalten.
- Wie aus den bisherigen Ausführungen hervorgeht, ist in einem stabilen, möglichst im Fließgleichgewicht befindlichen System die versickernde Stickstofffracht einer positiven Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche (N-Input minus N-Output) gleichzusetzen. Daraus folgt, dass die Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche die für die Grundwasserverträglichkeit maximal zulässige Versickerungsfracht von max. $35 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nicht überschreiten darf. Das heißt, dass der schlagbezogene jährliche N-Input (Düngung, Atmosphäre, Leguminosen, Bewässerung) nicht mehr als 35 kg N ha^{-1} über dem jährlichen N-Export (Abfuhr von Erntegut) liegen darf. Nachdem der jährliche N-Import durch die atmosphärische Deposition mit $10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ anzusetzen ist, reduziert sich die schlagbezogene N-Bilanz an der Bodenoberfläche mit dem Ziel der Grundwasserverträglichkeit auf das Erfordernis:

$$\begin{aligned} & \mathbf{N\text{-}Import (Düngung, Leguminosen, Bewässerung)} \\ & \quad \mathbf{minus} \\ & \mathbf{N\text{-}Export (Abfuhr von Erntegut)} \\ & \quad \mathbf{\leq 25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}} \end{aligned}$$

- Nachdem die jährliche, schlagbezogene Einhaltung obiger Obergrenze zur N-Bilanz an der Bodenoberfläche Ziel sein soll, jedoch nicht immer erfüllbar wird sein, wird die Akzeptanz einer solchen Bilanzierung über Fruchtfolgezeiträume empfohlen; d.h.: für einen Durchrechnungszeitraum von z.B. 5 Jahren (5-schlägige Fruchtfolge) soll obige

Bilanzrechnung einen Bilanzüberschuss von 125 kg N ha^{-1} nicht übersteigen. Der Durchrechnungszeitraum soll maximal 5 Jahre betragen.

- Wie bereits ausgeführt, ist bei der Bemessung der kulturspezifischen Stickstoffdüngung grundsätzlich die „Ertragslage-mittel“ gemäß RLSGD zugrunde zu legen. Um jedoch der Summe von Faktoren (standörtliche Bodenverhältnisse, Geschick des Landwirtes, Jahreswitterung, ...), die die schlagbezogene N-Bilanz an der Bodenoberfläche mit beeinflussen, Rechnung zu tragen, ist eine auf das Feldstück abgestimmte Erhöhung der Düngung durchaus möglich, solange obiges Erfordernis eingehalten wird. Gleichzeitig ist es aber auch verpflichtend, dass auf einem Standort, auf dem obiges Erfordernis nicht erfüllt ist, die Düngung soweit reduziert wird, bis eben obiges Erfordernis eingehalten wird. Um auf Basis der schlagbezogenen N-Bilanz an der Bodenoberfläche das Ziel eines grundwasserverträglichen Ackerbaus im Murtal abzuwickeln, sind schlagbezogene Aufzeichnungen zu allen N-Importen und N-Exporten zu führen, um einerseits den Spielraum des Standortes kennenzulernen und entsprechend zu handeln, andererseits den Nachweis eines grundwasserverträglichen Managements zu führen.
- Um die schlagbezogenen Aufzeichnungen zu allen N-Importen und N-Exporten exakt führen zu können, sind zu Düngemitteln, Bewässerungen, Leguminosenaufwuchs und Erntegut die genauen Mengen und Stickstoffgehalte erforderlich. Für Mineraldünger sind Aufwandmengen und Produktangabe zum Stickstoffgehalt dafür heranzuziehen. Bei Bewässerungseinsatz sind die Berechnungsmenge und die Wasserqualität die Bewertungsbasis. Zu Wirtschaftsdünger und Erntegut sollte die Mengenbestimmung kein Problem darstellen, jedoch ist zur Bewertung der Stickstoffgehalte Unterstützung zu installieren und anzubieten; es ist nämlich in Hinblick auf die schlagbezogene N-Bilanz an der Bodenoberfläche höchst essentiell ob 10 m^3 Gülle 20 oder 40 kg N enthalten oder ob der Stickstoffgehalt des Maiskorns 1.3 oder 1.6 Masse % beträgt (bei 9000 kg ha^{-1} Korntrag eben 117 oder 144 kg N ha^{-1} Abfuhr), um die erforderlichen $25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nicht ad absurdum zu führen. Ebenso ist für die reale Bewertung der N-Fixierung durch Leguminosen Unterstützung zu installieren und anzubieten.
- Unterstützung, wie sie im vorangegangenen Punkt angesprochen ist, können Messprogramme, Analysekampagnen, abgesicherte Faustzahlen, regional aktuelle Beratungen und Informationen auf Basis von Referenzflächen und ähnliche Dinge sein. Referenzflächen und Versuche auf solchen Flächen sind unter den Punkten 3.2.1, 3.2.2 bereits beschrieben. Ähnliche Aktivitäten aus der Region wären in ein Unterstützungsprogramm einzubeziehen und im Bedarfsfall zusätzliche Unterstützungsinitiativen einzuleiten. Jedenfalls wären solche Referenzflächen als Exaktversuche zu führen, um als Beratungs- und Bewertungsinstrument geeignet zu sein. Die Unterstützungsaktivitäten sollten unter Einbeziehung der Betroffenen und im Konsens mit den

Interessensvertretungen etabliert werden. Der empfohlene Weg für einen grundwasserverträglichen Ackerbau im Murtal sollte auf möglichst breiter Basis gemeinsam gegangen werden und vorwiegend von Beratung, Schulung aber auch von verbindlich begleitenden Erfolgsnachweisen getragen werden.

4.4 Faktoren für eine grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftung im regionalen Kontext

4.4.1 Düngung

4.4.1.1 Düngerart und Düngermenge

Die üblichen Düngerarten im Maisbau sind Volldünger und Einzeldünger mit der Stickstoffform des Ammonitrates und die Flüssigdünger aus der Tierhaltung. Die Festmistformen und die Nährstoffe Phosphor und Kali werden hier nicht behandelt.

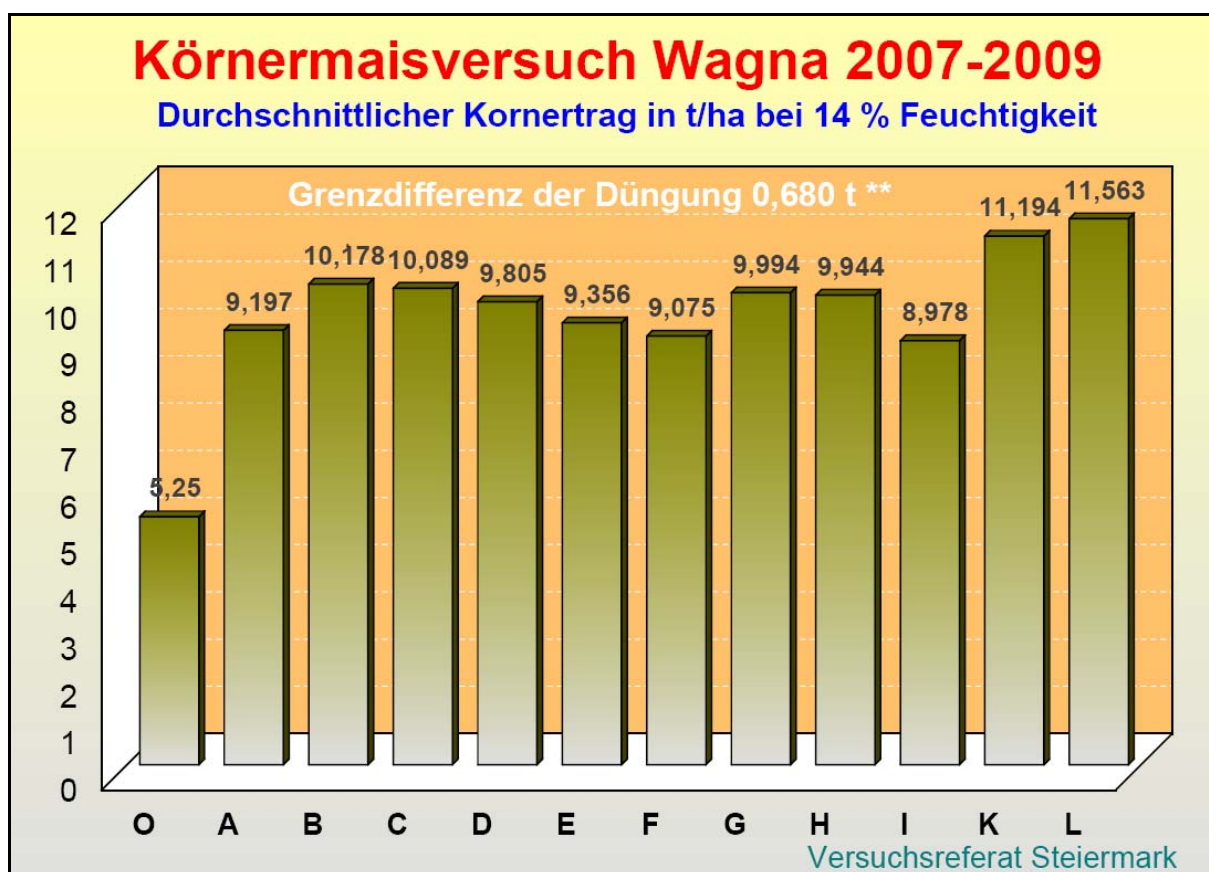


Abbildung 31: Körnermaisversuch Wagna 2007-2009, Versuchsreferat Steiermark

Der dreijährige Stickstoffsteigerungsversuch des Versuchsreferates der landwirtschaftlichen Fachschulen Steiermark gibt zu den Düngerarten und den Düngermengen folgende Antworten. Die Beschreibung der Varianten finden sie unter den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2. Der dreijährige Maisdüngungsversuch der Jahre 2007 bis 2009 (Abbildung 31) weist einen gesicherten besseren

Ertrag bis zu einer Düngungshöhe von 145 kg ha^{-1} aus. Die weitere Steigerung auf 175 kg N ha^{-1} bringt keinen gesicherten Ertragszuwachs mehr. Eine Stickstoffdüngung zu Mais zwischen 125 kg ha^{-1} und 210 kg ha^{-1} N bewirkt nur geringe Ertragsunterschiede (Zwatz 1999).

