



3. Umweltökologisches Symposium

Wirkung von Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz

6. und 7. März 2012
Veranstaltungsort:
LFZ Raumberg-Gumpenstein
(Schlossgebäude, großer Seminarraum)
A-8952 Irdning



BERICHT

3. Umweltökologisches Symposium

am 6. und 7. März 2012
am LFZ Raumberg-Gumpenstein

Organisation

Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ)



Impressum

Herausgeber

Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning
des Bundesministeriums für Land- und
Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Direktor

HR Mag. Dr. Albert Sonnleitner

Für den Inhalt verantwortlich

die Autoren

Redaktion

Brigitte Marold

Druck, Verlag und © 2012

Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning

ISBN-13: 978-3-902559-69-2

ISSN: 1818-7722

Inhaltsverzeichnis

ÖPUL 2007-2013: Resümee und Ausblick.	1
L.WEBER-HAJSZAN	
Akzeptanz von ÖPUL-Maßnahmen in der Praxis.	5
F.X. HÖLZL	
Wasserrahmenrichtlinie in Österreich: Resümee und Ausblick.	7
P. SCHENKER und R. FENZ	
Wasserrahmenrichtlinie in Bayern: Resümee und Ausblick.	11
M. WENDLAND und F. NÜSSLEIN	
Ökonomische Relevanz von Trinkwasserschutzmaßnahmen für den Wasserversorger.	13
F. KRAINER	
Wasser und Landwirtschaft - Aktivitäten der AGES zum Schutz des Wassers.	17
L. GIRSCH	
Bodenschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft.	19
A. BAUMGARTEN, G. DERSCH, J. HÖSCH, H. SPIEGEL, A. FREUDENSCHUSS und P. STRAUSS	
Maßnahmen in der Landwirtschaft zum Schutz der Gewässer in Südtirol.	25
G. PERATONER und E. STIMPFL	
Grundwasserschutz im Murtal.	31
J. FANK	
Humusaufbau auf Ackerflächen im Zusammenhang mit Klima-, Boden- und Gewässerschutz.	39
W. HARTL, E. ERHART und F. FEICHTINGER	
Lösungsansätze zu den Herausforderungen für den Bio-Ackerbau im Murtal.	45
H. KÖSTENBAUER	
Beitrag des Biolandbaus zu einem nachhaltigen Boden- und Gewässerschutz.	49
R. WEISSHAIDINGER, R. PETRASEK, S. HÖRTENHUBER und Th. LINDENTHAL	
Defizite des Bodenspeichers und der Versickerungsleistung.	55
E. MURER und J. WAGENHOFER	
Grundwasserbelastung aus spezifischen Tierhaltungssystemen.	59
F. FEICHTINGER und K. BUCHGRABER	
Grünlanddüngung und Gewässerschutz - Versuchsergebnisse aus Bayern.	65
M. DIEPOLDER und S. RASCHBACHER	
Die Bedeutung der Wurzel für die Leistungen der Zwischenfruchtbegrünung im Boden- und Grundwasserschutz.	73
G. BODNER	

Ökologische Aspekte bei der Produktion „Nachwachsender Rohstoffe“ auf landwirtschaftlich genutzten Flächen: Vergleich einjähriger und ausdauernder Kulturen in Österreich.	79
P. LIEBHARD, E. HOCHBICHLER und F.S. DEIM	
Das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ - ein österreichisch-bayerisches Gemeinschaftsprojekt für den Gewässerschutz.	85
M. BERGER-STÖCKL	
Untersuchungen zum Phosphoraustrag aus drainierten Grünlandböden im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees.	87
H. ULRICH und M. FORSTER	
Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und des Reliefs auf den Nährstoffgehalt im Oberboden mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors.	91
A. BOHNER, Ch. HUEMER, J. SCHAUMBERGER und P. LIEBHARD	
Maßnahmen für eine nachhaltige, gewässerschonende Landbewirtschaftung.	101
R. HÖSL und P. STRAUSS	
Erfahrungen und Umsetzung des InterReg Projektes IVa „Gewässerzukunft“ Antiesen aus Sicht der Beratung.	107
Ch. SCHNEIDERBAUER	
Bewusstseinsbildende Maßnahmen für einen nachhaltigen Grundwasserschutz am Beispiel der Feldkapazität als wesentlichen Parameter für die Düngeberatung.	111
A. BEICHLER, A. BERNSTEINER und J. MASSWOHL	

Vorwort

Wir freuen uns, als Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein, dass wir wieder Veranstaltungsort für das Umweltökologische Symposium 2012 sein dürfen.

Ziel des Umweltökologischen Symposiums am LFZ Raumberg-Gumpenstein ist es, Wissenschaftler, Mitarbeiter der öffentlichen Verwaltung, Lehrer, Berater und Interessensvertreter der Landwirtschaft und Wasserwirtschaft zusammenzuführen, um über aktuelle Probleme gemeinsam zu diskutieren, Lösungen zu finden und zukünftige praxisrelevante Fragestellungen zu formulieren. In Zeiten knapper werdender Budgets hat die Wissenschaft und Forschung einen überproportionalen Beitrag für die Sicherung unserer Lebensgrundlagen zu leisten. Das gelingt nur, wenn man alle vorhandenen Kräfte bündelt. Diese Veranstaltung ist dafür ein positives Beispiel.

Das Generalthema des 3. Umweltökologischen Symposiums am 6. und 7. März 2012 lautet: Wirkungen von Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz. Es gibt zwei Programmschwerpunkte. Zum einen werden aktuelle Themen wie ÖPUL, Wasserrahmenrichtlinie, Kosten und Möglichkeiten von Gewässerschutzmaßnahmen sowie Leistungen des Biolandbaus für den Boden- und Gewässerschutz behandelt. Weitere Themen sind ökologische Aspekte der Zwischenfruchtbegrünung und nachwachsende Rohstoffe.

Der zweite Programmschwerpunkt widmet sich dem INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“. Dieses länderübergreifende Projekt, welches in Bayern und Oberösterreich durchgeführt wird, hat offiziell am 1. Dezember 2009 begonnen und läuft bis zum 30. November 2012. Ziel ist die Erhaltung und Verbesserung der Wasserqualität vom Waginger und Tachinger See in Bayern sowie vom Innzufluss Antiesen im oberösterreichischen Innviertel. Im Rahmen von Vorträgen werden Ergebnisse von Boden- und Gewässeruntersuchungen präsentiert sowie Maßnahmen zur Verringerung von Nährstoffeinträgen in Gewässer vorgestellt und auf ihre Wirksamkeit und Akzeptanz bewertet.

Wir wünschen allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern ein interessantes Symposium sowie einen schönen Aufenthalt in der Gemeinde Irnding.

HR Prof. Mag. Dr. Albert Sonnleitner
Direktor

HR Mag. Dr. Anton Hausleitner
Leiter für Forschung und Innovation

des Lehr und Forschungszentrums für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein (LFZ)

ÖPUL 2007-2013: Resümee und Ausblick

Lukas Weber-Hajszan^{1*}

Zusammenfassung

Das Ziel des Österreichischen Agrarumweltprogramms (ÖPUL) ist es, eine umweltgerechte, extensive und den natürlichen Lebensraum schützende Landwirtschaft mit ihren traditionellen Kulturlandschaften zu sichern. Das ÖPUL verfolgt dabei derzeit schwerpunktmäßig einen horizontalen Ansatz, der auf eine flächendeckende Teilnahme abzielt. So nahmen im Jahr 2010 mehr als 74% der Betriebe, (etwa 87% der im INVEKOS registrierten Betriebe), mit ca. 89% der landwirtschaftlich genutzten Fläche Österreichs am Agrarumweltprogramm teil. Im Jahr 2010 wurden Prämien in Höhe von rund 554 Mio. € als Leistungsabgeltung ausgezahlt.

Durch geänderte gesetzliche Rahmenbedingungen und das „Greening“ der Säule 1 der GAP könnte der Spielraum für das ÖPUL der Periode 2014 - 2020 eingeengt werden. Ein prioritäres Ziel für ein neues ÖPUL ist die Vereinfachung, die jedoch durch immer komplexere Vorgaben zur Planung, Abwicklung und Kontrolle erschwert wird.

Summary

The aim of the Austrian agri-environmental program (ÖPUL) is to ensure an environmentally safe, extensive, and the natural habitat protecting agriculture with its traditional cultural landscapes. The ÖPUL currently pursues a horizontal approach, which seeks to have widespread participation. Thus, in the year 2010, more than 74% of all Austrian farms (about 87% of the INVEKOS registered businesses), with approximately 89% of agricultural land in Austria participated in the agri-environment program. In 2010, premiums of roughly €554 million were paid as compensations.

By changing legal framework and the „greening“ of Pillar 1 of the GAP the scope for the ÖPUL period 2014 -2020 could be limited. A priority for a new ÖPUL is simplification, but this may be impeded by increasingly complex requirements for planning, execution and control of the program.

ÖPUL 2007-2013

Das ÖPUL 2007 ist bereits die 4. Auflage des österreichischen Agrarumweltprogramms und stellt eine Fortsetzung des für die österreichische Landwirtschaft erfolgreichen Weges einer nachhaltigen Landwirtschaft dar. Das ÖPUL zielt vor allem auf die umweltschonende Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen ab; dabei unterstützt es Landwirte finanziell wenn sie durch ihre Wirtschaftsweise mithelfen, dem Natur- und Umweltschutz Rechnung zu tragen.

Das ÖPUL ist die finanziell wichtigste Maßnahme im Rahmen der Ländlichen Entwicklung in Österreich. Im Jahr 2010 wurden ca. 48% der gesamten Mittel der ländlichen Entwicklung für das Agrarumweltprogramm aufgewendet.

Die wesentlichsten Ziele des ÖPUL sind:

- Erhaltung der Kulturlandschaft und Naturschutz (betreffen insbesondere Fragen zur Biodiversität)
- Reduktion des Einsatzes von Betriebsmitteln (betreffen insbesondere Fragen zu Boden, Klima und Wasser)
- Begrünung und Gewässerschutz (betreffen insbesondere Fragen zu Boden und Wasser)

Zur Erreichung dieser Ziele werden im ÖPUL 29 Maßnahmen angeboten, die entweder den gesamten Betrieb umfassen, oder spezifisch auf einzelne Herausforderungen

zugeschnitten sind. Im Hinblick auf die Anforderungen der Europäischen Kommission wurden dabei folgende Aspekte bei der Maßnahmenkonzeption berücksichtigt:

- nur **freiwillige** Leistungen können abgegolten werden;
- es muss eine deutliche und darstellbare **Abgrenzung** zu „gesetzlichen Bestimmungen“ (CC, GLÖZ, in Zukunft auch „Greening“, Tierschutz-Gesetz, etc.) gegeben sein;
- die Notwendigkeit und die Wirkung der Maßnahme muss **wissenschaftlich bewiesen** sein (hierbei sind auch regionale Aspekte zu beachten);
- die Auflagen müssen **überprüfbar** sein (betrifft Verwaltungs- und Vor-Ort-Kontrollen);
- die Prämien müssen nach objektiven Kriterien **kalkulierbar** sein (Mehraufwand, Ertragsverlust, Mehrerlös);
- die Wirkung der Maßnahme muss **evaluierbar** sein (Ziele, Akzeptanzen, Indikatoren).

Zwischenfazit der laufenden Periode

2010 haben insgesamt 116.122 Betriebe am ÖPUL (inklusive Tierschutzmaßnahme) teilgenommen. Im Durchschnitt nehmen ca. 75% aller land- und forstwirtschaftlichen Betriebe mit landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) am ÖPUL teil. Die vom Programm erfassten Flächen (ohne Berücksichtigung der Almflächen), die sogenannte ÖPUL-

¹ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, LW-Sekt. Abt. II/8 Agrarumweltprogramme, Stubenring 1, A-1010 WIEN

* Ansprechpartner: DI Lukas Weber-Hajszan, lukas.weber@lebensministerium.at

LN, betragen rund 2,2 Mio. ha, das entspricht 89% der LF o. Alm Österreichs (Basis jeweils 2010). Im Zeitraum von 2007-2010 wurden bisher rund 2,1 Mrd. Euro an Leistungen der Landwirte abgegolten. Allein im Jahr 2010 wurden Prämien in der Höhe von rund 554 Mio. € als ausbezahlt.

	Betriebe	Anteil Betriebe ¹⁾	ÖPUL-LN ²⁾	Anteil an LN ³⁾	Betrag ⁴⁾
2007	120.547	71 %	2.195.316	89 %	509,87
2008	118.887	72 %	2.199.578	89 %	522,55
2009	117.771	73 %	2.202.586	89 %	548,37
2010	116.122	74 %	2.197.040	89 %	553,96

¹⁾ Zahl der TeilnehmerInnen am ÖPUL an allen Betrieben mit LN laut Agrarstrukturerhebung 2007; Ab 2008 wird mit einer Abnahmerate der Betriebe von 4.000 Betrieben pro Jahr gerechnet.

²⁾ ÖPUL-LN: Summe der landwirtschaftlich genutzten Flächen der an den Agrarumweltmaßnahmen teilnehmenden Betriebe (ohne Almflächen) errechnet mit Hilfe der INVEKOS-Datenbank L010_Flächen.

³⁾ Als gesamte LF ohne Alm wird der Wert aus der Agrarstrukturerhebung 2007 herangezogen.

⁴⁾ Zahlungen inklusive Tierschutzmaßnahmen. Diese betragen im Jahr 2009 35,01 Mio. Euro.

Grundsätzlich konnte mit dem ÖPUL das Ziel der Fortführung einer nachhaltigen Landwirtschaft in Österreich erfolgreich umgesetzt werden. Es ist gelungen den horizontalen Ansatz, das heißt die flächendeckende Teilnahme in ganz Österreich, umzusetzen. Die Kombination zwischen horizontalen und spezifisch wirkenden Maßnahmen hat zur positiven Wirkung des ÖPUL beigetragen und wurde auch vom Europäischen Rechnungshof positiv erwähnt (EU-RH 2011). Dies darf jedoch nicht davon ablenken, dass themen- und regionsspezifisch Defizite vorhanden sind und noch ein deutlicher Verbesserungsbedarf gegeben ist.

Aus der Sicht der einzelnen Maßnahmen war vor allem die Entwicklung der Biologischen Wirtschaftsweise ein Erfolg. Von den 116.122 ÖPUL Betrieben werden 21.728 (rund 19%) als biologische Betriebe geführt. Eine positive Entwicklung war aber auch bei der Naturschutzmaßnahme, der Tierschutzmaßnahme (Weide- und Auslaufhaltung) und der Maßnahme zum Schutz gefährdeter Tierrassen zu beobachten.

Die Wirkungen des Agrarumweltprogramms müssen laufend evaluiert werden. Dazu wurde eine Reihe von Studien in Auftrag gegeben, deren Ergebnis in Kurzform nachfolgend beispielhaft aufgelistet ist.

Im *Bereich Boden* haben ÖPUL-Maßnahmen dazu beigetragen den Bodenabtrag zu verringern, wobei etwa 480.000 ha mit gezielten Erosionsschutzmaßnahmen geschützt werden. Auf Basis von Modellrechnungen kann eine Reduktion des Bodenabtrags von jährlich 800.000 t angenommen werden. Dies entspricht etwa der Menge von 35.000 LKW-Ladungen.

Die positive Wirkung des ÖPUL im *Bereich Klimaschutz* konnte ebenfalls bestätigt werden. Die Steigerung der Humusgehalte, die auch eine positive Wirkung auf verschiedene Bodeneigenschaften hat, und der Verzicht auf Mineräldünger (z.B. im biologischen Landbau) sind ein aktiver Beitrag zum Klimaschutz. In dem Zusammenhang sind insbesondere die Maßnahmen „Biologische Wirtschafts-

weise“, „Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerflächen“, „Umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker und Grünlandflächen“ (UBAG), „Begrünung von Ackerflächen“, „Ökopunkte“ sowie „Bodennahe Gülleausbringung“ zu nennen. Insgesamt sind die oben genannten Maßnahmen für Einsparungen in der Größenordnung von ca. 380.000 to CO₂-Äquivalenten pro Jahr verantwortlich (nur Ackerflächen).

Im *Bereich Wasser* ergibt sich eine gemischte Bilanz. Einerseits ist durchwegs ein positiver Trend bezogen auf Nitratgehalte im Grundwasser oder auch dem Zustand der Oberflächengewässer betreffend Wasserqualität zu verzeichnen. Andererseits gibt es aber auch regionale und punktuelle Probleme, wie zum Beispiel die Grundwasserqualität in den östlichen Trockengebieten Österreichs, oder eine punktuell starke Belastung in Gebieten mit geringer ÖPUL Akzeptanz (z.B. Teile der Steiermark).

Für den Bereich Biologische Vielfalt ist anzumerken, dass auch das ÖPUL gesamthafte negative Trends (z.B. Abnahme des Farmlandbird-Index, oder Verfehlung des Artenschutzziels 2010) nicht stoppen konnte, aber regional doch einige sehr positive Ergebnisse vorliegen. Hier können insbesondere folgende Teilaspekte genannt werden:

- Im Rahmen der Maßnahme UBAG werden rund 28.700 Hektar „Blühflächen“ erhalten, die vielen gefährdeten Arten einen Lebensraum bieten.
- Durch die Anlage von ca. 5.000ha Schutzfläche in der Naturschutzmaßnahme konnte sich die Anzahl der stark gefährdeten Großtrappe in den letzten Jahren fast verdreifachen.
- Ein weiterer Erfolg sind die steigenden Zahlen bei den Betrieben mit den Maßnahmen „Seltene Nutztiere“ und „Seltene Kulturarten“, die zum Erhalt der genetischen Vielfalt im Bereich der Nutztiere und Nutzpflanzen beitragen.

Das ÖPUL leistet auch einen wesentlichen Beitrag zur *Erhaltung der Kulturlandschaft* in Österreich. Die Offenhaltung von Wiesen und Almen wird nicht zuletzt durch die Maßnahmen Alpung und Behirtung, Erhaltung von Bergmähdern, die Steilflächenmähnd und die Weidehaltung im Bereich der Tierschutzmaßnahme erreicht. Würden Almen und Wiesen nicht von Landwirten bewirtschaftet werden, würden diese sukzessive verwalden.

Ausblick

Den Legislativ-Vorschlägen zur GAP 2014-2020 ist zu entnehmen, dass es statt den derzeit 3 Achsen nunmehr 6 Prioritäten geben soll:

- Wissenstransfer und Innovation
- Wettbewerbsfähigkeit
- Wertschöpfungskette und Risikomanagement
- Ressourceneffizienz
- Umwelt und Ökosysteme
- Entwicklung ländlicher Gebiete

Die Priorität „Umwelt und Ökosysteme“ betrifft das Agrarumweltprogramm, aber auch der Bereich Ressourceneffizienz könnte in Zukunft eine verstärkte Rolle spielen. Gemäß

dem Verordnungsentwurf ist das Agrarumweltprogramm weiter die einzige Maßnahme im Programm zur ländlichen Entwicklung, die verpflichtend angeboten werden muss. Neu ist die starke Betonung der Themen Klimawandel und Ressourceneffizienz und die verstärkte Betonung einer gesamthaften strategischen Ausrichtung mit starker Orientierung auf die Ziele der EU Strategie 2020.

Im Bezug auf das ÖPUL wird es weiterhin keine Anreizkomponente geben, jedoch werden die Möglichkeiten bei den sogenannten Transaktionskosten optimiert. Die Verpflichtungsdauer wird wieder 5 bis 7 Jahre sein, lediglich die Tierschutzmaßnahme wird voraussichtlich als einjährige Maßnahme konzipiert sein. Zwar ist der Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ ein eigener Artikel in der Verordnung gewidmet, es ist aber davon auszugehen, dass die Maßnahme BIO wie bisher Teil des nationalen Agrarumweltprogramms ÖPUL sein wird.

Fest steht, dass sich durch das Greening der Säule 1 und gestiegene gesetzliche Rahmenbedingungen (z.B. Aktionsprogramm Nitrat, EU Pflanzenschutzmittelpaket, etc.) eine eindeutig höhere Baseline für das ÖPUL im Vergleich zum Jahr 2007 ergibt. Dies wird den Abgeltungsspielraum für die zukünftige Periode deutlich einschränken. Gleichzeitig steigen aber die Anforderungen und Erwartungen, dass Agrarumweltprogramme einen wesentlichen Beitrag zu Problembereichen wie Klimawandel und Bedarf der Klimawandelanpassung oder zum Erhalt der biologischen Vielfalt und der Bodengesundheit beitragen. Darüber hinaus ist aus heutiger Sicht davon auszugehen, dass für die Periode 2014-2020 die für das ÖPUL zur Verfügung stehenden Mittel abnehmen werden.

Vor diesem Hintergrund gilt es ein Agrarumweltprogramm zu konzipieren, das noch thematisch und regional noch spezifischer und effizienter auf die Umwelt-Herausforderungen eingeht. Der Spielraum für sogenannte hellgrüne flächendeckende Maßnahmen ist eingeschränkt und es ist fraglich ob Maßnahmen wie „UBAG“ oder „integrierte Produktion“ in einem Nachfolgeprogramm angeboten werden können.

Themenbereiche die im neuen ÖPUL weiter oder verstärkt eine Rolle spielen könnten, sind beispielsweise „Bodenfruchtbarkeit und Klimaschutz“ durch Humusaufbau, eine Ressourcen schonende standortangepasste Bewirtschaftung, der Schutz von Landschaftselementen und die Neuanlage von „Biodiversitätsflächen“, gebietsspezifische Maßnahmen zum Oberflächen- und Grundwasserschutz und eine stärkere Einbindung von Planungs- und Bildungsaspekten.

Jedenfalls ist es noch ein langer und derzeit noch nicht klar vorgegebener Weg bis zu einem neuen ÖPUL, welches möglicherweise erst nach einem Verlängerungsjahr des ÖPUL 2007 im Jahr 2015 anlaufen wird.

Literatur:

- BUNDESMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTWIRTSCHAFT UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW), 2011: Grüner Bericht 2011.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTWIRTSCHAFT UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW), 2011: Evaluierungsbericht 2010.
- EUROPÄISCHER RECHNUNGSHOF, 2011: Sonderbericht Nr. 7: Wie gut sind Konzeption und Verwaltung der geförderten Agrarumweltmaßnahmen?, Luxemburg 2011.

Akzeptanz von ÖPUL-Maßnahmen in der Praxis

Franz Xaver Hölzl^{1*}

Einleitung

Das Österreichische Umweltprogramm kann durch sehr hohe Teilnahmeraten bei den zentralen Maßnahmen sicherlich als Erfolgsgeschichte im EU-Vergleich bezeichnet werden. Mehrere Faktoren tragen zur hohen Beteiligung an Umweltmaßnahmen in Österreich bei:

- die häufig auftretende extensive Wirtschaftsweise insbesondere im Berggebiet bzw. im Trockengebiet
- die Betriebsstruktur in Österreich
- Markenprogramme mit Anknüpfung an ÖPUL-Maßnahmen, durch die ein höherer Preis für landwirtschaftliche Produkte erzielt werden kann
- das umfangreiche Beratungsangebot der Landwirtschaftskammern und der Bezirksbauernkammern
- ...

Faktoren für die Akzeptanz von ÖPUL-Maßnahmen

Abgeltung

Der sicherlich wichtigste Faktor für die Akzeptanz von ÖPUL-Maßnahmen ist die entsprechende Prämiengestaltung. Der erhöhte Aufwand und das Risiko für Umweltleistungen muss ausreichend finanziell abgegolten werden.

Es ist aber so, dass die Prämien für Umweltleistungen nicht beliebig festgelegt werden können, sondern anhand von Parametern wie Mehraufwand, Ertragseinbußen, erhöhtes Risiko, etc. berechnet werden müssen und sich dabei im Niveau mit vergleichbaren Maßnahmen in anderen EU-Mitgliedstaaten befinden müssen. Die Kalkulation der Beihilfen für Zahlungen für die LE 2007 bis 2013 ist vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft auf Basis der von den sachkompetenten Dienststellen und Einrichtungen (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft) erstellten Daten und Berechnungen erarbeitet worden. Damit kann eine korrekte und nachvollziehbare Prämienkalkulation sichergestellt werden.

Ein enormer Nachteil für die Akzeptanz von ÖPUL-Maßnahmen ist, dass ab dem ÖPUL 2007 keine Anreizkomponente mehr kalkuliert werden kann. Sie wurde durch Transaktionskosten ersetzt.

Zu den Transaktionskosten (lt. PLE 07-13, S. 260ff): ... *Konkreter versteht man unter Transaktionskosten Such-, Anbahnungs-, Informations-, Zurechnungs- Verhandlungs-, Entscheidungs-, Vereinbarungs-, Abwicklungs-, Absicherungs-, Durchsetzungs-, Kontroll-, Anpassungs- und Beendigungskosten. ... Prinzipiell können daher bei jeder Maßnahme Transaktionskosten angerechnet werden; die tatsächliche Höhe der angerechneten Transaktionskosten ergibt sich aus der Differenz der auf Grund konkreter Auflagen errechneten Prämie mit der festgelegten Prämienhöhe. Für das Österreichische AUP bedeutet dies, dass bei den meisten Maßnahmen keine beziehungsweise nur sehr geringe (< 5 EUR) Transaktionskosten zur Anwendung kommen. Höhere Transaktionskosten ergeben sich nur bei wenigen Maßnahmen: Biologische Wirtschaftsweise bei Gemüse, Erosionsschutz Wein, Steillage > 50 %, Ökopunkte, Naturschutz und gefährdete Tierrassen (hoch gefährdete Rassen). Weitere Grundsatzinformationen sind gegebenenfalls dem Anhang H zur LE 2007-2013 zu entnehmen.*

Niveau der Legistik

Es gilt der Grundsatz, dass keine Auflagen abgegolten werden, die bereits gesetzlich verordnet sind. Ständig steigende Standards bei gesetzlichen Vorgaben reduzieren einerseits den Gestaltungsspielraum für Umweltmaßnahmen enorm. Andererseits verringern sich auch die kalkulierbaren Prämiensätze. Dies hat natürlich negative Auswirkungen auf Teilnahmeraten bei diversen Umweltmaßnahmen. Insgesamt wird die Tatsache der stets steigenden Legistik-Standards als kontraproduktiv angesehen, da die Erfahrungen der Vergangenheit eindeutig gezeigt haben, dass mit dem Weg der Freiwilligkeit eine höhere Akzeptanz und damit eine schnellere und kostengünstigere Zielerreichung erlangt werden kann.

Unter bestimmten Bedingungen können mögliche gesetzliche Vorgaben Teilnahmeraten an ÖPUL-Maßnahmen erhöhen.

Betriebsstruktur – Betriebsituation

Die Betriebsgrößenstruktur der Betriebe in Österreich begünstigt grundsätzlich die Akzeptanz von ÖPUL-Maßnahmen. So kann das umfangreiche Österreichische Umweltprogramm als strukturkonservierend bezeichnet werden, indem das durchschnittliche bäuerliche Familieneinkommen durch Ausgleichszahlungen für Umweltleistungen erhöht wird. Durch diese Gegebenheit ist gerade in Österreich die Landwirtschaft im Vergleich zu anderen Mitgliedstaaten von der (Agrar-)Politik abhängig. Denn die

¹ Landwirtschaftskammer OÖ, Bodenschutzberatung, Auf der Gugl 3, A-4021 LINZ

* Ansprechpartner: DI Franz Xaver Hölzl, franz.hoelzl@lk-ooe.at

Politik entscheidet letztendlich über die finanziellen Mittel für die Landwirtschaft. Dies birgt aber auch das Risiko, dass bei einem aufgrund finanzieller Engpässe wesentlich reduzierten Umweltprogramm mit bedeutend geringeren Abgeltungssätzen eine wesentliche Einkommenskomponente der Betriebe wegbricht.

Neben der allgemeinen strukturellen Situation ist jedoch die einzelbetriebliche Situation für die Teilnahme an Umweltmaßnahmen ganz entscheidend. Hier können beispielsweise folgende Parameter angeführt werden: Voll- oder Nebenerwerb, intensivere oder extensivere Produktion (zB Milchproduktion oder Mutterkuhhaltung), beengte Hoflage, arrondierte Flächen, ...

Marktsituation

Steigende Preise reduzieren ÖPUL-Teilnahmen. Oftmals hört man die Meinung von Bauern, dass man sich viele – oft auch lästige – Maßnahmen ersparen kann, wenn die Landwirtschaft für ihre Produkte einen anständigen und fairen Preis erhält. Ist die Preissituation für landwirtschaftliche Produkte gut, so wird sich die Produktion eher in Richtung Ertragssicherheit bzw. Intensivierung bewegen. Dies reduziert die Bereitschaft, an Umweltmaßnahmen mit einhergehender Extensivierung teilzunehmen, obwohl höhere Preise eine höhere Abgeltungsprämie auslösen.

Auf der anderen Seite gibt es Markenprogramme, die an ÖPUL-Maßnahmen anknüpfen. Markenprogramme haben das Ziel, höhere Erlöse für landwirtschaftliche Produkte zu erzielen. So ist zB im Gemüsebau sehr häufig die Teilnahme an der IP-Maßnahme (Integrierte Produktion) Voraussetzung.

Produktionsbedingungen

Betriebe mit ungünstigeren Produktionsbedingungen, wie dies zB im Trockengebiet oder im Berggebiet gegeben ist, nehmen leichter an Umweltmaßnahmen teil, als dies Betriebe in den österreichischen Gunstlagen und Hohertragsgebieten machen. Grüner Bericht (Anbau auf dem Bio-Ackerland nach Bundesländern 2010): Ein Vergleich zeigt, dass im Trockengebiet im Burgenland knapp 25 % der Ackerfläche biologisch bewirtschaftet wird, im Hohertragsgebiet Oberösterreich nur gut 9 %.

Bürokratische Hürden, Kontrollen und Sanktionen

Bei jenen Maßnahmen, bei denen der Aufwand in einem ungünstigen Verhältnis zur Abgeltung steht, ist eine niedrige Beteiligung festzustellen. Unverhältnismäßige bürokratische Hürden, wie dies zB bei den WF-Flächen im ÖPUL 95 aufgetreten ist, beeinflussen die Teilnehmeraten negativ. Weiters sind unverhältnismäßige Sanktionen bei im Rahmen von Vor-Ort-Kontrollen festgestellten Mängeln einer positiven Stimmung einzelnen Umweltmaßnahmen gegenüber abträglich. Gerade im Bereich der Dokumentationsverpflichtung treten gewisse Probleme auf.

Persönliche Einstellungen und Motive

Neben den oben dargestellten Faktoren sind persönliche Einstellungen, Motive und Haltungen bestimmten Umweltmaßnahmen gegenüber eine ganz wesentliche Voraussetzung, ob teilgenommen wird oder nicht. Einzelne, aber auch örtliche bzw. kleinregionale Stimmungslagen beeinflussen ebenfalls die Teilnehmeraten.

Beratung und Begleitung

Eine möglichst professionelle, profunde und korrekte Beratung und Begleitung ist für die Umsetzung von Umweltmaßnahmen und für die Erreichung von entsprechenden Teilnehmeraten eine wesentliche Grundlage. Gerade die Landwirtschaftskammern in Österreich mit ihrer Struktur über die Bezirksbauernkammern bis hin zu jeder Ortsbauernschaft auf Gemeindeebene bieten diese Beratung und Begleitung. Durch umfangreiche Bildungs- und Beratungsangebote – wie Informationsveranstaltungen, einzelbetriebliche Abgabetermine, Hotline, Kurse, Seminare, Gruppen- und Einzelberatung, ... – wird die Begleitung der Bäuerinnen und Bauern bei der Erfüllung der Umweltmaßnahmen umgesetzt.

Literatur

ÖSTERREICHISCHES PROGRAMM FÜR DIE ENTWICKLUNG DES LÄNDLICHEN RAUMS, 2007-2013: Stand 14.09.2007, Lebensministerium.

GRÜNER BERICHT, 2011 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Lebensministerium, Wien 2011.

Wasserrahmenrichtlinie in Österreich: Resümee und Ausblick

Paul Schenker^{1*} und Robert Fenz¹

Zusammenfassung

Wasser ist ein wertvolles Gut. Wir alle sind auf unsere Gewässer angewiesen, sei es als Quelle für unser Trinkwasser und für Erholungszwecke, für die Landwirtschaft oder als Grundlage für die Energieerzeugung. Der gute Zustand aller Flüsse und Seen sowie des Grundwassers rückt durch die Verabschiedung der EU-Wasserrahmenrichtlinie ins Licht gemeinschaftlicher Interessen.

Für einen nachhaltigen Gewässerschutz ist eine gewässerschonende Landwirtschaft besonders wichtig. Dies geschieht über das Aktionsprogramm Nitrat, das verpflichtende Maßnahmen enthält und wird durch die im ÖPUL-Programm vorgeschlagenen freiwilligen Maßnahmen unterstützt. Weitere freiwillige Maßnahmen und Initiativen sollen vor allem in Gebieten von größeren Trinkwasserversorgern bzw. gefährdeten Regionen verstärkt werden.

Einleitung

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000/60/EG) verfolgt das grundlegende Ziel, in allen Gewässern (Oberflächengewässer und Grundwasser) einen guten Zustand zu erreichen. Darunter wird für Grundwasser der gute chemische sowie der gute mengenmäßige Zustand und bei Oberflächengewässern ergänzend zum „guten chemischen Zustand“ auch der „gute ökologische Zustand“ verstanden. Damit soll in erster Linie die Erhaltung und die Verbesserung der aquatischen Umwelt mit deren empfindlichen Ökosystemen sowie eine gesicherte Wasserversorgung durch die entsprechenden einheitlichen rechtspolitischen Vorgaben über Staatsgrenzen hinweg gewährleistet werden. Im Detail wurde dieses grundlegende Ziel über rechtsverbindliche Bewirtschaftungspläne in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union umgesetzt. In Österreich wurde dementsprechend der erste Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) für die Flussgebietseinheiten Donau, Rhein und Elbe im März 2010 veröffentlicht und mit zugehöriger Verordnung für rechtsverbindlich erklärt. Der gesamte NGP inkl. Karten, Tabellen und Hintergrundinformationen ist unter <http://wisa.lebensministerium.at> abrufbar.

Im NGP werden alle Arbeitsschritte des Planungsprozesses, die Zielvorgaben, die wesentlichen Ergebnisse der Ist-Bestandsanalyse und der Überwachung (Monitoring) sowie die Maßnahmen zur Erreichung der Umweltziele dargestellt. Neben den bereits laufenden Maßnahmenprogrammen werden auch fortführende bzw. darauf aufbauende

Summary

Water is a valuable asset. We all depend on our waters, either as a source for our drinking water and for recreational purposes, for agriculture or as a basis for energy production. The good condition of all rivers, lakes and groundwater moves through the adoption of the EU-Water Framework Directive in the light of community interests.

For a sustainable water protection a water-friendly agriculture is particularly important. This is done by the mandatory „Austrian Nitrates Action Programme“ and is supported by the voluntary measures proposed in the „Austrian ÖPUL-program“. Other voluntary measures and initiatives should be strengthened, especially in areas of major water providers and vulnerable regions.

Maßnahmen formuliert, welche sich aktuell größtenteils bereits in der Umsetzungsphase befinden.

Schwerpunkt: Diffuse Belastungen für Grundwasser und Oberflächengewässer

Bei den Oberflächengewässern zeigte die Risikoanalyse, dass nur eine geringe Anzahl an Gewässern ein Risiko der Zielverfehlung auf Grund stofflicher Einträge (z.B. Einleitung von industriellem oder häuslichem Abwasser, Nährstoffabschwemmungen) aufweist. Bedingt durch die Anstrengungen (v. a. Errichtung von Kläranlagen) in den letzten Jahrzehnten liegen im Bereich der Wasserqualität von Oberflächengewässern nur noch wenige Probleme vor. Trotzdem sind hinsichtlich der stofflichen Belastung vor allem die Nährstoffe Stickstoff (v. a. Eintrag über das Grundwasser) und Phosphor (v.a. oberflächliche Abschwemmungen) von Relevanz, nicht zuletzt auch wegen der Bedeutung dieser Schadstoffe für die mögliche Eutrophierung der betroffenen Meeresgewässer (Schwarzes Meer, Nordsee).

