

Stickstoffflüsse auf Ackerland des Murtales in Hinblick auf grundwasserverträgliche Bewirtschaftung

Franz Feichtinger^{1*}, Georg Dersch², Johann Fank³ und Johann Robier⁴

Zusammenfassung

Die Nitratkonzentration im Grundwasser des Murtales übersteigt wiederholt geltende Grenzwerte, was vor allem von Stickstoffeinträgen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen herrührt. Im Rahmen eines Kooperationsprojektes sind unter anderem die Stickstoffflüsse auf Ackerland des Murtales hinsichtlich Grundwasserverträglichkeit untersucht und bewertet worden. Grundwasserverträglichkeit ist dabei durch eine Nitratkonzentration der Grundwasserneubildung von kleiner gleich $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ definiert. Für eine grundwasserverträgliche Bewirtschaftung von Ackerland im Murtal wird zielführend erachtet, dass jedes Feldstück die Vorgabe erfüllt: N-Import (Düngung, Leguminosen, Bewässerung) minus N-Export (Abfuhr von Erntegut) ist kleiner gleich $25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Schlagwörter: Monitoring, Modellierung, ungesättigte Zone, Grundwasser, Stickstoffbilanz

Summary

The nitrate concentration of the aquifers in the valley of the river Mur exceeds the established threshold value again and again. In the frame of a cooperative project the nitrogen fluxes should be investigated and assessed with respect to “groundwater suitability”, which is defined for this purpose by a mean nitrate concentration less than $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$. This objective may be achieved if the nitrogen balance of each field equals to: N – Input (fertilizer, legumes, irrigation) minus N – Output (removal of yield) is less or equal $25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Keywords: Monitoring, modelling, vadose zone, groundwater, nitrogen balance

1 Einleitung

Das österreichische Wasserrecht in Kombination mit der Grundwasserschwellenwertverordnung und der Trinkwasserverordnung präzisieren die Mindestanforderungen der Grundwassergüte. Das Grundwasser des Murtales, welches für überregionale Wasserversorgung intensiv genutzt wird, erfüllt hinsichtlich Nitratkonzentration diese Mindeststandards wiederholt nicht, was vor allem von flächenhaften Stickstoffeinträgen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen herrührt. Auf Basis vorliegender Versuchsergebnisse und den Ergebnissen von Modellberechnungen wird in einem interdisziplinären Kooperationsprojekt 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, was gegenständig als grundwasserverträgliche Bewirtschaftung von Ackerland des Murtales verstanden wird. Es sind 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 langfris-

tigen Mittel unter 50 mg l^{-1} zu halten. Ziel dieser Arbeit ist es, die im Kooperationsprojekt untersuchten Stickstoffflüsse auf Ackerland des Murtales in Hinblick auf grundwasserverträgliche Bewirtschaftung darzulegen und zu bewerten.

2 Material und Methoden

Ergebnisse von bereits vorliegenden Modellstudien, Messwerte von der Lysimeterstation Wagna und eine zusätzliche Szenarienanalyse mit dem Rechenmodell SIMWASER/STOTRASIM sind in die gegenständige Arbeit eingeflossen. Das zugrundeliegende Projektgebiet, welches in *Abbildung 1* abgegrenzt ist, liegt im Südosten der Steiermark, zwischen Graz und Radkersburg. In *Abbildung 1* sind auch die Gebiete bzw. Orte ausgewiesen, für die bereits Modellergebnisse bzw. Messwerte vorgelegen haben.

Modellkonzept SIMWASER/STOTRASIM

Das Modellkonzept SIMWASER/STOTRASIM (STENITZER 1988 und FEICHTINGER 1998) ist ein Rechenmodell, welches für die ungesättigte Zone landwirtschaftlich genutzter Flächen die Wasser- und Stickstoffflüsse in eindimensionaler, vertikaler Richtung beschreibt und bewertet.