Der Stickstoff in Form des Mineraldüngers Nitramoncal kommt im Ertrag besser zur Wirkung als der Stickstoff aus dem Flüssigmist. Die Güllevarianten (E, F, I), auf das gleiche Reinstickstoffniveau hin bestimmt (Gesamt N $\times 0.87$ ist Nff, dass nur 70 % davon jahreswirksam sind, wurde nicht berücksichtigt), können mit den Mineraldüngererträgen nicht mithalten. Das schlechtere Abschneiden der Güllevarianten liegt in der rechnerischen Überbewertung des Güllestickstoffes und den gasförmigen Ausbringungsverlusten begründet. Die Reststickstoffmengen liegen bei allen Varianten unter 50 kg ha^{-1} (siehe Kap. 4.3.3). Die Düngermenge ist in den Richtlinien der sachgerechten Düngung für alle Kulturen ökologisch und grundwassergerecht geregelt.

In Modellstudien zur Lysimeterstation Wagna wurden auch Düngevarianten untersucht, wo bei gleicher zugeführter Stickstofffracht dies einmal ausschließlich durch Mineraldünger und einmal ausschließlich durch Gülleapplikation erfolgte. Es resultierte, dass bei gleicher zugeführter Stickstofffracht die versickernde Stickstofffracht annähernd gleich ist. Das Hauptproblem bei der Anwendung unterschiedlicher Düngerart (Wirtschafts- oder Mineraldünger) ist einerseits die richtige Einschätzung der Stickstofffracht der Wirtschaftsdünger, andererseits die Akzeptanz, die Stickstofffrachten der Wirtschaftsdünger überhaupt in die standörtliche Stickstoffbilanz einzubeziehen. Dies ist unmittelbarer Anknüpfungspunkt, um die Bedeutung der Düngermenge für eine grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftung zu bewerten. Wie bereits erwähnt hat die Höhe der als Dünger am Feldstück aufgebrauchten Stickstoffmenge ganz entscheidenden Einfluss auf die versickernde Stickstofffracht. Wie auch schon ausgeführt, sind in das standörtliche Stickstoffmanagement alle Inputs und Outputs von Stickstoff einzubeziehen.

4.4.1.2 Düngezeitpunkte und Aufteilung des Düngers in Teilgaben

Die üblichen Stickstoff-Düngetermine im Maisbau sind zum Anbau und die Kopfdüngung Ende Mai oder Anfang Juni. Der dreijährige Stickstoffsteigerungsversuch des Versuchsreferates der landwirtschaftlichen Fachschulen Steiermark (siehe Abbildung 31) zeigt, dass die zeitlich unterschiedlichen Mineraldüngungstermine keine statistisch gesicherte Auswirkung auf die Ertragshöhe haben. Die Varianten C und D (ohne Anbaudüngung) zeigen hinsichtlich Ertrag und Reststickstoff keine ökologisch wirksamen Verbesserungen, sondern verursachen einen technischen und kostenmäßigen Mehraufwand (Assfall A. 2009). Um das Ziel, wenig Reststickstoff im Herbst (unter 50 kg ha^{-1} auf leichten Böden, unter 80 kg N ha^{-1} auf bindigen Böden) zu erreichen sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Keine Flüssigmistausbringung im Herbst,
- die Frühjahrs-Düngegaben sollten knapp, d.h. innerhalb von zehn Tagen vor dem Anbau oder in die Kultur erfolgen,

- der Stickstoffgehalt der Gülle ist festzustellen und
- die Wirtschaftsdünger sind nach den Richtlinien der sachgerechten Düngung gleichmäßig auf die Fläche zu verteilen.

Die Düngungstermine im Maisbau zum Anbau und als Kopfdüngung Ende Mai bis Anfang Juni sind ökologisch verträglich und für die Landwirtschaft praktikabel.

4.4.1.3 Anwendung der Richtlinien für sachgerechte Düngung

Die konsequente Anwendung der Richtlinien für sachgerechte Düngung ist geeignet eine grundwasserverträgliche Bewirtschaftung von Ackerland im Murtal zu gewährleisten. Dabei ist bei der Bemessung der kulturspezifischen Stickstoffdüngung grundsätzlich die „Ertragslage-mittel“ gemäß RLSGD zugrunde zu legen, jedoch ist auch für die Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche das bereits genannte Erfordernis zu erfüllen

$$\begin{aligned} &\mathbf{N\text{-}Import (Düngung, Leguminosen, Bewässerung)} \\ &\quad \mathbf{minus} \\ &\quad \mathbf{N\text{-}Export (Abfuhr von Erntegut)} \\ &\quad \mathbf{\leq 25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}} \end{aligned}$$

Um dabei aber auch der Summe von Faktoren (standörtliche Bodenverhältnisse, Geschick des Landwirtes, Jahreswitterung, ...), die die schlagbezogene N-Bilanz an der Bodenoberfläche mit beeinflussen, Rechnung zu tragen, ist eine auf das Feldstück abgestimmte Erhöhung der Düngung (gegenüber „Ertragslage-mittel“) durchaus möglich, solange obiges Erfordernis eingehalten wird. Gleichzeitig ist es aber auch verpflichtend, dass auf einem Standort, auf dem obiges Erfordernis nicht erfüllt ist, die Düngung soweit reduziert wird, bis eben obiges Erfordernis eingehalten wird.

4.4.2 Fruchtfolgegestaltung

Bei Einhaltung der Richtlinien für sachgerechte Düngung, der Minimierung des Stickstoffbilanzüberschusses an der Bodenoberfläche sowie der Anlage einer optimierten Winterbegrünung (keine bis möglichst kurze Bracheperioden, ausreichendes Saatgut für optimale Trockenmassebildung etc.) ist die Abfolge der Kulturarten (auch Mais in Monokultur) in der Fruchtfolgegestaltung für den qualitativen Grundwasserschutz ohne wesentliche Bedeutung. Für die Berücksichtigung sonstiger ökologischer Erfordernisse ist jedoch eine ausgewogene Fruchtfolgegestaltung von essentieller Bedeutung

4.4.2.1 Bewirtschaftung verschiedener Ackerkulturen

4.4.2.1.1 Grundwasser schonender Maisbau

Der Mais unterscheidet sich in der Nährstoffaufnahme und der Ertragsbildung wesentlich von den Getreidearten. Nach einer sehr zögerlichen Jugendentwicklung setzt eine Periode eines intensiven

Massenwachstums ein. Mais ist eine C4-Pflanze mit höchster Ertragsbildung. Die Maisdüngung muss deshalb besonderen Anforderungen an Menge, Verfügbarkeit und Platzierung pflanzenaufnehmbarer Nährstoffe gerecht werden.

Auf den Hauptnährstoff Stickstoff ist ein besonderes Augenmerk zulegen. Der Hauptbedarf setzt mit Beginn der intensiven Trockenmassebildung, etwa drei Wochen vor dem Rispschieben ein. Zu dieser Zeit, Anfang Juni, soll der Stickstoff schon pflanzenaufnehmbar vorliegen.

Auf seicht gründigen Böden, wie am Standort Wagna, kann der Mais in Jahren mit ausgeglichener Niederschlagsverteilung maximal 145 kg N ha^{-1} wirtschaftlich und ökologisch verträglich in Ertrag umsetzen (vgl. Abbildung 31 und Kap. 4.4.1.1). Die wirksamste Maßnahme gegen Nitratverluste ist die sachgerechte Düngung, das heißt die Vermeidung jeglicher Überdüngung. Einen sicheren Hinweis auf eine nicht sachgerechte Düngung gibt ein erhöhter Reststickstoffgehalt im Boden kurz nach der Ernte.

Effiziente Maßnahmen für einen grundwasserschonenden Maisbau können zusammengefasst werden:

- Einhaltung der Empfehlungen der Richtlinien für sachgerechte Düngung, dabei korrekte Einschätzung der Ertragserwartung.
- Keine Flüssigmistausbringung im Herbst, die Frühjahrsgaben sollten knapp, d.h. innerhalb von zehn Tagen vor dem Anbau oder in die Kultur erfolgen.
- Stickstoffgehalt der Gülle feststellen und nach den RLSGD die Wirtschaftsdünger gleichmäßig auf die Fläche verteilen.
- Die jährlich unterschiedliche und die bodenabhängige Stickstoffnachlieferung aus den Bodenvorräten vor der Saat durch N_{\min} -Messungen berücksichtigen.
- Das Ziel ist wenig Reststickstoff im Herbst,
 - unter 50 kg ha^{-1} auf leichten Böden-
 - unter $60\text{-}80 \text{ kg N ha}^{-1}$ auf bindigen Böden
- Begrünungen rechtzeitig und mit einer Saatmenge von mehr als 100 kg ha^{-1} durch Einhäckseln oder durch Eingrubbern anlegen (Siehe Kap. 4.4.2.2).

4.4.2.1.2 Grundwasserschonender Getreidebau

Die Versuchsbeschreibung ist in Kap. 3.2.1.2 nachzulesen. Der Versuch wurde angelegt, um die Stickstoffdüngung von Getreidekulturen in Wasserschongebieten zu optimieren (siehe Abbildung 32).