Von wesentlich größerer Bedeutung, ist die Belastung der Fließgewässer durch Defizite bei den Abflussverhältnissen bzw. der Gewässerstruktur (Hydromorphologie). In Österreich wurde daher der Schwerpunkt der wasserwirtschaftlichen Aktivitäten im Bereich der Oberflächengewässer auf die Erhaltung und Entwicklung der Gewässer als Lebensräume gelegt. Ursache für Eingriffe in die Hydromorphologie sind in erster Linie Hochwasserschutzmaßnahmen und die Wasserkraftnutzung.

¹ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abt. VII/1, Nationale Wasserwirtschaft, Marxergasse 2, A-1030 WIEN

* Ansprechpartner: DI Paul Schenker, paul.schenker@lebensministerium.at

Etwas anders ist die aktuelle Situation bezüglich Grundwasserbelastung, stellen hier vor allem die Einträge von Stickstoff und Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft signifikante Belastungen der Grundwasserqualität dar. Belastungen aus Siedlungsgebieten (undichte Entsorgungssysteme) ungesicherte Deponien, Altlasten und der atmosphärischen Eintrag spielen nur eine untergeordnete Rolle.

In Österreich werden auf ca. 23.000 km² landwirtschaftlich genutzter Fläche (extensives Grünland wie Almen nicht inkludiert) mehr als 100.000 t Stickstoff als Mineraldünger und über 160.000 t Stickstoff als Wirtschaftsdünger ausgebracht. Intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftungen auf Standorten mit seichten Böden sind in den meisten Fällen ausschlaggebend für eine Gefährdung von Grundwasserkörpern. Dies ist vor allem im Norden, Osten und Südosten Österreichs der Fall, wo zugleich ungünstig geringe Niederschlagsmengen (= geringe Verdünnung) der Regelfall sind (z.B. Südoststeiermark, Nördliches Burgenland, Marchfeld).

Die Beurteilung der Auswirkungen der diffusen Belastungen kann auf Basis des seit 1991 bestehenden Gewässergüteüberwachungsmessnetzes (GZÜV, BGBI II 2006/479) in Österreich erfolgen. Der Grenzwert für die Trinkwassernutzung liegt bei 50 mg für Nitrat. Von einer Gefährdung des Grundwassers spricht man bereits ab dem Vorsorgewert von 45 mg NO₃/l. Die Entwicklung der Nitratsituation lässt sich durch die Anzahl der Schwellenwertüberschreitungen zur Gesamtzahl der Messstellen gut darstellen (siehe Grafik).

Nach aktueller Datenauswertung unterliegen die Belastungen bundesweit seit 2001 deutlichen Schwankungen zwischen 10,7 und 13,4 %. Dies ist vermutlich größtenteils auf natürliche Faktoren (z. B. Niederschlag, Grundwassererneuerungszeit) zurückzuführen.

Einige wenige Grundwasserkörper sind noch mit dem Pflanzenschutzmittel Atrazin bzw. Desthylatrazin belastet, bedingt durch das Einsatzverbot seit 1995 ist diese Problematik jedoch rückläufig. Überschreitungen des Schwellenwertes durch andere Schadstoffe (v. a. Pflanzenschutzmittel) sind auf wenige Fälle beschränkt, lokal betrachtet aber durchaus problematisch.

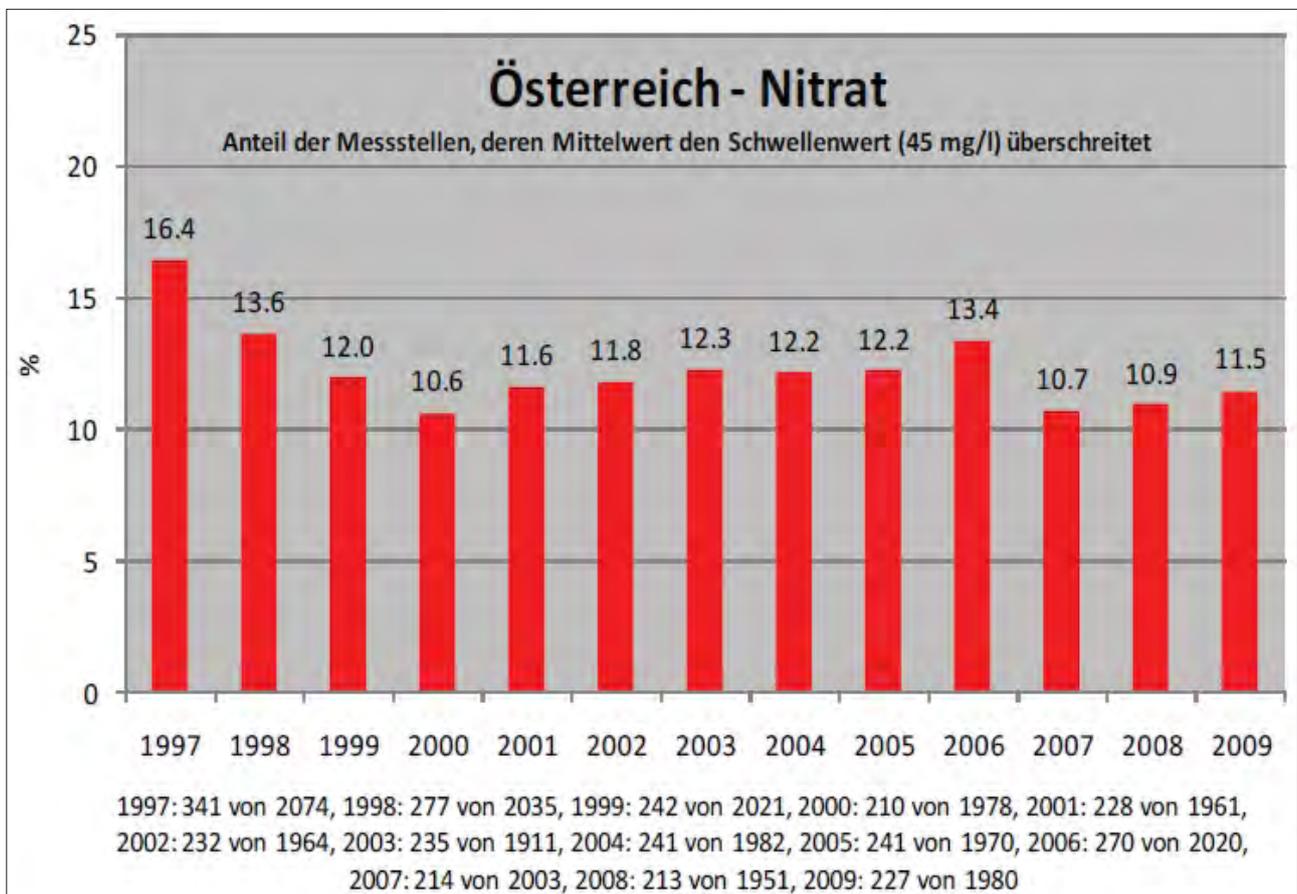
Maßnahmen zum Schutz von Grundwasser und Oberflächengewässern

Es gibt eine Fülle von bereits laufenden und aktuell in Umsetzung befindlichen gesetzlichen bzw. freiwilligen Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers und von Oberflächengewässern vor diffusen Einträgen. Die Wichtigsten werden in den folgenden Absätzen kurz beschrieben.

Rechtliche Regelungen auf EU- bzw. nationaler Ebene

INVEKOS-Umsetzungs-Verordnung 2008

Nach der EU-Ratsverordnung Nr. 1782/2003 sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, Mindeststandards für den guten



landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand festzulegen. Die entsprechenden Bestimmungen sind in der nationalen INVEKOS-Umsetzungs-Verordnung 2008 (BGBl II Nr. 31/2008 idF. BGBl. II Nr. 85/2009) enthalten.

So müssen z.B. bei der Bearbeitung von Flächen in Gewässernähe bestimmte Mindestabstände eingehalten werden.

Aktionsprogramm Nitrat

Das Aktionsprogramm Nitrat 2008 ist eine Verordnung nach § 55 I WRG und dient der Umsetzung der Nitratrichtlinie (91/676/EWG). Es enthält Vorgaben zum Schutz der Gewässer vor Einträgen durch Nitrat aus der Landwirtschaft. Es soll bestehende Gewässerverunreinigungen verringern und weiteren Gewässerverunreinigungen dieser Art vorbeugen. Die Einhaltung der Vorgaben ist verbindlich. Die Kontrolle erfolgt durch die Gewässeraufsicht und im Rahmen von „Cross-Compliance“ durch die Agrarmarkt Austria (AMA). Aktuell läuft gerade das Begutachtungsverfahren zur Novelle 2012. Mit dem Entwurf wurde vor allem das Ziel, den gemeinschaftsrechtlichen Vorgaben unter Berücksichtigung der bisherigen Vollzugserfahrungen auch weiterhin zu entsprechen, verfolgt. Die Ergebnisse bzw. Konsequenzen der Begutachtung lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

Pflanzenschutzmittel

Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln

Die Verordnung ist 2009 in Kraft getreten und gilt für Zulassungsanträge seit 14.06.2011. Sie enthält Bestimmungen über die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln in kommerzieller Form sowie über ihr Inverkehrbringen, ihre Verwendung und ihre Kontrolle innerhalb der Gemeinschaft.

Pflanzenschutzmittelgesetz 2011, BGBl. I Nr. 10/2011

Das neue Bundesgesetz über den Verkehr mit Pflanzenschutzmitteln und über Grundsätze für die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln ist am 11.10.2011 in Kraft getreten. Bezüglich der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln gibt es in den Bundesländern eigene Landesgesetze, welche die Grundsätze des PSMG 2011 weiter konkretisieren. Diesbezügliche Novellierungen laufen bereits in allen Bundesländern bzw. sind teilweise schon abgeschlossen.

Die **Richtlinie 2009/128/EG über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für den nachhaltigen Einsatz von Pestiziden** ist seit 24.11.2009 in Kraft. Im Rahmen der Umsetzung dieser Richtlinie ist bis Ende des Jahres 2012 ein Nationaler Aktionsplan (NAP) zu erstellen, indem auch Maßnahmen erarbeitet werden sollen, die den Gewässerschutz und die Bestimmungen der WRRL unterstützen.

Freiwillige Maßnahmen

ÖPUL 2007-2013, Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft gemäß Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 des Rates vom 20. September 2005

Dieses Programm enthält zahlreiche Maßnahmen, die den Gewässerschutz unterstützen, z.B.

- Einhaltung von Düngegrenzen, die geringer sind als jene des AP Nitrat
- Begrenzung der Viehdichte auf maximal 2 GVE/ha landwirtschaftliche Nutzfläche
- Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerflächen und Grünlandflächen
- Begrünung von Ackerflächen, Mulch- und Direktsaat, Untersaat bei Mais
- Schlagbezogene Düngeaufzeichnungen
- Düngung nach N_{\min} Bodenproben für Spezialkulturen (Wein, Obst, Gemüse, Erdäpfel, Rübe, Erdbeeren).

Beratung und Bewusstseinsbildung

In den Bundesländern laufen Beratungsaktivitäten (z.B. Nitratinformationsdienst, Wasserschutzberatung), die oft von den Ämtern der Landesregierung und der Landwirtschaftskammer gemeinsam organisiert werden. In einigen Bundesländern werden die Messergebnisse von N_{\min} Untersuchungen auf ausgewählten Standorten und daraus abgeleitete Düngeempfehlungen für bestimmte Kulturen ins Internet gestellt.

Forschung

GeoPEARL Austria

Mit dem Ziel, die Planung von Maßnahmen zur Vermeidung von potentiellen Verunreinigungen des Grundwassers durch Pestizide oder deren Metaboliten zu unterstützen, wurde das Forschungsprojekt "Entwicklung eines georeferenzierten Expositionsmodells (GeoPEARL Austria) zur Evaluierung von Pflanzenschutzmitteln in Österreich im Hinblick auf deren Grundwasser Gefährdungspotential" beauftragt. Das Projekt steht kurz vor dem Abschluss.

Umbruchmanagement Luzerne

Im nördlichen Burgenland wird dieses Forschungsprojekt mit dem Ziel, durch ein geeignetes Umbruchmanagement das Risiko der Nitratauswaschung zu minimieren, durchgeführt. Begleitet wird das laufende Projekt durch die Ergebnisse von Messstellen zur Sickerwassergewinnung, welche dazu eigens errichtet wurden.

Sondermessprogramm Pestizide und Metaboliten 2010

Im Jahr 2010 erfolgte eine einmalige Untersuchung von potentiell durch Pflanzenschutzmittel gefährdeten Grundwassermessstellen auf bisher nicht beobachtete Wirkstoffe und deren Abbauprodukte (Metaboliten). Die wichtigste Erkenntnis daraus ist, dass vor allem die relevanten Metaboliten der Wirkstoffe Metazachlor und Terbutylazin zu bisher nicht bekannten Belastungen führen. Dementsprechend wird die Verwendung der beiden Wirkstoffe in wasserwirtschaftlichen Schongebieten in Abstimmung mit der Landwirtschaftskammer Österreich stark eingeschränkt werden. Alle Ergebnisse aus dem Sondermessprogramm werden in die Planung der nächsten Überwachungsperiode im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) mit einfließen.

Ausblick

Aufgrund der bekannt langen Grundwassererneuerungszeiten (7-30 Jahre), vor allem in den wasserwirtschaftlich bedeutenden Grundwasserkörpern im Osten und Nordosten Österreichs, kann der gute Zustand erst in mehreren Jahren bzw. Jahrzehnten erreicht werden. Es wird davon ausgegangen, dass durch eine konsequente Umsetzung des Aktionsprogramms Nitrat die Nitratbelastung des Grundwassers weiter reduziert werden wird. Die freiwilligen Maßnahmen des ÖPUL-Programms werden dabei die Zielerreichung unterstützen. Darüber hinaus wird der bereits eingeschlagene Weg, vor allem in gefährdeten Gebieten mit spezifischen freiwilligen Maßnahmen (z.B. Beratung, Schongebiete) den Gewässerschutz zu forcieren, weiterhin konsequent fortgeführt werden.

Literatur

- BMLFUW/UBA, 2011: GZÜV-Sondermessprogramm Pestizide und Metaboliten 2010.
- BMLFUW, 2011: Grüner Bericht 2011. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft.
- BMLFUW/UBA, 2010: Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2010.
- BMLFUW, 2010: Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009.
- BMLFUW, 2008: EU Nitratrichtlinie, Österreichischer Bericht.
- BMLFUW, 2007: Sonderrichtlinie des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft.

Wasserrahmenrichtlinie in Bayern: Resümee und Ausblick

Matthias Wendland^{1*} und Friedrich Nüßlein¹

Zusammenfassung

Durch den Einsatz von speziell ausgebildeten Wasserberatern war es möglich, die effektiven Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität entscheidend auszudehnen. Das Bayerische Kulturlandschaftsprogramm bot dazu eine finanzielle Unterstützung. Eine Verbesserung der Wasserqualität, insbesondere beim Grundwasser, wird sich jedoch bis 2015 aufgrund langer Verweilzeiten nicht überall nachweisen lassen. Forschungsprogramme unterstützen die weitere Maßnahmenentwicklung.

Schlagwörter: Maßnahmenprogramme, Wasserberatung, Kulturlandschaftsprogramm

Einleitung

Mit der im Jahr 2000 auf europäischer Ebene verabschiedeten Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sollen europaweit einheitliche Standards im Gewässerschutz erreicht werden. Ziel der WRRL ist es, das Grundwasser und alle Oberflächengewässer in einen „guten Zustand“ zu erhalten bzw. zu bringen. Ende 2009 wurden entsprechend der WRRL die ersten Bewirtschaftungspläne für die bayerischen Flussgebiete veröffentlicht. In diesen Bewirtschaftungsplänen werden alle Maßnahmen zusammengestellt, die sich mit der Verbesserung bzw. dem Erhalt des guten Zustands der Gewässer befassen. Diese Maßnahmen werden jetzt vor Ort durch spezielle Berater umgesetzt.

Oberflächengewässer

Neben den Nährstoffen aus den Punktquellen (z. B. Kläranlagen) sind auch die Austräge aus landwirtschaftlichen Flächen Ursachen für die schlechte Gewässerqualität. In oberirdischen Gewässern ist vor allem der Nährstoff Phosphor von Bedeutung. Bei erhöhter Konzentration und Verfügbarkeit führt dies zu überhöhtem Algen- und Pflanzenwachstum. Die Bodenerosion ist dabei mit 27 % Anteil eine der wichtigsten Eintragungspfade für Phosphor in Oberflächengewässer (*Abbildung 1*). Insgesamt sind derzeit an 304 von 895 Oberflächenwasserkörpern in Bayern Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft vorgesehen. Der Schwerpunkt der Maßnahmengebiete liegt im Tertiären Hügelland.

Grundwasser

Für Menge und Qualität des Grundwassers stellen die Böden und der geologische Untergrundaufbau eine wichtige Einflussgröße dar, da sich die Grundwasserleiter in ihrer Reinigungswirkung und ihrem Speichervermögen stark

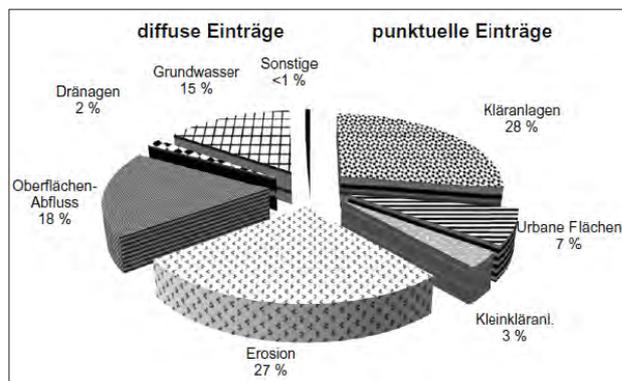


Abbildung 1: Herkunftsbereiche der P-Einträge in Oberflächengewässer 2007 in Bayern

unterscheiden. Daneben haben auch die klimatischen Verhältnisse eine große Bedeutung. Wegen Nitrat sind 13 von 59 Grundwasserkörpern in einem schlechten chemischen Zustand, vor allem in Mittel- und Unterfranken.

Maßnahmenprogramme

Für Gebiete mit hohen Anteilen an Nährstoffeinträgen aus der Landwirtschaft wurden in den Maßnahmenprogrammen ergänzende Maßnahmen vorgeschlagen. Die ergänzenden Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft sollen ausschließlich auf freiwilliger Basis erfolgen und greifen damit nicht in bestehende Rechte ein. Sie können an die betriebsspezifische Situation angepasst werden und müssen auch nicht auf jeder Fläche durchgeführt werden, sondern nur auf den Flächen, von denen die größte Gefährdung der Gewässer ausgeht. Dadurch besteht die Möglichkeit eines innerbetrieblichen Ausgleiches.

Die effektivsten Wirkungen hinsichtlich des Gewässerschutzes werden von folgenden Maßnahmen erwartet:

- Zwischenfruchtanbau
- Mulchsaat bei Reihenkulturen
- Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz
- Direktsaat
- Anpassung der Düngung.

Die Maßnahmenprogramme sollen bis 2015 umgesetzt werden.

Information und Beratung

Seit Oktober 2009 arbeiten 18 Wasserberater an ausgewählten Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischer Landbau und Bodenschutz, Lange Point 12, D-85354 FREISING-WEIHENSTEPHAN

* Ansprechpartner: Dr. Matthias Wendland, matthias.wendland@lfl.bayern.de

zur Unterstützung der Landwirte bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, die für die Koordinierung der Wasserberatung zuständig ist, stellt den Wasserberatern Vorlagen und Arbeitshilfen sowie Kartenmaterial von der Wasserwirtschaftsverwaltung zur Verfügung. Weiterhin wurden die Wasserberater durch entsprechende Schulungen auf ihre Aufgaben vorbereitet.

Für eine zielgerichtete, erfolgreiche Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie war es notwendig, die Flächen und Einzugsgebiete mit hohen Nährstoffeinträgen zu bestimmen. In diesen Schwerpunktgebieten informierten die Wasserberater in Auftaktveranstaltungen die Landwirte über die regionalspezifischen Gewässerqualitäten und die acker- und pflanzenbaulichen Gewässerschutzmaßnahmen sowie die angebotenen Agrarumweltprogramme wie z. B. das Bayerische Kulturlandschaftsprogramm (KULAP). Im Anschluss an die Auftaktveranstaltungen wurden teilweise Gruppenberatungen angeboten. Bei den jetzt folgenden einzelbetrieblichen Beratungen der Wasserberater werden gezielte acker- und pflanzenbauliche Gewässerschutzmaßnahmen sowie deren betriebsbezogene Optimierung zusammen mit den Landwirten besprochen. Ein finanzieller Ausgleich für Aufwendungen, die über die gute fachliche Praxis hinausgehen, kann teilweise über die bestehenden Agrarumweltprogramme erfolgen. Daher sind vor allem auch die einzelflächenbezogenen Maßnahmen, die dem Gewässerschutz dienlich sind, besonders gefragt. Insgesamt wurden von den Wasserberatern seit Herbst 2009 mehr als 1000 einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt.

Durch die Unterstützung der ÄELF sowie der Arbeit der Wasserberater vor Ort konnten in den Maßnahmengengebieten bereits zahlreiche gewässerschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen umgesetzt werden. Die Mulchsaatfläche, die über das KULAP gefördert wurde, konnte innerhalb von drei Jahren mehr als verdoppelt werden und liegt zurzeit bei ca. 72.000 ha.

Eine zentrale Stellung nimmt dabei der Zwischenfruchtanbau ein. Von den Wasserberatern wurden daher in Zusammenarbeit mit interessierten Betrieben Demo-Versuche angelegt. Die Bedeutung der biologischen Konservierung von Stickstoff sowie die Möglichkeit zur Mulchsaat konnten anhand von verschiedenen Zwischenfruchtvarianten dargestellt werden. Die Humusanreicherung in der obersten Bodenschicht, die Förderung der Aggregatstabilität sowie die intensive Regenwurmaktivität reduzieren deutlich den Bodenabtrag und Oberflächenabfluss bei Starkregen. Diese anschaulichen Beispiele ermöglichen es den Landwirten, vor Ort Erfahrungen für die Praxis zu gewinnen, um betriebspezifisch angepasste Varianten im eigenen Betrieb umsetzen zu können. Durch Felderbegehungen und durch Maschinenvorfürungen wurde der Erfahrungsaustausch unter den Landwirten gefördert. Praxisnahe Lösungskonzepte auch im Hinblick einer reduzierten Bodenbearbeitung können dadurch leichter entwickelt werden.

Weiterhin kommt der Anlage von Gewässerrandstreifen eine große Bedeutung im Gewässerschutz zu. Sie bilden eine Pufferzone, die Stoffeinträge wie z. B. Boden, Dünger oder Pflanzenschutzmittel deutlich verringert. Die Anlage von Grünstreifen zum Boden- und Gewässerschutz konnte

im Rahmen vom KULAP von 315 ha im Jahr 2008 auf ca. 2400 ha im Jahr 2011 gesteigert werden.

Von vielen Wasserberatern wurde auch das Angebot wahrgenommen, bei sonstigen Veranstaltungen wie z. B. vom Bayerischen Bauernverband Beiträge zur WRRL zu liefern. Regionalspezifische Flyer oder auch Plakate und Poster an den Ämtern sowie an den Demoversuchen machen auf die WRRL aufmerksam. Teilweise wurden Projekte in der Fachschule durchgeführt, die die WRRL zum Thema hatten und eine aktive Beteiligung der Studierenden ermöglichte. Insgesamt ist eine positive Rückmeldung auf die Aktivitäten der Wasserberater festzustellen.

Begleitende Forschung

Nach EG-WRRL sind die Grundwasserkörper im schlechten Zustand bis 2015 in einen guten Zustand zu versetzen. Eine Abschätzung, ob dieses Ziel erreicht werden kann, kann derzeit nur mit großen Unsicherheiten durchgeführt werden. Auch die Wirksamkeit der in diesen Gebieten vorgesehenen Maßnahmen in Bezug auf die Reduzierung der Nitratgehalte im Grundwasser kann noch nicht sicher angegeben werden. Um die Abschätzungen zu verbessern, arbeitet die Landesanstalt zusammen mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) an einer Modellierung der diffusen Nährstoffeinträge und -stoffströme in das Grundwasser.

Mit der angestrebten Modellierung sollen folgende Ziele verfolgt werden:

- Abbildung der Stoffströme zwischen Nährstoffausbringung im Rahmen der Landbewirtschaftung und Nitratreinträgen in das Grundwasser
- Wirkungsprognose der Auswirkungen von Änderungen in der Landbewirtschaftung auf die Grundwasserqualität mit einer Prognose für den Zeitpunkt der Erreichung der Ziele der WRRL
- Variantenuntersuchungen zur Identifizierung der kosteneffizienten Maßnahmen zur Erreichung der Ziele der WRRL

Ausblick

Aufgrund der Umstellung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) nach 2013 werden die Fördermaßnahmen des Kulturlandschaftsprogrammes derzeit nur eingeschränkt angeboten. Für die Antragstellung 2012 waren nur wenige, jedoch wasserwirtschaftlich relevante Maßnahmen für die Neuantragstellung freigegeben. Trotz dieser erschwerenden Umstände erwarten wir durch die engagierte Arbeit der Wasserberater Fortschritte bei der Verbesserung der Wasserqualität. Diese wird sich durch die lange Verweildauer beim Grundwasser bis 2015 nur auf leichten Standorten nachweisen lassen. Kontraproduktiv kann in einigen Gebieten der intensive Energiepflanzenanbau wirken. Bei den Oberflächengewässern werden die Cross Compliance Verpflichtungen zum Erosionsschutz zu einer Verbesserung beitragen.

Literatur

- WENDLAND, M. und F. NÜSSLEIN, 2010: Wasserrahmenrichtlinie: Konsequenzen für den Erosionsschutz, LfL-Schriftenreihe 3/2010, 31-38.
- WENDLAND, M. und F. NÜSSLEIN, 2011: Auf dem Weg zum sauberen Wasser, Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt Heft 9, 30-31.

Ökonomische Relevanz von Trinkwasserschutzmaßnahmen für den Wasserversorger

Franz Krainer^{1*}

Zusammenfassung

Die Nitratproblematik in der Murebene südlich von Graz ist nach wie vor existent. Nitratgrenzwerte im Grundwasser können teilweise nur durch die Verdünnung aus Oberflächengewässern eingehalten werden. Die Wasserversorger im Leibnitzerfeld erwarten eine breite Umsetzung einer ordnungsgemäßen Landwirtschaft. Sie sind nicht bereit für diese gesetzlichen Erfordernisse Entschädigungszahlungen zu leisten.

Schlagwörter: ordnungsgemäße Landwirtschaft, Nitratbelastungskarte, Grundwasserkörper, Lysimeteruntersuchungen, Entschädigungszahlungen

Summary

Nitrate is still a problem in the „Murebene“ south of Graz. In some cases the limit for nitrate concentration in groundwater can only be observed by dilution with surface water. The water suppliers of „Leibnitzerfeld“ expect sustainable agricultural land use.

They are not willing to make any payment of compensation concerning sustainable agricultural land use since this is regulated by law.

Keywords: sustainable agriculture, nitrate contamination map, lysimeter measurement, payment of compensation

Einleitung

Die Trinkwasserversorger bekennen sich zu einer intakten, lebensfähigen Landwirtschaft. Gleichzeitig verweisen sie auf das nachhaltige Ziel der Erhaltung bzw. Erreichung einer entsprechenden Grundwasserqualität und auf die in diesem Zusammenhang bestehenden Pflichten seitens der Landwirtschaft. Folgende Grundsätze betreffend den Schutz des Grundwassers, bzw. in weiterer Folge des Trinkwassers sind in der EU, sowie insbesondere in Österreich verankert:

„Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss.“ (EU-Wasserrahmenrichtlinie)

„Insbesondere ist Grundwasser sowie Quellwasser so reinzuhalten, dass es als Trinkwasser verwendet werden kann. Grundwasser ist weiter so zu schützen, dass eine schrittweise Reduzierung der Verschmutzung des Grundwassers und Verhinderung der weiteren Verschmutzung sichergestellt wird.“ (§ 30 (1) Abs. 5 WRG i.d.g.F.)

„Grundsätzlich ist für den menschlichen Verzehr nativ einwandfreies Wasser einem aufbereiteten Wasser vorzuziehen, auch wenn die Erschließungs-, Schutz- und Transportkosten deutlich höher sind.“ (Österreichisches Lebensmittelbuch, IV. Auflage, Codexkapitel B1 Trinkwasser)

Trinkwasserschutzmaßnahmen in Wassereinzugsgebieten

Abgrenzung von Schutzgebieten und Vorschreibung von Maßnahmen auf Antrag des Wasserversorgers

Grundlagen

Die gesetzliche Grundlage für die bescheidmäßige Ausweisung von Schutzgebieten bietet das Wasserrechtsgesetz (WRG 1959 i.d.g.F.). In § 34 Abs 1 WRG heißt es: „Zum Schutz von Wasserversorgungsanlagen gegen Verunreinigung ... kann die zur Bewilligung dieser Anlagen zuständige Wasserrechtsbehörde ... durch Bescheid besondere Anordnungen über die Bewirtschaftung oder sonstige Benutzung von Grundstücken und Gewässern treffen, die Errichtung bestimmter Anlagen untersagen und entsprechende Schutzgebiete bestimmen. ...“ Die Grundlagen für die Ausweisung von Schutzgebieten in Österreich sind in der ÖVGW-Richtlinie W72 „Schutz- und Schongebiete“ festgelegt. Die meisten Schutzgebiete umfassen 3 Zonen, wobei die Zone I das unmittelbare Brunnengebiet abgrenzt (Einzäunung). Die Schutzzone II, die bakteriologische Zone oder „60-Tagegrenze“, bietet Schutz gegen pathogene Keime und Viren. Die Schutzzone III oder chemische Zone bietet Schutz vor chemischen Verunreinigungen. Die Anordnungen in den Zonen II und III variieren von Schutzgebiet zu Schutzgebiet. Die Entschädigungskalkulationen und parzellengenauen Entschädigungssätze sind im jeweiligen Bescheid festgeschrieben bzw. werden als privatrechtliche Vereinbarung zwischen Wasserversorger und Grundstückseigentümer festgehalten.

Schutzgebiete der Leibnitzerfeld Wasserversorgungs GmbH

Im Wirkungsbereich der Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH sind aktuell 6 Schutzgebiete mit einem Flächenausmaß von ca. 330 ha bescheidmäßig festgelegt. Der entstehende Mehraufwand in der Höhe von rd. €140.000.-

¹ Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH, Wasserwerkstraße 33, A-8430 LEIBNITZ

* Ansprechpartner: GF DI Franz Krainer, krainer@leibnitzerfeld.at

durch die Auflagen im Schutzgebietsbescheid wird durch Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH an die Grundstückseigentümer entschädigt.

Die Auflagen in den einzelnen Schutzgebieten des gleichen Grundwasserleiters (z.B. des Murtal-Grundwasserkörpers) variieren recht stark in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Bescheiderlassung. Als Beispiel eines „jungen“ Bescheides ist im Schutzgebiet Kaindorf-Leibnitz-Gralla (Bescheid des Landeshauptmannes von der Steiermark vom 19. April 2007) z. B. die Ausbringung von organischen Düngemitteln (Gülle, Festmist ...) in der Schutzzone II verboten. In der Schutzzone III ist die Ausbringung von Gülle an die Führung eines Güllebuches (Angaben über Menge ...) geknüpft. In der Schutzzone II ist u. a. der Anbau von Mais verboten, in der Schutzzone III hingegen ist der Anbau von Mais mit 50% der selbstbewirtschafteten Ackerflächen begrenzt (max. jedes zweite Jahr Mais am selben Standort). Die Anlage einer ganzjährigen Pflanzendecke (Wintergetreide, winterharte Gründecken ...) bis spätestens 1. Oktober (bei konventioneller Bodenwirtschaft) ist in der Schutzzone II und III verpflichtend vorgeschrieben.

Abgrenzung von Schongebieten und Definition von Maßnahmen auf Anordnung des Landeshauptmannes

Grundlagen

Die Schongebiete erfahren durch die Wasserrechtsnovelle 1990 eine wesentliche Neuerung. Die bis zu diesem Zeitpunkt gültige Funktion des Schongebietes als zusätzliche Sicherheitszone wird um die Funktion als mögliche Verbotszone erweitert. Die rechtliche Grundlage für die Ausweisung von Schongebieten bietet das Wasserrechtsgesetz. § 34 Abs 2 WRG heißt: „Zum Schutz der allgemeinen Wasserversorgung kann der Landeshauptmann ferner mit Verordnung bestimmen, dass in einem näher zu bezeichnenden Teil des Einzugsgebietes (Schongebiet) Maßnahmen, die die Beschaffenheit, Ergiebigkeit oder Spiegellage des Wasservorkommens zu gefährden vermögen, vor ihrer Durchführung der Wasserrechtsbehörde anzuzeigen sind oder der wasserrechtlichen Bewilligung bedürfen, oder nicht oder nur in bestimmter Weise zulässig sind. ...“

Schongebiete im Wirkungsbereich der Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH

Im Wirkungsbereich der Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH wurden 3 Schongebiete mit einem Flächenausmaß von ca. 3200 ha durch den Landeshauptmann der Steiermark verordnet. Die inhaltlichen Regelungen dieser Verordnungen betreffen in erster Linie die ackerbauliche Nutzung der Landoberfläche. Diese wurden seit den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts mehrfach abgeändert, um das Ziel, einen guten qualitativen Zustand des Grundwassers für dessen Nutzung zur Trinkwasserversorgung zu erreichen. Als Konsequenz steigender Nitratwerte im Grundwasser wurden mit der Novellierung im März 2006 zwei Schongebietsverordnungen des Leibnitzerfeldes deutlich verschärft. Einzelne Anordnungen wurden in der Folge in ihrer Schärfe aufgrund von wissenschaftlich neuen Erkenntnissen wieder

abgeändert: So wurde z. B. das Verbot der Ausbringung von Gülle zu Mais und Hackfrüchten bis 21. Mai in ein Verbot der Ausbringung bis zum 5. April abgeändert. Das Anbaudüngungsverbot zu Mais wurde in den einzelnen Jahren jeweils ausgesetzt.

Ab dem Jahr 2007 stellte eine große Anzahl von Landwirten (Grundstücksbesitzer) in Schongebieten der Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH Entschädigungsanträge für Einschränkungen der Bewirtschaftung im Vergleich zur ackerbaulichen Nutzung außerhalb der Schongebiete bei der Bezirkshauptmannschaft Leibnitz. Im Jahr 2010 erließ die Bezirkshauptmannschaft Leibnitz schlussendlich Bescheide, mit denen die Wasserversorgungsunternehmen verpflichtet wurden, Entschädigungszahlungen an die Antragsteller zu leisten! Die Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH müsste ca. 1 Mio. € für die geforderten, rückwirkenden Entschädigungszahlungen aufbringen.