¹ Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN

² Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Institut für Bodengesundheit und Pflanzenernährung, Spargelfeldstraße 191, A-1226 WIEN

³ Joanneum Research, Institut für WasserRessourcenManagement - Hydrogeologie und Geophysik, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

⁴ Versuchsreferat der Steirischen Landwirtschaftsschulen, A-8361 HATZENDORF 181

* Ansprechpartner: franz.feichtinger@baw.at

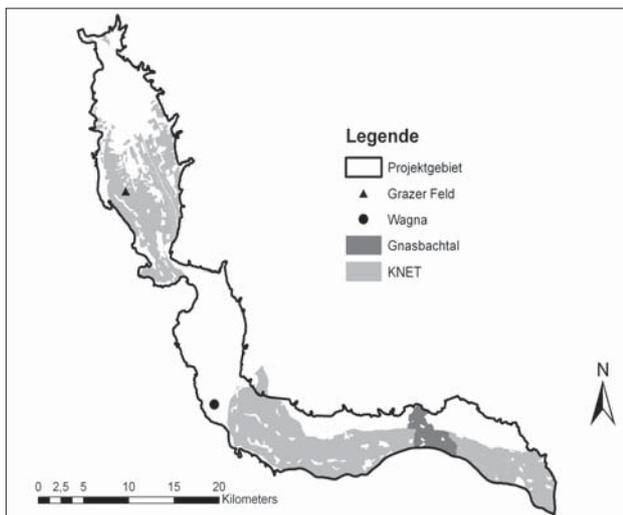


Abbildung 1: Abgrenzung des Projektgebietes und Verortung projektrelevanter Arbeiten

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 Wasserspeicherfähigkeit 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 Tiefensickerung oder Grundwasserneubildung 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 prozesssteuernde Beiwerte an den Daten der Lysimeterstation Wagna justiert bzw. regionalspezifische Adaptierungen vorgenommen.

2.2 Vorliegende Modellstudien zum Projektgebiet

Im Projekt „Nitratmodellierung in Brunneneinzugsgebieten – Fallbeispiel Donnersdorf / Fluttendorf – Gnasbach“, wurde das **Gnasbachtal** (s. *Abbildung 1*) hinsichtlich Wasser- und Stickstoffflüsse auf Ackerflächen näher untersucht und eine Dotation des Grundwassers des Unteren Murtales aus dem Gnasbachtal bezüglich Auswirkungen auf die Trinkwasser-

brunnen Donnersdorf und Fluttendorf bewertet (FANK und FEICHTINGER 2008b).

Im interdisziplinären Projekt „Prognosemodell Murtal – Aquifer“ (**KNET**, s. *Abbildung 1*) war neben vielen anderen Punkten die Bewertung der Wasser- und Stickstoffflüsse für die Ackerflächen des Projektgebietes ein wesentlicher Meilenstein. Dies geschah mit SIMWASER/STOTRASIM unter den regionalen Rahmenbedingungen von Wetter, Boden, Agrarmanagement und Grundwasser (FANK et al. 2008a).

Zum **Grazer Feld** (s. *Abbildung 1*), als Kerngebiet des Feldgemüsebaus in der Steiermark, sollten ursächliche Zusammenhänge zwischen der agrarischen Nutzungsform „Feldgemüsebau“ und den erhöhten Nitratkonzentrationen im Grundwasser untersucht werden und Managementstrategien hinsichtlich Grundwasserverträglichkeit bewertet werden. Dies geschah anhand von Felderhebungen und Modellrechnungen für die Region (SCHEIDL und FEICHTINGER 2006).

Zusätzlich war das Projektgebiet in die Evaluierung wasserrelevanter ÖPUL-Maßnahmen (**ÖPUL-Evaluierungen**) einbezogen, was anhand von Regionaldaten und Modellstudien erfolgte. Einerseits wurde die wasserwirtschaftliche Relevanz von Herbst- und Winterbegrünungen von Ackerflächen (Reduktion der Stickstoffversickerung in das Grundwasser) zu ÖPUL 2000 (FEICHTINGER et al. 2005) und zu ÖPUL 2007 (Wpa und BAW 2009a) untersucht, andererseits die Einstufung auswaschungsgefährdeter Ackerflächen nach Österreichischer Bodenkartierung (ÖBK) bzw. Amtlicher Bodenschätzung und die daran geknüpfte Begrenzung einer Düngung geprüft (Wpa und BAW 2009b).