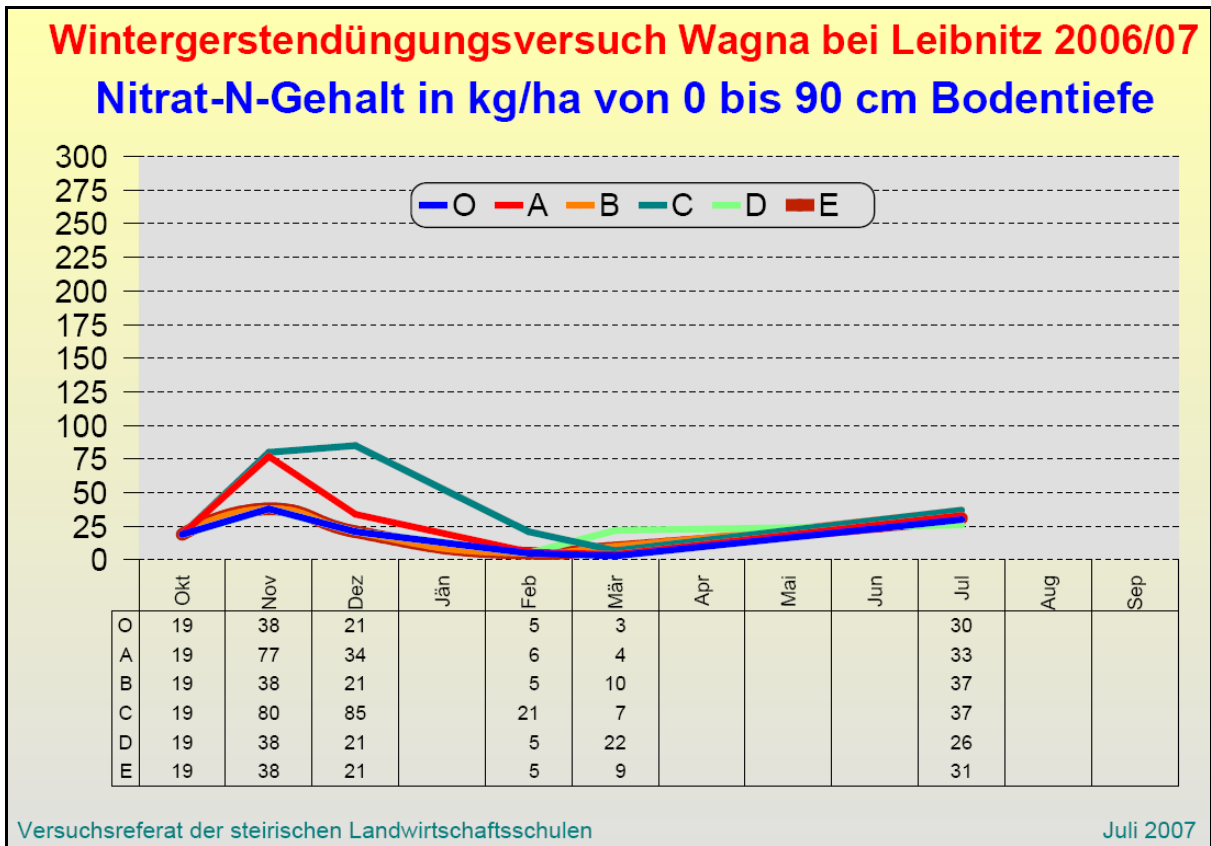


Abbildung 32: Wintergerstendüngungsversuch Wagna, N_{min} -kurven des Wintergerstenversuches, Wagna

Zwei Varianten (A und C) wurden im Herbst zum Anbau entweder mit Schweinegülle oder mit Kalkammonsalpeter in der Höhe von 50 N ha^{-1} gedüngt. Zwei Varianten (B und D) erhielten die erste Güllegabe von 50 N ha^{-1} erst zu Vegetationsbeginn, anfangs März. Diese vier Varianten (A, B, C, D) bekamen im April eine zweite Gabe von 60 N ha^{-1} in Form von Kalkammonsalpeter. Die Variante E wurde nur mit Gülle geführt, die erste Gabe im Februar und die zweite im April. Insgesamt erhielten alle Varianten 110 kg N ha^{-1} , diese Menge errechnet sich auf diesem seicht-gründigen Standort aus den RLSGD. Die Variante mit null Stickstoffdüngung wurde zum Vergleich angelegt.

Die Messungen des Bodenstickstoffes im Laufe der Vegetation zeigen die vorrätigen Stickstoffmengen. Auf Grund der niedrigen Niederschlagsmengen im Laufe des Winters 2006/07 und des Frühjahres kann behauptet werden, dass keine Verlagerung des Stickstoffes in den Unterboden passierte. Alle Varianten weisen ein sehr niedriges Stickstoffniveau im Boden auf. Nur die Variante C, die die Mineraldüngergabe zum Anbau im Herbst erhielt, weist einen erhöhten Wert noch im Dezember auf.

Die dreijährigen Ertragsauswertungen der Varianten (Abbildung 33) zeigen den Vorteil der Stickstoffgabe im Frühjahr im Vergleich zur Anbaudüngung im Herbst. Die Variante B unterscheidet sich von A nur durch die Gülledüngung im Frühjahr. B brachte um 500 kg höheren Ertrag als A. Die

Variante E mit ausschließlicher Gülledüngung im Frühjahr und April warf den zweitbesten Ertrag ab. Dies ist eine gute Lösung für güllestarke Betriebe.

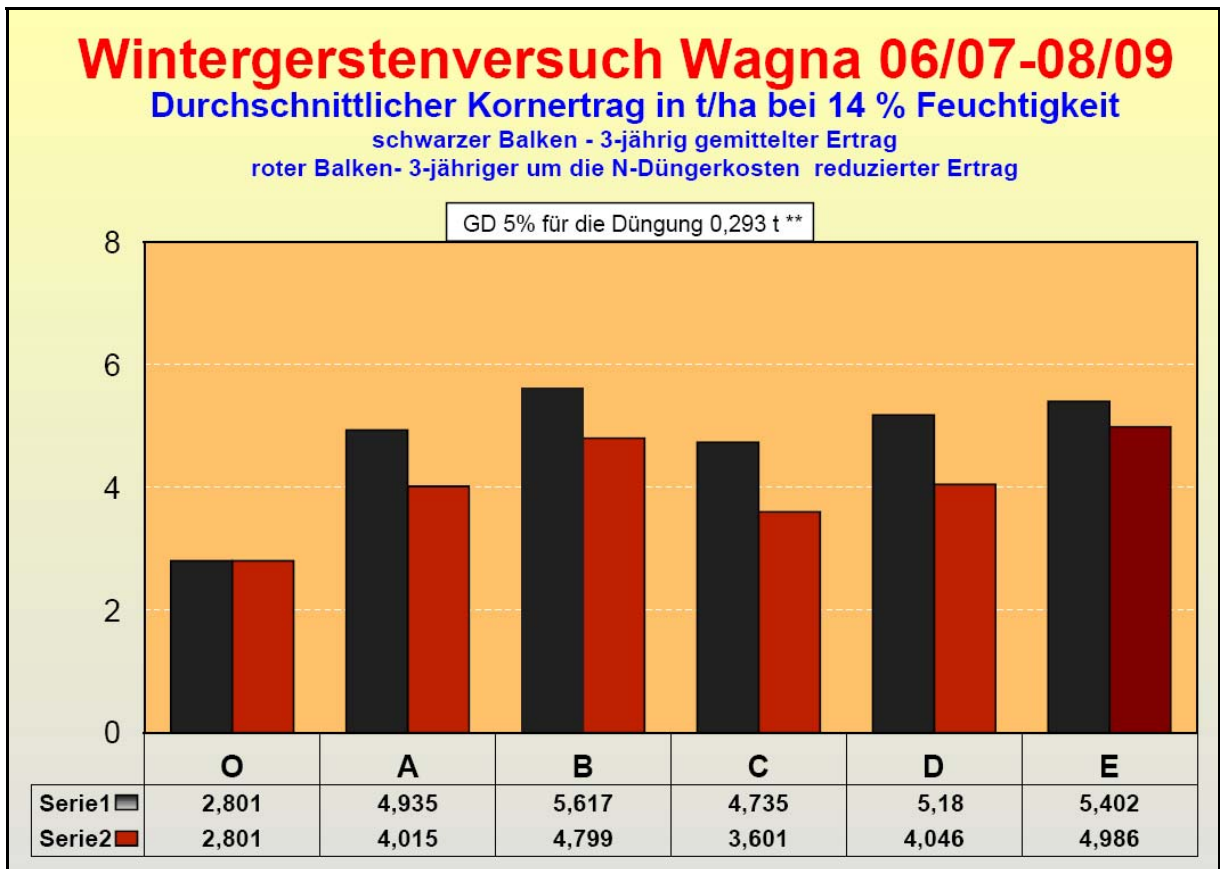


Abbildung 33: Wintergerstenversuch Wagna, durchschnittlicher Kornertrag

Effiziente Maßnahmen für einen Grundwasser schonenden Getreidebau liegen vor, wenn

- der Reststickstoff der Vorkultur nicht höher 50 kg ha⁻¹ ist.
- die Ertragserwartung richtig eingeschätzt wird und eine sachgerechte Düngung vorgesehen ist.
- die Wirtschaftsdüngergabe nicht im Herbst, sondern im Frühjahr erfolgt.
- eine Teilung der Düngergaben vorgenommen wird.
- sich die Kultur im Herbst gut entwickelt.
- eine Untersaat im April oder eine sofortige, wirkungsvolle Stoppelsaat durch Minimalbodenbearbeitung angelegt wird.

4.4.2.1.3 Der steirische Ölkürbis im Wassereinzugsgebiet

Der steirische Ölkürbis wurde in den letzten Jahren die Modekultur im steirischen Ackerbau. Das schwarze Gold verkauft sich immer besser. Daher erfuhr die althergebrachte Kultur eine gewaltige, flächenmäßige Ausweitung. Der Wunsch nach guten Erträgen und einer ergiebigen Ölausbeute waren die treibenden Kräfte für verschiedene Kürbisversuche.