In Anbetracht der generellen Nitratsituation im Grundwasserkörper des Murtales und im speziellen im Leibnitzerfeld und den wissenschaftlich-fachlichen Erkenntnissen, dass der Nitratgrenzwert im Grundwasser nur durch die Verdünnung aus Oberflächengewässern eingehalten werden kann und somit von einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung, welche die Nutzung des Grundwassers zur Trinkwasserversorgung flächendeckend ermöglicht, nicht ausgegangen werden kann, wurde seitens der Wasserversorger der Antrag auf gerichtliche Entscheidung beim Landesgericht für Zivilrechtssachen Graz eingebracht. Insgesamt rund 450 Verfahren (Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH + Wasserverband Leibnitzerfeld Süd) stehen zur zivilgerichtlichen Entscheidung an.

Fachliche Grundlagen zum Trinkwasserschutz im Murtal-Grundwasserleiter

Aufgrund der seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts zunehmend intensiver werdenden Nutzung des Grundwassers des Leibnitzerfeldes zur kommunalen und regionalen Trinkwasserversorgung und der im gleichen Zeitraum extrem intensivierten ackerbaulichen Nutzung der Region, resultierte bereits in den 80er und 90er Jahren des 20. Jahrhunderts eine Konfliktsituation zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft, die Regelungen notwendig machte. Diese Regulierungen basierten auf fachlich-wissenschaftlichen Erkenntnissen, die für diesen Grundwasserkörper aufgrund der besonderen hydrogeologischen Bedingungen erst erarbeitet werden mussten. Die in der Folge angesprochenen neuesten Forschungsergebnisse zeigen auf, dass die Nitratproblematik nach wie vor existent ist, belegen aber auch, dass durch eine ordnungsgemäße Landnutzung eine Koexistenz zwischen Ackerbau und Trinkwassergewinnung durchaus möglich ist.

Nitratverteilung im Murtal-Grundwasserleiter

Die im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung erarbeitete Nitratverteilungskarte für den Murtal-Aquifer südlich von Graz (2007/2008) (FANK und DALLA-VIA 2010) weist für große Bereiche des

Grundwasserkörpers von Graz bis Bad Radkersburg hohe Nitratkonzentrationen ($> 45 \text{ mg/l}$) aus. Als Ursache der erhöhten Werte werden die Landwirtschaft und die langen Grundwasserweilzeiten angeführt. Die Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser zeigt, dass in Teilbereichen diese durch die Wechselwirkung des Grundwassers mit Oberflächengewässern (darunter auch Nassbaggerungen) deutlich verdünnt in Erscheinung tritt. In den Bereichen, in denen keine Verdünnungsfaktoren wirksam sind, liegen die Nitratwerte mehr oder weniger deutlich über dem Grundwasserschwellenwert von 45 mg/l , hier besteht die Gefahr, dass das Grundwasser nicht mehr für die Trinkwasserversorgung genutzt werden kann. Diese Nitratverteilungskarte sowie auch die zeitliche Entwicklung der Nitratwerte in den letzten zehn Jahren belegen, dass flächendeckend keine ordnungsgemäße Landwirtschaft betrieben wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Landnutzung nur dann ordnungsgemäß ist, wenn die flächenhaften Einträge so gering sind, dass die Nutzung des Grundwassers an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt als Trinkwasser möglich ist.

Lysimeteruntersuchungen am Forschungs- und Versuchsfeld Wagna

Bereits seit dem Jahr 1992 werden am ackerbaulichen Versuchsfeld in Wagna Untersuchungen über die Auswirkung unterschiedlicher ackerbaulicher Maßnahmen auf die Sicker- und Grundwasserqualität durchgeführt. Die Erkenntnisse der letzten Jahre, die mittels Präzisionslysimeters gewonnen wurden, zeigen, dass unter Einhaltung der Richtlinien für sachgerechte Düngung bei einer korrekten Einschätzung des Ertragspotentials des jeweiligen Standortes aus einer ordnungsgemäßen Landwirtschaft keine mehr als geringfügige Belastung des Grundwassers mit Nitrat ausgeht. Eine Koexistenz von ökonomisch orientierter Landwirtschaft und der Grundwassernutzung für die Trinkwasserversorgung ist möglich. Wesentliche Erkenntnisse sind auch, dass sowohl konventionelle Bewirtschaftungsweisen als auch ein ökologisch orientierter Landbau grundwasserträglich sein können. Auf die besonderen Standortbedingungen hinsichtlich Boden, Witterung und auch Kulturführung ist aber jedenfalls Bedacht zu nehmen.

Studie „Ackerbauliche Maßnahmen für eine grundwasserträgliche Landwirtschaft“

Das Amt der Steiermärkischen Landesregierung hat die umfassende Studie „Ackerbauliche Maßnahmen für eine grundwasserträgliche Landwirtschaft (Graz bis Bad Radkersburg) beauftragt, welche mit Februar 2010 fertig gestellt wurde (Fank et al. 2010). Durch die Mitarbeit von Joanneum Research, dem Bundesamt für Wasserwirtschaft, der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit und dem Versuchsreferat der steirischen Landwirtschaftsschulen erhalten die Erkenntnisse und Ergebnisse für die betroffene Region ein breites Gewicht. Als relevante Maßnahmen für eine grundwasserträgliche Landwirtschaft werden in dieser Studie zusammenfassend angeführt:

- Düngebemessung grundsätzlich nach den Richtlinien für sachgerechte Düngung, 6. Auflage

- Bei korrekter Einschätzung der Ertragslage und unter Berücksichtigung der Zu- und Abschlagsfaktoren
- Einhaltung eines schlagbezogenen Stickstoffüberschusses an der Oberfläche von max. 25 kg/ha/a berechnet über eine Fruchtfolgeperiode
 - Keine Ausbringung von Stickstoffdünger im Herbst
 - Vermeidung von Schwarzbrachen durch
- Anlage von Sommerzwischenfrüchten und
- Anlage von winterharten Gründecken
 - Stickstoff-Frühjahrsdüngung bedarfsgerecht kurz vor Anbau oder in die wachsende Kultur
 - Besondere Bedeutung von Information, Weiterbildung und der Führung von Musterflächen

Diskussion und Schlussfolgerungen

Wie bereits eingangs erwähnt bekennen sich die Trinkwasserversorgungsunternehmen zu einer intakten, lebensfähigen Landwirtschaft, wenn diese die Grundlagen einer ordnungsgemäßen Landnutzung einhält. Wissenschaftliche Erkenntnisse zeigen, dass bei Einhaltung der Richtlinien für sachgerechte Düngung bei Einschätzung eines standortbezogen korrekten Ertragsniveaus aus dem Ackerbau der Region des Murtales südlich von Graz keine Grundwassergefährdung ausgeht, die dem Ziel der Nutzung des Grundwassers zur Trinkwassergewinnung widersprechen würde. Die Auswertungen der flächenhaften Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser und auch ihrer zeitlichen Entwicklung während des letzten Jahrzehntes belegen aber, dass von einer flächendeckenden ordnungsgemäßen Bewirtschaftung keineswegs ausgegangen werden kann.

In diesem Zusammenhang betrachten wir als Wasserversorger die Versuchsanlage in Wagna (Lysimeterstation, langjährige Großparzellenversuche) als unverzichtbar, um Klarheit in das System Boden-ungesättigte Zone-gesättigte Zone zu bringen. Möglicherweise sind die dort und an anderen Standorten im Murtal gewonnenen Fachkenntnisse bei den betroffenen Landwirten noch nicht angekommen bzw. gelingt es den Verantwortlichen nicht in ausreichendem Maß, die Landwirte davon zu informieren, dass ökonomisch orientierte Landwirtschaft und grundwasserträgliche Bewirtschaftung kein Widerspruch sind.

Die Wasserversorger sind, wie schon die Vergangenheit zeigt, durchaus bereit, in den Schutzgebieten ihrer Entnahmebrunnen für notwendige Auflagen, die zu einem erhöhten Aufwand der Landwirte für die Bewirtschaftung führen (Einschränkung der Anwendung von Wirtschaftsdünger, Einschränkungen in der Kulturführung etc.) entsprechend den bescheidmäßigen Festlegungen oder nach vertraglicher Vereinbarung zu entschädigen. Diese Zahlungen belasten die Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH derzeit mit einer jährlichen Summe von rd. $\text{€ } 140.000,-$, Kosten, die aufgrund des gemeinnützigen Charakters natürlich auf die Konsumenten umgelegt werden müssen.

Keinesfalls ist die Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH jedoch bereit, für die Einhaltung der Regelungen einer ordnungsgemäßen Landwirtschaft, die für den allgemeinen Schutz des Grundwassers zu dessen Nutzung als Trink-

wasser – wie im Wasserrechtsgesetz definiert - notwendig sind und großflächig eingehalten werden müssen, Entschädigungszahlungen zu leisten. Die derzeit in Diskussion stehenden Entschädigungsforderungen der Landwirtschaft für Maßnahmen in den Grundwasserschongebieten der Leibnitzerfeld Wasserversorgung GmbH können mit rd. 1 Mio. € für die rückwirkenden Zahlungen und jährlichen Kosten von rd. €200.000.- veranschlagt werden. In Summe würde sich dies für den Wasserbezieher mit einer Erhöhung des Wasserpreises um rd. 10% niederschlagen.

Abschließend können wir festhalten, dass wir die Wichtigkeit eines nachhaltigen Grundwasserschutzes auch durch die Gründung des Tochterunternehmens Trinkwasserschutz GesbR zum Ausdruck bringen. Hier nimmt unser Wasser-schutzbeauftragter, eine landwirtschaftliche Fachkraft, im Interesse der Wasserversorger Kontroll- und Beratungsaufgaben in unserem Versorgungsgebiet wahr. Ebenso leisten

wir durch die Finanzierung von Studien und die Förderung von weiterführenden Untersuchungen einen wesentlichen Beitrag, um die Umsetzung einer ordnungsgemäßen Landwirtschaft nachhaltig zu unterstützen.

Literatur

FANK, J. und A. DALLA-VIA, 2010: Nitratverteilungskarten für den Murtal-Aquifer südlich von Graz (2007-2008). Unveröff. Ber. JOANNEUM RESEARCH, RESOURCES – Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, Graz.

FANK, J., F. FEICHTINGER, G. DERSCH und J. ROBIER, 2010: Ackerbauliche Maßnahmen für eine grundwasserverträgliche Landwirtschaft im Murtal (Graz bis Bad Radkersburg). Unveröff. Ber. JOANNEUM RESEARCH – Institut für WasserRessourcenManagement, BAW – Insitut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, AGES - Institut für Bodengesundheit und Pflanzenernährung und Versuchsreferat der Steirischen Landwirtschaftsschulen, Graz.

Wasser und Landwirtschaft - Aktivitäten der AGES zum Schutz des Wassers

Leopold Girsch^{1*}

Auflagen, Leitlinien und Forschung dienen der Minimierung von Einträgen in Grund und Oberflächenwässer

Sauberem Wasser kommt nicht nur als Lebensmittel besondere Bedeutung zu, auch als Produktionsmittel in der Landwirtschaft ist es unverzichtbar. Umso wichtiger ist ein schonender Umgang mit dieser wichtigen Ressource. Die AGES setzt daher auch im Bereich Landwirtschaft wesentliche Akzente für eine nachhaltige Nutzung.

Ein wesentliches Problem kann die Verunreinigung von Gewässern sein. Sie kann aus verschiedensten Quellen stammen – Industrie-Abfälle, Abwässer von Kommunen bis hin zur landwirtschaftlichen Produktion selbst. Hier können unsachgemäße Ausbringung von mineralischen und organischen Düngern wie Stallmist oder Gülle oder nicht sachgerechte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu einer Beeinträchtigung der Wasserqualität führen.

Unerwünschte Einträge: Pflanzenschutzmittel und Dünger

Wasser spielt eine wesentliche Rolle bei der Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) und deren Auswirkungen auf Mensch, Tier und Umwelt. Im Rahmen des Zulassungsverfahrens werden das Umweltverhalten und die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Tiere und Pflanzen in Gewässern überprüft und bewertet. Es werden sowohl Oberflächengewässer (Teiche, Seen, Bäche und Flüsse) als auch das Grundwasser berücksichtigt.

Da 90 Prozent des Trinkwasserbedarfs in Österreich aus geschütztem Grundwasservorkommen gedeckt wird, kommt der Bewertung von potenziellen Einträgen in das Grundwasser besondere Bedeutung zu. Durch die Vergabe von Risiko minimierenden Maßnahmen zum Gewässer- und Grundwasserschutz wie z. B. Mindestabstände zu Oberflächengewässern, Anwendung auf bestimmten Böden, Anwendungsbeschränkungen (Verringerung der Häufigkeit der Anwendung, Festlegung bestimmter Anwendungszeitpunkte) tragen die Aktivitäten des BAES zum Gewässerschutz bei.

Dünger, sowohl mineralische als auch organische (Stallmist, Gülle oder Kompost) können für Gewässer problematisch werden. Stickstoff zum Beispiel kann in mineralischer Form im Boden kaum gespeichert werden und wird dementsprechend leicht ausgewaschen. Bei Überdüngung kommt es dadurch zu einer Gefährdung des Grundwassers. Eine

Übersorgung mit Phosphor erhöht wiederum das Risiko für Oberflächengewässer. Phosphor wird im Boden zwar effizient gespeichert, bei Verlusten von Bodenmaterial durch Erosion können jedoch Flüsse und vor allem Seen belastet werden. Zu hohe Nährstoffkonzentrationen („Eutrophierung“) führen zu verstärktem Wachstum von Wasserpflanzen, wodurch das Risiko des „Umkippen“ der Gewässer durch Sauerstoffmangel steigt. Sachgerechter Düngung kommt daher wesentliche Bedeutung für die Sicherheit von Oberflächengewässern und dem Grundwasser zu. Basierend auf Bodenuntersuchungen erstellt die AGES entsprechende Düngungsempfehlungen, die wesentlich zu einer Minimierung von Nährstoffverlusten beitragen.

Neben der angemessenen und nachhaltigen Bewirtschaftung der Ackerfläche trägt die Wahl geeigneter Sorten indirekt zu einer verminderten Einwaschung von Nährstoffen und Pflanzenbehandlungsmitteln in das Grundwasser bei. Der Zwischenfruchtanbau wirkt sowohl über als auch unter der Bodenoberfläche positiv: Die Bedeckung des Bodens zwischen den Hauptkulturen vermindert die Erosion durch Starkniederschläge und Wind. Zwischenfruchtplanzen stabilisieren mit ihren Wurzeln die Bodenstruktur im Krumbereich. Erdstaubeinträge mit Nährstoffen und Pflanzenschutzmittelresten in Vorfluter oder sonstige offene Gewässer werden dadurch verhindert.

Im Boden binden Zwischenfrüchte auswaschungsgefährdete Nährstoffe, insbesondere Stickstoff, vorübergehend in organischer Masse und halten sie damit im Wurzelhorizont. Für die Folgekulturen wird dieses Nährstoffreservoir im Zuge der Verrottung des eingearbeiteten Aufwuchses und der Wurzelmasse wieder verfügbar. Im Rahmen der Sortenwertprüfung für Zwischenfruchtplanzen zielen die Erhebung von Jugendentwicklung und Bodendeckung auf das Auffinden von Züchtungen mit guter Boden- und damit auch Wasserschutzwirkung ab.

Die rasche Zulassung neuer, krankheitstoleranterer Sorten hat ebenfalls positive Effekte auf das Grundwasser. Mit Zuckerrübensorten, die widerstandsfähiger gegen die Blattfleckenkrankheit sind, kann die Menge der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel deutlich reduziert werden: Allein in der Saison 2011 wurden etwa 10 000 Liter (= zehn Tonnen) weniger Fungizide ausgebracht. Durch diese Einsparung von Pflanzenschutzmitteln wird das Kontaminationsrisiko des Grundwassers reduziert bzw. von vorne herein ausgeschlossen.

¹ Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

* Ansprechpartner: HR DI Leopold Girsch, leopold.girsch@ages.at

Forschung

Gesetzlichen Rahmenbedingungen wie das Wasserrecht, aber auch gezielt geförderten Maßnahmenprogrammen wie ÖPUL ermöglichen in Österreich einen flächendeckenden Grundwasserschutz. Geänderte Bewirtschaftungsmaßnahmen, Klimawandel und Landnutzungsänderungen bergen aber weiterhin Risiken für das Wasser. Wie sich diese Änderungen auf die Menge und Qualität des neu gebilde-

ten Grundwassers auswirken, wird derzeit in einem vom Klimafonds geförderten Forschungsprojekt (LYSTRAT) der AGES untersucht: An den drei Hauptbodentypen des Marchfeldes werden unterschiedliche Klimaszenarien in ihrer Wirkung auf das Boden- und Grundwasser, die Bodenbiologie, die Entwicklung von klimarelevanten Gasen und die Produktivität getestet. Ein weiteres Projekt setzt sich mit der Thematik des potentiellen Eintrages von Pflanzenschutzmitteln in das Grund- und letztlich Trinkwasser auseinander.

Bodenschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft

Andreas Baumgarten^{1*}, Georg Dersch¹, Johannes Hösch¹, Heide Spiegel¹,
Alexandra Freudenschuss² und Peter Strauss³

Zusammenfassung

Im österreichischen Programm für die umweltgerechte Landwirtschaft werden seit dem Jahr 1995 Maßnahmen gefördert, die direkt oder indirekt zu Bodenschutz beitragen. Eine Evaluierung im Hinblick auf mögliche Bodengefährdungen zeigte, dass für einige Indikatoren Verbesserungen erreicht werden konnten. Die Boden-erosion konnte verringert, der Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen optimiert und der Humusgehalt erhöht werden. In Bezug auf die Bodenversauerung und Bodenverdichtung besteht weiterhin Bedarf für die Umsetzung entsprechender Kurativ- und Präventivmaßnahmen. Weiters können ÖPUL – Maßnahmen wesentlich zum Klima- als auch zum Grundwasserschutz beitragen.

Summary

Since 1995, the Austrian program for sustainable agriculture subsidises measures that contribute directly or indirectly to soil protection in force. An evaluation with respect to possible soil threats has shown, that for some indicators improvements could be achieved. Soil erosion could be reduced, the content of plant available nutrients optimized and the humus content increased. For soil acidification and soil compaction there is still a need for the implementation for both curative and preventive measures. Furthermore, positive effects on climate and groundwater protection have been stated.

Einleitung

Der Boden ist eine bedrohte Ressource. In seiner Multifunktionalität ist er für nahezu alle Bereiche des Lebens von wesentlicher Bedeutung, dennoch ist ein nachhaltiger Umgang mit diesem nicht erneuerbaren Gut noch immer nicht selbstverständlich.

Im Jahr 2006 wurde von der EU-Kommission eine thematische Strategie zum Bodenschutz publiziert, an deren Entwicklung auch österreichische Experten einen maßgeblichen Anteil hatten. Hier wurden erstmals explizit alle Bodenfunktionen, aber auch die Bedrohungen für den Boden genannt. Die Länder in der EU wurden aufgefordert, sich den Herausforderungen eines aktiven Bodenschutzes zu stellen.

In Österreich gehört der Bodenschutz in den Verantwortungsbereich der Bundesländer, die zum Teil durch entsprechende Gesetze und Verordnungen die Rahmenbedingungen für einen schonenden Umgang mit dem Boden vorgeben. Allerdings sind in diesen Normen kaum konkrete Hinweise für die praktische Bewirtschaftung von Böden enthalten – die Umsetzung in der Praxis wird dadurch erschwert.

Im Österreichischen Programm für die Umweltgerechte Landwirtschaft (ÖPUL) werden nun bereits seit dem Jahr 1995 Maßnahmen gefördert, die auf eine Verbesserung des Bodenzustandes abzielen. Dazu zählen insbesondere die Förderung von Bodenbedeckung durch Zwischenfrüchte und Begrünungen, die Erhaltung des Grünlandes, Vorgaben für die Fruchtfolge, Aussaat ohne intensive vorbereitende

Bodenbearbeitung (Mulch- oder Direktsaat), die Reduktion oder der Verzicht auf Ertrag steigernde Betriebsmittel wie synthetische Dünger oder Pflanzenschutzmittel, Integrierte Produktion im Acker-, Wein-, Obst- und Gemüsebau sowie nicht zuletzt die biologische Wirtschaftsweise.

In den vergangenen Jahren wurde in zahlreichen Studien die Wirksamkeit der oben genannten Maßnahmen geprüft. Dabei wurde einerseits auf umfangreiches Datenmaterial aus Bodenuntersuchungen zurückgegriffen, andererseits wurden auch neue Untersuchungen und Studien durchgeführt. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die wichtigsten Ergebnisse dieser Evaluierung gegeben werden. Alle Details sind im Evaluierungsbericht des Lebensministeriums zusammengefasst (BMLFUW 2011).

Material und Methoden

Basierend auf ca. 500000 Datensätzen aus Bodenuntersuchungen sowie zusätzlichen Versuchen und Studien wurde versucht, die Auswirkung der bodenschutzrelevanten ÖPUL – Maßnahmen (*Tabelle 1*) zu evaluieren. Die Zahlen in Bezug auf die teilnehmenden Betriebe und die relevante Fläche ist in *Tabelle 1* zusammengefasst.

Aufbauend auf die in der Bodenschutzstrategie genannten Bodengefährdungen wurden folgende Themenbereiche bearbeitet:

Bodenerosion, Bodenverdichtung, Versauerung, Nährstoffversorgung, Humusgehalt, Boden und Klimaschutz sowie Boden und Grundwasserschutz

¹ Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

² Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, A-1090 WIEN

³ Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN

* Ansprechpartner: Dr. Andreas Baumgarten, andreas.baumgarten@ages.at

Tabelle 1: Teilnahme an bodenschutzrelevanten ÖPUL-Maßnahmen (maximale Teilnehmeraten in der Periode 2007 - 2009)

Maßnahmen (Auswahl)	teilnehmende Betriebe (gerundet)	Fläche (1.000 ha)
Biologische Wirtschaftsweise	20.000	388
Verzicht Betriebsmittel Ackerfutter u. Grünland	40.000	419
Erosionsschutz Wein	8.000	37
Begrünung von Ackerflächen	51.000	431
Mulch- und Direktsaat	15.000	137
Erhaltung und Entwicklung von Flächen für Natur- und Gewässerschutz	23.000	82
Umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen	70.000	1.317
Integrierte (bodenschonende) Produktion Erdäpfel, Rüben, Gemüse und Erdbeeren	8.000	66
Integrierte (bodenschonende) Produktion Wein	8.000	35
Vorbeugender Boden- und Gewässerschutz	4.500	156

Quelle: INVEKOS

Tabelle 2: Reduktion des Bodenabtrags durch direkt wirksame Erosionsschutzmaßnahmen im ÖPUL im Jahr 2008 (in Tonnen/ha/Jahr) für die Bundesländer und Österreich

	BGLD	KTN	NÖ	OÖ	SBG	STK	TIR	VBG	WI	AUT
Bodenabtrag ohne ÖPUL	2,9	1,8	3,8	6,0	1,8	5,6	1,2	3,4	2,6	3,8
Reduktion durch Erosionsschutz im Obst- und Weinbau	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,3	0,2
Reduktion durch Begrünung im Ackerbau und Mulch- und Direktsaat	0,1	0,0	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
Bodenabtrag mit ÖPUL	2,6	1,7	3,4	5,5	1,8	4,6	1,2	3,4	2,2	3,4
Reduktion durch ÖPUL in %	10%	3%	11%	8%	0%	18%	1%	0%	13%	10%

Ergebnisse und Diskussion

Bodenerosion

Bodenerosion ist etwa seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein Problem. Der Bodenverlust kann zu einer deutlichen Reduktion der Bodenfruchtbarkeit führen. Darüber hinaus kann es durch Vermurungen, Sedimentablagerungen, verstopfte Drainagegräben etc. auch zu Schäden in angrenzenden Flächen und Infrastrukturen kommen. Weiters werden aber auch massive Beeinträchtigungen von Gewässern, insbesondere durch den Nährstoffeintrag (Eutrophierung) verursacht. Österreichweit konnte durch die im ÖPUL-Programm direkt wirksamen Maßnahmen im Jahr 2008 eine Reduktion des Bodenabtrags durch Wassererosion in einer Höhe von 10 % erreicht werden, wobei die Ergebnisse in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich ausfielen (Tabelle 2).

Die Wirkungen durch erosionsmindernde Fruchtfolgen (mit höherem Ackerfutteranteil und geringerem Hackfruchtanteil) insbesondere in den Maßnahmen Biologische Wirtschaftsweise und ÖKO-Punkte NÖ sind nicht zur Gänze als Reduktionen in dieser Tabelle ausgewiesen.

Bodenverdichtung

Ursachen für die Entstehung von Verdichtungen sind das Befahren, Bearbeiten und Betreten der Böden zu ungeeigneten Zeitpunkten (z.B. zu hohe Feuchtigkeit). Verdichtungen führen zu einer Abnahme des Porenvolumens, insbesondere der Grobporen. Dadurch wird der gesamte Wassertransport beeinträchtigt, die Infiltration von Niederschlagswasser durch den Boden ins Grundwasser erschwert, der Oberflächenabfluss erhöht und die Bodenerosion verstärkt. Ein Gefügeschaden ist dann gegeben, wenn die Luftkapazität

weniger als 5 % beträgt und die gesättigte Wasserdurchlässigkeit geringer als $10 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ist.

Eine Bestandsaufnahme des Verdichtungsgrades von 30 Ackerstandorten im Produktionsgebiet Alpenvorland ergab, dass etwa ein Drittel einen kritischen Gefügestand im Bereich der Pflugsohle aufweist. Ausschlaggebend für die Einstufung in die Klasse „kritischer Gefügestand“ war meist eine sehr geringe gesättigte Wasserdurchlässigkeit. Ein unmittelbarer Einfluss von ÖPUL – Maßnahmen konnte zwar nicht nachgewiesen werden, allerdings muss davon ausgegangen werden, dass die Bodenverdichtungen aufgrund früherer Aktivitäten im Zuge der Bewirtschaftung entstanden sein könnten. Gefügeschäden sind kurzfristig kaum zu beheben, es sind daher langfristig angelegte Verbesserungsprogramme erforderlich. Als Basis dafür könnte eine Abschätzung der Verdichtungsgefährdung basierend auf Pedotransferfunktionen oder vor Ort Erhebungen sein.

Versauerung

Im feuchten Klima versauern die Böden im Verlauf der Bodenbildung und der Bewirtschaftung. Dabei handelt es sich primär um einen natürlichen Prozess. Es werden mehr saure Protonen durch Niederschläge, interne Bodenprozesse wie Bodenatmung von Bodenmikroorganismen, Bodentieren und Pflanzenwurzeln sowie durch Ammonium enthaltende Dünger eingetragen als die Böden neutralisieren können. Die basisch wirkenden Nährstoffe wie Kalzium und Magnesium werden ausgewaschen und die Puffersysteme der Böden zunehmend erschöpft: Der Boden versauert, die Bodenqualität sinkt und das Pflanzenwachstum wird zunehmend beeinträchtigt. Die Mobilität von schädlichen Schwermetallen nimmt im sauren Bereich deutlich zu.

Stärkere Versauerungstendenzen der Ackerböden sind vor allem aufgrund des sauren silikatischen Ausgangsgesteins

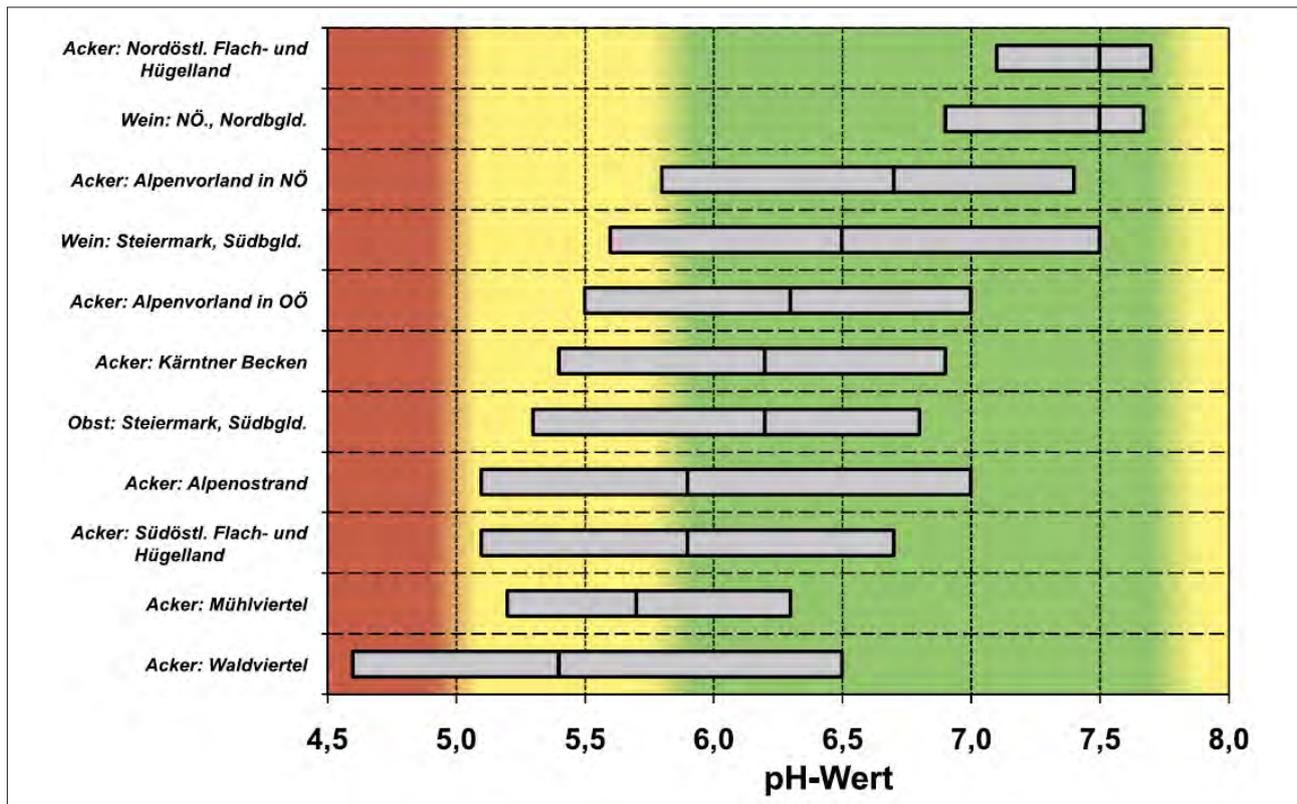


Abbildung 1: pH-Wert von Ackerland und wein- und obstbaulich genutzten Flächen

(Granit und Gneis) im Waldviertel zu bemerken (Abbildung 1). Durch den hohen Anteil säretoleranter Kulturen wie Hafer und Roggen und den in manchen Jahren deutlich höheren Schorfbefall der Kartoffel auf den sandigen Böden bei pH-Werten > 5,5 wird traditionell wenig gekalkt: 30 % der Standorte weisen pH-Werte unter 5 auf. Unterhalb dieses pH-Wertes steigt der Anteil des für die Pflanzenwurzeln toxisch wirkenden Aluminiums im Boden exponentiell an. Der Säuregrad der meisten Grünlandflächen ist als ausgewogen zu bewerten, jedoch befinden sich viele Standorte nur knapp oberhalb der kritischen Untergrenzen.

Als ausgleichende Maßnahme ist eine Ermittlung des Aufkalkungsbedarfs durch eine Bodenuntersuchung zu empfehlen, dies wurde bisher im ÖPUL nicht explizit berücksichtigt.

Nährstoffversorgung

Ausreichende pflanzenverfügbare Gehalte der Nährstoffe Phosphor (P) und Kalium (K) im Boden gehören zu den wesentlichen Voraussetzungen für das Ertragsvermögen der Böden. Im ÖPUL sind daher für Ackerkulturen mit höherem Nährstoffbedarf wie Feldgemüse, Kartoffeln und Zuckerrübe sowie für den Obst- und Weinbau verpflichtende Untersuchungen des pflanzenverfügbaren P- und K-Gehaltes vorgesehen.

Die höchsten Nährstoffgehalte liegen bei den Dauerkulturen Wein und Obst vor (Abbildungen 2 und 3), insbesondere auf den Flächen, die bereits seit mehreren Jahrzehnten derart genutzt werden. Die hohen Nährstoffvorräte im Weinbau im Nordöstlichen Flach- und Hügelland gehen deutlich

zurück – eine Folge des konsequenten Düngungsverzichts auf Basis einer Bodenuntersuchung. Vergleichsweise niedrig sind die P-Gehalte in den Weingärten im Südosten Österreichs (Abbildung 2).

Auf Ackerland weisen die Standorte im Nordöstlichen Flach- und Hügelland die höchsten Nährstoffgehalte auf: eine Folge der höheren mineralischen Düngergaben in der Vergangenheit zu den P- und K-bedürftigen Kulturen Zuckerrübe, Kartoffeln und Feldgemüse in dieser Region.

Bereits deutlich niedrigerer, jedoch überwiegend im ausreichenden Bereich, sind die Nährstoffvorräte in den weiteren großen Ackerbauregionen im Südöstlichen Flach- und Hügelland, im Alpenvorland und im Kärntner Becken. In den alpinen Randlagen (Alpenostrand, Voralpen), wo die Ackernutzung eine geringere Bedeutung hat, liegen die Mediane der Phosphorgehalte bereits unterhalb der ausreichenden Stufe C. Die Mediane der Kaliumgehalte befinden sich in allen Regionen im Optimalbereich. Wegen der natürlich vorkommenden höheren Kaliumgehalte des Ausgangsgesteins im Wald- und Mühlviertel und in den Voralpen sind hier die Werte höher als in den übrigen Gebieten.

Humusgehalt

Der optimale Humusgehalt des Bodens ist eine wichtige Voraussetzung für eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion. Humus hat einerseits eine „Nährstoffwirkung“ – er kann Nährstoffe speichern und freisetzen – andererseits aber auch eine „Bodenverbessernde“ Wirkung im Hinblick auf Bodenleben, Porenverteilung und Gefügestabilität.