Aus all diesen Arbeiten resultierten unter anderem Tageswerte zur Grundwasserneubildung, zur Stickstoffversickerung, und zur Nitratkonzentration im Sickerwasser am unteren Ende eines definierten Bodenprofils, welche in die Zusammenschau der projektrelevanten Ergebnisse einfließen (s. Pkt. 3.1).

2.3 Lysimeterstation Wagna

An der Lysimeterstation Wagna werden seit 1992 bis dato die Wasser- und Stickstoffflüsse für eine Maismonokultur (1992 – 2003) mit nachfolgender regional konventioneller Bewirtschaftung (ab 2004), (MM / KON) und eine Fruchtfolgevariante (1992 – 2003) mit nachfolgender biologischer Wirtschaftsweise (ab 2004), (FF / BIO) erhoben. Ebenso sind die Wetterdaten, das Agrarmanagement und der Aufwuchs von Erntegut und Nichterntegut im Detail bekannt. Die Quantität und Qualität des Bodenwassers, der Versickerung in den Untergrund und des Grundwassers werden kontinuierlich erfasst (FANK et al. 2006). Diese Daten sind eine fundierte Basis für Stoffstromanalysen und die Anwendung von Rechenmodellen.

Damit wurden einerseits N-Input-/Outputbilanzen angestellt, andererseits die Reaktion der Stickstoffversickerung auf unterschiedlich hohe Stickstoffdüngungen ausgelotet. Zu den N-Input-/Outputbilanzen (1.1.1992 – 31.7.2009) 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.
- Der N-Eintrag aus der Atmosphäre ist mit $1,1 \text{ mg N mm}^{-1}$ bewertet (SCHNEIDER 1998).
- Die Stickstoffimporte infolge biologischer Fixierung von Luftstickstoff durch Leguminosen sind nach Justierung mit SIMWASER/STOTRASIM bewertet.
- Die N-Abfuhr mit dem Erntegut 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.

Die Veränderung der Stickstoffversickerung infolge unterschiedlich hoher Stickstoffdüngungen wurde mit SIMWASER/STOTRASIM untersucht. Dazu wurden zur Bewirtschaftung beider Lysimeterseiten für den Zeitraum 1992 – 1999 die gedüngten Stickstoffmengen in folgenden Varianten berücksichtigt:

- Stickstoffdüngung gemäß der auf der Parzelle geübten Realität (Synonym: Praxis).
- Düngebemessung nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (RLSGD, BMLFUW 2006), 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 erfolgt durchgehend nach mittlerer Ertragslage gemäß RLSGD (Ertrag – mittel).
- Die Bemessung der Stickstoffmenge erfolgte durchgehend nach hoher Ertragslage gemäß RLSGD (Ertrag – hoch).
- Bei der Bemessung der Stickstoffmenge nach RLSGD wurde jeweils das Mittel der angegebenen Spanne einer Ertragsklasse genommen.
- In allen Fällen ist ein Zuschlag von 5% aufgrund der Gründigkeit des Standortes berücksichtigt.

2.4 Szenarienanalyse für das Projektgebiet

Mit Fokus auf eine grundwasserverträgliche Landwirtschaft gemäß einleitender Definition wurden unter den regionalen Bedingungen zu Klima und Boden Szenarien auf unterschiedlichem Düngenniveau mit SIMWASER/STOTRASIM untersucht. Der Szenarienformulierung liegen die regionalen Agrarstrukturen betreffend Kulturartenverteilung, Tierhaltung und daraus resultierendem Stickstoffanfall zugrunde und auf die Grundwasserrelevanz einer Begrünung von Ackerflächen und der Intensität von Bodenbearbeitungsmaßnahmen ist Bedacht genommen (FEICHTINGER et al. 2005, FANK et al. 2010). Die nachfolgend beschriebenen Szenarien sind jeweils mit Kurzzeichen versehen, die diese in den Ergebnissen (Pkt. 3.2) identifizieren.