Der fünfjährige Versuch zeigt (siehe Abbildung 34), dass eine mäßige Düngergabe von 40-60 kg Reinstickstoff für einen optimalen Ertrag ausreichend ist. Diese Düngermenge ist gerade auf humusarmen, wenig Stickstoff nachliefernden Standorten notwendig. Die Stickstoffabfuhr liegt pro ha bei einem mittleren Ertrag von 600-800 kg ha⁻¹ auch in dieser Höhe (Ergebnisse vom GPV Wagna: Ertrag 800 kg ha⁻¹, Stickstoffabfuhr 42.1 kg ha⁻¹; Ertrag 610 kg ha⁻¹, Stickstoffabfuhr 31.6 kg ha⁻¹).

Die Einsaat einer Grasmischung im Ölkürbis anbau hat sich zwecks baldiger Begrünung im Herbst sehr bewährt. Mit dem Absterben der Blätter entwickelt sich die Einsaat sehr rasch und bietet nach der Ernte eine geschlossene Grasdecke, die bestens die letzten verbliebenen Stickstoffmengen bindet. Die Einsaat ist der Stoppelsaat vor zu ziehen. Sie ist auch rascher Stickstoff bindend und noch dazu kostengünstiger in der Anlage.

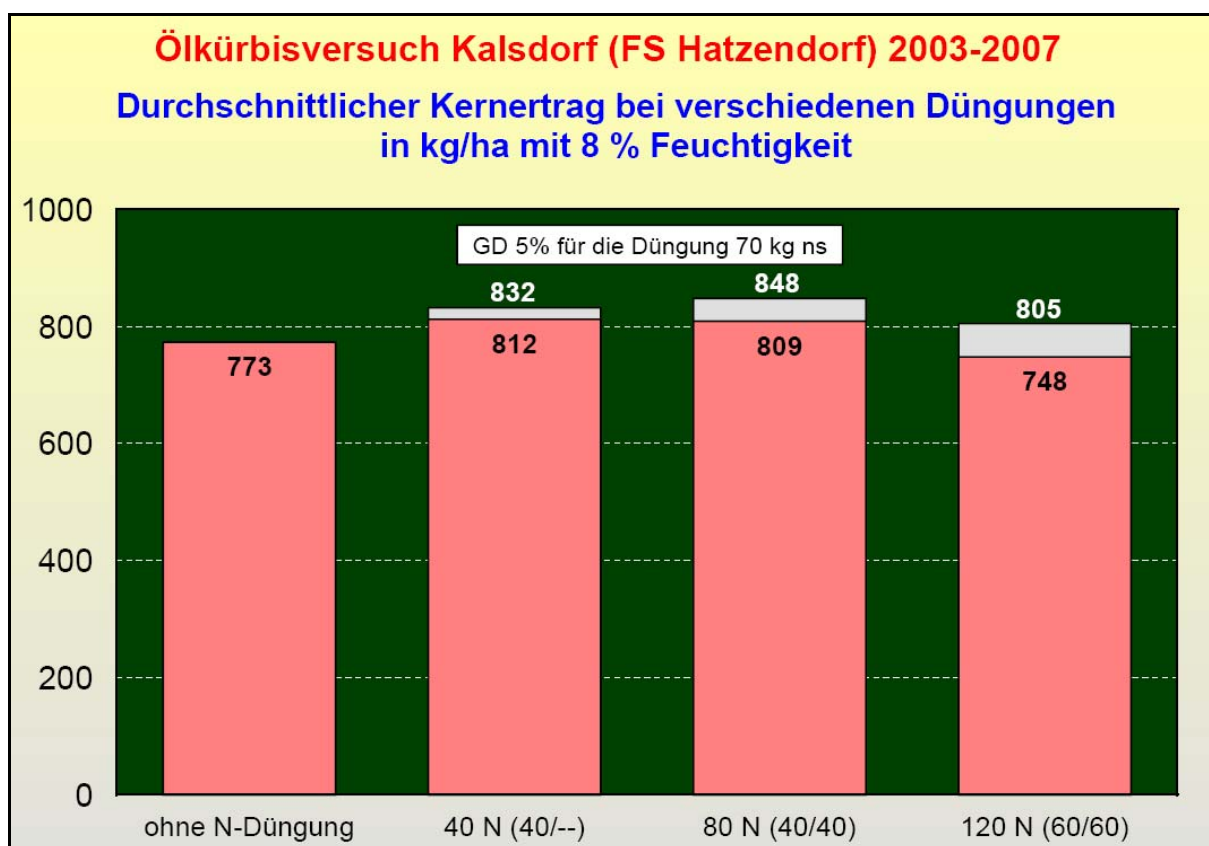


Abbildung 34: Ölkürbisversuch Kalsdorf

Aus pflanzenbaulichen Gründen sind Klee-grasmischungen (2/3 Gras, 1/3 Klee) den reinen Graseinsaaten vor zu ziehen, da reine Graseinsaaten im darauf folgenden Frühjahr schwer zu pflügen

sind und den Boden in einer ungünstigen Krümelstruktur zurücklassen (Die landwirtschaftliche Umweltberatung (LUB, 2009) stellt im Jahresbericht 2009 ebenso diese Tatsache fest). Das Problem der schweren Beherrschbarkeit der Leguminosen hinsichtlich des Grundwasserschutzes wurde bereits angesprochen. Die N-Nachlieferung der Begrünung muss jedenfalls in die Stickstoffbilanz der Nachkultur einberechnet wird.

Effiziente Maßnahmen im Ölkürbisanbau liegen vor, wenn

- keine höhere Düngung als 40 kg N ha^{-1} bei mittlerer Ertragslage verabreicht wird und auf humusreichen Böden mit hoher N-Nachlieferung keine Stickstoffdüngung erfolgt.
- eine Einsaat im Juni oder eine rasche Saat einer Begrünung nach der Ernte erfolgt.

4.4.2.2 Begrünung oder Zwischenfruchtbau

Die Begrünung hat im Ackerbau verschiedene Aufgaben zu erfüllen: Die Bodenbedeckung, Unterdrückung der Unkräuter, Humusaufbau, Speicherung der Bodennährstoffe, im Besonderen des Nitrates, in seltenen Fällen wird der Aufwuchs noch als Futter für Tiere oder für eine Biogasanlage (Zwischenfruchtfutterbau) gebraucht.

Varianten der Begrünung:

- Sommerzwischenfrucht nach Getreide und Raps,
- Winterzwischenfrucht nach Mais und Kürbis
- Grasuntersaat im Ölkürbis
- Sommerzwischenfrüchte mit/ohne Leguminosen
- Ansaatvarianten: Untersaat in die Kultur oder Stoppelsaat nach der Ernte

Die **Untersaat** im Getreidebau wäre gegen die Auswaschung sehr wirksam. Sie wird aber durch die Hauptkultur häufig unterdrückt und kann nicht flächendeckend anwachsen. Im Kürbisbau ist eine Untersaat durch die meist nur sehr kurze und sehr intensive Bedeckung durch die Kürbisblätter erfolgreich.

Die **Stoppelsaat im Sommer** verursacht durch die Bodenbearbeitung einen Mineralisierungsschub und sie wird erst nach dem Anwachsen gegen die Stickstoffverluste wirksam. Um eine rasche Wirkung des Zwischenfruchtanbaues zu erreichen, muss die Saat so rasch wie möglich nach der Ernte der Hauptkultur erfolgen. Eine reduzierte Bodenbearbeitung ist einer Pflugfurche vor zu ziehen. Es soll keine starke Bodenbelüftung erfolgen und damit ein Mineralisierungsanreiz durch eine intensive Bodenbearbeitung gegeben werden. Wenn eine Wirtschaftsdüngergabe angedacht ist, so soll diese als Kopfdüngung erst ein Monat nach der Saat ausgebracht werden. Diese kann als Düngung nur dann erfolgen, wenn eine Nutzung der Zwischenfrucht geplant ist.

Die Begrünungen nach Mais zeigen im Herbst wenig Stickstoffbindungsvermögen. Erst im Monat Februar, März bis in den April konnte ein intensives Pflanzenwachstum beobachtet werden. Dies führte zu einem erkennbaren Sinken der Nitratwerte (Abbildung 35) durch die Nährstoffaufnahme der Begrünung oder durch Immobilisierungsvorgänge.