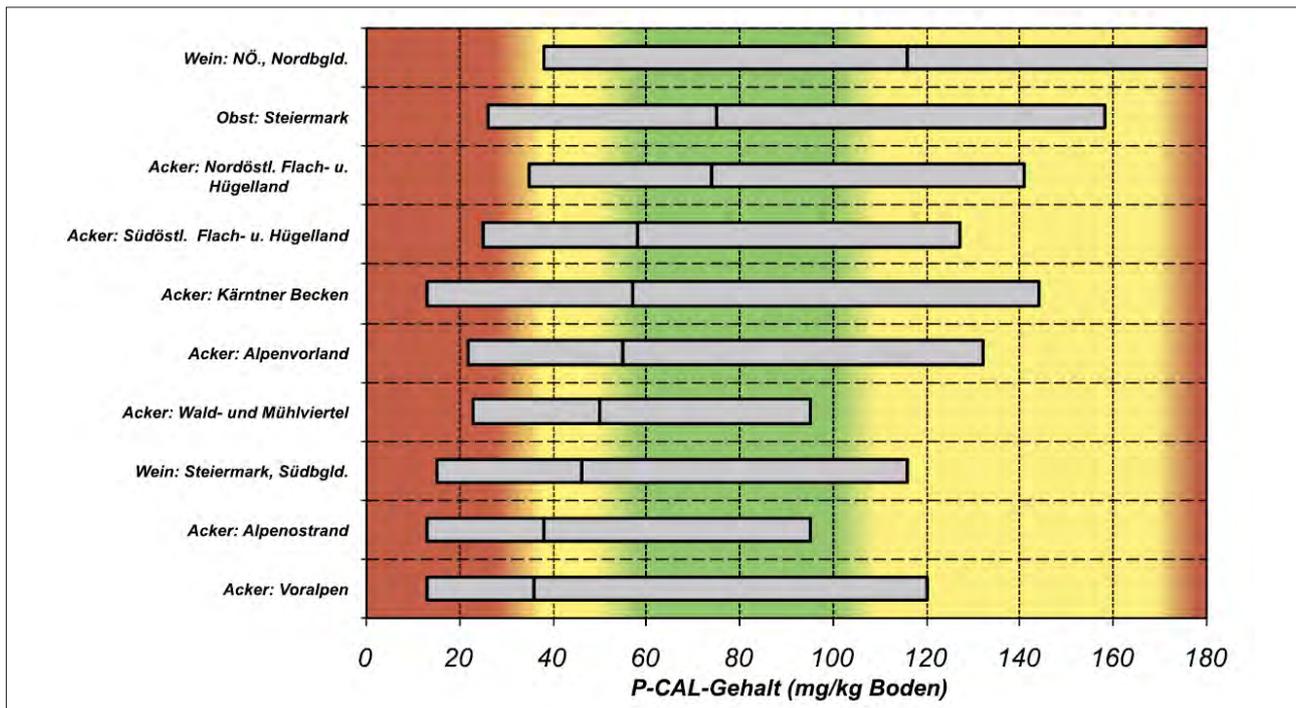


Abbildung 2: pflanzenverfügbare P – Gehalte im Ackerland und auf wein- und obstbaulich genutzten Flächen

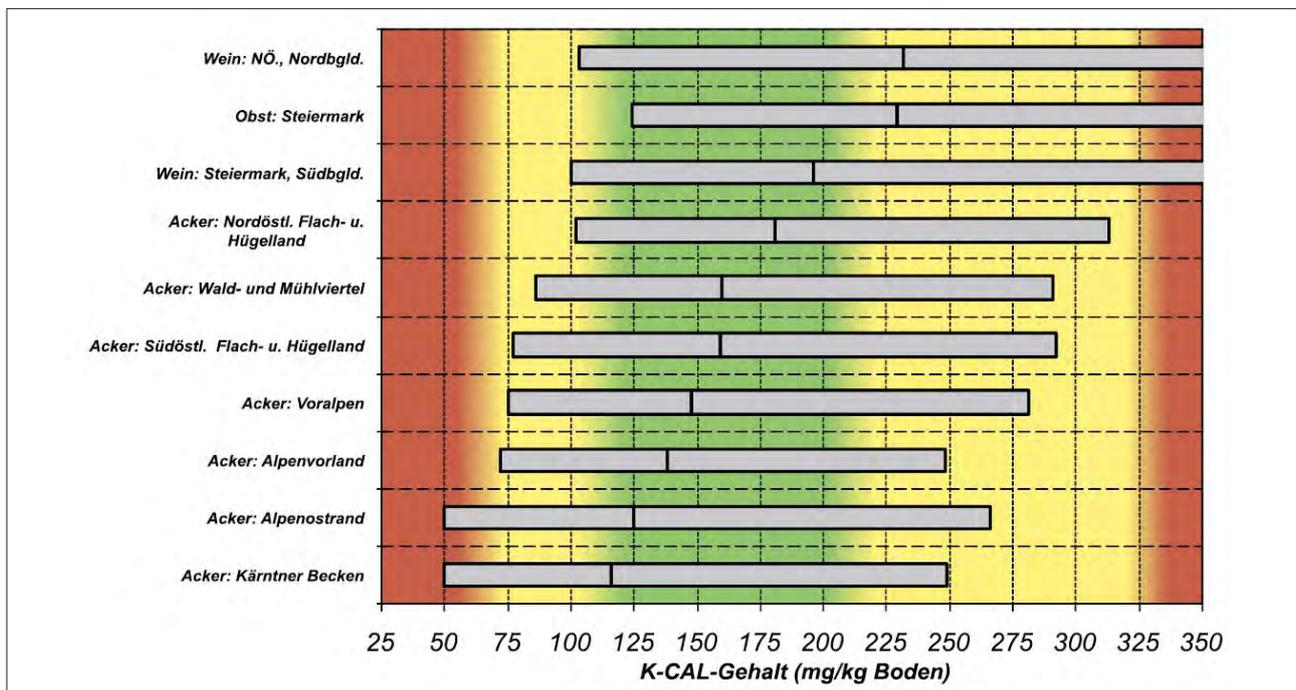


Abbildung 3: pflanzenverfügbare K – Gehalte im Ackerland und auf wein- und obstbaulich genutzten Flächen

Effekte auf den Humusgehalt durch Bewirtschaftungsänderungen sind nicht kurzfristig, sondern erst mittel- bis längerfristig feststellbar. Es wurde daher die Periode vor Einführung des ÖPUL (1991 - 1995) mit den aktuellen Daten verglichen (2006 - 2009). Dabei zeigte sich einerseits das unterschiedliche Ausgangsniveau verschiedener Regionen, das den Einfluss der Standortfaktoren deutlich widerspiegelt. Andererseits ist erkennbar, dass es in den

letzten 20 Jahren zu einer Erhöhung der Humusgehalte gekommen ist. Diese günstige Entwicklung ist sicherlich wesentlich auf ÖPUL-Maßnahmen (z. B. Begrünung von Ackerflächen, Mulch- und Direktsaat, Begrünung und Mulchen im Weinbau) zurückzuführen. Hinzuweisen ist auch darauf, dass 1993 das Verbot des Strohverbrennens in Kraft trat und zudem seither die Böden tendenziell weniger intensiv bearbeitet werden.

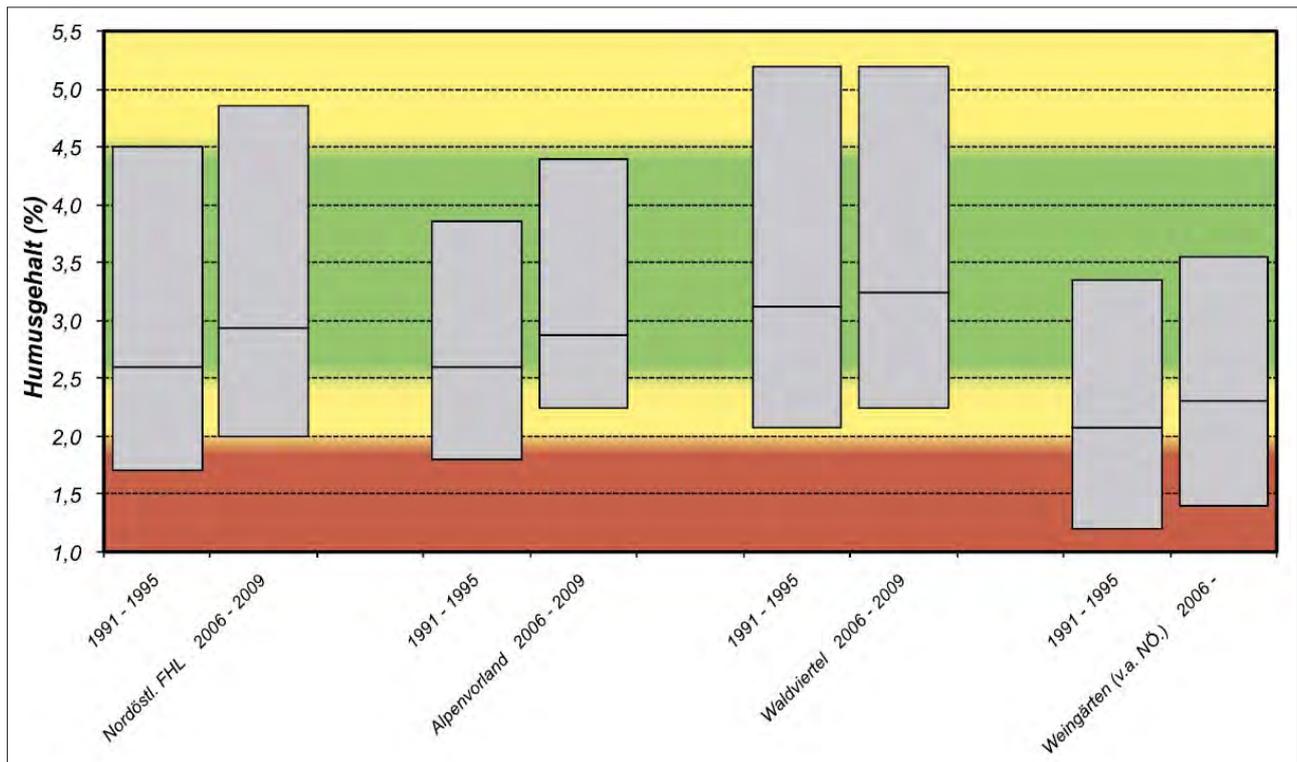


Abbildung 4: Entwicklung der Humusgehalte auf Ackerland und in Weingärten in ausgewählten Regionen von 1991 - 1995 bis 2006 - 2009

Boden und Klimaschutz

Böden spielen eine wichtige Rolle für den Klimaschutz, da in ihnen enorme Mengen an organischem Kohlenstoff gebunden sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass Maßnahmen zur Humuskonservierung oder -steigerung entsprechend positiv wirken. Die Ergebnisse der Humusbilanzen für drei unterschiedliche Varianten der Humusumsetzung zeigen, dass eine biologische Bewirtschaftung und der Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerflächen den Humusgehalt positiv beeinflussen. Beide Maßnahmen sind humusschonend, zum Teil auch humusaufbauend und leisten somit einen Beitrag zum Klimaschutz.

Um erstmals die Änderungen des Kohlenstoffgehalts in Ackerböden Österreichs trotz vieler Unsicherheiten zu ermitteln, wurden Faktoren für die Boden-Bewirtschaftungsmaßnahmen abgeleitet und den ÖPUL-Maßnahmen entsprechend national hochgerechnet: Im Jahr 2007 wurden ungefähr 221.000 Tonnen an Kohlendioxid in Österreichs Ackerböden gebunden, das entspricht einer durchschnittlichen Kohlenstoffbindung von 43 kg pro Hektar und Jahr oder 3 % der Gesamtemissionen aus dem Sektor Landwirtschaft.

Die Lachgas-Emissionen aus der Landwirtschaft machen etwa 48 % der gesamten Treibhausgasemissionen dieses Sektors aus. Sie resultieren aus der direkten Aufbringungsmenge von organischem und mineralischem Dünger sowie den Stickstoffumsätzen in Böden (z. B. Mineralisierung). Effektiver und zielgerichteter Düngereinsatz sind daher wichtige Klimaschutzmaßnahmen.

Um die Reduktion von Lachgas-Emissionen durch die ÖPUL-Maßnahmen abschätzen zu können, wurden Referenzszenarien angenommen, die eine Situation ohne ÖPUL-Maßnahmen unterstellen. Die damit ermittelte Reduktion der Lachgasmenge entspricht 0,5 bis 2,4 % der Gesamtemissionen (CO_2 -Äquivalente) aus der Landwirtschaft.

Boden und Grundwasserschutz

Neben der unmittelbaren Wasserspeicher- und Wasserleitfähigkeit des Bodens hat das Bodenmanagement (Bodenbearbeitung, Bodenbedeckung, Düngung) großen Einfluss auf die Menge und die Qualität des neugebildeten Grundwassers. Vor allem die Begrünung von Ackerflächen vermindert die Nitratversickerung in den Untergrund: Entscheidend für diesen Effekt sind der zeitgerechte Anbau, eine hohe Aufwuchsmenge und die damit einhergehende hohe Stickstoffaufnahme durch die Begrünungspflanzen. Die verminderten N-Düngegaben bei vielen Maßnahmen tragen auch zur Verringerung von N-Überschüssen bei und führen zu einer Verringerung der Nitratauswaschung. Entscheidend für den Effekt im Grundwasserkörper ist die Akzeptanz und Teilnahmequote an den ÖPUL-Maßnahmen, die jedoch regional unterschiedlich ist: Im Zeitraum 2004 bis 2007 lag die Beteiligung in Niederösterreich bei ca. 90 % der Betriebe, in Oberösterreich zwischen 70 % und 80 % und in der Steiermark bei 20 % bis 30 %.

Die Effektivität von Gewässerrandstreifen zum Schutz von Oberflächengewässern, eine weitere im ÖPUL geförderte Aktivität, war einerseits durch eine sehr hohe potenzielle

Schutzwirkung hinsichtlich einer Reduktion von Boden- bzw. Nährstoffeinträgen in Gewässer geprägt. Andererseits war jedoch die Teilnahmequote für diese Maßnahme gering. Letztendlich war daher keine nennenswerte Schutzwirkung für Oberflächengewässer gegeben.

Literatur

BMLFUW, 2011: Halbzeitevaluierungsbericht 2010 des Programms LE 07-13. http://www.lebensministerium.at/land/laendl_entwicklung/evaluierung/le_berichte/eval.html

Maßnahmen in der Landwirtschaft zum Schutz der Gewässer in Südtirol

Giovanni Peratoner^{1*} und Elmar Stimpff²

Zusammenfassung

Die Werte des Südtiroler Messnetzes zur Überwachung der Oberflächengewässer und der Grundwasserkörper zeigen, dass die Nitratbelastung der Gewässer im Allgemeinen niedrig ist. Im Raum Bruneck, in dem seit den 90er Jahren ein Anstieg der Nitratbelastung verzeichnet wird, wurde seit 2005 eine Sensibilisierungsaktion durchgeführt, bei der Landwirte, Forschung, Landesverwaltung und Berufsbildung an einer Verbesserung der Situation auf freiwilliger Basis zusammenarbeiteten. Durch eine intensive Beratungstätigkeit und die Bereitschaft der Landwirte, einige Aspekte der eigenen Bewirtschaftung zu ändern, konnte eine Verbesserung der N-Bilanzen bewirkt werden. Vor allem der Einsatz von Mineräldüngern und der Anbau von Winterzwischenfrüchten änderten sich im positiven Sinne. Die aktuellen Werte der N-Bilanzen liegen allerdings noch nicht in einem unbedenklichen Bereich. Eine weitere Senkung der Bilanzwerte ist wahrscheinlich notwendig, um eine Senkung des Nitratgehaltes im Grundwasser zu bewirken.

Schlagwörter: Stickstoffbilanz, Bewirtschaftung, Beratung, Nitratauswaschung, Gewässerschutz

Summary

The measurements of the network monitoring the water quality in South Tyrol show that the nitrate pollution of water bodies is generally low. In the area of Bruneck, denoting a steady increase of the nitrate pollution since the 90ies, an action was conducted, aiming at raising awareness about this issue. Farmers, research, local administration and educational institutions cooperated voluntarily at improving the situation. Through an intensive consultancy and the willingness of the farmers to modify some aspects of the cultivation technique it has been possible to achieve an improvement of the N-balance. Especially the use of mineral fertilisers and the cultivation of cover crops were positively affected. However, the current N-balances are not harmless yet and should be further improved to achieve a decrease of the nitrate pollution in the groundwater.

Keywords: nitrogen balance, management, consultancy, nitrate leaching, water protection

Einleitung

Die Umsetzung der Nitratrichtlinie 91/676/EWG (ANONYM 1991) erfolgte in Italien durch das gesetzvertretende Dekret Nr. 152 vom Jahr 2006 (ANONYM 2006). In Südtirol wurde der gesetzliche Rahmen durch das Landesgesetz vom 18. Juni 2002, Nr. 8 „Bestimmungen über die Gewässer“ (ANONYM 2002b) geschaffen, und in der Durchführungsverordnung zum Landesgesetz, dem Dekret des Landeshauptmannes vom 21. Jänner 2008 Nr. 6 (ANONYM 2008), wurden schließlich die Bestimmungen zur fachgerechten Landwirtschaft zur Verminderung oder Begrenzung der Gewässerverunreinigung festgelegt. Diese Bestimmungen umfassen die Kriterien und Beschränkungen für die Ausbringung von Düngern (z.B. die Ausbringung von Düngern im Winter, in der Nähe von Gewässern, Straßen und Wohnsiedlungen sowie auf Weiden), die Ausbringungsmengen, das Fassungsvermögen und die Bauweise von Lagerstätten. Außerdem wurden die Bestimmungen zum Einsatz von Biogasanlagen und die Kriterien für die Ausweisung von nitratgefährdeten Gebieten festgelegt. Die Überwachung der gesetzlichen Bestimmungen erfolgt in Südtirol zum einen durch die Umweltbehörden der

Landesverwaltung und der Gemeinden und zum anderen durch die Forstbehörde im Rahmen der Cross-Compliance-Kontrollen.

Im Allgemeinen ist die Nitratbelastung der Gewässer in Südtirol als niedrig einzustufen. Die Nitratgehalte der Oberflächengewässer liegen meist zwischen 1 und 5 mg/l, nur der Kalterer Graben weist Werte um 8 mg/l auf. Zur Überwachung der Grundwasserkörper in der Talsohle wurde in Südtirol in Anwendung des gesetzvertretenden Dekrets 152/1999 (ANONYM 1999) ein Netz von 25 fixen Probenahmestellen eingerichtet, wo eine monatliche Beprobung vorgesehen ist. Die untersuchten Grundwasserkörper weisen mit Ausnahme von 2 Messpunkten (Bruneck und Neumarkt) Nitratgehalte unter 20 mg/l. Der Grenzwert von 50 mg/l wird an keinem Messpunkt des Kontrollnetzes überschritten. Daher musste in Südtirol bisher noch kein nitratgefährdetes Gebiet im Sinne der Nitratrichtlinie ausgewiesen werden, und es traten keine verpflichtenden Aktionsprogramme für die Landwirte in Kraft.

Am stärksten mit Nitrat belastet ist das Grundwasser im Raum Bruneck (Pustertal, Südtirol). Die Nitratgehalte im Wasser des Kontrollbrunnens der Stadtwerke Bruneck in

¹ Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, Pfatten, I-39040 AUER

² Amt für Gewässerschutz, Autonome Provinz Bozen, Michael Pacher Haus, Kapuzinerplatz 3, I-39031 BRUNECK

* Ansprechpartner: Dr. Giovanni Peratoner, giovanni.peratoner@provinz.bz.it

Stegen sind beispielsweise von 15 mg/l im Jahr 1996 auf 38 mg/l im Jahr 2006 angestiegen. Die hohe Nitratbelastung des Grundwassers im Raum Bruneck hängt damit zusammen, dass dort seit vielen Jahren intensive Viehwirtschaft betrieben wird und somit hohe Stickstofffrachten auf die Felder gelangen. Begünstigt wird die Nitratauswaschung auch dadurch, dass in diesem Gebiet die leichten Sandböden mit einem hohen Steinanteil überwiegen (STIMPFL et al. 2006). Eine Untersuchung im Einzugsgebiet hat gezeigt, dass gerade dort, wo Mais angebaut wird, die Gehalte an Phosphat und Kali hoch bis sehr hoch waren. Auch die N_{\min} -Gehalte, bezogen auf eine Schichttiefe von 0 bis 60 cm, lagen bei dieser Kultur sogar im Oktober noch bei 170 kg/ha (EGGER et al. 2005). Daten aus der vorliegenden Untersuchung ergeben, dass zwischen 2005 und 2009 der flächenmäßige Anteil von Silomais im Einzugsgebiet ungefähr 32% war. All diese Faktoren haben somit zu einem starken Anstieg des Nitratgehaltes im Grundwasser geführt.

Bereits seit dem Jahr 2005 wurde daher auf Initiative des Amtes für Gewässerschutz mit den betroffenen Landwirten im Brunecker Talkessel ein intensives Beratungsprogramm von Seiten des Versuchszentrums Laimburg in Zusammenarbeit mit der Abteilung Landwirtschaft und der Abteilung Land-, forst- und hauswirtschaftliche Berufsbildung durchgeführt. Ausgehend von einer Stickstoffbilanz hat jeder Betrieb Einzelberatungen erhalten, so dass schließlich die Stickstoffbilanzen verbessert werden konnten. In den Jahren 2006 bis 2011 hat sich der Nitratgehalt bei durchschnittlich 38 mg/l eingependelt. Im folgenden Beitrag wird das Projekt zur Verminderung des Stickstoffeintrages in das Grundwasser im Brunecker Talkessel vorgestellt und diskutiert.

Material und Methoden

Im Rahmen einer anfänglichen Informationsveranstaltung im Jahr 2005 wurden die Bauern im Brunecker Raum über die Lage der Nitratbelastung und die landwirtschaftlichen Maßnahmen zur Minimierung der Nitratsbelastung im Grundwasser informiert. Gleichzeitig wurde eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe ins Leben gerufen, deren Ziel eine Sensibilisierung der Bauern zur Problematik der Nitratbelastung des Grundwassers war. In der Arbeitsgruppe waren Forschung (Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg), Landesverwaltung (Amt für Gewässerschutz, Abteilung Landwirtschaft) und landwirtschaftliche Berufsbildung (Fachschule für Landwirtschaft, Bergbauernberatung) involviert. Durch die Sensibilisierung wollte man eine konkrete Änderung der Bewirtschaftungsmaßnahmen und eine Verminderung der Nitratauswaschung im Untersuchungsgebiet erreichen. Alle Betriebe im Brunecker Raum wurden einzeln eingeladen, auf freiwilliger Basis an der Aktion teilzunehmen. Mit einer einzigen Ausnahme war es möglich, alle Betriebe im betroffenen Gebiet (26) mit einzubeziehen. Als Basis für die Betriebsberatung wurden ab dem Jahr 2005 jährliche Stickstoffbilanzen für jeden Betrieb errechnet. Am Ende des Winters wurden die Betriebe von einem Mitglied der Arbeitsgruppe einzeln besucht und die Daten des vorangegangenen Jahres erhoben. Dabei wurden den Bauern Formulare für die Datenerhebung in Form eines Düngungskalenders zur Verfügung gestellt. Ein Teil der Daten wurde betriebsbezogen (Angaben zum

Tierbestand, mit anderen Betrieben ausgetauschte Wirtschaftsdüngermengen), andere Daten wurden schlagbezogen erhoben (Angaben zu den Kulturen, Schnitthäufigkeit für das Grünland, verwendete Sorten für den Silomaisanbau, Anbau von Winterzwischenfrüchten, Menge und Zeitpunkt der Ausbringung von Mineral- und Wirtschaftsdüngern, Art des Wirtschaftsdüngers). Pachtflächen wurden nur für die Bilanz des pachtenden Betriebs herangezogen. Außerdem wurde das Interesse zur Aufnahme von Wirtschaftsdüngern aus anderen Betrieben bzw. die Bereitschaft zur Abgabe von eigenen überschüssigen Wirtschaftsdüngern an andere Betriebe sondiert und erhoben.

Die Bilanzen wurden sowohl auf der Ebene der einzelnen Schläge als auch auf Betriebsebene gerechnet (Abbildung 1). Dafür wurde eine geänderte Version des Kodex der „Guten landwirtschaftlichen Praxis“ (ANONYM 1999) herangezogen, in dem sowohl der N-Kreislauf als auch die N-Bilanz genau beschrieben sind. Die Schätzung des Stickstoffeintrags durch die Wirtschaftsdünger erfolgte über zwei Wege:

- Stickstoffeintrag, ausgehend vom Tierbestand (MT): Die Gesamtmenge der N-Ausscheidungen des Tierbestandes wurde nach GRUDAF (2009) unter Berücksichtigung der betrieblichen Milchleistung und der Alpengszeit errechnet. Davon wurden Lagerungs- und Ausbringungsverluste (nach AICHNER und HUBER 1994) sowie N-Mengen, die an andere Betriebe abgegebenen wurden, abgezogen. MT wird als bestmögliche Schätzung der auf Betriebsebene ausgebrachten N-Mengen herangezogen.
- Stickstoffeintrag, ausgehend von den ausgebrachten Mengen an Wirtschaftsdüngern (MW): Die N-Gesamtmenge wurde auf der Basis der ausgebrachten Mengen (m^3) an Wirtschaftsdüngern (Angabe der Bauern) errechnet. Diese Mengen wurden mit dem entsprechenden N-Durchschnittsgehalt für Südtirol (AICHNER und HUBER 1994) multipliziert.

Weitere N-Einträge wurden berücksichtigt: Mineraldüngung (Angabe der Bauern), N-Mineralisierung (GRUDAF 2009), N-Deposition (ANONYM 2002a) und N-Fixierung in Grünlandflächen (15 kg/ha/Jahr bei einem mittleren Leguminosenanteil von 4%).

MT wurde dann proportional zu den angegebenen MW-Werten auf die einzelnen Schläge verteilt. Dadurch konnte der Vorteil einer genaueren Schätzung der anfallenden N-Menge, die zum Beispiel von der Verdünnung unabhängig ist, mit den Aufzeichnungen der Bauern kombiniert werden, um N-Bilanzen auf Schlagebene zu bekommen.

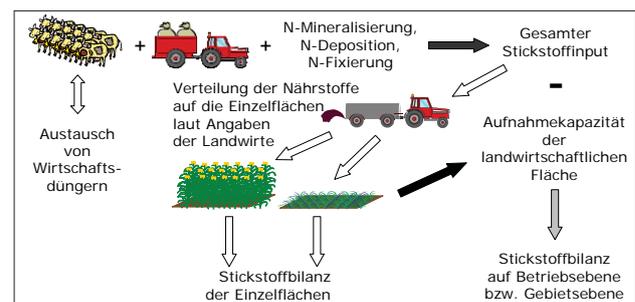


Abbildung 1: Ansatz zur Rechnung der Stickstoffbilanzen.

Eine methodische Abweichung war ab dem Jahr 2009 notwendig, da mehrere Betriebe Mitglieder eines neu gegründeten Biogaskonsortiums wurden und seitdem die eigenen Wirtschaftsdünger dorthin liefern und Gärrest von der Biogasanlage zurückbekommen. In solchen Fällen werden die N-Einträge in die einzelnen Schläge laut den Düngungsangaben in m³ seitens der Bauern und dem N-Gehalt des Gärrestes aufgrund von Laboruntersuchungen geschätzt. Da die Ausbringung durch Injizierung erfolgt, werden entsprechende Ausbringungsverluste abgezogen (SØGAARD et al. 2002). Die Aufnahmekapazität der einzelnen Schläge wurde nach GRUDAF (2009) gerechnet. Auch der Anbau von Zwischenfrüchten wurde dabei berücksichtigt: Die dadurch gebundene bzw. ausgetragene N-Menge wurde nach KASAL et al. (2004) geschätzt.

Die Ergebnisse der Stickstoffbilanzen wurden jährlich in einer persönlichen Beratung den einzelnen Bauern übermittelt und Möglichkeiten der Verbesserung der Bewirtschaftung hinsichtlich der Verminderung der Nitratauswaschung erörtert. Bei dieser Gelegenheit wurde auch jährlich eine Übersichtstabelle verteilt, in der Informationen bezüglich der Bereitschaft der Betriebe zum Austausch von Wirtschaftsdüngern enthalten waren. Die Bauern wurden außerdem in zweijährigem Takt bei Informationsveranstaltungen über den Verlauf der Nitratwerte im Grundwasser und der kumulierten N-Bilanzen für das Untersuchungsgebiet informiert. Die Arbeitsgruppe traf sich hingegen jährlich, um gemeinsame Beratungsstrategien zu erarbeiten und die Datenerhebung zu koordinieren.

Parallel zur Erstellung der Stickstoffbilanzen wurden außerdem zwischen 2005 und 2009 Feldversuche zum Einfluss der Düngung und verschiedener Methoden zur Verminderung der Nitratauswaschung auf den Silomais durchgeführt (PERATONER und SCHWIENBACHER 2006, PERATONER und STIMPFL 2006). Diese Ergebnisse wurden zur fachlichen Unterstützung der lokalen Beratung herangezogen.

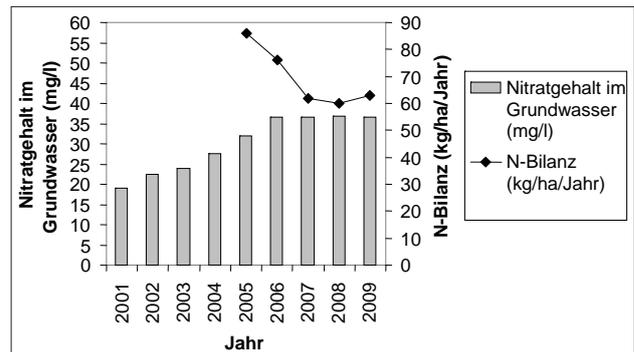


Abbildung 2: Verlauf des Nitratgehaltes und der Stickstoffbilanzen zwischen 2001 und 2009.

Ergebnisse und Diskussion

Die N-Bilanzen nahmen in den ersten zwei Jahren nach Beginn der Beratung relativ stark ab, blieben aber seit dem Jahr 2007 in einem Bereich von etwa 60 kg/ha/Jahr (Abbildung 2). Insgesamt handelt es sich um eine Abnahme von 26% im Vergleich zum Anfangswert. In demselben Zeitraum flachte die Kurve des Nitratgehaltes im Grundwasser ab. Es gibt keinen wissenschaftlichen Beweis eines kausalen Zusammenhanges der zwei Größen, es ist allerdings ziemlich wahrscheinlich, dass die Sensibilisierungsaktion zur Änderung des vorherigen Trends des Nitratgehaltes positiv beigetragen hat.

Die erhobenen Daten zeigen, dass die Landwirte in erster Linie den eigenen Mineraldünger-Verbrauch nach und nach einschränkten (-70%). Diese Tendenz setzte sich bis ins Jahr 2009 fort (Abbildung 3). Da dieser Trend bis jetzt noch keine Umkehrung gezeigt hat, ist anzunehmen, dass die Bauern einen wirtschaftlich und/oder pflanzenbaulich nicht sinnvollen Einsatz des Mineraldüngers durch die Beratung und die eigene Erfahrung erkannt haben. Der gesamte Tierbestand im Gebiet und die landwirtschaftliche Nutzfläche

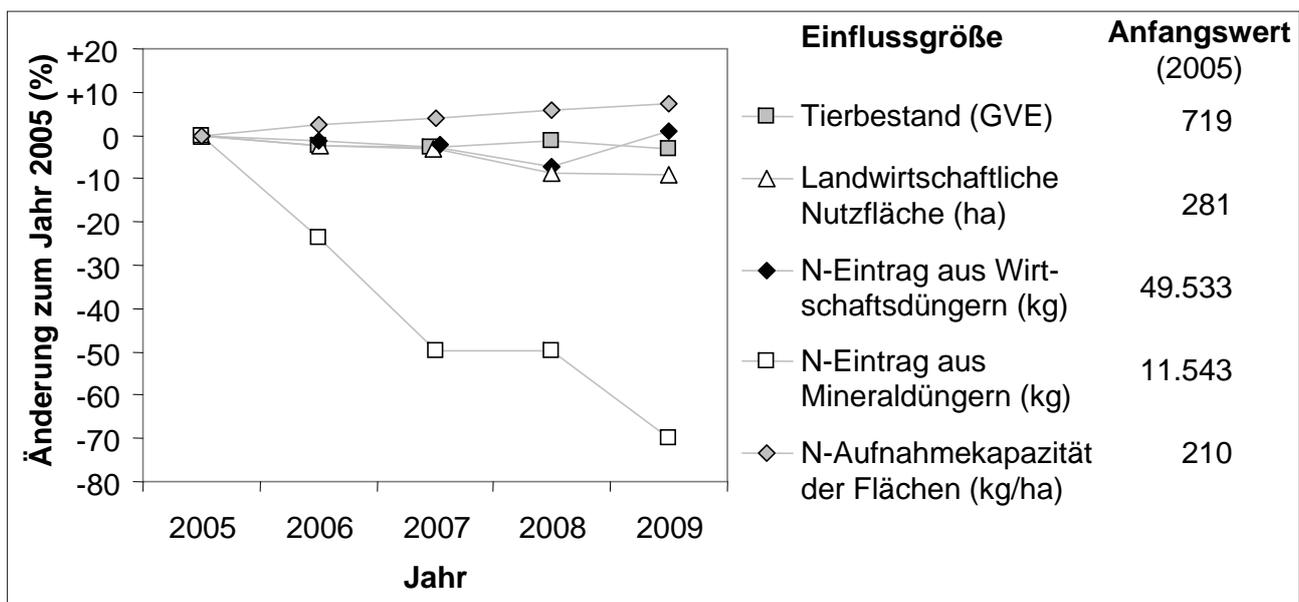


Abbildung 3: Verlauf einiger ausgewählter Einflussgrößen der N-Bilanzen zwischen 2005 und 2009.

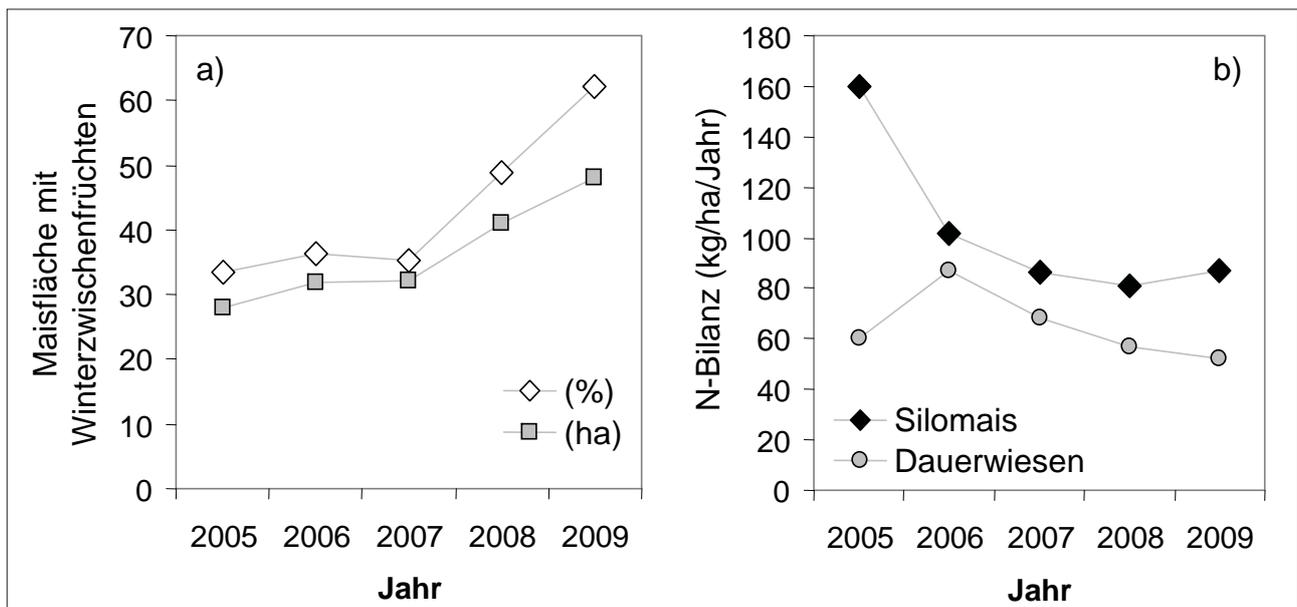


Abbildung 4: Verlauf a) des Anbaus von Winterzwischenfrüchten in Kombination mit Silomais und b) der kulturspezifischen N-Bilanzen für Dauerwiesen und Silomais.

Tabelle 1: Ausgetauschte Stickstoffmengen (kg) in den Jahren 2007 bis 2009.

	2007	Jahr 2008	2009
Abgegeben	2.658	5.175	2.290
Aufgenommen	1.863	2.743	160

wiesen hingegen nur einen sehr leichten Rückgang auf. Es ist auffallend, dass der N-Eintrag aus Wirtschaftsdüngern eine Kursänderung im Jahr 2009 aufwies. Dieser Verlauf stimmt mit der leichten Zunahme der Bilanzen im selben Jahr (+ 6% im Vergleich zum Vorjahr) überein. Dieser Effekt lässt sich mit der Inbetriebnahme der Biogasanlage erklären. In der Tat berücksichtigt die N-Bilanz die reduzierten Ausbringungsverluste bei der Injizierung der Biogassgülle, und bei kaum verändertem Tierbestand und landwirtschaftlicher Nutzfläche führte das zum Anstieg der N-Bilanzen.