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 sechs Kartierungsbereiche 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 verwendet.

- Atmosphärischer Stickstoffeintrag

In Anlehnung an SCHNEIDER (1998) und in Abstimmung mit dem Grünlandlysimeter an der Station Wagna wurde der Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre von $3,0 \text{ mg N mm}^{-1}$ Niederschlag auf $1,1 \text{ mg N mm}^{-1}$ reduziert.

- Analyse des regionalen Ackerbaus für 2008:

Anteil Mais 2008: Mittel 66 % (49 – 72 %), Anteil Ölkürbis 2008: Mittel 14% (5 – 22%), Anteil Wintergetreide (Wintergerste + Winterweizen) 2008: Mittel 7,4%, Anteil Intensivkulturen o. Mais 2008: 10,9 %, mittlerer N-Anfall aus Wirtschaftsdünger 2008: ab Stall $47 – 50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$

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.

- Szenario 1 (FF-M):

Eine Fruchtfolge über 14 Jahre mit 10 x Mais, 2 x Ölkürbis, 1 x Wintergerste und 1 x Winterraps. Anbau und Erntedatum gemäß der Lysimeterstation Wagna oder gemäß regionaler Praxis

Düngung: gemäß mittlerer Ertragslage nach RLSGD 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: eine Winter- (Grünschnittroggen) wie Sommerbegrünung (Senf) beginnt am Folgetage des Endes einer Hauptkultur und endet am Tag vor der Saat der folgenden Hauptkultur.

Keine Düngung der Begrünungen

Bodenbearbeitung: Pflug 15 cm tief zum Ende der Begrünung. Alle anderen „Boden-Maßnahmen“ erfolgen schonend (z.B.: Direktsaat).

- Szenario 2 (FF-H):
gleicht Szenario 1 (FF-M), jedoch mit kulturspezifischer N-Düngung entsprechend der Obergrenze der Ertragslage hoch (RLSGD); d.h.: bei gleich bleibendem WD/ff-Einsatz wurde die MD-Menge entsprechend erhöht und im Bedarfsfall (Einzelgabe > 100 kg N) geteilt.
- Szenario 3 (FF-N):
gleicht Szenario 1 (FF-M), jedoch mit einer kulturspezifischen N-Düngung entsprechend niedriger Ertragslage (RLSGD) = Mittel der jeweils angegebenen Spanne zur mittleren Ertragslage $\times 0,8$; d.h.: bei gleich bleibendem WD/ff-Einsatz wurde die MD-Menge entsprechend reduziert.
- Szenario 4 (FF-Null):
gleicht Szenario 1 (FF-M), jedoch ohne jegliche N-Düngung.

3 Ergebnisse

3.1 Zusammenschau: *Gnasbachtal, Knet, Feldgemüsebau, Lysimeter Wagna und ÖPUL-Evaluierung*

Die aus den Vorstudien resultierenden und für die gegenständliche Arbeit relevanten Ergebnisse sind folgendermaßen zusammenzufassen:

- Die mineralischen Stickstoffvorräte, welche in Tiefenprofilen gemessen wurden, lassen mehrfach auf Düngeneiveaus von größer $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in der Vergangenheit und Gegenwart schließen.
- Für entwässerte Flächen ist die über die Dräne abgeführte Wassermenge mit etwa 40% der Gesamtversickerungsmenge anzuschätzen. Die Nitratkonzentration untersuchter Dränwässer lag zwischen 50 und $140 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ und diese dotieren Oberflächengewässer.
- 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 Abfuhr von Sickerwasser durch Dräne in dem oben genannten Umfang erhöht diese Verweilzeit auf ~ 4 bis annähernd 14 Jahre.
- Die Nitratversickerung ist im biologischen Feldgemüsebau auf Grund der geringeren Düngermengen, sowie Untersaaten zu Gemüse geringer als im IP-Gemüsebau. Jedoch liegen in beiden Bewirtschaftungsformen die gemessenen Nitratkonzentrationen des Sickerwassers über dem Trinkwassergrenzwert und sind somit nicht grundwasserverträglich.
- 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. Wasserrelevante Begrünungen bedürfen daher entweder eines frühen Anbautermins (August/September, bei $\sim 70\%$ Körnermaisanteil in der Region schwer realisierbar), oder eines späten Umbruchs (z.B. April des Folgejahres, unmittelbar vor dem nächsten Maisanbau).
- Gemessene Erträge und zugehörige Bodenbewertungen ergaben einen nur sehr schwachen Zusammenhang zwischen Bodenbewertung (ÖBK: natürlicher Bodenwert, Bodenschätzung: Ackerzahl) und Ertragshöhe. Für diese Ertragszahlen galt aber auch, dass über alle Bodenbonitäten hinweg die Erträge zu 70% die mittlere Ertragslage gemäß RLSGD nicht überstiegen. Daher sollte im Sinne der Zielsetzung von ÖPUL und der Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Regelfall bei der Düngebemessung von einer mittleren Ertragslage ausgegangen werden.
- Die N-Input-/Outputbilanzierung zu Wagna ergab, dass sich die N-Einträge und N-Austräge auf beiden Lysimeterseiten über die Jahre hinweg die Waage halten und somit Fließgleichgewichte vorliegen. Die Abfuhr von Erntegut und die Versickerung sind die primären Austragspfade. Jener N-Eintrag, welcher größer als die N-Abfuhr ist, fließt somit in den Untergrund ab.
- Auf der Lysimeterseite MM / KON (keine Leguminosen in der Fruchtfolge) ist neben geringem atmosphärischen Eintrag ($\sim 10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) der N-Eintrag über 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. Leguminosen und deren Eintrag von Luftstickstoff sind in der N-Bilanz unbedingt zu berücksichtigen, was zur Grundwassergüte von unübersehbarer Relevanz ist.
- Unterschiedliche Düngeneiveaus zur Maismonokultur in Wagna für 1992 – 1999 zeigen, dass die mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser für die real geübte Praxis (Praxis) über jener liegt, die einer Düngung gemäß hoher Ertragslage nach RLSGD (Ertrag – hoch) entspricht.
- Eine dem Realertrag entsprechende Düngung (Ertrag – real) hätte eine Nitratkonzentration im Sickerwasser zur Folge, die geringfügig über jener mit Düngebemessung nach mittlerer Ertragslage gemäß RLSGD liegt.
- Eine Düngebemessung nach mittlerer Ertragslage (Ertrag – mittel) gemäß RLSGD kommt einer grundwasserverträglichen Stickstoffversickerung ($< 50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) für die Maismonokultur bereits sehr nahe.
- Die Zusammenschau der Ergebnisse aus allen Projekten manifestiert, dass die genaue Kenntnis der N-Einträge und N-Austräge für grundwasserverträglichen Ackerbau essentiell ist. Nachdem in einem einigermaßen stabilen System die N-Bilanzüberschüsse an der Bodenoberfläche der N-Versickerung in den Untergrund praktisch gleichen, sind bei einer jährlichen Grundwasserneubildung in der Größenordnung von $\sim 300 \text{ mm}$ eben max. $30\text{-}35 \text{ kg N ha}^{-1}$ Überhang (Eintrag-Ernteabfuhr) möglich, um der Schranke der Grundwasserverträglichkeit ($< 50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) zu entsprechen. Dabei ist jedenfalls auch zu berücksichtigen, dass $\sim 10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Eintrag bereits aus der Atmosphäre kommen und somit für grundwasserverträglichen Ackerbau die Bilanz von N-Eintrag durch Düngemittel minus N-Austrag über Erntegut max. $20\text{-}25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ betragen darf.