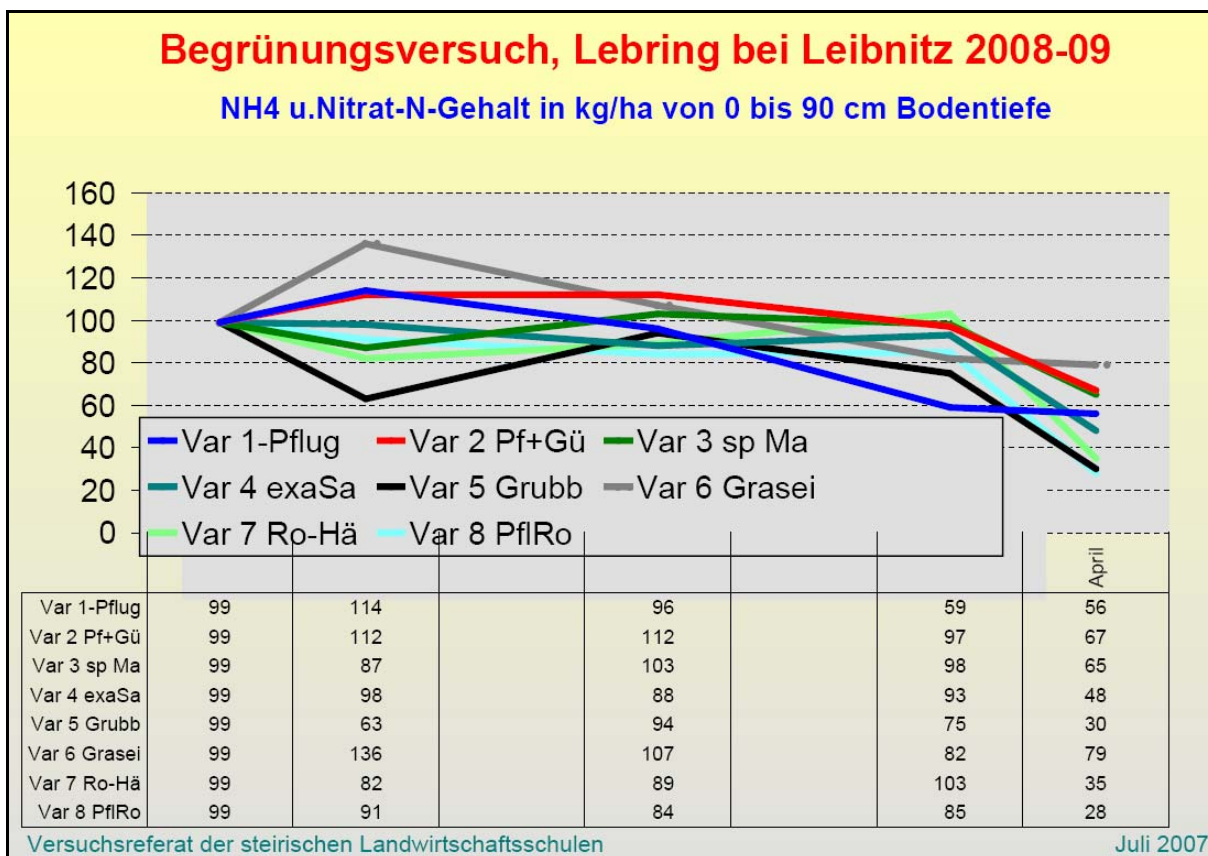


Abbildung 35: Begrünungsversuch Lebring

Um eine gute Wirkung der Begrünung zu erreichen, sollen folgende Richtlinien Beachtung finden:

- Nach der Ernte der Hauptkultur sollte der Reststickstoffgehalt im Boden bis 90 cm nicht höher als 50 kg ha⁻¹ sein
- Saatzeit bei einer Getreidebegrünung (Grünschnittroggen) darf nicht später als 10. Oktober sein
- Saat einer Winterrübsen Perko-Begrünung darf nicht später als 20. September erfolgen.
- Je später die Aussaat erfolgt desto höher soll die Saatgutmenge sein (Nicht weniger als 150 kg ha⁻¹ bei einer Getreidebegrünung, nicht weniger als 10 kg ha⁻¹ bei einer Winterrübsen Perko-Begrünung).
- Keine Wirtschaftsdüngergabe zur Begrünung im Herbst

- Die Saat mit einem Grubber oder das Einhäckseln des Saatgutes sind nach den einjährigen Versuchsergebnissen und langjährigen Beobachtungen am wirksamsten und am kostengünstigsten. Die mischende Wirkung des Grubbers bringt eine doppelte Stickstoffbindung hervor. Einmal die Stickstoffbindung durch die Strohverrottung und einmal durch den Stickstoffbedarf der Begrünung.
- Die Bodenbearbeitung sollte möglichst gering ausfallen, damit die Mineralisierung nicht verstärkt wird → Minimalbodenbearbeitung.

4.4.3 Bodenstickstoff und Stickstoffbilanz

Humusreiche Böden (über 4 % Humus) und eine feuchtwarme Witterung können aus dem Bodenvorrat größere Stickstoffmengen freisetzen. Man spricht dann von einem wüchsigen Wetter. Erfahrene Landwirte berücksichtigen diese Stickstoffwellen in ihrem Düngeraufwand. Eine Bestimmung dieser sind durch laufende N_{min} -Messungen auf definierten Testflächen möglich. Über das Internet und aktuelle Medien können die Werte den Landwirten zur richtigen Bemessung der Düngergaben bekannt gegeben werden. Dabei erlaubt die Sollwert-Methode nach Stickstoffbestimmungen im Boden vor der Saat und zur Kopfdüngung individuelle Düngerempfehlungen (BMLFUW, 2006 – Kap. Sollwertmethode).

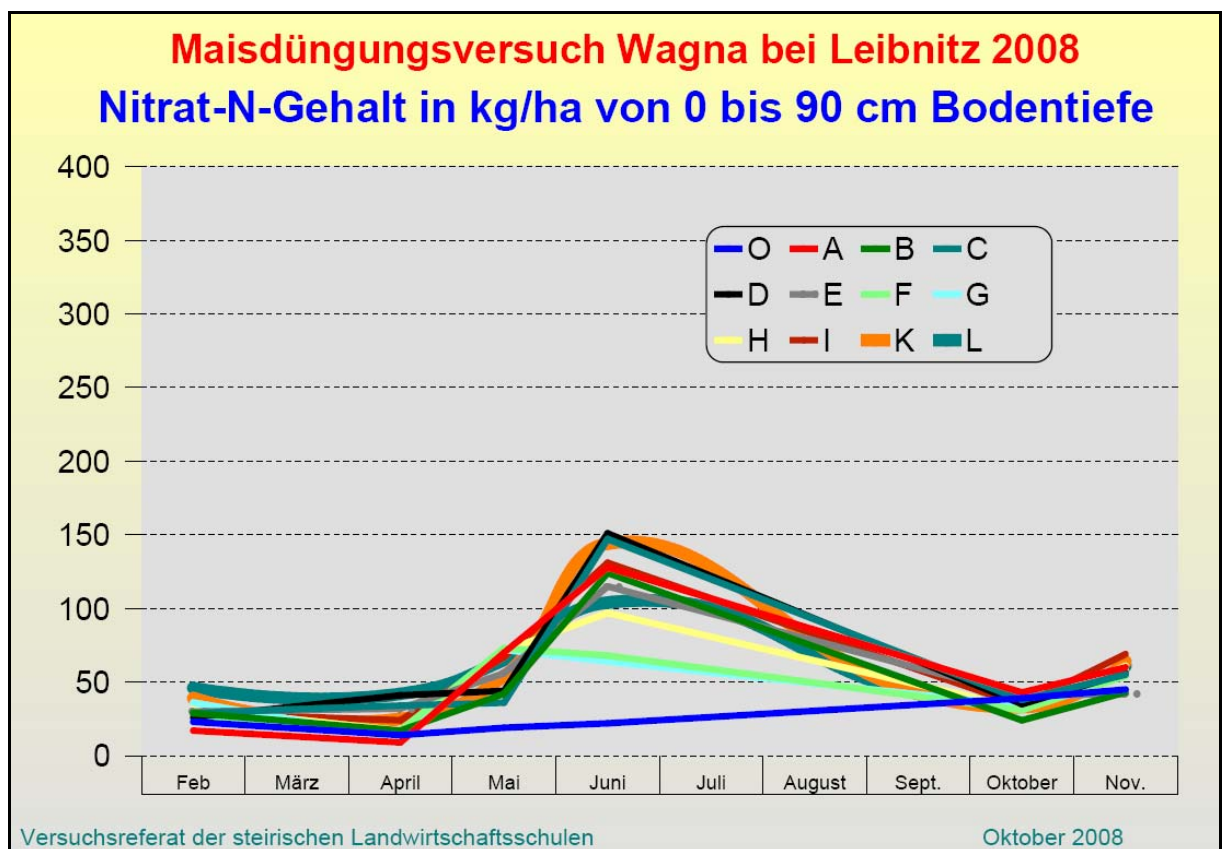


Abbildung 36: Maisdüngungsversuch Wagna, N_{min} -Kurven auf der Standardfläche Wagna

Die Hintanhaltung von Überdüngungen ist die wichtigste Maßnahme gegen Nitratauswaschung. Umfangreiche Stickstoffmessungen im Zuge vieler Versuche im Wasserschongebiet ergeben nachvollziehbare N_{\min} -Kurven (siehe beispielsweise Abbildung 36). So können für jede Kultur und jedes Düngungsverfahren typische N_{\min} -Kurven gezeichnet werden.

Die letzte Feststellung des Stickstoffwertes nach der Ernte im Boden wird als Rest N-min-Wert bezeichnet. Liegt dieser Wert

- auf leichten Böden unter 50 N kg ha^{-1} ,
- auf bindigen und tiefgründigen Böden unter 80 kg N ha^{-1}

so kann von einer sachgerechten Düngung ausgegangen werden. Zeigt diese Messung einen höheren Wert an, sollte eine Hinterfragung des Düngungsregimes erfolgen. Dies zeigt sich auch in den Darstellungen der Ergebnisse der Reststickstoffmessungen der unterschiedlichen Varianten des Kleinparzellenversuches am Versuchsfeld Wagner Anfang Oktober 2008 (Abbildung 37):