Die N-Aufnahmekapazität der Flächen verbesserte sich kontinuierlich über die Zeit. Das ist vor allem auf die stetige Zunahme des Anbaus von Winterzwischenfrüchten (Winterroggen) zurückzuführen, welcher besonders in Kombination mit dem Silomaisanbau stattfand. Schon zu Beginn der Sensibilisierungsaktion war ein Drittel der Silomaisfläche mit Winterzwischenfrüchten angebaut, im Jahr 2009 hatte dieser Flächenanteil bereits 60% erreicht (Abbildung 4a). Bemerkenswert sind auch die durchschnittlichen Änderungen der N-Bilanzen nach Kulturarten. Bei Silomaisflächen fand eine deutliche Reduzierung der kulturspezifischen N-Bilanz statt, während die N-Bilanz des Grünlands nach einem anfänglichen Anstieg, der dem Abstieg beim Silomais entgegengesetzt war, ungefähr auf das Niveau des Anfangsjahres (oder leicht darunter) zurückkehrte (Abbildung 4b).

Die erhobenen Daten weisen darauf hin, dass ein gewisser Austausch von Wirtschaftsdüngern in den Jahren zwischen

2007 und 2009 stattfand (Tabelle 1). Es ist auffallend, dass die abgegebene und aufgenommene Stickstoffmenge nicht übereinstimmen, so dass die abgegebene Menge meistens wesentlich höher war als die aufgenommene. Zum Teil ist das auf den Export von Wirtschaftsdüngern außerhalb des Untersuchungsgebietes zurückzuführen, könnte aber von Ungenauigkeiten bei der Schätzung der ausgetauschten Menge stark beeinflusst worden sein.

Schlussfolgerungen

Die beschriebenen Maßnahmen führten zu einer Verbesserung der Ausgangssituation, die N-Bilanzen sind aber noch nicht in einem unbedenklichen Bereich. Niedrigere Bilanzwerte sind voraussichtlich notwendig, um eine Senkung des Nitratgehaltes im Grundwasser zu bewirken. Die Landwirte arbeiteten hauptsächlich an der Verminderung der Nitratauswaschung durch eine Änderung ihrer Bewirtschaftungsstrategien (verminderter Einsatz von Mineraldüngern, vermehrter Anbau von Winterzwischenfrüchten) und zeigten eine gewisse Bereitschaft zur Umverteilung der Nährstoffüberschüsse durch den Austausch zwischen wirtschaftsdüngerreichen und -armen Betrieben. Eine weitere deutliche Verbesserung der N-Bilanzen kann wohl nur über eine Reduzierung des Tierbestandes erreicht werden, beispielsweise durch einen Abbau des Tierbestandes und/oder eine Erweiterung der bewirtschafteten Flächen.

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei den Mitgliedern der Arbeitsgruppe (Ulrich Figl, Astrid Geier, David Messner, Michael Monthaler, Robert Obwegs, Paul Steger, Georg Tschurtschenthaler) für die Mitarbeit bei der Datenerhebung und der Durchführung der Beratungen herzlich bedanken.

Literatur

- AICHNER, M. und W. HUBER, 1994: Die Düngung von Grünland und Acker nach Ergebnissen der Bodenuntersuchung. Agrikulturchemisches Laboratorium Laimburg.
- ANONYM, 1991: Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutze der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (91/676/EWG).
- ANONYM, 1999: Decreto ministeriale 19 aprile 1999, „Approvazione del codice di buona pratica agricola“, G.U. n° 102 S.O. n° 86 del 4 maggio 1999.
- ANONYM, 2002a: Durchführung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. Zusammenfassung der Berichte der Mitgliedstaaten für das Jahr 2000. Europäische Kommission, Generaldirektion Umwelt.
- ANONYM, 2002b: Landesgesetz vom 18. Juni 2002, Nr. 8 „Bestimmungen über die Gewässer“, Art. 44.
- ANONYM, 2006: Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, „Norme in materia ambientale“.
- ANONYM, 2008: Dekret des Landeshauptmannes vom 21. Jänner 2008, Nr. 6 Durchführungsverordnung zum Landesgesetz vom 18. Juni 2002, Nr. 8, betreffend „Bestimmungen über die Gewässer“, III Kapitel.
- EGGER, P., E. STIMPFL, P. SEIDEMANN und E. SCARPERI, 2005: Falsches Düngen hat schwere Folgen. Der Südtiroler Landwirt 59, 47-48.
- GRUDAF, 2009: Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung 16, 1-97.
- KASAL, A., E. WERTH, F. SCHWIENBACHER und K. GALLMETZER, 2004: Richtiger Anbau von Winterzwischenfrüchten. Der Südtiroler Landwirt 58, 61.
- PERATONER, G. und F. SCHWIENBACHER, 2006: Jetzt kommt die Zeit für Winterroggen. Der Südtiroler Landwirt 60, 46-47.
- PERATONER, G. und E. STIMPFL, 2006: Versuche mit Maisuntersaaten in Südtirol. Der Südtiroler Landwirt 60, 59-60.
- STIMPFL, E., M. AICHNER, C. THALER, A. VIDONI, O. ANDREAUS und A. CASSAR, 2006: Zustandserhebung der Südtiroler Böden im Grünland. Laimburg Journal 3, 2-73.
- SØGAARD, H.T., S.G. SOMMER, N.J. HUTCHINGS, J.F.M. HUIJSMANS, D.W. BUSSINK and F. NICHOLSON, 2002: Ammonia volatilization from field-applied animal slurry - the ALFAM model. Atmospheric Environment 36, 3309-3319.

Grundwasserschutz im Murtal

Johann Fank^{1*}

Zusammenfassung

Das Murtal von Graz bis Radkersburg stellt einen bedeutenden Aquifer dar, aus dem die Bevölkerung im Umkreis von etwa 100 km mit Trinkwasser versorgt wird. Aus der Analyse des zeitlichen Verlaufes der Nitratkonzentration im Grundwasser des Murtal-Aquifers ist eine eindeutige Verbesserung des Qualitätszustandes trotz intensiver Grundwasserschutzmaßnahmen durch die Verordnung von Grundwasserschongebieten nicht erkennbar.

Zur Erreichung einer Grundwasserqualität, die eine Nutzung zu Trinkwasserzwecken flächendeckend erlaubt, scheinen folgende Maßnahmen unverzichtbar:

- Düngebemessung nach den Richtlinien für sachgerechte Düngung auf Basis einer mittleren Ertragslage für die Region
- Verzicht auf die Ausbringung von stickstoffhaltigem Dünger im Herbst
- Anlage winterharter Gründecken
- Minimierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln.

Um die Umsetzung zu gewährleisten sind folgende Aktivitäten notwendig:

- Aus- und Weiterbildung der Landwirte
- Anlage und Führung von Musterflächen
- Erstellung eines Nitratinformationsdienstes (Internet-basiert)
- Unterstützung der Landwirte in der Beratung durch Bilanzberechnungen.

Schlagwörter: Grundwasserschutz, Murtal, Nitrat, Pestizide, ordnungsgemäße Landwirtschaft

Summary

The Murtal-valley is a very important quaternary aquifer for drinking water supply in a radius of about 100 km. Analyses of Nitrate concentration time series of groundwater samples show that there are no significant improvements of groundwater quality visible due to intensive groundwater protection measures.

Following measures seem to be necessary to achieve the goal to make the ground-water in the Murtal-valley useable as drinking water:

- Farming based on the guidelines for appropriate fertilization (on mean yield level)
- Abdication of fertilization with nitrogen in autumn
- Using of cover crops during winter months
- Minimizing the use of pesticides and herbicides.

Following activities will ensure the implementation:

- Advanced training of the farmers
- Implementation of monitoring and demonstration areas
- Implementation of a nitrate information service (Internet-based)
- Input / Output balancing of nitrogen on field scale

Keywords: groundwater protection, Mur-valley floor aquifer, nitrate contamination, pesticide contamination, agriculture according to given rules

Einleitung

Das Murtal von Graz bis Radkersburg wird in die drei Teilbecken Grazer Feld, Leibnitzer Feld und Unteres Murtal gegliedert. 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 Grundwasser-

leiters 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 geringmächtigen feinklastischen Böden die ungesättigte Zone. Abhängig von der Niederschlagsmenge von 800 bis 950 mm im Jahr und den unterschiedlich ausgebildeten Böden beträgt die Grundwasserneubildung im Jahr zwischen 250 und 450 mm. Insgesamt weisen die drei Teilbecken des

¹ Joanneum Research, Resources - Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit - Wasser Ressourcen Management, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

* Ansprechpartner: Univ.DoZ. Dr. Johann Fank, johann.fank@joanneum.at

Murtal-Grundwasserleiters südlich von Graz eine Fläche von mehr als 300 km² auf, das darin gespeicherte und in erster Linie über infiltrierende Niederschlagswässer und der Wechselwirkung des Grundwassers mit den Oberflächengewässern neu gebildete Grundwasser wird zur Versorgung der Bevölkerung in einem Radius von etwa 100 km genutzt.

In Kombination mit der hervorragenden Qualität der Böden für den Ackerbau bildete sich im Zuge der Intensivierung ein Konfliktpotential zwischen der Landwirtschaft und der Wasserwirtschaft – die diese Aquifere intensiv für die Trinkwasserversorgung nutzt – heraus (FANK 1999). Die Intensivierung der Landwirtschaft auf den gut durchlässigen Böden der Schotterterrassen führte zu Qualitätsproblemen im Grundwasser, die sich in den 80er Jahren in einem steilen Anstieg der Nitratkonzentration im Grundwasser äußerten. Die Ausprägung dieser Entwicklung war im gesamten Untersuchungsgebiet zu verzeichnen, wies aber naturgemäß aufgrund der unterschiedlichen naturräumlichen Ausstattung und auch der unterschiedlichen Verteilung sonstiger Landnutzungsformen durchaus unterschiedliche Dimensionen in verschiedenen Teilbereichen auf. An einigen Wasserversorgungsbrunnen war die Einhaltung des gesetzlichen Grenzwertes der Nitratkonzentration und auch der Pestizidkonzentration im Grundwasser nicht mehr möglich. Neben der Nutzung des Raumes durch die Landwirtschaft eignen sich die Standorte der Niederterrasse hervorragend für die Entwicklung von Siedlungsräumen und Industrie- und Gewerbegebieten. Die Kiese und Sande des quartären Grundwasserleiters sind bestens für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe der Bauindustrie geeignet. Von diesen Nutzungsformen gehen auch potentielle Risiken für die Grundwasserqualität aus.

Grundwasserschutzmaßnahmen im Murtal – Grundwasserleiter südlich von Graz

Zum Schutz von Wasserversorgungsanlagen gegen Verunreinigung wurden durch Bescheid besondere Anordnungen über die Bewirtschaftung von Grundstücken getroffen. In den Jahren 1990 bis 1995 wurden die bestehenden Schutzgebiete für die Wasserversorgungsanlagen an die neuen Erkenntnisse und die daraus resultierenden Erfordernisse zum Schutz des Grundwassers angepasst (BAUER et al. 1995). Bereits Anfang der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts waren für die bedeutendsten Trinkwasserfassungen im Murtal zwischen Graz und Bad Radkersburg Grundwasserschongebiete eingerichtet worden, um eine Verminderung von Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser zu erreichen. Hauptziel war auch dabei bereits die landwirtschaftliche Bodennutzung. Nicht zuletzt aufgrund der Erkenntnisse der Untersuchungen am Versuchsfeld Wagna wurden die Schongebietsverordnungen im Jahre 1996 novelliert (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 1996). Darin wird darauf hingewiesen, dass die Regelung der Schongebietsverordnungen eine Präzisierung der Vorgaben des Wasserrechtsgesetzes im Verein mit dem Bodenschutzgesetz über die ordnungsgemäße landwirtschaftliche Bodennutzung hinsichtlich der Ausbringung von Düngemitteln darstellt. Bezüglich der Pflanzenschutzmitteleausbringung bestehen gesetzliche Bestimmungen durch

das landwirtschaftliche Chemikaliengesetz. Zusätzliche Maßnahmen werden hinsichtlich einer grundwasserträglichen Gestaltung der Fruchtfolge und damit der Dauer der Bodenbedeckung in der Ackernutzung definiert. Besonderes Gewicht wird auf den Einfluss der Standortverhältnisse auf den Eintrag von Dünge- und Pflanzenschutzmittel in das Grundwasser gelegt.

In der Folge wurden aufgrund der nicht zufrieden stellenden Qualitätsentwicklung des Grundwassers diese Schongebietsverordnungen mehrfach novelliert und eine Präzisierung verbotener Maßnahmen und wasserrechtlicher Bewilligungserfordernisse niedergeschrieben. Dies mündete schlussendlich im Jahr 2006 in einer Verordnung, die versuchte, die ackerbaulichen Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Maisanbau und teilweise auch mit dem Kürbis-anbau durch die Einführung von standortbezogenen Düngemengen und Fristen für die Wirtschaftsdüngerausbringung detailliert zu regeln. Auch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wurde versucht detailliert zu reglementieren. Hinsichtlich des Abbaues von Kies und Sand wurden bereits 1998 bis 2000 bzw. 2006 detaillierte Festlegungen über die Nutzung selbst und auch die Folgenutzung von Nass- und Trockenbaggerungen getroffen. Hinsichtlich der Nutzung des Raumes für die Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung und des daran gekoppelten Aufbaues der Raum-Infrastruktur wurden umfassende wasserrechtliche Bewilligungspflichten definiert. Aufgrund der gemessenen Grundwasserqualitätsproblematik lag das Schwergewicht der Maßnahmen und Anordnungen sowohl in den Schutz- als auch in den Schongebieten auf einer Reglementierung der ackerbaulichen Bewirtschaftung, wobei nahezu ausschließlich auf die Kulturführung von Mais und Kürbis Bedacht genommen wurde. Das Österreichische Wasserrechtsgesetz definiert im § 30, dass „alle Gewässer einschließlich des Grundwassers ... im Rahmen des öffentlichen Interesses ... so reinzuhalten“ sind, „dass ... Grund- und Quellwasser als Trinkwasser verwendet ... werden können“. Nachdem das Ziel aller Grundwasserschutzmaßnahmen in den Trinkwassereinzugsgebieten im Murtal-Grundwasserleiter auf der Erreichung eines der Grundwasserzustandsüberwachungsverordnung bzw. der Trinkwasserverordnung entsprechenden Qualitätszustandes (in erster Linie hinsichtlich der Nitratkonzentration im Grundwasser) war, wäre es aufgrund des Anspruches des flächendeckenden Grundwasserschutzes von Anfang an erforderlich gewesen, die Maßnahmen, die in den Schongebieten hinsichtlich der ackerbaulichen Bewirtschaftung vorgeschrieben waren, flächendeckend im gesamten Grundwassergebiet umzusetzen. Spezifische Grundwasserschutzmaßnahmen wurden aber ausschließlich für die Trinkwassereinzugsgebiete ausgewählter Wasserversorgungseinrichtungen (kommunal und überregional) definiert.

Auswirkungen von Grundwasserschutzmaßnahmen auf die Grundwasserqualitätssituation

Trotz des im Gesamten eher geringen Tierbestandes und der daraus verfügbaren N-Düngermenge aus Wirtschaftsdünger ist die Nitratbelastung des Grundwassers im quartären

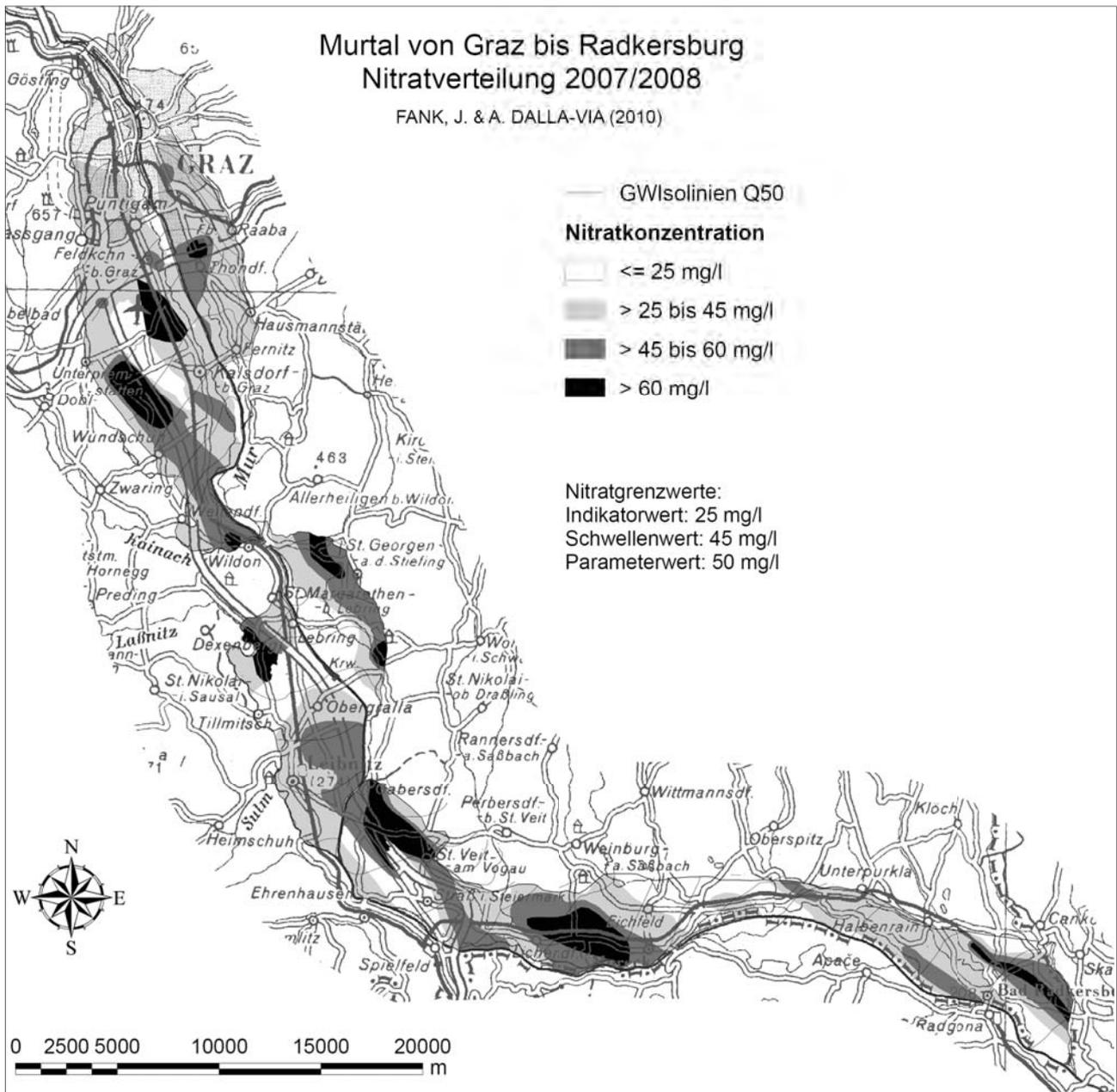


Abbildung 1: Mittlere langjährige Grundwasserströmungssituation und mittlere Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Murtales von Graz bis Bad Radkersburg.

Grundwasserleiter des Murtales südlich von Graz bis Bad Radkersburg deutlich erhöht. Diese Belastung ist auf eine langjährig zu intensive Stickstoffdüngung seitens der Landwirtschaft zurückzuführen. Die Auswertung in *Abbildung 1* 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.

Die Wechselwirkung des Grundwassers mit den Oberflächengewässersystemen – der Mur und den Nassbaggerungen – zeichnet sich auch in der Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Murtales ab. 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),

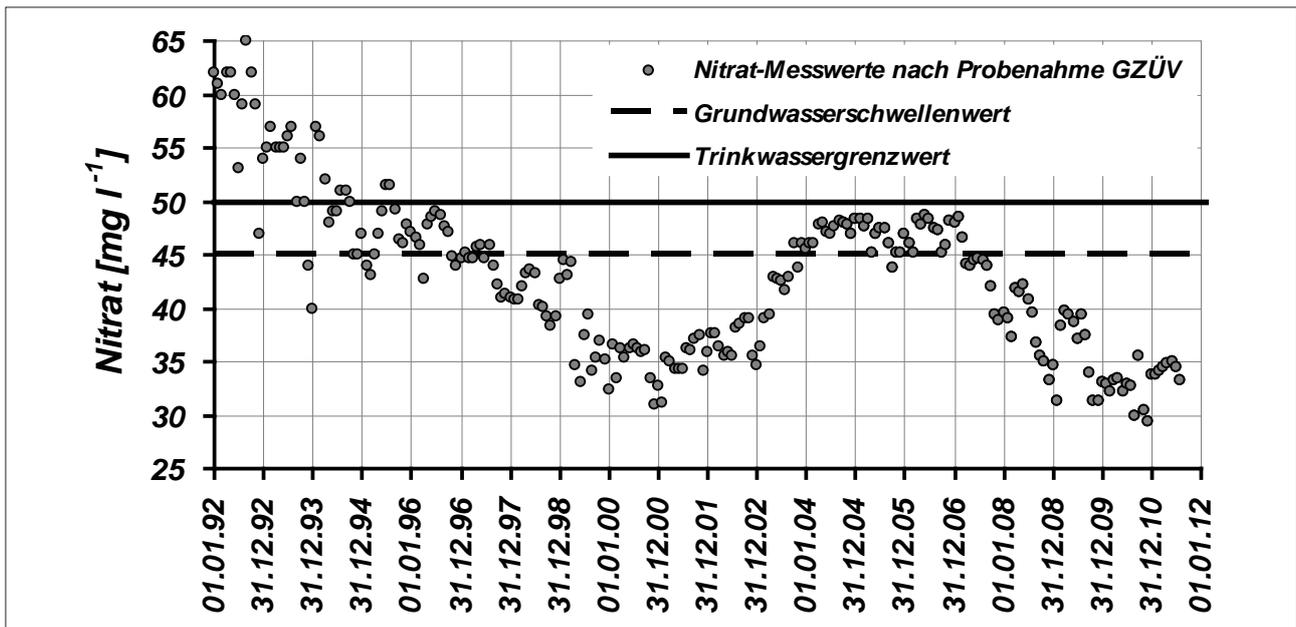


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser an der Messstelle Wagna von 1992 bis 2009. Analysedaten aus monatlichen Probenahmen nach den Richtlinien der Grundwasser-Zustandsüberwachungsverordnung (GZÜV).

- in denen 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),
- in denen 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 (Feldgemüsebaugbiet im westlichen Grazer Feld) und unter älteren Terrassen (Ribterrasse 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 2* 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. Etwa Anfang 2010 wurde der Rückgang der Nitratkonzentration durch einen gleichbleibenden Trend auf etwa dem Niveau der Jahre 2000 bis 2001 abgelöst.

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 Aubereich liegen oder die durch sonstige Interaktion mit Oberflächengewässern geprägt sind, ist dieser Anstieg oft auch gar nicht zu erkennen.

Jedenfalls belegen diese zeitlichen Entwicklungen, dass alleine aufgrund der Witterungssituation mit einer beträchtlichen Variabilität der Nitratkonzentration im Grundwasser gerechnet werden muss. Die Verdünnung über andere Eintragssysteme wird benötigt, um die langfristige flächenhafte Einhaltung des Trinkwassergrenzwertes im Grundwasser gewährleisten zu können.

In *Abbildung 3* ist die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Unteren Murtales im Raum Dornhof dargestellt. Dieser Teilbereich ist dadurch charakterisiert, dass aufgrund der Regulierung des Schwarzaubaches die Wechselwirkung des Grundwassers mit Oberflächengewässern ausschließlich in Form einer drainagierenden Wirkung erfolgt. Die Anreicherung des Grundwassers

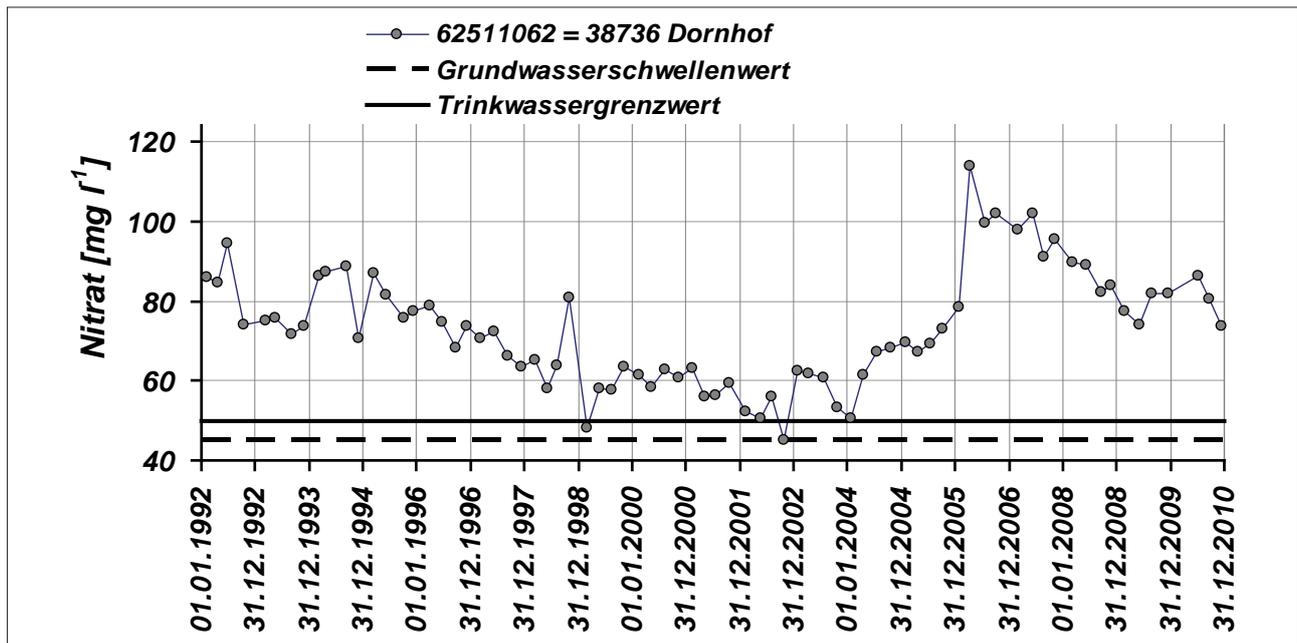


Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser an der Messstelle 62511062 von 1992 bis 2010. Analysedaten aus den Probenahmen im Rahmen der Grundwasser-Zustandsüberwachungsverordnung (GZÜV).

erfolgt in diesem Bereich nahezu ausschließlich über die Neubildung aus infiltrierenden Niederschlägen unter großteils ackerbaulich genutzten Bereichen.

Dieser Teilbereich des Grundwassers des Unteren Murtales wird wasserwirtschaftlich nicht durch kommunale, regionale oder überregionale Wasserversorgungseinrichtungen genutzt, die Grundwassernutzung erfolgt durch einzelne Hausbrunnen. Demgemäß wurden auch keine Schutz- oder Schongebiete ausgewiesen, die ackerbauliche Nutzung ist in diesem Bereich lt. Wasserrechtsgesetz bis zum Beweis des Gegenteiles ordnungsgemäß und erfordert keine gesonderte wasserrechtliche Bewilligung. Die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration zeigt praktisch für den gesamten bisherigen Beobachtungszeitraum von annähernd 20 Jahren Werte von $> 50 \text{ mg l}^{-1}$. Im Zeitraum von 1992 bis 2002 war ein kontinuierlicher Rückgang von etwa 85 auf annähernd 50 mg l^{-1} zu beobachten, darauf folgend war ein drastischer Anstieg auf Werte von $> 100 \text{ mg l}^{-1}$ zu erkennen, der 2006 wieder durch einen beginnenden Rückgang abgelöst wurde. Ende des Jahres 2010 lagen die Nitratwerte im Bereich von etwa 75 mg l^{-1} . Die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration ist auf einem deutlich höheren Niveau durchaus mit derjenigen an der Messstelle Wagna im Schongebiet „Westliches Leibnitzer Feld“ (Abbildung 2) vergleichbar, die Ursachen müssen aber jedenfalls in der Variabilität der Witterung bzw. den in der Region durch die Wirtschaftsentwicklung gesteuerten Prozessen der ackerbaulichen Bewirtschaftung gesucht werden, eine Steuerung durch Schongebiets-Vorschriften ist nicht wirksam.

In Abbildung 4 ist die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser an der Messstelle 62514202 im Raum Radkersburg Umgebung im Einzugsgebiet und Schongebiet des Brunnens Dedenitz dargestellt. Auch hier erfolgt die Grundwassererneuerung in erster Linie über

infiltrierende Niederschläge, eine Anreicherung des Grundwassers durch Oberflächengewässer ist nicht erkennbar.

Die Nitratkonzentration im Grundwasser an dieser Messstelle zeigt nahezu andauernd im gesamten bisherigen Messzeitraum von 1992 bis 2010 Werte über dem Schwellenwert von 45 mg l^{-1} nach der Grundwasserzustandsüberwachungsverordnung, bzw. überwiegend auch über dem Trinkwassergrenzwert von 50 mg l^{-1} . Die Nitratwerte weisen eine recht hohe Fluktuation zwischen 50 und etwa 80 mg l^{-1} auf, eine Relation der gemessenen Werte zu den in der Schongebietsverordnung bzw. deren Novellen festgelegten Einschränkungen der ackerbaulichen Bewirtschaftung ist nicht möglich. Eine Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser ist auch an diesem Standort trotz der Lage in einem intensiv geschützten Bereich nicht zulässig.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass aus der Analyse des zeitlichen Verlaufes der Nitratkonzentration im Grundwasser des Murtal-Aquifers eine eindeutige Verbesserung des Qualitätszustandes trotz intensiver Grundwasserschutzmaßnahmen durch die Verordnung von Grundwasserschongebieten nicht erkennbar ist. Eine Nutzung des Grundwassers für die Trinkwassergewinnung ist nur dort möglich, wo neben der Anreicherung des Grundwassers aus infiltrierenden Niederschlägen über ackerbaulich genutzte Gebiete auch andere Nutzungsformen der Landoberfläche (z.B. Waldgebiete, Siedlungsgebiete etc.) vorliegen, bzw. eine Anreicherung des Grundwassers durch die Wechselwirkung mit Oberflächengewässern (Flüsse bzw. Nassbaggerungen) erfolgt.

Wenn ordnungsgemäße Landwirtschaft so definiert wird, dass die relevanten Bestimmungen des Wasserrechtsgesetzes eingehalten werden, so kann die ackerbauliche Kulturführung im Murtal-Grundwasserleiter in großen Teilbereichen nicht als „ordnungsgemäße Landwirtschaft“

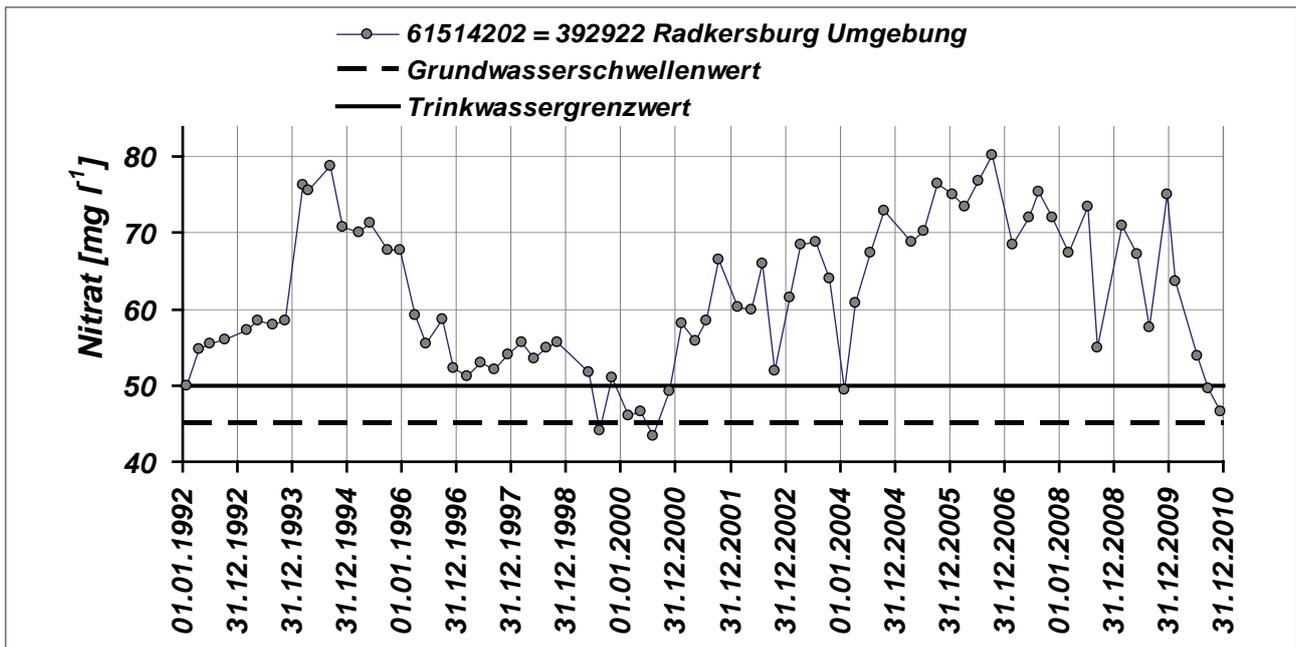


Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser an der Messstelle 62514202 von 1992 bis 2010. Analysedaten aus den Probenahmen im Rahmen der Grundwasser-Zustandsüberwachungsverordnung (GZÜV).

bezeichnet werden. Auch die Reglementierungen der ackerbaulichen Bewirtschaftung in den Schongebietsverordnungen sind nicht in der Lage, eine Nutzung des Grundwassers für die Trinkwassergewinnung zu gewährleisten, wiewohl umfassende Untersuchungen an Versuchs- und Musterflächen unter unterschiedlichen Bodenverhältnissen belegen, dass eine Bewirtschaftung nach den Richtlinien für sachgerechte Düngung, 6. Auflage (BMLFUW 2006) hinsichtlich des Nitrataustrages bei korrekter Einschätzung der Ertragsersparnis zu keiner unzulässigen Anhebung der Nitratkonzentration im Grundwasser führt.

Erfordernisse für den Grundwasserschutz im Murtal – Grundwasserleiter südlich von Graz

Aufgrund der konfliktträchtigen 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
- Großparzellenversuche am ackerbaulichen Versuchsfeld Wagna, in welchen seit 1992 in Kombination mit den Untersuchungen des Stoffflusses in der ungesättigten Zone durch die Lysimeteranlage verschiedene grundwassertragfähige Kulturfolgen auf Basis der Richtlinien für sachgerechte Düngung (BMLFUW 2006) experimentell getestet werden

- Modellberechnungen zu Stickstoffflüssen im Ackerland für eine grundwassertragfähige Bewirtschaftung im Murtal (FEICHTINGER et al. 2010)
- Eine Auswertung der Versuche am Versuchsfeld Wagna und darauf aufbauende detaillierte Berechnungen unter Berücksichtigung von Schongebietsauflagen im westlichen und südwestlichen Leibnitzer Feld ergaben, dass die Anlage winterharter Gründecken nach Mais die Nitratkonzentration im Sickerwasser langfristig um etwa 15 % reduzieren kann.

Alle Auswertungen ergaben, dass die aufgebrauchte 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 aufgebrauchten 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) erlaubt 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 Ertragsersparnis über mehrere Jahre kann die Düngung daran

nach oben angepasst werden, muss aber gegebenenfalls auch nach unten korrigiert werden.