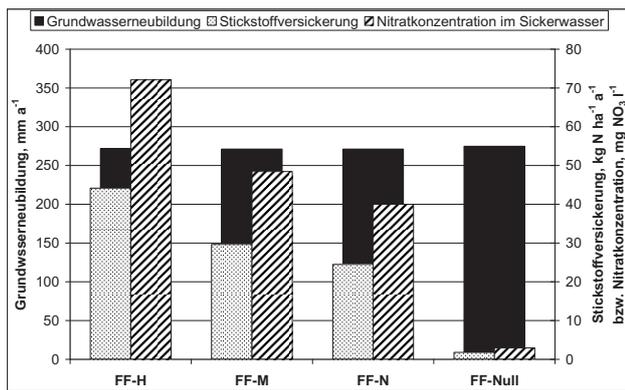


Abbildung 2: Gewichtete Mittel der Grundwasserneubildung, der Stickstoffversickerung und der Nitratkonzentration im Sickerwasser für vier Agrarszenarien und den Zeitraum 1.1.1995 – 31.12.2008

3.2 Szenarienanalyse für das Projektgebiet

Aus der Szenarienanalyse gemäß Pkt. 2.4 resultierten 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 *Abbildung 2* dargestellt sind.

Diese Ergebnisse sind folgendermaßen zusammenzufassen:

- Das Düngungsniveau hat keinen merkbaren Einfluss auf die Grundwasserneubildung.
- Die Auswirkungen der Düngungsniveaus auf die Stickstoffversickerung sind klar ersichtlich. Die Stickstoffversickerung zu einer Düngung nach „Ertragslage – hoch, Obergrenze“ wird um etwa 30% durch eine Düngung nach „Ertragslage – mittel“ reduziert. Eine Düngung nach „Ertragslage – nieder“ verringert die Stickstoffversickerung im Vergleich zu einer Düngung nach „Ertragslage – hoch, Obergrenze“ um etwa 45%.
- 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.
- Die Nullvariante (keine Düngung, FF-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.
- Somit ist im regionalen Mittel mit einer kulturspezifischen Stickstoffdüngung entsprechend „Ertragslage – mittel“, RLSGD ergänzt durch Begrünung der Ackerflächen in Brachepetoden inklusive Minimalbodenbearbeitung eine Nitratkonzentration im Sickerwasser zu erwarten, die als grundwasserverträglich einzustufen ist. Eine Detailbetrachtung der Ergebnisse weist aber auch aus,

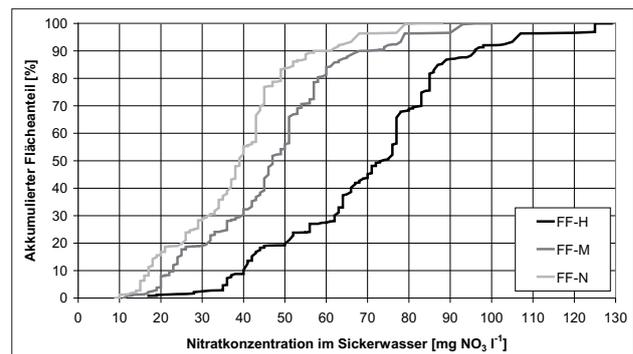


Abbildung 3: Flächenanteile der mittleren Nitratkonzentration im Sickerwasser zu den Agrarszenarien FF-H, FF-M und FF-N

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. *Abbildung 3* verdeutlicht zu den drei Düngungsniveaus das breite Spektrum und das Verteilungsmuster der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, indem zu den ÖBK–Bodeneinheiten für steigende Nitratkonzentrationen die Flächenanteile akkumuliert festgehalten sind.

4 Diskussion und Resümee der Ergebnisse

Gestützt auf die Ergebnisse der Vorarbeiten und jene der Szenarienanalyse wird in Hinblick auf grundwasserverträglichen Ackerbau im Murtal folgendes Resümee gezogen:

- Obwohl die Verteilungsmuster der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (*Abbildung 3*) über die Bodeneinheiten regional zuordenbar wären, wird eingehend davon abgeraten, das einzelne Feldstück damit auf seine Austragskonzentration oder das erforderliche Düngungsniveau einzustufen. Dafür sind die verwendeten Unterlagen (ÖBK, 1:25000) unzureichend georeferenziert, in ihrer Aussagegenauigkeit darauf nicht ausgelegt und in ihrer Aussagekraft überfordert. Die Modellanwendung für definierte Flächeneinheiten des Projektgebietes liefert eine globale Aussage für die Einschätzung, welcher praktikable Weg zu einem grundwasserverträglichen Ackerbau im Murtal führen kann.
- Weiters ist die Stickstoffversickerung aus einem Acker nicht nur vom Düngungsniveau und den bereits angesprochenen Bewirtschaftungsstrategien abhängig, sondern auch die Erfahrung und das Geschick des Landwirtes und manches mehr fließen dazu ein. Das sind wiederum Dinge, die in der Modellanalyse nicht erfasst sind und nicht erfasst werden können.
- Daher wird zu den Stickstoffflüssen folgende, als praktikabel erachtete Vorgangsweise zur Zielerreichung einer Nitratkonzentration kleiner $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ im Sickerwasser der Ackerflächen des Murtales zusammenfassend 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 (*Abbildung 3*: $\sim 275 \text{ mm a}^{-1}$, Lysimeter Wagna: $280 - 335 \text{ mm a}^{-1}$, zugehörige Jahresniederschläge: $900 - 960 \text{ mm a}^{-1}$) kann für die Region von einer mittleren Grundwasserneubildung von $\sim 300/310 \text{ mm a}^{-1}$ 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.
- Da bei Fließgleichgewicht diese Grenze auch für die Stickstoffbilanz an der Bodenoberfläche gilt, heißt das, 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 auf das Erfordernis:

N-Import (Düngung, Leguminosen, Bewässerung)

minus

N-Export (Abfuhr von Erntegut)

$\leq 25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$

Bei der Bemessung der kulturspezifischen Stickstoffdüngung ist 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 dieses eingehalten wird.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „Ackerbauliche Maßnahmen für eine grundwasserverträgliche Landwirtschaft im Murtal“ im Auftrag der FA 19A, 17C, 10A und 3 der Steiermärkischen Landesregierung durchgeführt.

6 Literatur

BMLFUW, 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der

Landwirtschaft. 6. Aufl., 80 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

FANK, J., G. FASTL, H. KUPFERSBERGER und G. ROCK, 2006: Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes Wagna – Auswirkungen auf die Grundwassersituation. Bericht über das Seminar „Umweltprogramme für die Landwirtschaft und deren Auswirkung auf die Grundwasserqualität“, 7. – 8. März 2006, Irnding, Gumpenstein, 43-48.

FANK, J., F. FEICHTINGER und J. FÜRST, 2008a: „Prognosemodell Murtal – Aquifer“; Endbericht, Netznoten 1, Work Package 1.1.1, im Auftrag der Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH. Graz/Petzenkirchen/Wien, am 27.06.2008.

FANK, J. und F. FEICHTINGER, 2008b: „Nitratmodellierung in Brunneneinzugsgebieten – Fallbeispiel Donnersdorf / Fluttendorf – Gnasbach“; Endbericht, Netznoten 1, Work Package 1.1.5, im Auftrag der Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH. Graz, am 27.06.2008.

FANK, J., G. DERSCH, F. FEICHTINGER und J. ROBIER, 2010: Erforderliche Maßnahmen und Umsetzungsoptionen für eine grundwasserverträgliche Landwirtschaft im Murtal-Grundwasserleiter. 2. Umweltökologisches Symposium „Boden- und Gewässerschutz in der Landwirtschaft“. 02.-03.03.2010 Gumpenstein, A. a. O.

FEICHTINGER, F., 1998: STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. – Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, 14-41.

FEICHTINGER, F., A. SCHEIDL und J. DORNER, 2005: „ÖPUL 2000 – Begrünungsvarianten (Pkt. 2.22)“, Evaluierung der wasserwirtschaftlichen Relevanz (Effizienz) einer Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter. – Bericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft.

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, 89-103.

SCHEIDL, A. und 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 Standortes. – Mitt. der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt Nr. 31, A-3252 Petzenkirchen.

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.