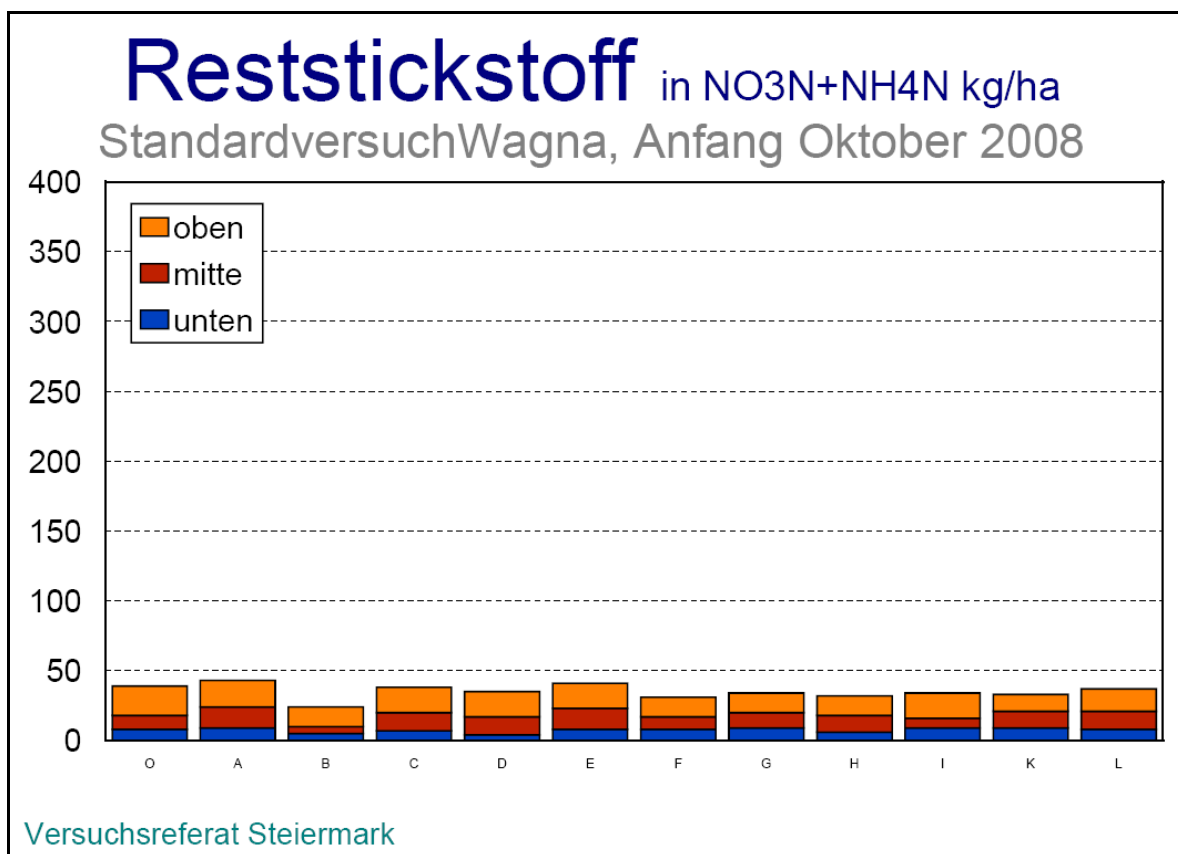


Abbildung 37: Reststickstoff, Standardversuch Wagner

Die in Tiefenstufen von 30, 60 und 90 cm unter Gelände gemessenen Reststickstoffmengen liegen in Summe auf allen Teilparzellen unter 50 N kg ha^{-1} . Auf zufällig ausgewählten Maisfeldern von Leibnitz bis Radkersburg wurden in Kooperation mit den jeweiligen Landwirten auch Rest- N_{\min} -Messungen nach Mais durchgeführt. Einige dieser Flächen einen deutlich höheren Rest N_{\min} -Wert auf (Abbildung 38). Dies belegt, dass eine grundwasserschonende Maisbewirtschaftung nach den

Richtlinien der sachgerechten Düngung noch keineswegs flächendeckend im Projektgebiet durchgeführt wird.

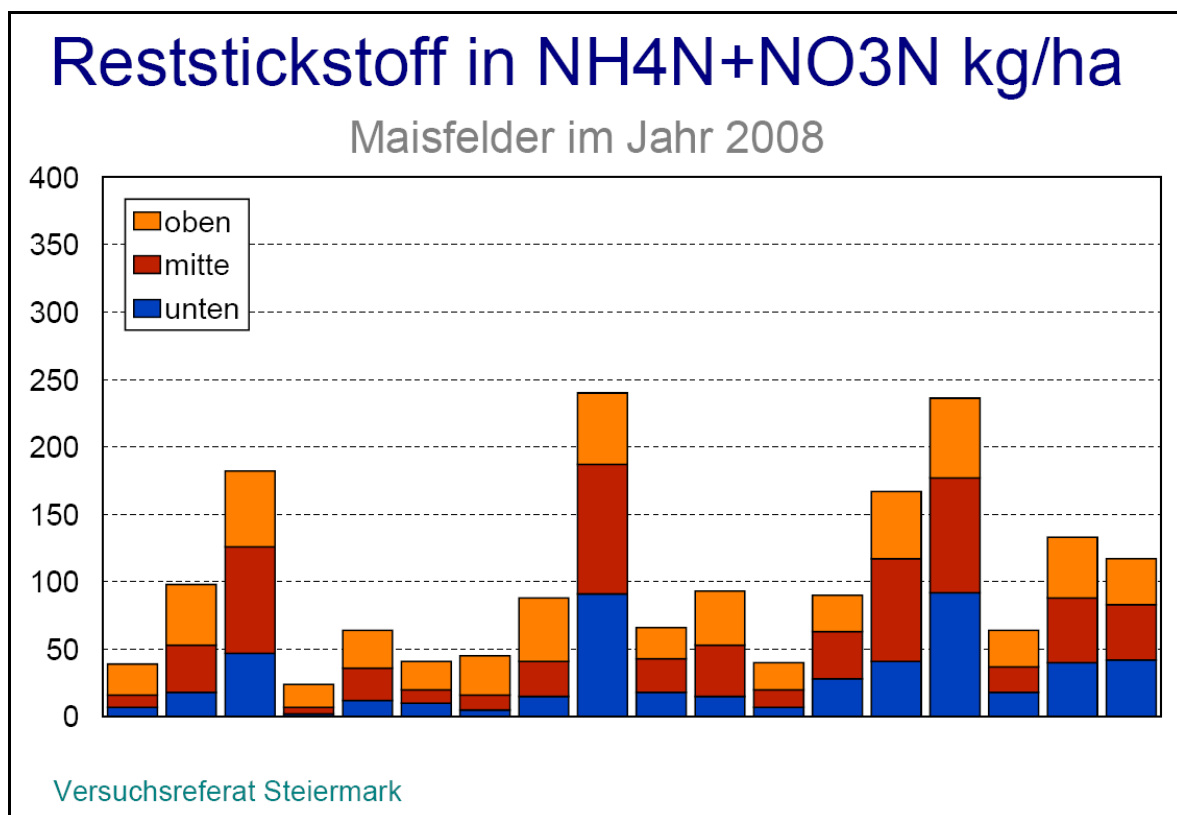


Abbildung 38: Reststickstoff, Maisfelder

Die Standarddüngungsflächen auf drei oder mehr typischen Bodenformen der bis jetzt in Betrieb befindlichen Versuchsflächen zeigen die jahresabhängige Stickstofffreisetzung auf.

Die Stickstoffnachlieferung aus den Böden kann durch begleitende N_{\min} -Messungen erkannt werden. Notwendig wäre die Einrichtung einer Nitrathotline zur raschen Information der Landwirte über sachgerechte Stickstoffdüngung. Dabei kann der Einsatz der N_{\min} -Sollwert-Methode in der Praxis Überdüngung hintanhaltend. Niedrige Reststickstoffmengen im Boden zeugen von sachgerechter Düngung. Da derzeit noch zu wenig Erfahrungswerte vorliegen, können die Grenzen der Rest N_{\min} -Werte nur in der Beratung Verwendung finden.

4.4.4 Güllemanagement

Der Flüssigmist ist ein nährstoffreicher Wirtschaftsdünger und ist daher wert, sehr sorgsam ausgebracht zu werden. Es gibt genug technische Geräte und Hilfsmittel, mit denen dieser wertvolle Wirtschaftsdünger umweltgerecht und grundwasserschonend eingesetzt werden kann. In Maßen angewendet, ist die Gülle ein nährstoffreicher Volldünger im Ackerbau und auf dem Grünland. Die Nachteile sind oft die notwendige Lagerkapazität, die Verteilprobleme und die Geruchsbelästigung.

Seit Tiere in Ställen gehalten werden, fällt wertvoller Dünger für den Ackerbau an. Stallmist, Jauche oder Gülle waren in der Landwirtschaft immer willkommen, hofeigene Dünger. Durch die zunehmende Intensität in der Tierhaltung und die Möglichkeit des Futterzukaufes fallen große Mengen an Flüssigdünger an, dessen Lagerung aufwendig und dessen Verteilung sehr kostspielig und zeitraubend wird. Bei nicht ausreichendem Grubenraum bleibt so manchem Landwirt nichts anderes übrig, als die Gülle zu unrichtigen Zeiten oder an unrichtigen Orten Umwelt belastend zu entsorgen. Hier sollte ein modernes Gülle-Management der Maschinenringe in den Regionen Abhilfe schaffen.

Der hohe Nährstoffgehalt der Gülle macht sie zu einem wertvollen Wirtschaftsdünger mit Stickstoff, Phosphor und Kalium. Ein Vergleich mit den Hausabwässern (Tabelle 19) verdeutlicht dies ganz besonders.

Tabelle 19: Nährstoffgehalte unterschiedlicher Wirtschaftsdüngervarianten

Wirtschaftsdüngervariante n	durchschnittlicher Nährstoffgehalt in kg m ⁻³		
	Stickstoff	Phosphor	Kalium
	N ff	P20	K20
Hausabwässer	4.50	2.50	5.00
Milchkühe	3.40	2.00	6.50
Zuchtsauengülle	5.60	4.40	4.00
Mastschweinegülle	4.50	3.50	3.50

Eine unverdünnte Schweinegülle ist ca. achtzig Mal nährstoffreicher als Fäkalabwässer. Der Flüssigmist soll und darf daher nur gezielt als Dünger auf unsere Felder kommen. Dort wird die Gülle gebraucht und ermöglicht eine große Kosteneinsparung durch die Verringerung des Mineraldüngereinsatzes.

Im Flüssigmist und in der Jauche sind die Nährstoffe zum Großteil so rasch löslich wie im Mineraldünger. Beim Einsatz der Gülle ist bei moderner Technik zur wachsenden Pflanze eine Jahresstickstoffwirkung bis zu 80 % zu erwarten. Die Wirkung der Phosphor- und Kalianteile kann über die Jahre mit 100 % angesetzt werden.