- Die Ausbringung von stickstoffhaltigem Dünger (z.B. Gülle) im Herbst soll 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 Gründecken. Schwarzbrachen sind jedenfalls zu vermeiden. Daher sind Sommer- und Winterzwischenfrüchte kurz nach der Ernte und mit entsprechender Saatchichte anzulegen, die erst kurz vor Anbau der nächsten Hauptfrucht eingearbeitet werden. Die Anlage von Begrünungen ist nach den Prinzipien der Minimalbodenbearbeitung durchzuführen, tieferes Lockern oder Wenden ist dabei unbedingt zu vermeiden.
- Das N-Management nach Leguminosen in der Fruchtfolge stellt einen wesentlichen Faktor für den qualitativen Grundwasserschutz dar, worauf besonders Bedacht zu nehmen ist. Der Umbruchstermin ist daher auf den zeitlichen Verlauf der Folgefrucht mit hohem N-Bedarf abzustimmen.

Es 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 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 (mit N-Düngergaben entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung und Erfassung der Erträge) auf unterschiedlichen Standorten um die Heterogenität der Böden und die Unterschiedlichkeit der Witterung abdecken zu können. Anhand der Ergebnisse dieser Musterflächen können dann durchzuführende Messungen des mineralischen Reststickstoffgehaltes nach der Ernte hinsichtlich einer sachgerechten Düngung bewertet werden.
- 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, die Entscheidungshilfe aber auch Erfolgsnachweis sind.

Grundsätzlich wird es notwendig sein, den Landwirten verstärkt die Verantwortung für die Grundwasserqualitätssituation zu übertragen. Geringere Reglementierungen hinsichtlich der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungen sind nur dann zielführend, wenn gleichzeitig die Entwicklung der Grundwasserqualitätssituation eine gesetzeskonforme wird. Eine laufende Überprüfung der Entwicklung unter wissenschaftlicher Begleitung erscheint unabdingbar notwendig, um die Komplexität des Gesamtsystems Atmosphäre – Pflanze – Boden – Ungesättigte Zone – Grundwasser verstehen und entsprechend beeinflussen zu können.

Während bis dato aus den Auswertungen der Untersuchungsbefunde der Grundwasserqualitätsüberwachung des Grundwassers im Murtal die Nitratbelastung im Vordergrund stand, weisen neueste Untersuchungsergebnisse – unterstützt durch Verbesserungen in der Analytik – darauf hin, dass die Beherrschung der Pflanzenschutzmittelproblematik für die Trinkwassergewinnung eine besondere Herausforderung in den nächsten Jahren werden dürfte.

Literatur

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1996: Die Schongebietsnovelle 1996. Information der Rechtsabteilung 3., 1-82, Graz.
- BMLFUW, 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft.– 6. Aufl., 80 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BAUER, F., A. BERNHART, R. GUSCHLBAUER, Ch. KAISER, H. STADLBAUER, G. SUETTE und H. ZETINIGG, 1995: Die neuen Grundwasserschutzgebiete 1990 – 1995. Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung, 77, 1-156, Graz.
- FANK, J., 1999: Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.
- FANK, J., G. DERSCH, F. FEICHTINGER und J. ROBIER, 2010: Erforderliche Maßnahmen und Umsetzungsoptionen für eine grundwassertragfähige Landwirtschaft im Murtal-Grundwasserleiter. Bericht zum 2. Umweltökologischen Symposium „Boden- und Gewässerschutz in der Landwirtschaft“ am 02. und 03. 03. 2008 in Raumberg – Gumpenstein, 43-50.
- FEICHTINGER, F., G. DERSCH, J. FANK und J. ROBIER, 2010: Stickstoffflüsse auf Ackerland des Murtales in Hinblick auf grundwassertragfähige Bewirtschaftung. 2. Umweltökologisches Symposium „Boden- und Gewässerschutz in der Landwirtschaft“. 02.-03.03.2010 Gumpenstein, 37-42.

Humusaufbau auf Ackerflächen im Zusammenhang mit Klima-, Boden- und Gewässerschutz

Wilfried Hartl^{1*}, Eva Erhart¹ und Franz Feichtinger²

Zusammenfassung

Die Auswirkungen von Kompostdüngung im Vergleich zu mineralischer Düngung auf den organischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des Bodens und auf den Stickstoffaustrag ins Grundwasser wurden auf dem seit 1992 bestehenden Feldversuch ‚STIKO‘ sowie in der Lysimeteranlage Lobau untersucht. Die Versuchsanlage ist im westlichen Marchfeld, in der Oberen Lobau gelegen und umfasst drei Varianten mit Kompostdüngung (10, 18 und 26 t FS ha⁻¹ J⁻¹), drei Varianten mit mineralischer Düngung (28, 45 und 62 kg N ha⁻¹ J⁻¹), fünf kombiniert gedüngte Varianten und eine ungedüngte Nullvariante sowie drei monolithische Lysimeter. Auf sechs Parzellen des Feldversuchs und auf den Lysimeterparzellen wird in mehreren Meßebenen der Bodenwasserhaushalt erfaßt und Bodenlösung mittels Saugkerzen gewonnen. Zehnjährige Kompostdüngung hob den organischen Kohlenstoff des Bodens um 190 - 650 kg ha⁻¹ J⁻¹ an, während die ungedüngte Variante einen C-Verlust von 625 kg ha⁻¹ J⁻¹ erlitt und mineralische Düngung eben ausreichte, um die Anfangs-C-Gehalte zu erhalten. Die Ergebnisse der Lysimeteranlage zeigten, daß auch bei langjähriger Düngung mit höheren Kompostmengen als praxisüblich (durchschnittlich 26 t ha⁻¹ pro Jahr, das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen N_{ges}-Fracht von 225 kg N ha⁻¹) auf diesem Standort kein Anstieg der N-Frachten in Richtung Grundwasser auftrat.

Schlagwörter: Carbon Sequestration, Kompost, Lysimeter, Stickstoffauswaschung

Summary

The effect of compost fertilization compared with mineral fertilization on soil contents of organic carbon and nitrogen and on nutrient leaching to the groundwater has been investigated at the field experiment ‚STIKO‘ since 1992 and at the lysimeter station Lobau. The experiment is situated in the west of the Marchfeld in Austria and includes three treatments with compost fertilization (10, 18 and 26 t wet wt. ha⁻¹ yr⁻¹), three treatments with mineral fertilization (28, 45 and 62 kg N ha⁻¹ yr⁻¹), five treatments with combined fertilization, an unfertilized control and three monolithic lysimeters. Six plots of the field experiment and the lysimeter plots are equipped with suction cups, TDR-probes and tensiometers. In these nine plots, soil water content and tension are recorded and soil solution is sampled in several depths. Ten years of compost fertilization increased soil organic carbon content for 190 - 650 kg ha⁻¹ yr⁻¹ while the unfertilized control lost 625 kg C ha⁻¹ yr⁻¹ and while mineral fertilization sufficed to keep C_{org} contents on the level of the beginning. The results of the lysimeter station show that after 10 years of compost fertilization with higher amounts than used in practical farming (26 t ha⁻¹ per year on average, which corresponds to an annual input of 225 kg N_{tot} ha⁻¹), nitrogen leaching to the groundwater was not increased under the conditions of the experiment.

Keywords: carbon sequestration, compost, lysimeter, nitrogen leaching

Einleitung

Auf der Suche nach Möglichkeiten, den CO₂-Anstieg in der Erdatmosphäre und damit den Treibhauseffekt zu bremsen, werden verschiedene Möglichkeiten der Carbon Sequestration diskutiert, wobei die „biotische“ C-Sequestration in Böden den Vorteil hat, ein natürlicher und kosteneffizienter Prozess zu sein, der zahlreiche Zusatznutzen mit sich bringt und sofort und unmittelbar in die Praxis umzusetzen ist (LAL 2008). Kompost hat einen hohen Gehalt an organischer Substanz, die stark humifiziert ist und deren C/N-Verhältnis dem von Bodenhumus nahekommt (DIEZ und KRAUSS 1997, SMIDT und TINTNER 2007). Deshalb ist es naheliegend, Kompost nicht nur zu Düngungszwecken, sondern vor allem auch zur Verbesserung des Humusge-

haltes von landwirtschaftlichen Flächen und zur Carbon Sequestration einzusetzen. Dabei darf aber die Frage einer möglichen Eutrophierung des Grundwassers durch die mit dem Kompost aufgebrauchten Stickstoffmengen nicht außer Acht gelassen werden.

Material und Methoden

Der Feldversuch ‚STIKO‘ wurde im Herbst 1992 in der Oberen Lobau bei Wien angelegt, um die Auswirkungen der Düngung mit Biotonne-Kompost auf den Ertrag landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und auf die Umwelt zu untersuchen. Die Versuchsanlage umfaßt 3 Varianten mit Kompostdüngung (BK1, BK2, BK3), 3 Varianten mit mineralischer Düngung (N1, N2, N3), 5 Varianten mit

¹ Bio Forschung Austria, Esslinger Hauptstraße 132-134, A-1220 WIEN

² Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN

* Ansprechpartner: Dr. Wilfried Hartl, w.hartl@bioforschung.at

kombinierter Düngung (N1BK1, N1BK2, N1BK3, N2BK1, N3BK1) und eine ungedüngte Nullvariante (O), in sechs Wiederholungen als lateinisches Rechteck angelegt. Die Parzellengröße beträgt 6,3 x 10 m. Die Aufbringungsmengen des Biotonnekompostes im Zeitraum bis Februar 2003 betragen 10, 18 und 26 t FS ha⁻¹ J⁻¹ im Durchschnitt von 10 Versuchsjahren. Die mineralisch gedüngten Varianten erhielten jährlich durchschnittlich 28, 45 und 62 kg N ha⁻¹ plus 54 kg ha⁻¹ P₂O₅ und 86 kg ha⁻¹ K₂O. Die Aufwandsmengen an Mineraldünger wurden nach den ‚Richtlinien für die sachgerechte Düngung‘ (FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ 1999) bemessen, wobei die N_{min}-Gehalte des Bodens im Spätwinter berücksichtigt wurden. Die kombiniert gedüngten Varianten erhielten keinen mineralischen Phosphor- oder Kalidünger. Mit Ausnahme der Düngung wurde der Versuch nach den Richtlinien des Biologischen Landbaus (EU-VO 2092/91) mit praxisüblichem Gerät bewirtschaftet. Die Fruchtfolge umfasste Winterroggen, Kartoffel, Winterweizen, Hafer, Dinkel, Frühkartoffel, Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Winterweizen.

Die verwendeten Komposte stammten von der Kompostierungsanlage der Stadt Wien. Das Rohmaterial bestand aus getrennt gesammelten organischen Haushaltsabfällen und Strauchschnitt im Verhältnis 2:3. Der Kompost wurde in einem offenen Mietenverfahren mit regelmäßigem Umsetzen mit Umsetzgerät und Radlader erzeugt. Die verwendeten Komposte hatten im Mittel einen Wassergehalt von 31 %, 41 % organische Substanz, 1,21 % N_{ges}, 0,55 % P₂O_{5,ges}, 1,00 % K₂O_{ges}, pH 7,4 und ein C/N-Verhältnis von 24.

Der Boden am Versuchsstandort wird von der ÖBG als kalkhaltiger Grauer Auboden beschrieben, mit der Bodenart schluffiger Lehm und mit einem pH von 7,4. Die mittlere Jahrestemperatur betrug 10,5 °C, die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme 552 mm (Station Großenzersdorf 1992-2002).

Der Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff und Stickstoff im Oberboden (0-30 cm) wurde im Frühjahr 1993 in der ungedüngten Kontrolle und im Frühjahr 2003 in allen Varianten gemessen. Die Kohlenstoff- und Stickstoffmessung erfolgte mittels CN-Analysator, Carbonat wurde nach Scheibler bestimmt. Im Zuge der Errichtung der Lysimeteranlage erfolgte auf den mit Saugkerzen und Fühlern ausgestatteten Parzellen eine detaillierte Bodenprobenahme bis auf eine Tiefe von 1,50 m. Diese Proben wurden unter anderem ebenfalls auf organischen Kohlenstoff und Stickstoff untersucht. Im Jahr 1996 wurde der Versuch ‚STIKO‘ um eine Lysimeteranlage erweitert, um ergänzend die Auswirkungen der unterschiedlichen Düngungsvarianten auf die Nährstoffbefrachtung des Grundwassers quantifizieren zu können. Neben dem Einbau von drei monolithischen Lysimetern wurden sechs Parzellen des bestehenden Versuches mit Fühlern und Saugkerzen ausgestattet.

Auf diesen Parzellen sind TDR-Sonden in 10, 35, 60, 90 und 150 cm u. GOK und - außer in 10 cm Tiefe - Saugkerzen zur Gewinnung von Bodenlösung, sowie Tensiometer am Übergang zum Schotter eingebaut (FEICHTINGER und HARTL 1997). Der Niederschlag und der Grundwasserstand werden ebenfalls kontinuierlich erfaßt.

Die differenzierte Düngung der Lysimeter begann 1998. Anhand der Sickerwassermengen aus den Lysimetern zeigte sich aber, daß diese Düngung sich bis 2002 noch nicht im Sickerwasser niederschlagen konnte. Deshalb werden die Lysimeter hier nicht weiter betrachtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse der sechs oben beschriebenen Parzellen im Vergleich mit denen der ungedüngten Lysimeterparzelle Lys1, welche ebenfalls mit Saugkerzen und Fühlern ausgestattet ist, dargestellt.

Die Beprobung der Bodenlösung mittels Saugkerzen erfolgte nach Bedarf mindestens 14-tägig. Die Proben wurden vom Umweltbundesamt (UBA) auf Nitrat, Nitrit, Ammonium und Gesamtstickstoff analysiert.

Die Bewertung der Wasserflüsse und -frachten erfolgte mit Hilfe des Bodenwasserhaushaltsmodells ‚SIMWASSER‘ (STENITZER 1988). Dessen Kalibrierung wurde parzellenspezifisch an den Zeitreihen der kontinuierlichen Wasseranteils- und Matrixpotentialmessungen vorgenommen und hinsichtlich absoluter Wasserflüsse/-frachten an den Aussickerungen aus den drei Lysimetern verifiziert. Die jeweils in einem bestimmten Horizont ausgetragenen Nährstofffrachten errechnen sich durch Multiplikation der gemessenen Nährstoffkonzentrationen in der Bodenlösung mit den simulierten Wasserfrachten.

Ergebnisse und Diskussion

Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff und Stickstoff

In der ungedüngten Nullvariante nahm der Humusgehalt des Bodens während der Versuchsdauer deutlich ab, obwohl das Stroh fast immer am Feld belassen wurde. Der Kohlenstoff-Verlust belief sich auf 6250 kg C /ha, was einen jährlichen Abbau von 0,85 % des Bodenumus bedeutet. Während in der ungedüngten Nullvariante der Humusgehalt von 3,4 % auf 3,15 % abfiel, stieg er in den Kompostvarianten auf Werte zwischen 3,5 % und 3,7 % an. Kompostdüngung mit 8 t (Frischmasse) /ha pro Jahr (Variante BK1) bewirkte eine leichte Erhöhung des Humusgehaltes gegenüber dem Zustand zu Versuchsbeginn. Mit den höheren Kompostmengen in den Varianten BK2 und BK3 war die Erhöhung des Humusgehaltes auf 3,72 % bzw. 3,73 % stärker, und statistisch signifikant.

Mineralische Düngung reichte aus, um den ursprünglichen Humusgehalt zu halten (*Abbildung 1*). Im Boden der Kompostvarianten wurden zwischen 1900 und 6500 kg ha⁻¹ organischer Kohlenstoff zusätzlich gespeichert, das entspricht 10 - 19 % des organischen Kohlenstoffs, der mit dem Kompost aufs Feld gebracht wurde.

Die beobachtete Zunahme des organischen Kohlenstoffs um 190 - 650 kg ha⁻¹ J⁻¹ liegt in dem Bereich, den auch LAL (2004) und HÜLSBERGEN (2009) für die durch Düngung mit Stallmist und Komposten erzielbare C-Sequestrierung angeben.

Parallel zum Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff nahm auch der Gehalt an organischem Stickstoff in der ungedüngten Nullvariante um 610 kg ha⁻¹ ab. In der niedrig kompostgedüngten Variante BK1 nahm der N_{org}-Gehalt

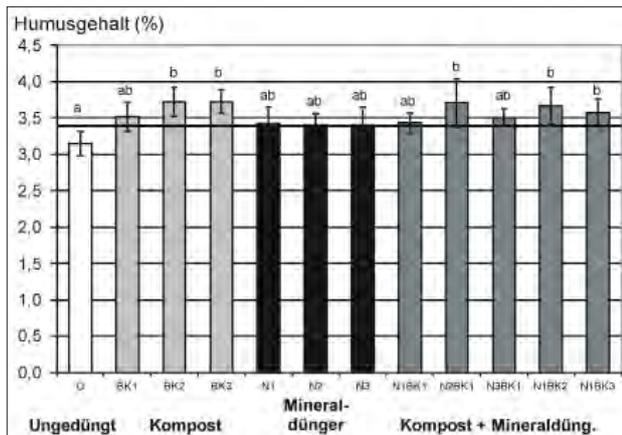


Abbildung 1: Humusgehalte nach 10 Versuchsjahren im Vergleich zur Ausgangssituation (schwarze waagrechte Linie).

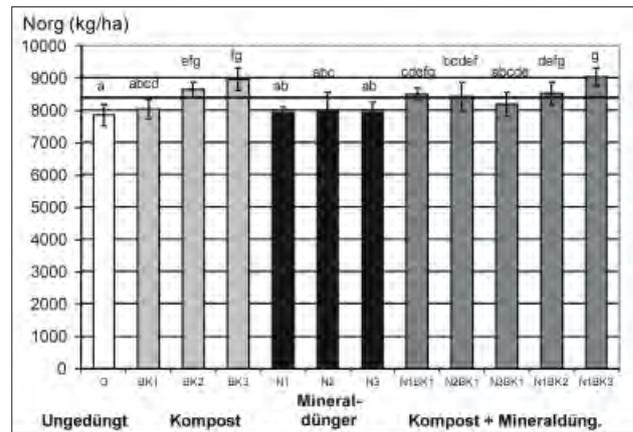


Abbildung 2: Gehalt des Bodens an N_{org} nach 10 Versuchsjahren im Vergleich zur Ausgangssituation (schwarze waagrechte Linie).

Tabelle 1: N-Entzug (Summe der Jahre 1992-2002; $kg\ ha^{-1}$) in den mit Saugkerzen ausgestatteten Parzellen im Vergleich mit den Variantenmittelwerten (aus 6 Wiederholungen) aus dem gesamten Feldversuch. Mit demselben Buchstaben gekennzeichnete Varianten unterscheiden sich nicht signifikant ($p \leq 0.05$; ANOVA und Tukey's Test).

Variante	Parzellen mit Saugkerzen Werte der Einzelparzellen	Stickstoffentzug (Summe von 1992-2002; $kg\ ha^{-1}$)	
		Mittelwert von 6 Wiederholungen	Versuch STIKO Standardabweichung
O		730 a	40
BK2	760	788 ab	42
BK3	803	806 bc	26
N2	742	790 ab	57
N3	755	799 abc	47
N3BK1	919	855 c	66
N1BK3	833	845 c	44

etwas weniger ab, um $419\ kg\ ha^{-1}$, während er in den mittel und hoch kompostgedüngten Varianten BK2 und BK3 um 191 bzw. $495\ kg\ ha^{-1}$ anstieg. In den mineralisch gedüngten Varianten waren die Bodengehalte an organischem Stickstoff nicht signifikant höher als in der ungedüngten Variante. Sie nahmen gegenüber der Ausgangssituation um 495 bis $533\ kg\ N\ ha^{-1}$ ab.

Bei der Tiefenuntersuchung der sechs mit Fühlern und Saugkerzen ausgestatteten Parzellen zeigte sich in der obersten Bodenschicht (0-30 cm) eine klare Korrelation zwischen den Inputmengen an N_{ges} und den N_{ges} -Bodengehalten. In den tieferen Bodenschichten jedoch ließ sich kein Zusammenhang zwischen N_{ges} -Zufuhr und Bodengehalten herstellen, was den Schluss nahelegt, daß N_{org} nicht in größerem Ausmaß in tiefere Bodenschichten verlagert wird.

Stickstoffbilanz

Von 1992 bis 2002 erhielten die kompostgedüngten Parzellen BK2 und BK3 mit dem Kompost Gesamtmengen von 1570 bzw. $2255\ kg\ ha^{-1}\ N$. Die mineralisch gedüngten Parzellen N2 und N3 erhielten im selben Zeitraum 445 bzw. $615\ kg\ N\ ha^{-1}$. In Summe seiner 12 Varianten entspricht der Versuch „STIKO“ den bewilligungsfreien wasserrechtlichen Rahmenbedingungen. Der Stickstoffentzug durch die Feldfrüchte betrug auf den Kompostparzellen $760\ kg\ N\ ha^{-1}$ (BK2) und $803\ kg\ N\ ha^{-1}$ (BK3) und auf den mineralisch gedüngten Parzellen $742\ kg\ N\ ha^{-1}$ (N2)

bzw. $755\ kg\ N\ ha^{-1}$ (N3). Die Integration dieser Parzellen im Feldversuch erlaubt eine statistische Auswertung des Stickstoffentzuges. Tabelle 1 zeigt den Stickstoffentzug auf den sechs Parzellen im Vergleich mit den Mittelwerten (aus sechs Wiederholungen) der entsprechenden Varianten des gesamten Feldversuchs.

Der Stickstoffentzug in den Kompostvarianten unterschied sich nicht signifikant von dem in den mineralisch gedüngten Varianten. Der geringe Stickstoffentzug in den Mineraldüngervarianten war durch das Lagern des Getreides in manchen Jahren bedingt. Das Lagern trat auf, obwohl die mineralische Stickstoffdüngung nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ bemessen wurde, wohl weil auch auf diesen Parzellen kein Halmverkürzer eingesetzt wurde.

Die Stickstoffdeposition östlich von Wien beträgt etwa $20\ kg\ ha^{-1}$ (PUXBAUM und GREGORI 1998). Die denitrifikationsbedingten NO_x -Emissionen des Bodens wurden in einem benachbarten Versuch gemessen. Auf der Basis der von HOLTERMANN (1996) publizierten Ergebnisse und von unpublizierten Versuchsberichten können die NO_x -Emissionen mit unter $5\ kg\ N\ ha^{-1}\ J^{-1}$ eingeschätzt werden. Die Stickstoffauswaschung ins Grundwasser ist ebenfalls gering (siehe im Folgenden).

Die Stickstoffbilanz der mineralisch gedüngten Parzellen und der ungedüngten Kontrolle ist negativ, während die Stickstoffbilanz der Parzellen mit Kompostdüngung positiv ist. Nachdem der Stickstoff in Biotonnekompost zum

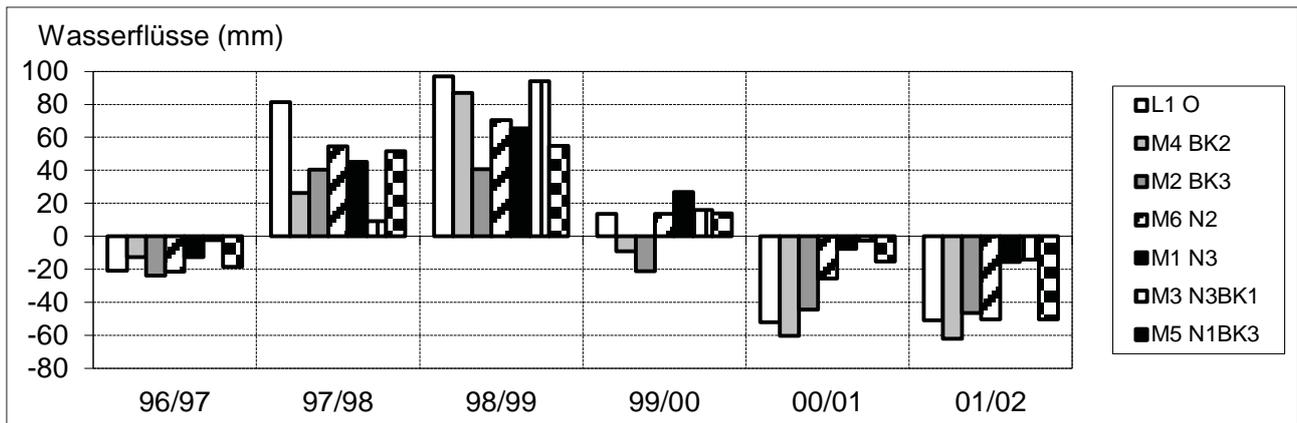


Abbildung 3: Pro Sickerperiode (jeweils vom 1. 10. bis zum 30. 9. des folgenden Jahres) akkumulierte Wasserflüsse in 150 cm Tiefe (mm; positive Werte = Versickerung, negative Werte = Aufstieg)

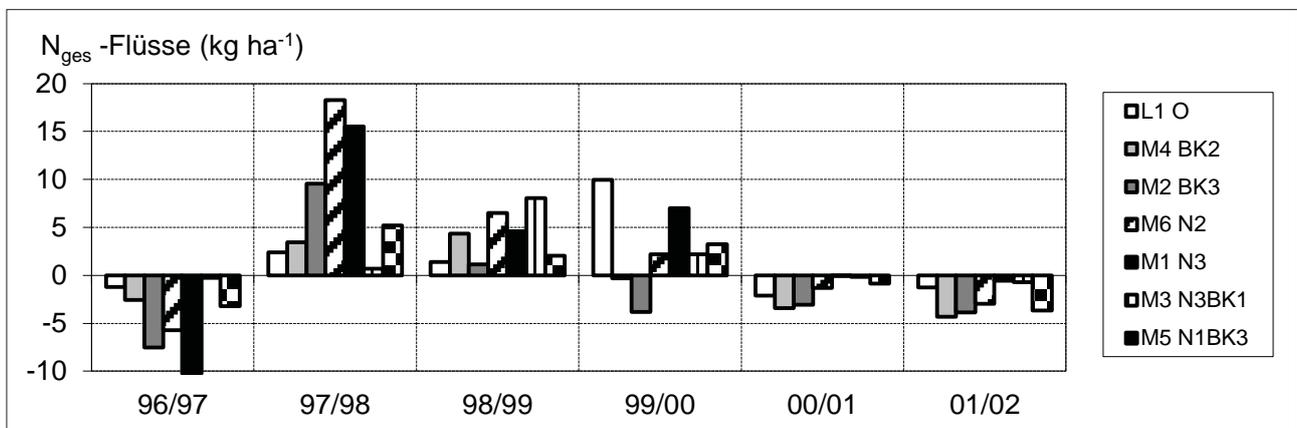


Abbildung 4: Akkumulierte N_{ges} -Flüsse in 150 cm Tiefe (kg ha^{-1}) pro Sickerperiode; positive Werte = Versickerung, negative Werte = Aufstieg).

allergrößten Teil in organischer Form vorliegt und deshalb für Pflanzen nicht unmittelbar verfügbar ist, werden nur wenige Prozent des gesamten Kompoststickstoffs jährlich von den Pflanzen aufgenommen. Bilanzüberschüsse sind deshalb bei Kompostdüngung unvermeidlich (BRANDT und WILDHAGEN 1999, HARTL und ERHART 2005, NEVENS und REHEUL 2003). Dementsprechend wird ein signifikanter Anstieg des Gesamtstickstoffgehaltes des Bodens bei Kompostdüngung häufig beobachtet (ALIN et al. 1996, DIEZ und KRAUSS 1997). Wie *Abbildungen 1* und *2* zeigen, sind die N-Bilanzüberschüsse der Kompostvarianten im Bodenhumus gebunden. Bei der Folgebewirtschaftung nach Humusaufbau dürfen diese gebundenen Stickstoffreserven jedoch nicht außer Acht gelassen werden.

Bodenwasserhaushalt

Die Summe der akkumulierten jährlichen Wasserflüsse in 150 cm Tiefe war in einigen Jahren Netto-Versickerung, in einigen Jahren jedoch Netto-Wasseraufstieg (*Abbildung 3*). Während des Untersuchungszeitraums lagen die akkumulierten jährlichen Wasserflüsse in 150 cm Tiefe zwischen + 90 mm und - 90 mm (ERHART et al. 2007). Die Unterschiede zwischen den akkumulierten Wasserflüssen der einzelnen Parzellen sind auf die kleinräumigen Bodenunterschiede zurückzuführen. Die Abschätzung aus

der Wasserbilanz ergibt, daß die im Jahr 1992 begonnene differenzierte Düngung in ihren Auswirkungen die Tiefe von 150 cm schon erreicht hatte, als 1996 die Bodenwassermessungen begannen.

Nitratauswaschung

Die Verluste durch Stickstoffauswaschung in einer Tiefe von 150 cm betragen maximal $9,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$, mit Ausnahme der Parzellen N2 und N3, die maximale Auswaschungsverluste von $18,3$ bzw. $15,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ aufwiesen.

Diese Werte traten beide 1997/98 auf, in Folge hoher NH_4^+ -Konzentrationen nach starken Regenfällen im November 1997. In diesem Zeitraum wurden auch in den anderen Parzellen hohe NH_4^+ -Konzentrationen gemessen, aber nur in 35-90 cm Tiefe. In allen anderen Parzellen, und auch in N2 und N3 in den meisten anderen Jahren trat der größte Teil der Stickstoffauswaschung in Form von NO_3^- auf.

Abbildung 4 zeigt die jährlichen Auswaschungsverluste der sechs Parzellen im Vergleich zu denen der ungedüngten Lysimeterparzelle Lys1. Die höchsten N_{ges} -Auswaschungsverluste in der Parzelle Lys1 betragen ebenfalls 10 kg ha^{-1} (im Jahr 1999/2000).

Unter pannonischen Klimabedingungen sind solche geringen Stickstoffauswaschungsverluste durchaus normal.

In einem Lysimeterexperiment der AGES mit Mineraldüngung fand HÖSCH (2005) bei Getreide etwas höhere Auswaschungsverluste, aber die Unterschiede sind auf etwas höhere Düngermengen und einen sandigeren Boden in dieser Studie zurückzuführen. Unter Kartoffel jedoch, die reichlich bewässert wurde, stiegen die Stickstoffverluste auf bis zu $160 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}$ (HÖSCH 2005).

In einer Untersuchung mit Kompostdüngung konnten PARDINI et al. (1993) Stickstoffverluste von 5 kg ha^{-1} mit Kompost und von 39 kg ha^{-1} mit Mineraldünger (400 kg N ha^{-1}) in der Vegetationsperiode von Mais messen. Der Versuch fand auf einem sandigen Boden in mediterranem Klima mit Zusatzbewässerung (164 mm) statt. Im Versuch von LECLERC et al. (1995) betragen die Stickstoffverluste $28 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ mit Bioabfallkompost und $6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ mit Strauchschnittkompost. Demgegenüber lagen die Auswaschungsverluste mit mineralischer N-Düngung bei $124 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ bei einer N-Düngermenge von $240 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$. Der Boden war ebenfalls sandig und die gesamte Niederschlagsmenge (Regen + Bewässerung) betrug 892 mm J^{-1} . Die Untersuchungen von BERNER et al. (1995), BOISCH et al. (1993) und PARKINSON et al. (1996) hatten ähnliche Kompostfrachten wie der vorliegende Versuch, fanden aber unter humideren Klimabedingungen statt. Auch sie fanden keine signifikant höhere Stickstoffauswaschung mit Kompostdüngung.

In Summe bestätigen unsere Untersuchungen aus sechs Jahren Monitoring von Parzellen, die zuvor schon fünf Jahre lang unterschiedlich – mit Kompost bzw. mit mineralischem N-Dünger – gedüngt worden waren, die Ergebnisse der anderen, kürzeren Untersuchungen.

Fazit

Kompost ist für den Humusaufbau sehr gut geeignet. Bei langjähriger Düngung mit durchschnittlich 18 t ha^{-1} FS Kompost pro Jahr, das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen N_{ges} -Fracht von 157 kg N ha^{-1} , wurde kein Anstieg der N-Frachten in Richtung Grundwasser festgestellt. Auch in der aus wissenschaftlichen Gründen getesteten Variante mit durchschnittlich 26 t ha^{-1} FS Kompost pro Jahr, deren N-Gesamtfracht mit $225 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ über der wasserrechtlichen Bewilligungsfreiheit liegt, konnte auf diesem Standort bisher kein Anstieg der N-Frachten in Richtung Grundwasser festgestellt werden. Die Ergebnisse aus der Lobau lassen darauf schließen, daß Kompostdüngung im Rahmen der Vorgaben der Österreichischen Kompostverordnung auch unter Bodenverhältnissen mit hohem Nährstoffniveau im pannonischen Klima mittelfristig keine Gefahr für das Grundwasser darstellt.

Danksagung

Wir danken der Magistratsabteilung 48 der Stadt Wien und dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft für die finanzielle Unterstützung. Die Humus- und Lysimeteruntersuchungen werden aktuell im Rahmen des Projektes BIORES weitergeführt. Das Projekt BIORES – „Verwertungsoptimierung biogener Ressourcen in der Region Westungarn, Wien und Burgenland“ – wird finanziert durch die Europäische Union aus

dem Fonds für regionale Entwicklung mit Kofinanzierung durch die Stadt Wien.

Literatur

- ALIN, S., L. XUEYUAN, T. KANAMORI and T. ARAO, 1996: Effect of long-term application of compost on some chemical properties of wheat rhizosphere and non-rhizosphere soils. *Pedosphere* 6, 355-363.
- BERNER, A., D. SCHERRER and U. NIGGLI, 1995: Effect of different organic manures and garden waste compost on the nitrate dynamics in soil, N uptake and yield of winter wheat. *Biological Agriculture & Horticulture* 11, 289-300.
- BOISCH, A., M. RUBBERT und D. GOETZ, 1993: Stickstoffhaushalt verschiedener Bodentypen bei der Anwendung von Biokompost. VDLUFA-Kongreßband 1993. VDLUFA-Schriftenreihe 37, 621-624.
- BRANDT, M. und H. WILDHAGEN, 1999: Netto-N-Mineralisation nach mehrjähriger ackerbaulicher Verwertung von Bioabfallkompost und Grünguthäcksel. *Mitt. Dt. Bodenk. Gesellsch.* 91, 743-746.
- DIEZ, T. und M. KRAUSS, 1997: Wirkung langjähriger Kompostdüngung auf Pflanzenenergieertrag und Bodenfruchtbarkeit. *Agribiol. Res.* 50, 78-84.
- ERHART, E., F. FEICHTINGER and W. HARTL, 2007: Nitrogen leaching losses under crops fertilized with biowaste compost compared with mineral fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170, 608-614.
- FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, Hrsg., 1999: Richtlinien für die Sachgerechte Düngung. 5. Aufl., Bundesamt u. Forschungszentrum f. Landwirtschaft, Wien.
- FEICHTINGER, F., and W. HARTL, 1997: Nutrient losses to the groundwater as influenced by organic fertilization compared to mineral fertilization – experimental outlines. In: *Fertilization for Sustainable Plant Production and Soil Fertility – 11th International World Fertilizer Congress of CIEC*, Sept. 7-13, 1997, Gent, Belgium. *Proceedings Vol II*, 480-487.
- HARTL, W. and E. ERHART, 2005: Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 781-788.
- HOLTERMANN, C., 1996: Ein mobiles System zur on-line-Messung der NO_x (NO , NO_2)-Ausgasung aus Böden. *Die Bodenkultur* 47, 235-244.
- HÖSCH, J., 2005: ÖPUL-Maßnahmen und deren Einfluss auf die Stoffverlagerung im Lysimeterversuch. In: *Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen. Bericht über die 11. Lysimetertagung. HBLFA Raumberg-Gumpenstein*, 5.-6.4.2005. p. 93-97.
- HÜLSBERGEN, K.-J., 2009: Möglichkeiten der C-Sequestrierung landwirtschaftlich genutzter Böden. In: *Ökoregion Kaindorf (Hrsg.): Tagungsband Humus Symposium 2009. 23.-24.9.2009, Ökoregion Kaindorf, Stmk.*
- LAL, R., 2004: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627.
- LAL, R., 2008: Carbon sequestration. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363, 815-830.
- LECLERC, B., P. GEORGES, B. CAUWEL and D. LAIRON, 1995: A Five Year Study on Nitrate Leaching under Crops Fertilised with Mineral and Organic Fertilisers in Lysimeters. In *Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture, Biological Agriculture and Horticulture* 11, 301-308.
- NEVENS, F. and D. REHEUL, 2003: The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: nitrogen availability and use. *Europ. J. Agronomy* 19, 189-203.
- PARDINI, G., M. VOLTERRANI and N. GROSSI, 1993: Effects of municipal solid waste compost on soil fertility and nitrogen balance: lysimetric trials. *Agr. Med.* 123, 303-310.
- PUXBAUM, H. and M. GREGORI, 1998: Seasonal and annual deposition rates of sulphur, nitrogen and chloride species to an oak forest

- in north-eastern Austria (Wolkersdorf, 240 m A. S. L.). *Atmosph. Environ.* 32, 3557-3568.
- SMIDT, E. and J. TINTNER, 2007: Application of differential scanning calorimetry (DSC) to evaluate the quality of compost organic matter. *Thermochimica Acta* 459, 87-93.
- STENITZER, E., 1988: SIMWASER - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. *Mitteilung aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt*, Nr. 31, Petzenkirchen.