Um den negativen Ruf der Gülle entgegen zu wirken, muss der Einsatz der Gülle möglichst pflanzenwirksam organisiert werden. Es dürfen keine übermäßigen Stickstoffverluste in die Atmosphäre und keine Auswaschung ins Grundwasser provoziert werden. Daher sind alle Hilfsmittel zur optimalen Ausbringung anzudenken:

- Bodennahe Ausbringung mit Schleppschläuchen und die Verdünnung senkt die Verluste bei der Ausbringung.
- Rasche Einarbeitung und die Güllezusätze wie Gesteinsmehle sorbieren den Ammoniak.
- Gemahlene Stroh als Kohlenstofflieferant bindet den Stickstoff.

Die Geruchsbelästigung der Wirtschaftsdünger wird von der Landwirtschaft nicht in Abrede gestellt. Sie wird als gegeben hingenommen. Dagegen kann man nichts machen, meinen oft nicht nur die Landwirte. Die wichtigsten Inhaltstoffe, die den üblen Geruch verursachen, sind

- **der Ammoniak**, ein stechend riechendes Gas
- **Schwefelwasserstoff**, ein nach faulen Eiern riechendes Gas und
- **diverse andere Stoffe**

Die Geruchsminderung rund um die Gülle wäre für die Landwirtschaft sehr wünschenswert. Folgende Möglichkeiten der Geruchsminderung hat der Landwirt in der Hand:

- Verdünnung der Gülle senkt die Geruchsbelästigung.
- Gülle ist nicht gleich Gülle, die Fütterungsweise beeinflusst die Geruchsintensität.
- Bodennahe Ausbringung und rasche Einarbeitung, sowie Güllezusätze wie Gesteinsmehle und gemahlenes Stroh können die Gerüche mindern

Die Ausbringung der **Gülle in dosierter Menge – das heißt sachgerecht** – macht sie zu einem wertvollen Wirtschaftsdünger. Die Gesellschaft wird sodann nicht gegen die Güllewirtschaft auftreten und die Landwirtschaft hat mit dem nährstoffreichen Wirtschaftsdünger ein großes Einsparungspotenzial in der Hand.

Wie die Auswertung der regionalen Agrarstatistik zeigt, ist der N-Anfall aus der Tierhaltung ist in dem Projektgebiet kein Mengenproblem (bei tendenziell sinkenden Tierzahlen), sondern ein Verteilungsproblem (vgl. Kap. 3.1.3). Dieses Verteilungsproblem zu entspannen hat sich das Güllemanagementprojekt des Maschinenringes im Unteren Murtal zum Ziel gesetzt. Derartige Initiativen sind außerordentlich hilfreich im Hinblick auf eine grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftung und sollten dementsprechend gestützt und gefördert werden.

5 Erforderliche regionale Maßnahmen

Aufgrund der konflikträchtigen Situation zwischen der Wassergewinnung zur Trinkwasserversorgung aus dem Grundwasser des Murtales und den erhöhten Stickstoffausträgen aus der ackerbaulichen Nutzung werden schon seit längerem Untersuchungen und Auswertungen durchgeführt, um Bewirtschaftungsverfahren zu finden, die einen Konsens zwischen Wasserwirtschaft und Landwirtschaft ermöglichen. Diese lassen sich aktuell zusammenfassen in:

- Feldversuche des Landwirtschaftlichen Versuchsreferates der Steirischen Landwirtschaftsschulen (vgl. Kap. 0).
- Großparzellenversuche am ackerbaulichen Versuchsfeld Wagna (vgl. Kap. 3.2.1), in welchen seit 1992 in Kombination mit den Untersuchungen des Stoffflusses in der ungesättigten Zone durch die Lysimeteranlage verschiedene grundwasserverträgliche Kulturfolgen auf Basis der Richtlinien für sachgerechte Düngung (BMLFUW 2006) experimentell getestet werden
- Modellberechnungen zu Stickstoffflüssen im Ackerland für eine grundwasserverträgliche Bewirtschaftung im Murtal (vgl. Kap. 4.3.2)
- Modellberechnungen zur Auswirkung von winterharten Gründecken auf den Stickstoffaustrag unterschiedlicher Kulturführungen (Feichtinger et al. 2005). Eine Auswertung der Versuche am Versuchsfeld Wagna und darauf aufbauende detailliertere Berechnungen unter Berücksichtigung von Schongebietsauflagen im westlichen und südwestlichen Leibnitzer Feld ergaben, dass die Anlage winterharter Gründecken nach Mais die Nitratkonzentration im Sickerwasser langfristig merkbar reduziert werden kann (vgl. Kap. 4.3.2.7).

Alle Auswertungen ergaben, dass die aufgebrachte Düngermenge das entscheidende Glied in der Ursachenerkundung für erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser darstellt. Dabei sind alle Formen des Stickstoffinputs (mineralische Düngung, Wirtschaftsdünger, Eintrag aus der Atmosphäre, Leguminosen etc.) zu berücksichtigen. Wesentlich ist für die Erfassung der aufgebrachten Stickstoffmenge die Kenntnis der Wirtschaftsdüngerqualität. Zur Bilanzierung ist die Kenntnis der Erntemenge und des daran gekoppelten Stickstoffentzuges von essentieller Bedeutung, da unter den hier vorliegenden pedologischen und hydrometeorologischen Verhältnissen ein Bilanzüberschuss von etwa 35 kg N ha^{-1} bereits zu einer mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser von etwa 50 mg l^{-1} führt.

Zur Erreichung einer Grundwasserqualität (hinsichtlich Nitrat), die die flächenhafte Nutzung des Grundwassers erlaubt und gleichzeitig eine nachhaltige standortgemäße Bewirtschaftung des Bodens mit optimalen Erträgen (unter Beachtung ökonomischer und ökologischer Kriterien) ermöglicht, erscheinen uns folgende Maßnahmen unverzichtbar:

- Düngebemessung grundsätzlich nach den Richtlinien für sachgerechte Düngung auf Basis einer mittleren Ertragslage für die Region. Bei Nachweis der realen Ertragserwartung über mehrere Jahre kann die Düngung sodann nach oben angepasst werden, muss aber gegebenenfalls auch nach unten korrigiert werden. Ausgehend von Ergebnissen steirischer Versuche erscheint beim Ölkürbis die in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau (BMLFUW 2008) empfohlene N-Düngermenge von 80 kg bei mittlerer Ertragslage ($400-700 \text{ kg ha}^{-1}$) als deutlich überhöht. Eine Halbierung dieser Empfehlung in den Richtlinien wird vorgeschlagen.
- Unter Berücksichtigung des Stickstoffeintrages aus der Atmosphäre ($10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ist eine schlagbezogene N-Bilanz an der Oberfläche von

$$\begin{aligned} & \mathbf{N\text{-Import (Düngung, Leguminosen, Bewässerung)}} \\ & \mathbf{\text{minus}} \\ & \mathbf{N\text{-Export (Abfuhr von Erntegut)}} \\ & \mathbf{\leq 25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}} \end{aligned}$$

einzuhalten. Nachdem diese N-Bilanz an der Bodenoberfläche jährlich nicht immer erfüllbar sein wird, wird die Bilanzierung über Fruchtfolgezeiträume empfohlen. Für einen Durchrechnungszeitraum von z.B. 5 Jahren (5-schlägige Fruchtfolge) soll obige Bilanzrechnung einen Bilanzüberschuss von 125 kg N ha^{-1} nicht übersteigen. Der Durchrechnungszeitraum soll maximal 5 Jahre betragen.

Zur schlagbezogenen Bilanzierung ist die Kenntnis der Erntemenge und dessen Stickstoffgehaltes ebenso Voraussetzung wie die Kenntnis der zugeführten Stickstofffrachten.

- Die Ausbringung von stickstoffhaltigem Dünger (z.B. Gülle) im Herbst soll – mit Ausnahme zu Rapsanbau – tunlichst generell unterbleiben. Die Stickstoff-Frühjahrsdüngung soll bedarfsgerecht knapp vor dem Anbau oder in die wachsende Kultur erfolgen. Zur Ausschöpfung des zugeführten Düngers ist eine optimale Pflanzenentwicklung und daher eine gesunde Kulturführung während der gesamten Vegetationsperiode eine grundlegende Voraussetzung.
- Anlage winterharter Gründdecken. Schwarzbrachen sind jedenfalls zu vermeiden. Daher sind Sommer- und Winterzwischenfrüchte kurz nach der Ernte und mit entsprechender Saattiefe anzulegen, die erst kurz vor Anbau der nächsten Hauptfrucht eingearbeitet werden. Die Anlage von Begrünungen ist nach den Prinzipien der Minimalbodenbearbeitung durchzuführen. Das N-Management nach Leguminosen in der Fruchtfolge stellt einen wesentlichen Faktor für den qualitativen Grundwasserschutz dar, worauf besonders Bedacht zu nehmen ist.

Bei Einhaltung dieser Grundsätze ist die Abfolge der Kulturarten (auch Mais in Monokultur) in der Fruchtfolgegestaltung **für den qualitativen Grundwasserschutz** ohne wesentliche Bedeutung. Für

die Berücksichtigung sonstiger ökologischer Erfordernisse ist jedoch eine ausgewogene Fruchtfolgegestaltung von essentieller Bedeutung.

6 Umsetzungs- und Kontrolloptionen

Wie bereits eingangs erwähnt ist davon auszugehen, dass eine flächenhafte Kontrolle der Maßnahmen aufgrund des erforderlichen Personal- und Untersuchungsaufwandes de facto nicht möglich ist. Um die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen zur Reduktion der Nitratkonzentration im Grundwasser zu gewährleisten sind aus unserer Sicht folgende Aktivitäten notwendig:

- Aus- und Weiterbildung. Die Landwirte müssen sich mit grundwasserschonender ackerbaulicher Bewirtschaftung identifizieren. Dabei sind auch in der Landwirtschaft die Prinzipien der Nachhaltigkeit (Ökonomie – Ökologie – Soziales) zu berücksichtigen.
- Anlage und Führung von Musterflächen auf unterschiedlichen Standorten um die Heterogenität der Böden, Unterschiede der Witterung und auch des Agrarmanagements abdecken zu können. Anhand der Ergebnisse dieser Musterflächen können Reststickstoffgehalte nach der Ernte hinsichtlich sachgerechter Düngung und hinsichtlich grundwasserverträglicher Bewirtschaftung bewertet werden. Liegt der Rest-N_{min}-Wert auf leichten Böden unter 50 N kg ha⁻¹ und auf bindigen und tiefgründigen Böden unter 80 kg N ha⁻¹ so kann von einer sachgerechten Düngung ausgegangen werden. Zeigt diese Messung einen höheren Wert an, sollte eine Hinterfragung des Düngungsregimes erfolgen.
- Erstellung eines Nitratinformationsdienstes (am besten über Internet).
- Unterstützung der Landwirte in der Beratung durch Bilanzberechnungen sowie bei der Stickstoffbestimmung in Gülle, Boden und in der Pflanze.
- Aufzeichnungen zu den schlagbezogenen N-Input-/Outputbilanzen und die fortlaufende Führung dieser Bilanzen sind Entscheidungshilfe aber auch Erfolgsnachweis zu den Erfordernissen der schlagbezogenen Stickstoffbilanzen an der Bodenoberfläche.

7 Literatur und Unterlagen

- Aktionsprogramm Nitrat (2008): Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Aktionsprogramm 2008 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. – Kundgemacht im Amtsblatt der Wr. Zeitung am 31.01.2008, ABl. Nr. 22/2008 ;
<http://recht.lebensministerium.at/article/articleview/63673/1/6588>
- Assfall, A. (2009): Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen von Körnermais, Wintergerste und Ölkürbis. Im Rahmen der Grundwassersanierung im Leibnitzerfeld. – Diplomarbeit, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur, 80 S.
- 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. Pretenthaler, J. Robier, G. Rock, H. Truhetz, Th. Übleis (2008): Grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen über seichtliegenden gering mächtigen Grundwasserleitern. – In: Fank, J. & Ch. Lanthaler (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen. – Beiträge zur Hydrogeologie, 56 (Jg. 2007/08), S. 9-90, Graz.
- BGBI. Nr. 82 (2003): Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Jahrgang 2003. – Ausgegeben am 29. August 2003: 82. Bundesgesetz, mit dem das Wasserrechtsgesetz 1959 und das Wasserbautengesetz 1985 geändert werden sowie das Hydrografiegesetz aufgehoben wird.
http://hw.oeaw.ac.at/Handbuch-SUP/5/521/WRG_Nov_03_BGBI_82_2003.pdf
- BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. – 6. Aufl., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 80 S.
- BMLFUW (2008): Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau mit Kulturdatenblätter. – 3. Aufl., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 169 S.
- Fank, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). – Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, S. 101-388, Graz.
- Fank, J. (2009a): Wasser- und Stoffbilanzen aus den Lysimetern in Wagna. Bericht zur 13. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter – Perspektiven in Forschung und Anwendung“, 21.-22. April 2009, 119-122 Irdning.
- Fank, J. (2009b): Das landwirtschaftliche Versuchsfeld Wagna und seine hydrometeorologischen Messeinrichtungen. Bericht zur 13. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter – Perspektiven in Forschung und Anwendung“, 21.-22. April 2009, 123-126 Irdning.
- Fank, J., E. Stenitzer, F. Feichtinger, P. Cepuder (2004): Messdaten und Modellkalibration an der Forschungsstation Wagna und daraus abzuleitende Anforderungen an Messstellen zur Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen. – In: Klotz, D. (Hrsg.): Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern. – GSF-Bericht 02/04, S. 79-86, München.
- 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, S. 43-48, Irnding-Gumpenstein.

- Fank, J., F. Feichtinger und J. Fürst (2008a): „Prognosemodell Murtal-Aquifer“. – Endbericht, Netzknoten 1, Work Package 1.1.1, im Auftrag der Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH. Graz/Petzenkirchen/Wien, am 27.06.2008.
- Fank, J. & F. Feichtinger (2008b): „Nitratmodellierung in Brunneneinzugsgebieten. Fallbeispiel Donnersdorf/Fluttendorf, Gnasbach“. – Endbericht, Netzknoten 1, Work Package 1.1.5, im Auftrag der Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH. Graz, am 27.06.2008.
- Fank, J. & G. v. Unold (2007): High-precision weighable field Lysimeter. A tool to measure water and solute balance parameters. – International Water & Irrigation, Vol. 27, No. 3, 28-32, Tel Aviv.
- Fastl, G. & J. Robier (2008): Grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen über seichtliegenden gering mächtigen Grundwasserleitern/5.2. Ger Großparzellenversuch Wagna und dessen Bewirtschaftung (1987-2003). – In: Fank, J. & Ch. Lanthaler (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen. – Beiträge zur Hydrogeologie, 56 (Jg. 2007/08), S. 46-50, Graz.
- Feichtinger, F., A. Scheidl & J. Dörner (2005): „ÖPUL 2000 – Begrünungsvarianten (Punkt 2.22)“, Evaluierung der wasserwirtschaftlichen Relevanz (Effizienz) einer Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter. – Bericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft.
- Feichtinger, F. (1998): STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, S. 14-41.
- Götz, B. (1998): Stickstoffbilanz der österreichischen Landwirtschaft nach den Vorgaben der OECD. Aktualisierte und erweiterte Fassung. – Umweltbundesamt, Wien, UBA BE-87a. Juli 1998.
- Köstenbauer, H. (2008): Grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen über seichtliegenden gering mächtigen Grundwasserleitern/5.3. Der organisch-biologische Ackerbau und dessen versuchstechnische Umsetzung im Vergleich zur konventionellen ackerbaulichen Bewirtschaftung am Versuchsfeld Wagna. – In: Fank, J. & Ch. Lanthaler (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen. – Beiträge zur Hydrogeologie, 56 (Jg. 2007/08), 50-53, Graz.
- Lanthaler, Ch. & J. Fank (2008): Lysimeter – ein Werkzeug zur genauen Erfassung von Wasser- und Stoffkreislaufparametern/3.2. Messergebnisse des Versuchsfeldes Wagna – ein komplexer Datensatz für die Modellerstellung und -validierung auf der Lysimeterskala. – In: Fank, J. & Ch. Lanthaler (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen. – Beiträge zur Hydrogeologie, 56 (Jg. 2007/08), S. 106-109, Graz.
- Lieb, G. K., Land Steiermark LUIS/Landes-Umwelt-Informationen-System (o. J.): Landschaftsgliederung der Steiermark. <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/845054/DE/> (Dezember 2009).
- LUB (2009): Landwirtschaftliche Umweltberatung, Steiermark, Zwischenbericht 2009, Grasreinsaaten im Ölkürbis, 12 S.

- Murer, E. (1998): Die Ableitung der Parameter eines Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodells aus den Ergebnissen der Bodenkartierung. – Modelle für die gesättigte und Bodenzone. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, S. 89-103.
- Österr. Bericht (2008): Österreichischer Bericht 2008 gemäß Artikel 10 der Richtlinie 91/676/EWG zum Schutz von Gewässern vor der Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen über den Zeitraum 2003-2007. Der Bericht ist auf der Homepage des BMLFUW < www.lebensministerium.at/publikationen > unter dem Bereich „Wasser“ veröffentlicht.
- Podesser, A. & H. Wakonigg, (o. J.): Synthetische Karten. In: Pilger, H. (Proj. Leiter): Klimaatlas der Steiermark, Version 2, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.
http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10703583_16178332/09aa8d38/0_SYNTHETISCHES_KARTEN%20-%20Vers_2.0.pdf (Dezember 2009).
- Rock, G. & J. Fank (2008): Lysimeter – ein Werkzeug zur genauen Erfassung von Wasser- und Stoffkreislaufparametern/3.1. Wägbare monolithische Feldlysimeter in Wagna: Messdatenerfassung und Auswertekonzepte. – In: Fank, J. & Ch. Lanthaler (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen. – Beiträge zur Hydrogeologie, 56 (Jg. 2007/08), S. 102-106, Graz.
- Scheidl, A. & F. Feichtinger (2006): Endbericht zum Projekt „Feldgemüsebau Grazer Feld“. – Bericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen, November 2006.
- Schneider, J. (1998): Kartierung der nassen Deposition in Österreich. Umweltbundesamt, Wien, UBA BE-104. Januar 1998.
- 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.
- Unold, G. V. & J. Fank (2008): Modular Design of Field Lysimeters for Specific Application Needs. – Water Air Soil Pollut: Focus (2008) 8: S. 233-242.
- Wakonigg, H. (o. J. a): Temperatur. In: Pilger, H. (Proj. Leiter): Klimaatlas der Steiermark, Version 2, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.
http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10703612_16178332/d62a336e/2_TEMPERATUR%202.0.pdf (Dezember 2009).
- Wakonigg, H. (o. J. b): Niederschlag. In: Pilger, H. (Proj. Leiter): Klimaatlas der Steiermark, Version 2, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.
http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10741599_16178332/56180d1d/4_NIEDERSCHLAG%20-%20Vers_2.0.pdf (Dezember 2009).
- Wakonigg, H., (1978): Witterung und Klima in der Steiermark. Verlag für die Technische Universität, Graz, Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz, S. 473.
- Wpa GmbH und BAW (2009a): ÖPUL Evaluierung – Änderungen in der Gesamtwirksamkeit der Begrünungsvarianten und Nebeneffekte. – Bericht im Rahmen der ÖPUL Evaluierung an das BMLFUW.
- Wpa GmbH und BAW (2009b): ÖPUL Evaluierung – Nitrataustrag aus auswaschungsgefährdeten Ackerflächen. – Bericht im Rahmen der ÖPUL Evaluierung an das BMLFUW.

WRRL 2000/60/EG: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0001:DE:PDF>

Zwatz, F. (1999): Einfluss einer unterschiedlichen Stickstoffdüngung auf Ertrag und Ertragsverhalten von Mais in Wagna/Leibnitz. – Diplomarbeit, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur, 80 S.