Lösungsansätze zu den Herausforderungen für den Bio-Ackerbau im Murtal

Heinz Köstenbauer^{1*}

Zusammenfassung

Bio-Ackerbau kann sehr unterschiedlich aussehen. Allgemein gültig ist, dass durch den Verzicht auf chemisch synthetische Pflanzenschutzmittel eine diesbezügliche Gefährdung von Bodenleben und Grundwasser ausgeschlossen werden kann. Bodenbearbeitung, Leguminosenanbau und Fruchtfolgen müssen ein gut aufeinander abgestimmtes aber auch flexibles System bilden. Die stark flächengebundene Tierhaltung kombiniert mit erlaubten aber teuren organischen Zukaufsdüngern bedingt, dass Stickstoff nur zu wenigen Zeitpunkten im Überschuss vorhanden ist. Da sich die Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs aus all diesen Quellen nur wenig steuern lässt, ist auf dieses Gefahrenpotential besonders zu achten.

Vielfalt über die Fruchtfolge dient im Bio-Ackerbau sowohl als Absicherung der Wirtschaftlichkeit als auch des Boden- und Grundwasserschutzes.

Summary

Organic arable farming can look very different. In general, a relevant risk to soil organisms and groundwater can be excluded by the absence of synthetic chemical pesticides. Tillage, legumes and crop rotations must form a well-coordinated but flexible system. The land-related livestock production combined with strong permitted and expensive organic fertilizers means that nitrogen is available only to a few times in excess. The mineralization of organically bound nitrogen from these sources can hardly be controlled. Therefore, we have to pay particular attention to this potential risk.

Diversity on the crop rotation used in organic arable farming, intended both in support of the economy as well as soil and groundwater protection.

Einleitung

Biologische Landwirtschaft ist zum fixen Bestandteil der österreichischen Landwirtschaft geworden. Auch aus den durchschnittlichen Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung kann man sich Bioprodukte nicht mehr wegdenken. Mit Radkersburg liegt der einzige politische Bezirk Österreichs mit weniger als 5 % Bioanteil im Gebiet des unteren Murtals. Insgesamt nimmt der Bio-Ackerbau in Österreich zurzeit stärker zu (+ 12 % 2010) als das Bio-Grünland (+ 1 %). Umfang und Dauer einer bestimmten Landbewirtschaftung haben Einfluss darauf, ob eher grundsätzliche Fragestellungen Thema der Forschung sind, oder ob man sich bereits mit Details auseinandersetzen kann. Bio-Ackerbau setzt sich einerseits mit sehr komplexen Wechselwirkungen auseinander, um stabile Erträge zu erwirtschaften. Zusätzlich hinken Zeit und Ressourcen in der Forschung für den Bio-Ackerbau verglichen mit konventioneller Landwirtschaft stark hinterher und damit viele Herausforderungen zu lösen.

Bio – spezifische Maßnahmen im Ackerbau mit Relevanz auf den Boden und das Grundwasser

Pflanzenschutzmittel

Bei den wichtigsten Ackerbaukulturen in der Steiermark spielen Pflanzenschutzmittel im biologischen Anbau de

facto keine Rolle. Mais und Getreide wird generell ungebeizt ausgesät und auch während der Vegetation werden höchstens Stärkungsmittel verwendet. Kupfer als Pflanzenschutzmittel spielt einerseits als zur Saatgutbehandlung bei Kürbis und andererseits gegen Blattkrankheiten bei der Kartoffel eine Rolle. Gelangen beim Kürbis über die Beizung ohnehin nur 10 g Kupfer je ha in den Boden, so zeigt auch die bei Kartoffeln erlaubte Menge von 2 kg/ha und Jahr nach ersten Ergebnissen eines Kupfermonitorings der AGES keine erhöhten Werte im Boden.

Stickstoffinput - Leguminosenanbau und Wirtschaftsdünger

Stickstoff kommt im Bio-Ackerbau in erster Linie über den Anbau von unterschiedlichen Leguminosen in den Boden. Dabei sind zwei Bereiche schwer exakt zu bewerten:

- Wieviel Stickstoff wird gebunden und verbleibt nach der Ernte im Boden? Während der Vegetationszeit wird kaum Stickstoff mit dem Sickerwasser verlagert. Die Symbiose zwischen Leguminosen und Knöllchenbakterien wird seitens der Pflanze nämlich nur so lange aufrecht erhalten, als nicht pflanzenverfügbarer Stickstoff im Boden zur Verfügung steht. In diesem Fall ist es energetisch günstiger, diese Stickstoffformen aus der Bodenlösung aufzunehmen.

¹ Bio Ernte Steiermark, Julius Strauß Weg 1, A-8430 LEIBNITZ

* Ansprechpartner: DI Heinz Köstenbauer, heinz.koestenbauer@ernte.at

- Der von Leguminosen gebundene Luftstickstoff verbleibt organisch gebunden im Boden. Damit er pflanzenverfügbar wird, muss er über die Amonifikation und die Nitrifikation in Amon- und Nitratstickstoff umgewandelt werden. Zeitpunkt und Umfang dieser Stickstofftransformationen lassen sich nur begrenzt vorher sehen. Sie steigen mit zunehmendem Wassergehalt (bis zur Feldkapazität) und zunehmender Temperatur (bis 30 – 40 °C) an.

Literaturangaben zu den möglichen Fixierungsmengen an Stickstoff schwanken stark, oft um 100 %. Generell werden von Blatt-Leguminosen höhere Fixier-Leistungen erreicht als von Körnerleguminosen. Als Hintergrund kann wohl die deutlich längere Vegetationszeit angesehen werden.

Wirtschaftsdünger aus der Bio-Tierhaltung fallen immer nur begrenzt und flächengebunden an, da die entsprechenden EU-Verordnungen hier entsprechende Richtlinien vorgeben. Mit einer maximalen Besatzdichte von beispielsweise 14 Mastplätzen je ha fallen laut SGD 6 rund 105 kg Nff je ha an. Angesichts dieser knappen Ressource und der geringen Preiswürdigkeit von organischen Zukaufsdüngern kann ein gezielter Einsatz und damit geringe Verluste unterstellt werden.

Bodenbearbeitung

Tief lockern und seicht wenden lautet einer der älteren Grundsätze zur Bodenbearbeitung im Bio-Ackerbau. Wie unterschiedlich die Strömungen tatsächlich sind, zeigen aktuelle Wege zur Regulierung der Ackerkratzdistel abgesehen vom üblichen Anbau von mehrjährigen Blattleguminosen im Rahmen der Fruchtfolge.

- Das mehrmalige und bei jeder Wiederholung tiefer gehende horizontale durchschneiden des Bodens und damit der Disteltriebe zerstört und die Reserven aufgebraucht werden kann in trockenen Sommern nach der Getreideernte durchgeführt werden. Diese mechanische Maßnahme zielt darauf ab, den Disteldruck kurzfristig für ein paar Jahre zu reduzieren.
- Das System Festbodenwirtschaft, bei dem auch im Bio-Ackerbau der Boden höchstens auf 5 cm gelockert wird zielt bei der Regulierung der Ackerkratzdistel darauf ab, dass die Distel selbst und weitere Beikräuter eine Aufgabe zum Aufbrechen von Verdichtungen im Unterboden haben. Sind diese Horizonte durch die Wurzeln gelockert und allfällige Überschüsse an Nährstoffen aufgebraucht, werden die Ackerkratzdisteln wieder verschwinden. Neue Verdichtungen können aufgrund der geringen Bearbeitungstiefe dann nicht mehr entstehen.

Im Durchschnitt wird im Bio-Ackerbau gegenüber den konventionellen Kollegen deutlich seichter und auch weniger oft gepflügt. Bodenleben, Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit werden durch intensive Bodenbearbeitung und Pflügen im Speziellen immer wieder geschwächt. Neben Pflügen mit geringer Schnittbreite und Arbeitstiefe kommen vor allem Flügelscharrgrubber zum Einsatz. Je häufiger und intensiver die Niederschläge im Bearbeitungszeitraum sind, desto größer werden die Probleme beim Grubbern gegenüber dem Pflügen, da der allenfalls vorhandene Bewuchs nur unsicher abstirbt und das Abtrocknen des Bodens für die

Folgeschritte länger dauert. Grundsätzlich ist Bodenbearbeitung im Bio-Ackerbau nur soweit nötig, als dass das Saatgut sicher keimen und auflaufen kann und die notwendigen Pflegemaßnahmen ungestört durchgeführt werden können.

Fruchtfolge

Unter Fruchtfolge versteht man die zeitliche Abfolge verschiedener Kulturen auf demselben Feldstück. Pflanzenbaulich wäre hier große Vielfalt gefragt, wirtschaftlich sind hingegen meist nur zwei bis drei Kulturen besonders gewinnträchtig. In der Praxis findet sich oft ein Kompromiss, wo in 8 Jahren 4 bis 6 Kulturarten angebaut werden. Aus Sicht der Gesamökologie ist dabei die durchgehende Bodenbedeckung im Vordergrund. Neben dem Schutz vor Auswaschung dient Pflanzenbewuchs oder zumindest Bodenbedeckung auch dem Schutz vor Erosion. Aber auch die Krümelstabilität und die biologische Aktivität des Bodens insgesamt werden damit verbessert. Neben der Häufigkeit des Leguminosenanbaus kommt der Stellung in der Fruchtfolge sowie dem Zeitpunkt der Folgebearbeitung große Bedeutung im Hinblick auf die Mineralisation des gebundenen Stickstoffs zu. Hier ist aus Bauernsicht natürlich nicht nur die Verlagerungsgefahr des Stickstoffs zu beachten, sondern auch ein möglichst geringer Maschinenaufwand bei der Bodenbearbeitung. Gegen eine all zu große Vielfalt der Kulturen spricht im Bereich Murtal auch die geringe Biobauerdichte und die geringe Flächenausstattung. Dadurch finden sich auch wenige Übernahmestellen für Bio-Ackerfrüchte. Und bei zu geringem Anbauumfang am eigenen Betrieb nehmen die Transportkosten je Einheit überproportional zu. Typische Leguminosen sind zum einen Körnererbse oder Sojabohne (Ackerbohne nur auf tiefgründigen Böden) wenn gleichzeitig Erntegut vermarktet werden soll. Blattleguminosen wie Luzerne können oft nicht wirtschaftlich verwertet werden, aufgrund ihrer positiven Folgewirkungen auf Unkrautdruck und Stickstoffverfügbarkeit kann ihr Anbau dennoch wirtschaftlich interessant sein.

Diskussion und Lösungsansätze

Der Anbau von Leguminosen für den Bio-Ackerbau kann vielleicht in seinem Umfang diskutiert werden, würde aber durch ein Verbot das Ende jeden Bioackerbaus bedeuten. Da während der Vegetationszeit der Leguminosen der Gehalt an Nitratstickstoff im Boden nur gering ansteigt, ist vorwiegend der zeitliche Zusammenhang von Umbruchstermin und Entzug durch die Folgepflanze im Auge zu behalten. Die Mineralisierungsraten hängen hier aber zusätzlich von der Intensität der Bodendurchmischung und Belüftung ab. Insofern stellen fixe Zeitspannen zwischen Bearbeitungsbeginn und Anbauzeitpunkt kein geeignetes Instrument zur Verhinderung einer Nitratverlagerung dar. Bodenbearbeitungsvarianten wie Grubbern, die seichter und weniger intensiv arbeiten, benötigen mehrere Bearbeitungsschritte und entsprechende Abstände dazwischen. Dieser Umstand wird zur Zeit nicht berücksichtigt. In der Praxis werden Bio-Ackerbaubetriebe aus Eigeninteresse heraus darauf achten, dass der gesammelte Stickstoff im pflanzenverfügbaren Horizont verbleibt. Ein Umbruch von Blattleguminosen macht aus dieser Sicht im Frühjahr vor Körnermais mehr

Sinn, als ein Umbruch vor Winterweizen im Herbst. Zum einen wird mit Körnermais deutlich mehr Stickstoff vom Feld abgefahren und zusätzlich verbleibt über das Stroh mehr gebundener Kohlenstoff als Stickstoffsenke im Boden. Zum anderen verschieben sich damit Umbruchszeitpunkt und Mineralisierungsschub in die zeitliche Nähe zum Bedarf durch die Folgekultur, was unabhängig von jährlich schwankenden Sickerwassermengen die Auswaschungsgefahr reduziert.

Wirtschaftsdünger im Biolandbau im zugelassenem Umfang stellen bei gezieltem Einsatz sicher keine Gefahr für das Grundwasser dar. Bio-Ackerbaubetriebe mit Tierhaltung und mit Schweinehaltung im speziellen verringern automatisch den Anteil der Leguminosen in der Fruchtfolge. Hintergrund ist, dass der Anbau von Energiepflanzen wie Körnermais oder Futtergetreide in Kombination mit dem Einsatz von Gülle und Mist aus wirtschaftlicher Sicht deutlich interessanter ist als der Anbau von Körnerleguminosen.

Abgesehen von einem konsequenten System der Festbodenwirtschaft, wo ausschließlich Zinkensämaschinen zum Einsatz kommen, wäre eine möglichst große Vielfalt in der Bodenbearbeitung wohl das Optimum für die Wirtschaftlichkeit wie auch für den Boden- und Grundwasserschutz. Da es leider nicht das optimale Gerät für alle Umstände und Bedingungen gibt, müssen angesichts geringer Betriebsgrößen trotz der vorhandenen Maschinenringstruktur viele Kompromisse geschlossen werden. Da im diskutierten Gebiet die überwiegende Mehrheit der Betriebe konventionell in der Wirtschaftsweise und in der Bodenbearbeitung

mit dem Pflug agiert, kann das vorhandene technische Potenzial kaum genutzt werden. Neben Kurzscheibenkombinationen und Flügelschargrubbern mit horizontaler Werkzeugstellung wären noch Scheibenschar- und Zinkensämaschinen von Interesse. Im Wesentlichen geht es darum, Ernterückstände oberflächlich einzumischen und dennoch mit geeigneter Sätechnik einen gleichmäßigen Feldaufgang sicherzustellen.

Als Grenzthema zwischen Bodenbearbeitung und Fruchtfolge können Untersaaten angesehen werden. Gerade die geringeren Bestandesdichten bei Bio-Getreidefeldern unterstützen die erfolgreiche Etablierung von Untersaaten. So kann die nächste Zwischenfrucht oder sogar Hauptkultur gänzlich ohne zusätzliche Bodenbearbeitung etabliert werden.

Fruchtfolge ist zum einen Grundvoraussetzung für den Bio-Ackerbau, zum anderen aber auch Risikominimierung. Dabei geht es zum einen um das wirtschaftliche Risiko, dass bei jährlicher Kulturvielfalt sowohl bezüglich Preisvolatilität als auch bezüglich Ertragsschwankungen reduziert wird. Aber auch das Risiko von Nitratverlagerungen unter den durchwurzelten Horizont nimmt insofern ab, als die Grundwasserneubildung mehr oder weniger das ganze Jahr über möglich ist. Durch die Kulturenvielfalt werden unterschiedlichste Nitratkonzentrationen und Wassersättigungsgrade im Boden bedingt. Damit ist eine Nitratverlagerung Richtung Grundwasser quer über die gesamte Betriebsfläche bzw. das Einzugsgebiet eines Grundwasserkörpers quasi unmöglich und es kommt zu Ausgleichseffekten.

Beitrag des Biolandbaus zu einem nachhaltigen Boden- und Gewässerschutz

Rainer Weißhaidinger^{1*}, Richard Petrasek¹, Stefan Hörtenhuber¹ und Thomas Lindenthal¹

Zusammenfassung

Der vorliegende Tagungsbeitrag fasst anhand eines Literaturreviews direkte und indirekte Auswirkungen der biologischen Landwirtschaft auf die Ressourcen Boden und Wasser zusammen. Dabei wird ersichtlich, dass die wissenschaftliche Literatur dem Biolandbau überwiegend eine positive Rolle im Boden- und Gewässerschutz zuweist, z.B. Schutz des Bodens (Steigerung der Bodenfruchtbarkeit, Reduktion von Bodenerosion), von Boden-, Grund- und Trinkwasser (Reduktion der Nitrat- und möglicher Pflanzenschutzmitteleinträge), der Oberflächengewässer (Rückgang von Phosphoreinträgen und des Eutrophierungsrisikos). Darüber hinaus dürften infolge verbesserter Infiltrations- und Wasserspeicherkapazitäten Hochwasserspitzen abgemildert werden.

Summary

The article summarizes by review of the literature direct and indirect effects of organic agriculture on soil and water resources. It indicates that organic agriculture is a positive player in soil- and water conservation. Scientific literature shows that organic agriculture is increasing soil fertility, reducing soil erosion, and reducing the input of nitrate and pesticides into ground and drinking water resources as well as the input of phosphorus into surface waters and thereby the risk of eutrophication. Additionally, high water peaks seem to be reduced through higher infiltration and water storage capacity of organic soils.

Einleitung

Der intensiven Landwirtschaft wird aufgrund ihrer negativen Auswirkungen auf die Umwelt eine steigende Aufmerksamkeit entgegengebracht. Gleichzeitig setzt eine wachsende Anzahl an Landwirten und Konsumenten auf den Biolandbau, unter der Annahme, dass dieser eine ökologische, soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeit eher gewährleistet als andere, konventionelle Formen der Landbewirtschaftung.

Zentrale Aspekte der biologischen Landwirtschaft sind nach STOLZE et al. 2000:

- Langfristige Steigerung oder zumindest Beibehaltung der Bodenfruchtbarkeit,
- Verbot von leicht löslichen mineralischen und synthetischen Stickstoffdüngern,
- Verbot von chemisch-synthetischen Pestiziden und Futtermittelzusätzen, und
- höchstmögliches Tierwohl sowie begrenzte Viehbesatzdichten.

Es gilt heute als unbestritten, dass die intensive Landwirtschaft zu einem erheblichen Teil für Beeinträchtigungen von Böden, Oberflächengewässern, Grundwässern und der Luft verantwortlich ist (z.B. BMLFUW 2011). Während zuletzt vermehrt Aspekte des Klimaschutzes oder der Biodiversitätsförderung durch die biologische Landwirtschaft im Vordergrund standen (z.B. LINDENTHAL et al. 2011), geht der folgende Artikel der Frage nach, inwieweit der Biolandbau zum Schutz der Ressourcen Boden und Wasser beiträgt. Der

Artikel geht nicht spezifisch auf die österreichische Situation ein, vielmehr reflektiert er wissenschaftliche Literatur zum Thema aus einer allgemeinen Perspektive. Diffuse landwirtschaftliche Stoffquellen stehen im Zentrum, d.h. solche, die auf die Kulturfleichen verteilt und nicht genau lokalisierbar sind. Punkt- und Mini-Punktquellen, das sind solche von Hofabläufen – z.B. Einträge über unsachgemäße Reinigung von Spritzgeräten – werden nicht betrachtet, sind jedoch zweifelsohne eine wichtige Belastungsquelle für Gewässer.

Beitrag des Biolandbaus zum Bodenschutz

Landwirtschaftliche Nutzung führt(e) zur Freisetzung von Kohlenstoff durch Mineralisierung und zum Verlust an organischer Bodensubstanz und damit einhergehend zur Verringerung der Bodenfruchtbarkeit (LAL 2004, LINDENTHAL et al. 2011). Wichtiges Ziel des Biolandbaus ist die Bodenfruchtbarkeit mittels einer naturnahen und ressourcenschonenden Produktionsweise (z.B. Kreislaufwirtschaft) zu erhalten, zu fördern und zu verbessern (STOLZE et al. 2000, NIGGLI et al. 2009).

Bodenfruchtbarkeit

Viele Studien weisen der biologischen Landwirtschaft auf unterschiedlichen Standorten eine mittel- bis langfristige Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bzw. des Humusgehalts zu (REGANOLD 1988, MÄDER et al. 2002, SHEPARD et al. 2002, FLIESSBACH et al. 2007). Keine bzw. nicht signifikante Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsweisen hinsichtlich des Aufbaus von organischer Substanz

¹ Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) Österreich, Seidengasse 33-35/13, A-1070 WIEN

* Ansprechpartner: Dr. Rainer Weißhaidinger, rainer.weissaidinger@fibl.org

wurden vereinzelt festgestellt, z.B. bei KÖNIG und SUNKEL (1989) und FRIEDEL (2000).

Verantwortlich für höhere Bodenfruchtbarkeit und Humusgehalte im Biolandbau sind: (1) Zufuhr von organischer Substanz, (2) permanente Bodenbedeckung durch Pflanzen, (3) reduzierte Bodenbearbeitung und (4) vielfältige Fruchtfolgen, (5) Klee gras in der Fruchtfolge und (6) flächengebundene Tierhaltung (PIMENTEL et al. 2005, FLIESSBACH et al. 2007, MÜLLER und LINDENTHAL 2009, LINDENTHAL et al. 2011). Nachweislich sind mit höheren Humusgehalten eine verstärkte mikrobielle Aktivität und gesteigerte Abundanz des Mikroedaphons sowie ein höherer Mykorrhiza-Besatz in biologisch bewirtschafteten Böden verbunden (MÄDER 1993, OBERSON et al. 1996, FLIESSBACH und MÄDER 2000, MÄDER et al. 2000, HANSEN et al. 2001, MÄDER et al. 2002, GOSLING 2006). Zahlreiche Studien weisen – verglichen mit konventionell bewirtschafteten Flächen – in Bio-Böden eine höhere Biomasse, Abundanz und Artenzahl von Regenwürmern nach (z.B. PFIFFNER und MÄDER 1997, HOLE et al. 2005, PFIFFNER und LUKA 2007, BIRKHOFFER et al. 2008, LILIENTHAL und SCHNUG 2011), wodurch auch ein verbesserter Nährstoff-, Wasser- und Lufthaushalt sowie stabilere Bodenkrümel gewährleistet werden (SIEGRIST et al. 1998).

Die oben angeführten Indikatoren einer höheren Bodenfruchtbarkeit in biologisch bewirtschafteten Böden führen zu einer Vielzahl an positiven (Neben)Effekten, z.B. eine verbesserte Filter- und Pufferfunktion gegenüber Säure-, Schad- und Nährstoffeinträgen sowie eine erhöhte Speicherfunktion, z.B. von Nährstoffen und CO₂ (u.a. PIMENTEL et al. 2005).

Bodenerosion und physikalischer Bodenschutz

Der Prozess der Bodenerosion ist weltweit ein maßgeblicher Faktor der Degradierung bzw. Zerstörung von Bodenressourcen (PIMENTEL 1995, BOARDMAN und POESEN 2006). Dabei sind nicht nur die Schäden im Agrarökosystem (on-site) – z.B. Humus- und Nährstoffverluste – von Bedeutung, vielmehr wirken sich transportierte Schwebstoffe und daran partikulär gebundene Schad- und Nährstoffe gravierend auf benachbarte bis weit entfernte (off-site-) Ökosysteme aus.

Es gibt kaum Studien die Bodenerosionsraten von unterschiedlichen Landbausystemen direkt mittels Felderhebungen untersuchen. Dagegen gibt es eine Vielzahl an vergleichenden Studien, welche Teilprozesse oder Indikatoren der Bodenerosion prüfen und Vorteile für den Biolandbau belegen, u. a. eine höhere Infiltrations- und Wasserspeicherkapazität sowie Aggregatstabilität (SIEGRIST et al. 1998, PIMENTEL et al. 2005, LILIENTHAL und SCHNUG 2011), eine Reduktion des Verschlammungsrisikos und eine Steigerung des Erosionswiderstands durch Luzerne-, Klee- oder Klee gras, stickstoffreiche Wurzelrückstände und Bestandsabfälle und infolge höherer mikrobieller Aktivität (SIEGRIST et al. 1998, KAINZ et al. 2009). Dadurch kann das Risiko von Oberflächenabfluss und Abschwemmungs- bzw. Erosionsereignisse herabgesetzt wird.

In *Abbildung 1* sind die laut KAINZ et al. (2009) positiven wie negativen Effekte des Biolandbaus auf die Bodenerosion dargestellt. Die weitgehende Vermeidung von Schwarzbrache, ein regional oft geringerer Hackfruchtanteil, die Integration von Zwischen- und Untersaaten sowie eine

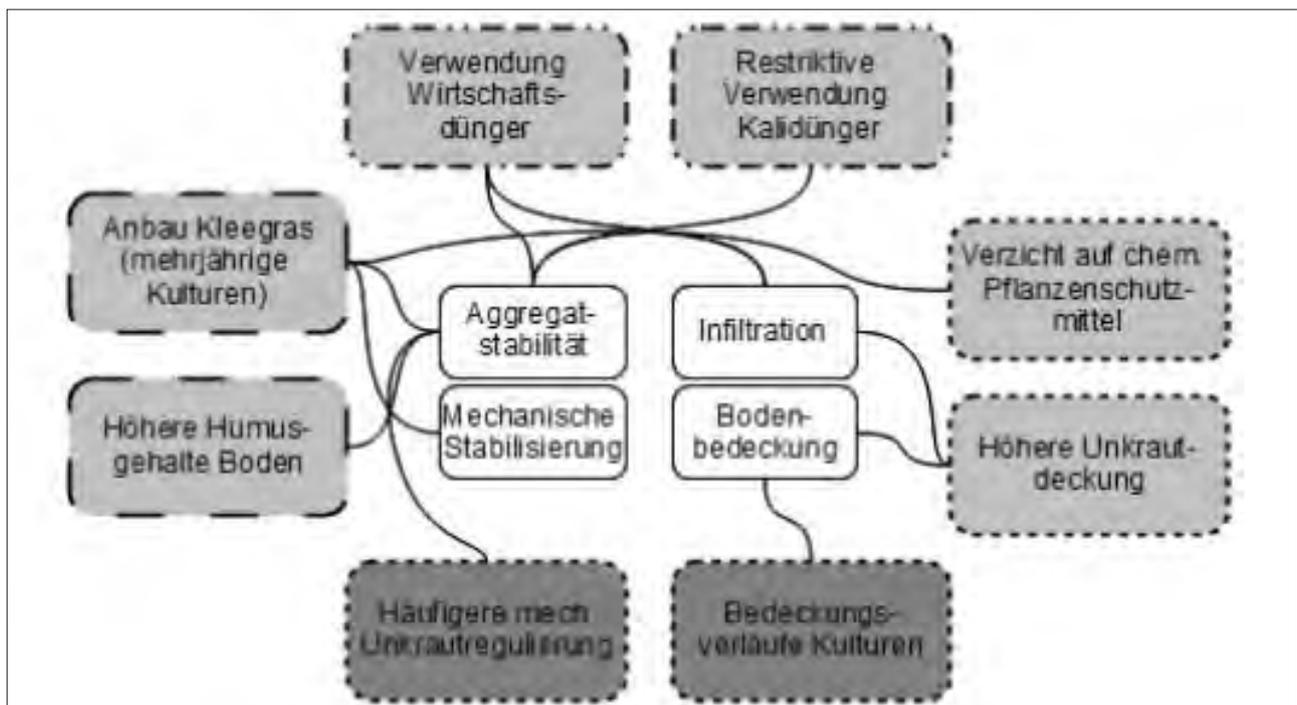


Abbildung 1: Maßnahmen des biologischen Landbaus und Wirkungen auf die Bodenerosion (Angaben aus KAINZ et al. 2009; eigene Darstellung). Die hellgrauen und grauen Felder weisen auf eine Ab- bzw. Zunahme der Bodenerosion durch den Biolandbau hin. Die Umrandung der Felder deutet auf die Wirkungsdauer der Maßnahmen hin: kurze Striche = kurzfristig; lange = langfristig.

ökologische Agrarlandschaftsgestaltung wirken sich darüber hinaus bodenerosionsreduzierend aus (MÜLLER und LINDENTHAL 2009).

Für reduzierte und Minimalbodenbearbeitung im Biolandbau gibt es großen Forschungsbedarf mit Potenzialen zum verbesserten Boden- und Gewässerschutz (PEIGNÉ et al. 2007, ANKEN et al. 2009, LAHMAR 2010).

Chemischer Bodenschutz

Durch das Verbot von Herbiziden in der biologischen Landwirtschaft besteht kein Risiko der chemischen Belastung von Böden (vgl. NIGGLI et al. 2009). Neben dem Verbot von chemisch-synthetischen Pestiziden liegen dem Biolandbau strengere Grenzwerte hinsichtlich organischen und anorganischen Schadstoffen in organischen und mineralischen Düngern zugrunde. So dürfen z.B. die – häufig mit Schwermetallen belasteten – Klärschlämme im Biolandbau nicht eingesetzt werden (MÜLLER und LINDENTHAL 2009).

Beitrag des Biolandbaus zum Gewässerschutz

Die Landwirtschaft ist einer der großen Verursacher von Gewässerbelastungen (s. BMLFUW 2010). Offenkundige Probleme verursachen Nähr- und Schadstoffausträge, die entweder gelöst oder partikulär gebunden über Prozesse der Versickerung, Drainage- und Zwischenabfluss sowie Abschwemmung und Bodenerosion ins Grundwasser oder in Oberflächengewässer eingetragen werden.

Nitratauswaschung

Durch die Verwendungseinschränkungen von leichtlöslichen N- und P-Düngern sind die möglichst verlustarme Verwendung von Hofdüngern und die Deckung des N-Bedarfs von Kulturen durch Leguminosen und Gründüngung in der Fruchtfolge zentrale Ziele des Biolandbaus (Kreislaufwirtschaft) (NIGGLI et al. 2009).

Aufgrund der großen Mobilität von Nitrat im Boden-Wasser-Komplex ist Stickstoff im Grundwasserschutz als besonders problematisch anzusehen. Aufgrund von unterschiedlichen Erhebungsmethoden, Bodentypen, Klima und Nutzungsarten sind Untersuchungsergebnisse oft schwierig miteinander zu vergleichen. Viele der Landbausysteme vergleichenden Studien weisen jedoch auf z.T. deutliche Vorteile des Biolandbaus im Vergleich mit der konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und Auswaschungsmengen im Drainage- und Grundwasser hin (FEIGE und RÖTHLINGSHÖFER 1990, BRANDHUBER und HEGE 1992, BERG et al. 1997, KOLBE 2000, HAAS 2001, WILBOIS et al. 2007). In einer umfangreichen Studie von KOLBE (2000) erklärt sich die reduzierte Nitratauswaschung durch geringere N-Saldowerte, höhere Nährstoffverwertung der Kulturen, geringe N_{\min} -Herbstwerte, ein kleineres N-Verlagerungspotenzial von organischen Düngern (ggü. Mineraldünger), höhere N-Bindung im Humus sowie oft auch eine Erweiterung der C/N-Verhältnisse (vgl. SHEPARD et al. 2002, HAAS 2010). Im Biolandbau wird dort hohe Nitratauswaschung festgestellt, wo z.B. für den Umbruch von Gras oder Leguminosen der falsche

Zeitpunkt oder keine optimale Folgekultur gewählt wird. Darüber hinaus können geringere Erträge zu einem höheren N-Auswaschungspotenzial führen (HANSEN et al. 2001).

Phosphat

Phosphorverluste aus der Landwirtschaft tragen zur Oberflächengewässereutrophierung bei (BMLFUW 2010). Die dominierenden Austragsprozesse sind Abschwemmung gelöster und Erosion partikulär gebundener P-Fractionen. Allgemein gilt Phosphor im Boden als wenig mobil. Mit steigender P-Versorgung des Oberbodens kann jedoch die Auswaschungsfahr von Orthophosphaten steigen, v.a., wenn eine Drainagierung der Flächen vorliegt (STAMM et al. 1997 und 2002).

Wie weiter oben beschrieben sind Bodenerosionsraten unter biologischer Bewirtschaftung höchstwahrscheinlich geringer als im konventionellen Landbau (mit Ausnahme der reduzierten Bodenbearbeitung). Die Verringerung der Eutrophierung durch verringerten Abtrag von nährstoffreichen Oberbodenmaterial wird zudem dadurch verstärkt, dass die Ackerschläge von Biobetrieben auch geringe Gesamtphosphor-Gehalte aufweisen und somit geringere P-Mengen mit dem Oberboden in die Oberflächengewässer gelangen (LINDENTHAL 2000, KELLER et al. 2009). Eine höhere Bioaktivität der Bodenorganismen und Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln führen zu einer effizienteren Phosphornutzung von Kulturen (NIGGLI et al. 2009).

Pflanzenschutzmittel

In Österreich wurden im Jahr 2009 in Summe 3.692,4 t Wirkstoffmenge von Pestiziden ausgebracht, wobei über ein Drittel davon als Herbizide Verwendung fanden (BMLFUW 2011). Rückstände dieser Stoffe im Boden, Grundwasser, Oberflächenwasser und eben auch in der menschlichen Nahrung können zu negativen Folgewirkungen für das Ökosystem (und den Menschen) führen. Bodeneigenschaften, Gehalt an organischem Kohlenstoff, pH-Wert, Textur, Zusammensetzung und Struktur sowie die Art der Bodenbearbeitung, das Klima, die Zusammensetzung des Unterbodens und der Vadosezone, das Grundwasser selbst und die Menge sowie die Eigenschaften des verwendeten Pestizids sind entscheidend für das Auswaschungspotential dieser Stoffe (SI et al. 2006, GILLIOM et al. 2007). Nach der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 dürfen in der biologischen Landwirtschaft keine chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel zum Einsatz kommen. Dadurch ist eine Kontamination des Grund- und Trinkwassers durch diese Xenobiotika nach der Umstellungsphase ausgeschlossen. Als Vorbeugung von Verlusten durch Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter setzt die biologische Landwirtschaft hauptsächlich auf Nützlinge, eine geeignete Arten- und Sortenwahl, standortangepasste Fruchtfolgen, Bodenbearbeitungs- und Anbauverfahren sowie thermische Prozesse. Bei der Bewirtschaftung von manchen Kulturen bzw. bei einem verstärkten Krankheits- und Schädlingsdruck sind dennoch gewisse Pflanzenschutzmittel biologischen Ursprungs zugelassen (z.B. Phyrethrine, Pflanzenöle, gewisse Formen von Kupfer) (z.B. KÜHNE et al. 2006). Trotz ihres natürlichen Ursprungs müssen diese Präparate effizient und maßvoll eingesetzt werden. Herbizide hingegen werden in keiner Form angewendet. Der Biolandbau hilft daher, die

globale Kontamination mit Pestiziden in der Atmosphäre, im Regen, im Grundwasser, in den Oberflächengewässern und Meeren zu verringern (MÜLLER und LINDENTHAL 2009).

Tierarzneimittel

Tierarzneimittel, vor allem Antibiotika, werden in der landwirtschaftlichen Tierhaltung (in Betracht der nationalen Gesetzeslage) mittels Futterbeimischungen, angereichertem Trinkwasser oder direkt zur Wachstumsförderung, zur Prophylaxe, Metaphylaxe oder Therapie gegen Krankheiten bei Tieren angewendet (z.B. AUST et al. 2008). Die anfallenden Ausscheidungen werden als Wirtschaftsdünger, Jauche oder Festmist auf die landwirtschaftliche Nutzfläche aufgebracht, wodurch es zu einer Kontamination des Bodens mit Tierarzneimitteln bzw. deren Abbauprodukten kommt (MARTINEZ-CARBALLO et al. 2007, UMWELTBUNDESAMT 2005). Ausscheidungen von Tieren gelangen – im Gegensatz zum Großteil der menschlichen Exkremente – in das Ökosystem, ohne eine Reinigung in Kläranlagen zu durchlaufen. Somit besteht die Möglichkeit, dass diese durch den Nahrungskreislauf auch in die menschliche Ernährung gelangen, wodurch es zu Gesundheitsgefährdungen (z.B. Antibiotikaresistenzen) für die Menschen kommen kann (MUNIR und XAGORARAKI 2011). Abhängig von der Stabilität der jeweiligen Arzneimittelwirkstoffe bzw. der Art der Abbauprodukte verbleiben diese in den oberen Bodenschichten. Ein Eintrag dieser Stoffe kann über Abschwemmung und Bodenerosion in Oberflächengewässer oder durch Versickerung in das Grundwasser (z.B. BOXALL et al. 2003, BLACKWELL et al. 2007) erfolgen.

In der biologischen Landwirtschaft gilt das Prinzip der Krankheitsvorsorge. Dazu zählen die Wahl geeigneter Rassen oder Linien, tiergerechte Haltung, angemessene Besatzdichte, Art- und bedarfsgerechte Fütterung sowie regelmäßiger Auslauf (VO(EG)Nr. 834/2007).

Im Krankheitsfall oder bei Verletzungen sind laut dieser EU-VO phytotherapeutische Erzeugnisse (z.B. Pflanzenextrakte), homöopathische Präparate sowie Spurenelemente chemisch-synthetischen allopathischen Tierarzneimitteln oder Antibiotika vorzuziehen. Kann das Tier mit diesen Mitteln nicht wirksam behandelt werden, so dürfen in Verantwortung eines Tierarztes chemisch-synthetische allopathische Tierarzneimittel verabreicht werden.

Obwohl es keine offiziellen Zahlen zum Verbrauch von Tierarzneimitteln in Österreich gibt (soweit uns bekannt), kann davon ausgegangen werden, dass die biologische Tierhaltung geringere Mengen von Tierarzneimitteln in das Ökosystem einbringt.

Hochwasser

Generell, besonders aber im Hinblick auf künftig im hydrologischen Winterhalbjahr vermehrt auftretende Niederschlags-Hochwasserereignisse sind bestmögliche Infiltrations- und Wasserspeicherkapazitäten der Böden von Wichtigkeit. Hier tragen die biologische Landwirtschaft und die konservierende Bodenbearbeitung durch höhere Infiltrations- und Wasserspeicherkapazitäten zum vorbeugenden Hochwasserschutz und zur Abmilderung von Hochwasserspitzen bei (LILIENTHAL und SCHNÜG 2011).

Trinkwasser

Wie Beispiele aus Deutschland zeigen, bietet die Integration der biologischen Landwirtschaft im Grund- und Trinkwasserschutzgebietsmanagement eine volkswirtschaftlich sinnvolle, vorsorgliche Strategie von Wasserversorgungsunternehmen, etwa in München, Leipzig, Unterfranken und Niedersachsen (s. MÜLLER und LINDENTHAL 2009). Als Anlass zur Förderung des Biolandbaus durch die Wasserversorgungsunternehmen stehen laut SZERENCSITS und HESS (2001) steigende Nitratwerte und Pestizidrückstände im Wasser sowie der präventive Charakter einer Umstellung im Vordergrund. Aus der Perspektive der Landwirtschaft können die Bedingungen für eine Umstellung auf biologische Landwirtschaft v.a. dann verbessert werden, wenn ein umfassendes Bündel an Beratungs- und Unterstützungsinstrumenten zum Einsatz kommt (SZERENCSITS et al. 2002, SZERENCSITS und HESS 2003, WILBOIS et al. 2007): nämlich engagierte, überzeugende persönliche Beratung; leicht verfügbare Information; Sicherung des Absatzes von Bioprodukten; Bereitstellung von Einkommensausgleichen (während der Umstellung und danach) und eine befristete teilbetriebliche Umstellung. In nitratbelasteten Gebieten kann laut KOLBE (2000) der biologische Landbau (mit einer gewissen Optimierung) eine Reduktion unter Richtwert gewährleisten.

Beitrag zur umfassenden Nachhaltigkeit

Die starke Abhängigkeit der konventionellen Landwirtschaft von Düngemitteln und Pestiziden führt zu gravierenden gesundheitlichen und ökologischen Problemen (PIMENTEL et al. 2005). Der Biolandbau hingegen leistet einen wichtigen Beitrag zur Reduktion von Umweltbelastungen bzw. langfristigen Umweltrisiken sowie von externalisierten Kosten (z.B. Kosten der Gewässerreinigung, Gesundheitskosten) durch Verbote und Einschränkungen von leicht löslichen (Mineral-) Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln und Tierarzneimitteln. Damit wird nicht nur die Stoffbelastung als solche, sondern auch die Belastung und die Risiken durch mögliche Abbauprodukte verkleinert, die z.T. (noch) nicht erfasst werden können.

Neben lokaler Boden- und Gewässerbelastung gibt es infolge der Futtermittel- oder Agrotreibstoff-Importe massive Beeinträchtigungen von Ökosystemen in den Ursprungsregionen. Eine holistische Betrachtung dieser importierten Belastungen ist nötig. Zwei bekannte Beispiele sind die landwirtschaftliche Produktion von Futtermitteln, die damit direkt oder indirekt einhergehende Abholzung von Regenwäldern in Südamerika (bspw. für Sojaimporte) und die Konversion von Primär- und Sekundärregenwäldern in Palmölplantagen zur Produktion von Agrotreibstoffen und dem in Europa weniger eingesetzten Koppelprodukt Palmkernkuchen. Besonders im zweiten Fall werden große Mengen an Dünger und Pestiziden eingesetzt, mit gravierenden Folgen für die Umwelt (Klima, Boden, Gewässer und Biodiversität) und sozialer und lokal-ökonomischer Folgewirkungen. Ein weiterer globaler Effekt der intensiven Landwirtschaft ist das Phänomen der „Toten Meereszonen“ im Bereich von Flussmündungen in Meeren. Infolge des übermäßigen Stickstoffeintrags in die Meere kommt es in den Küstenregionen zu Eutrophierungsprozessen, die zum

Absterben der benthischen Fauna und zu schweren Störungen bzw. zum Massensterben von Fischen führen (DIAZ und ROSENBERG 2008). In Europa sind von diesem Phänomen hauptsächlich die Nord- und Ostsee davon betroffen.

Derartige Perspektiven und globale Prozesse dürfen in einem „nachhaltigen“ Modell nicht fehlen – weder der Landwirtschaft noch des Boden- und Wasserschutzes. Der Biolandbau ist nicht per se in allen Aspekten der Nachhaltigkeit besser, jedoch entspricht er am ehesten der Auffassung einer nachhaltigen Landwirtschaft. Dies gilt insbesondere auch für den Schutz von Boden- und Wasserressourcen. Die Stärke des Biolandbaus besteht aber nicht darin, dass ausgesuchte Aspekte der Nachhaltigkeit bedient werden, sondern Nachhaltigkeit umfassend gesehen wird und neben der ökologischen auch soziale und ökonomische Elemente integriert werden. Neben den bereits eingehender behandelten Vorteilen im Boden- und Gewässerschutz sind dies hauptsächlich: Klimaschutz, Tierschutz / Tiergesundheit, Schutz und Förderung der Biodiversität (Lebensräume, Arten- und genetische Vielfalt von Flora und Fauna), Förderung von Ökosystem-„Dienstleistungen“ (Regulierung von Schadinsekten, Bestäuberfunktion) und ein Beitrag zur Landschaftsqualität (NIGGLI et al. 2009, SANDHU et al. 2010).

Schlussfolgerung

Die Biolandwirtschaft leistet einen wichtigen direkten und indirekten Beitrag zum Boden- und Gewässerschutz – lokal, regional und global! Die wichtigsten Effekte sind u. a. der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, die Reduktion von Oberflächenabfluss, Abschwemmung und Bodenerosion, eine geringere Auswaschung von Nitrat und Schadstoffen ins Grundwasser, geringere Stoffeinträge in Oberflächengewässer und ein im Einzugsgebiet beginnender Hochwasserschutz. Im Gegensatz zur konventionellen Landwirtschaft ist das Optimierungspotenzial der biologischen Landwirtschaft wenig ausgeschöpft. Es besteht hoher Forschungsbedarf im Biolandbau – auch im Zusammenhang mit Boden- und Gewässerschutz – der durch die gegenwärtige Forschungslandschaft nicht im erwünschten Maße gewährleistet werden kann.

Danksagung

Für die Durchsicht des Manuskripts danken wir Frau DI Elisabeth Klingbacher.

Literatur

- ANKEN, T., W. RICHNER, P. MÄDER und O. SCHMID, 2009: Stickstoffausnutzung, Beikrautregulierung und Erträge unterschiedlicher Bestellverfahren. In: J. Mayer et al. (Hrsg.): Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel., Bd. 1, 30-33.
- AUST, M.-O., F. GODLINSKI, G.R. TRAVIS, X. HAO, T.A. McALLISTER und P. LEINWEBER, 2008: Distribution of sulfamethazine, chlortetracycline and tylosin in manure and soil of Canadian feedlots after subtherapeutic use in cattle. *Environmental Pollution* 156, 1243-1251.
- BERG, M., G. HAAS und U. KÖPKE, 1997: Wasserschutzgebiete: Vergleich des Nitrataustrages bei Organischem, Integriertem und Konventionellem Ackerbau. In: Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau Bonn, Köster, Berlin, 28-34.
- BIRKHOFFER, K., T. MARTIJN BEZEMER, J. BLOEM, M. BONKOWSKI, S. CHRISTENSEN, D. DUBOIS, F. EKELUND, A. FLIESSBACH, L. GUNST, K. HEDLUND, P. MÄDER, J. MIKOLA, C. ROBIN, H. SETÄLÄ, F. TATIN-FROUX, W. H. van der PUTTEN and S. SCHEU, 2008: Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology & Biogeochemistry* 40, 2297-2308.
- BLACKWELL, P.A., P. KAY and A.B.A. BOXALL, 2007: The dissipation and transport of veterinary antibiotics in a sandy loam soil. *Chemosphere* 62, 292-299.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (Hrsg.), 2010: Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2010. BMLFUW in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt. Internet: <http://www.umweltbundesamt.at/jb2010>
- BMLFUW (Bundesministerium für Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (Hrsg.), (2011): Grüner Bericht 2011 – Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Internet: www.gruenerbericht.at
- BOARDMAN, J. and J. POESEN (Hrsg.), 2006: Soil Erosion in Europe. John Wiley & Sons. ISBN 0-470-85910-5.
- BOXALL, A.B.A., D.W. KOLPIN, B. HALLING-SÖRENSEN and J. TOLLS, 2003: Are veterinary medicines causing environmental risks? *Environmental Science & Technology* 287.
- BRANDHUBER, R. und U. Hege, 1992: Tiefenuntersuchungen auf Nitrat unter Ackerschlägen des ökologischen Landbaus. Bayer. Landwirtschaftliches Jahrbuch 69, 111-119.
- DIAZ, R.J. and R. ROSENBERG, 2008: Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science* 321 (5891), 926-929.
- FEIGE, W. und R. RÖTHLISHÖFER, 1990: Nitratauswaschung aus zwei unterschiedlich bewirtschafteten Ackerböden. *Zeitschrift f. Kulturtechnik und Landentwicklung* 31, 89-95.
- FLIESSBACH, A. and P. MÄDER, 2000: Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 89-95.
- FLIESSBACH, A., H.-R. OBERHOLZER, L. GUNST and P. MÄDER, 2007: Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118, 273-284.
- FRIEDEL, J.K., 2000: The effects of farming system on labile fractions of organic matter in Calcari-Epileptic Regosols. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163, 41-45.
- GILLIOM, R.J., J.E. BARBASH, C.G. CRAWFORD, P.A. HAMILTON, J.D. MARTIN, N. NAKAGAKI, L.H. NOWELL, J.C. SCOTT, P.E. STACKELBERG, G.P. THELIN and D.M. WOLOCK, 2007: Pesticides in streams and ground water of the United States. In: Del Re, A. A. M., XIII (Hrsg.), Symposium Pesticide Chemistry—Environmental Fate and Ecological Effects of Pesticides. La Goliardica Pavese s.r.l., 731-742.
- GOSLING, P., A. HODGE, G. GOODLASS and G.D. BENDING, 2006: Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113, 17-35.
- HAAS, G., 2010: Wasserschutz im Ökologischen Landbau: Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft. Bericht BÖL (ID 16897). Jan. 2010.
- HAAS, G., F. WETTERICH und U. KÖPKE, 2001: Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 43-53.
- HANSEN, B., H.F. ALRØE and E.S. KRISTENSEN, 2001: Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 11-26.
- HOLE, D.G., A.J. PERKINS, J.D. WILSON, I.H. ALEXANDER, P.V. GRICE and A.D. EVANS, 2005: Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122, 113-130.

- KAINZ, M., N. SIEBRECHT und H.-J. REENTS, 2009: Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion. In: J. Meyer et al. (Hrsg.): Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel. Bd. 1: 53-56.
- KELLER, M., A. OBERSON, E. FROSSARD, P. MÄDER, J. MAYER und E.K. BÜNEMANN, 2009: Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsverfahren auf P-Formen und P-Dynamik im Boden. In: J. Meyer et al. (Hrsg.): Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel. Bd. 1: 73-74.
- KOLBE, H., 2000: Landnutzung und Wasserschutz. Land Use and Water Protection. Effects of nitrogen budget, Nmin-values, nitrate content and leaching in Germany. WLW Wissenschaftliches Lektorat & Verlag, Leipzig, Germany, ISBN 3-9805495-7-7.
- KÖNIG, W. und R. SUNKEL, 1989: Untersuchungen zu Bodenphysik, Humusversorgung und Nährstoffhaushalt auf alternativ und konventionell bewirtschafteten Flächen. In: Alternativer und konventioneller Landbau. Schriftenreihe Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwässerung und Forstplanung NRW, Bd. 11, Münster-Hiltrup, 21-38.
- KÜHNE, S., U. BURTH und P. MARX (Hrsg.), 2006: Biologischer Pflanzenschutz im Freiland – Pflanzengesundheit im Ökologischen Landbau. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- LAHMAR, R., 2010: Adoption of conservation agriculture in Europe. Lessons of the KASSA project. Land Use Policy 27: 4-10.
- LAL, R., 2004: Carbon emission from farm operations. Environmental International 30, 981-990.
- LILIENTHAL, H. und E. SCHNUG, 2011: Bioböden sind die besseren Wasserspeicher. Ökologie & Landbau 158 (2/2011), 20-22.
- LINDENTHAL, T., 2000: Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau. Ausgangspunkte für die Bewertung einer großflächigen Umstellung ausgewählter Bundesländer Österreichs auf Biologischen Landbau hinsichtlich des P-Haushalts. Diss. Univ. f. Bodenkultur Wien.
- LINDENTHAL, T., G. RUDOLPH, M. THEURL, S. HÖRTENHUBER und G. KRAUS, 2011: Biologische Boden-Bewirtschaftung als Schlüssel zum Klimaschutz in der Landwirtschaft. Studie im Auftrag von Bio Austria. Endbericht, Aug. 2011.
- MÄDER, P., 1993: Effekt langjähriger biologischer und konventioneller Bewirtschaftung auf das Bodenleben. In: Zerger, U. (Hrsg.): Forschung im ökologischen Landbau. SÖL Sonderausg. 42, 271-278.
- MARTÍNES-CARBALLO, E., C. GONZÁLEZ-BARREIRO, A. SITKA, S. SCHARF und O. GANS, 2007: Environmental monitoring study of selected veterinary antibiotics in animal manure and soils in Austria. Environmental Pollution 148, 570-579.
- MÄDER, P., S. EDENHOFER, T. BOLLER, A. WIEMKEN und U. NIGGLI, 2000: Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low input („organic“, „biological“) and high input („conventional“) farming systems in a crop rotation. Biology and Fertility of Soils 31, 150-156.
- MÄDER, P., A. FLIESSBACH, D. DUBOIS, L. GUNST, P. FRIED und U. NIGGLI, 2002: Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. Science 296, 1694-1697.
- MÜLLER, W. und T. LINDENTHAL, 2009: Was leistet der Biologische Landbau für die Umwelt und das Klima. Studie im Auftrag der AMA. Wien, März 2009.
- MUNIR, M. und I. XAGORARAKI, 2011: Levels of antibiotic resistance genes in manure, biosolids, and fertilized soil. J Environmental Quality 40, 248-55.
- NIGGLI, U., O. SCHMID, M. STOLZE, J. SANDERS, C. SCHADER, A. FLIESSBACH, P. MÄDER, P. KLOCKE, G. WYSS, O. BALMER, L. PFIFFNER und E. WYSS, 2009: Gesellschaftliche Leistungen der biologischen Landwirtschaft. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick, März 2009.
- OBERSON, A., J.M. BESSON, N. MAIRE and H. STICHER, 1996: Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. Biol. Fert. Soils 21, 138-148.
- PEIGNÉ, J., B.C. BALL, J. ROGER-ESTRADE and C. DAVID, 2007: Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. Soil Use and Management 23, 129-144.
- PFIFFNER, L. and P. MÄDER, 1997: Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. Biological Agriculture and Horticulture 15, 3-10.
- PFIFFNER, L. and H. LUKA, 2007: Earthworm populations in two low-input cereal farming systems. Applied Soil Ecology 37, 184-191.
- PIMENTEL, D., C. HARVEY, P. RESOSUDARMO, K. SINCLAIR, D. KURZ, M. MCNAIR, S. CRIST, L. SHPRITZ, L. FITTON, R. SAFFOURI and R. BLAIR, 1995: Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. Science 267, 1117-1123.
- PIMENTEL, D., P. HEPPERLY, J. HANSON, R. SEIDEL and D. DOUDS, 2005: Organic and Conventional Farming Systems: Environmental and Economic Issues. Report 05-1: 1-52.
- REGANOLD, J.P., 1988: Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. American Journal of Alternative Agriculture 3, 144-145.
- SANDHU, H.S., S. WRATTEN and R. CULLEN, 2010: Organic agriculture and ecosystem services. Environ Science & Policy 13, 1-7.
- SHEPARD M.A., R. HARRISON and J. WEBB, 2002: Managing soil organic matter – implications for soil structure on organic farms. Soil Use and Management 18, 284-292.
- SI, Y.B., J. ZHANG, S.Q. WANG, L.G. ZHANG and D.M. ZHOU, 2006: Influence of organic amendment on the adsorption and leaching of ethametsulfuron-methyl in acidic soils in China. Geoderma 130, 66-76.
- SIEGRIST, S., D. STAUB, L. PFIFFNER and P. MÄDER, 1998: Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. Agriculture, Ecosystems and Environment 69, 253-264.
- STAMM, C., H. FLÜHLER, R. GÄCHTER, J. LEUENBERGER and H. WUNDERLI, 1998: Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. J. Environ. Qual. 27, 515-522.
- STAMM, C., R. SERMET, J. LEUENBERGER, H. WUNDERLI, H. WYDLER, H. FLÜHLER and M. GEHRE, 2002: Multiple tracing of fast transport in a drained grassland soil. Geoderma 109, 245-268.
- STOLZE, M., A. PRIORR, A. HÄRING and S. DABBERT, 2000: The environmental impact of organic farming in Europe. Organic Farming in Europe: Economics and Policy, Vol. 6. University of Hohenheim, Germany.
- SZERENCSITS, M. und H. HESS, 2001: Trinkwasserschutz durch Ökologischen Landbau – Strategien für die Umsetzung von nachhaltigem Stoffstrommanagement. Wasser & Boden 10.
- SZERENCSITS, M. und H. HESS, 2003: Gezielte Umstellungsförderung in Wasserschutzgebieten. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau der Zukunft. Universität für Bodenkultur, Institut für Ökologischen Landbau, Wien, 673-674.
- SZERENCSITS, M., B. SCHÄFER und J. HESS, 2002: Förderung der Umstellung auf Ökologischen Landbau in Wasserschutzgebieten – Möglichkeit und Grenzen des qualifizierenden Wissenstransfers. In: Wissenschaft und Praxis der Landschaftsnutzung. Formen interner und externer Forschungskooperation. Margraf, Weikersheim, 171-183.
- UMWELTBUNDESAMT, 2005: Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden. Berichte, Bd. BE-0272. Umweltbundesamt, Wien.
- WILBOIS, K.-P., M. SZERENCSITS und R. HERMANOWSKI, 2007: Eignung des ökologischen Landbaus zur Minimierung des Nitrataustrags ins Grundwasser. Grundlagenstudie im Auftrag der Regierung Unterfranken. Juni 2007, FiBL Deutschland.

Defizite des Bodenspeichers und der Versickerungsleistung

Erwin Murer^{1*} und Johannes Wagenhofer¹

Zusammenfassung

Infolge der Bodenbearbeitung durch den Pflug und durch zu hohe Radlasten kommt es bei zu nassen Bodenverhältnissen zu Verdichtungen. Damit wird die Speicherfähigkeit, aber vor allem die vertikale Wasserdurchlässigkeit der Böden wesentlich reduziert. Es wird beispielhaft die Auswirkung einer Unterbodenverdichtung auf den Bodenwasserhaushalt mittels Simulationsmodells beurteilt. Diese beispielhafte Berechnung zeigt deutlich, dass auf Ackerflächen vorhandene Bodenverdichtungen nicht nur direkte Folgen für die Bewirtschaftung haben, sondern auch für den Wasserhaushalt dieser Flächen und deren Einzugsgebiete.

Schlagwörter: Wasserhaushalt, Bodenverdichtung, Simulationsmodell

Summary

Due to tillage operations and high wheel loads at wet soil conditions of the subsoil soil compaction is generated. This significantly reduces storage capacity and the vertical permeability of the soils. As an example the impact of subsoil compaction on soil water balance is illustrated using a simulation model. This illustrative calculation clearly shows that soil compaction on cropland not only has direct consequences for agricultural management, but also for the water balance of these areas and their catchments.

Keywords: water management, soil compaction, simulation model

Einleitung

In Österreich bestehen 3,96 Millionen ha der Flächen aus Wald und 3,19 Millionen ha sind landwirtschaftliche Nutzflächen. Davon sind wiederum 43,5% Ackerflächen (Quelle: Statistik Austria, Agrarstrukturerhebung 2007). Von diesen Ackerflächen sind etwa 34% mittel und 13% hoch verdichtungsempfindlich (MURER 2009). Die auf diesen Flächen stattfindende Verdichtung hat nicht nur direkte Folgen für die Bewirtschaftung, sondern auch für den Wasserhaushalt und deren Einzugsgebiete. Verminderte Infiltrationsraten führen zu erhöhtem Zwischen- bzw. Oberflächenabfluss und damit zu einem verminderten Wasserrückhalt. Ebenso wird die Ertragssicherheit (z.B. durch spätere Bodenerwärmung, gehemmten Nährstoffumsatz, unzureichendem Gasaustausch) verringert. Eine Auswertung von Messdaten aus Böden im Hauptproduktionsgebiet Nördliches Alpenvorland soll einen Überblick über den Zustand des Bodenspeichers und der Versickerungsleistung dieser Böden geben.

Die konvektiven Starkniederschläge in 180 Minuten (Datenbasis 1961-1990) betragen bei einem Wiederkehrintervall von 2 Jahren für weite Bereiche des Hauptproduktionsgebietes Nördliches Alpenvorland zwischen 30 bis 50 mm (HAÖ 2007). Ein Beispiel mit hohen Niederschlägen im Hauptproduktionsgebiet ist die Station des Bundesamtes für Wasserwirtschaft in Pettenbach (Vorchdorf Normalzahl 1030 mm, HZB 1994) und eine Station mit geringen Niederschlägen ist die Station der ZAMG in Hörsching (Normalzahl von 753 mm). In der Oberen Pettenbachrinne traten Niederschläge zwischen 1993 und 2011 über 40 mm pro Tag an 40 Tagen auf und in Hörsching zwischen 1975 und 2011 an 25 Tagen (*Abbildung 1*).

Durch die wiederkehrende Bodenbearbeitung, einem zumeist guten Gefüge wegen eines höheren Humusgehalts ist die gesättigte vertikale Wasserdurchlässigkeit in der Krume gegenüber dem Unterboden hoch. Infolge der Bodenbearbeitung durch den Pflug und den hohen Radlasten wird bei zu nassen Bodenverhältnissen der Unterboden verdichtet. Damit wird die Speicherfähigkeit, aber vor allem die vertikale Wasserdurchlässigkeit wesentlich reduziert.

In der Dränanleitung werden Böden mit gesättigter vertikaler Wasserdurchlässigkeit im Unterboden von kleiner 6 cm/d als sehr gering durchlässig beurteilt (EGGELSMANN 1973). Solche Böden werden unter anderem auch als Haftenäseböden bezeichnet. Damit das überschüssige, sich stauende Wasser aus der Krume rasch versickern kann, wurde als Maßnahme eine Melioration durch Dränung vorgeschlagen. Mit diesem Vergleich soll demonstrativ aufgezeigt werden, in welchen Zustand Unterböden durch unsachgemäße Bearbeitung geführt werden können.

In Teilen des Hauptproduktionsgebietes Nördliches Alpenvorland wurden Felderhebungen mit bodenphysikalischen Laboruntersuchungen in Hinblick auf Unterbodenverdichtung an 30 ausgewählten Standorten vorgenommen. Die Hauptbodentypen (www.bodenkarte.at) sowie die Bodenarten in der Pflugsohle dieser 30 Standorte entsprechen annähernd den Verhältnissen der flächenhaften Verteilung der landwirtschaftlich genutzten Böden in diesem Hauptproduktionsgebiet (MURER 2011). Von diesen Standorten besitzt nur etwa die Hälfte eine ausreichende gesättigte vertikale Wasserdurchlässigkeit im Bereich der Pflugsohle (*Abbildung 2*).

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

* Ansprechpartner: DI Erwin Murer, erwin.murer@baw.at

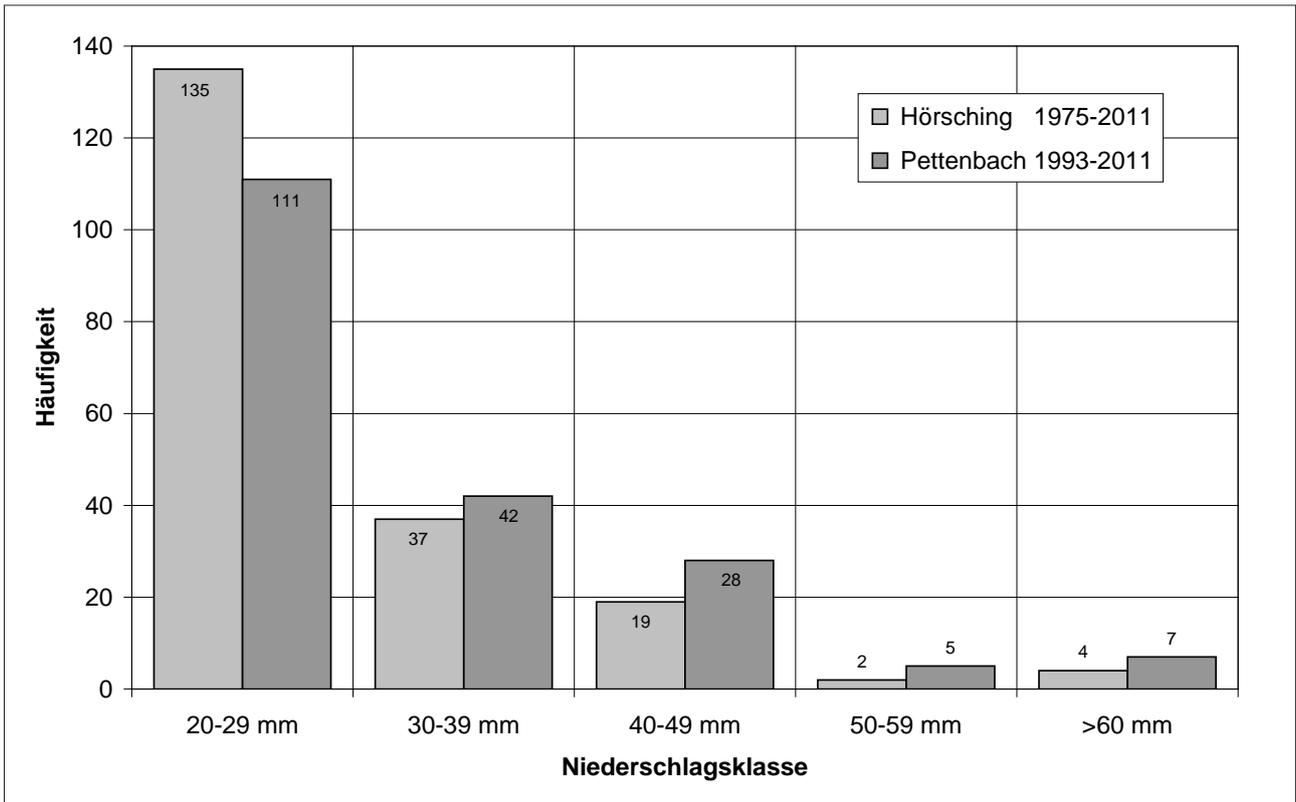


Abbildung 1: Häufigkeit der Niederschlagsklassen der Stationen Pettenbach und Horsching

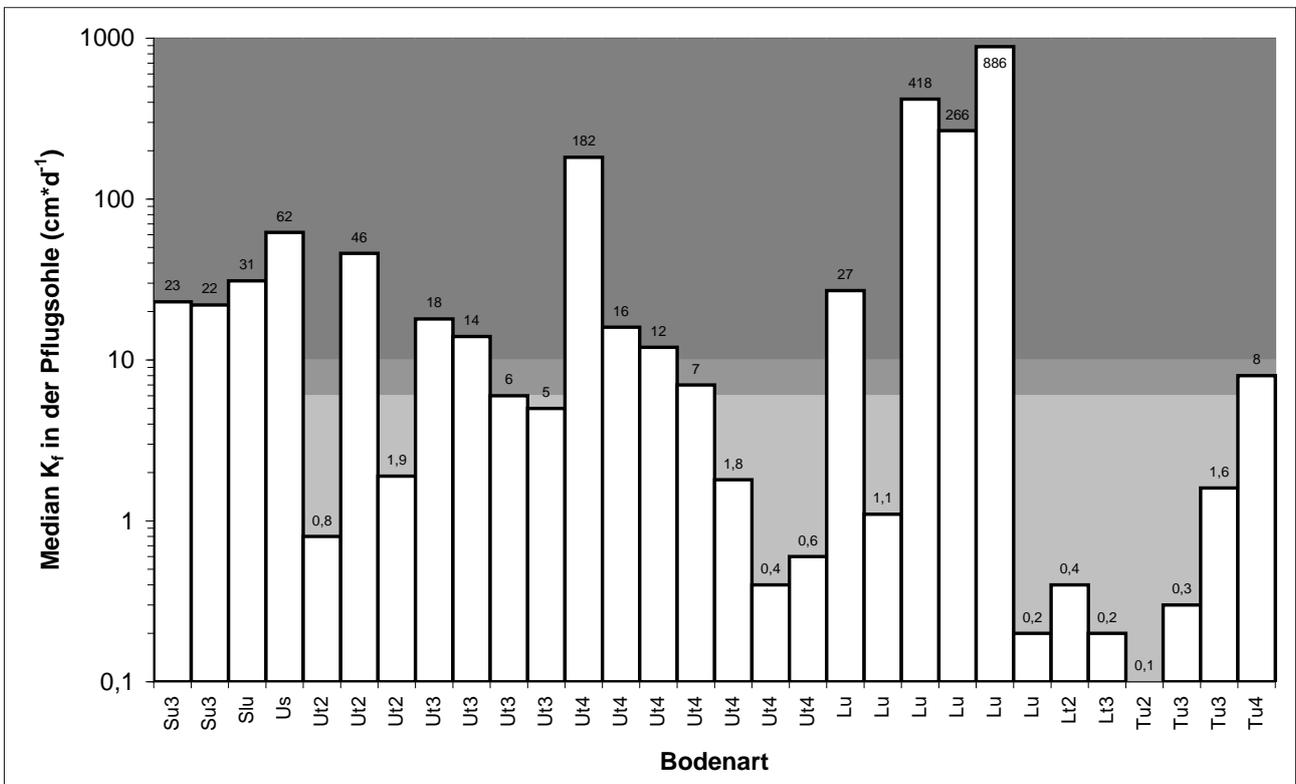


Abbildung 2: Median der gesättigten vertikalen Wasserdurchlässigkeit (K_f) mit der Bodenart (Ad-hoc-AG BODEN, 2005) im Bereich der Pflugschle

Bei der Bodenverdichtung finden vorwiegend Veränderungen der bodenphysikalischen Eigenschaften statt. Dies ist vor allem die Abnahme der Anteile an Grobporen, hauptsächlich an weiten Grobporen ($> 50 \mu\text{m}$ Durchmesser). Ebenso die Umwandlung des in nicht bis wenig verdichtete Böden vorwiegend vertikal ausgerichteten Porensystems in ein vor allem bei Plattengefüge überwiegend horizontal ausgebildeten Porensystems. Ein solches Plattengefüge wirkt dann als Stau und Sperrschicht für Wasser und Luft sowie Pflanzenwurzeln und Bodentiere (BRÜMMER 2001). Es wird in dieser Arbeit beispielhaft die Auswirkung einer Unterbodenverdichtung im Vergleich zum nicht verdichteten Standort auf den Wasserhaushalt der Krume betrachtet.

Material und Methoden

Die Berechnung des Bodenwasserhaushalts erfolgte mit dem Simulationsmodell SIMWASER (STENITZER 1988 und 1998). Betrachtet wird der Zeitraum der Jahre 1995 bis 2008 im Zeitintervall von Tagen. Der Bodenwasserhaushalt eines nicht verdichteten und eines verdichteten Standorts wird verglichen. Der Profilaufbau und die bodenphysikalischen Kennwerte entsprechen einem flächenmäßig häufig verbreiteten Standort im Hauptproduktionsgebiet Nördliches Alpenvorland (MURER 2011). Der verdichtete Standort unterscheidet sich vom nicht verdichteten Standort nur durch eine hinzugefügte Verdichtung im Bereich der Pflugsohle in 25 bis 40 cm Tiefe. In der verdichteten Pflugsohle wurde das Porenvolumen von 39 % auf 35 % verringert und die gesättigte vertikale Wasserdurchlässig-

keit von 18 cm/d auf 6 cm/d reduziert (Abbildung 3). Die bodenphysikalischen Kennwerte (Wasseranteil und Wasserdurchlässigkeit - Saugspannungsbeziehungen) des verdichteten Standortes sind nach den Gesetzmäßigkeiten infolge einer Sackungsverdichtung geändert worden. Die Änderung der Kennwerte in der Pflugsohle erfolgte deshalb nur im Bereich der Saugspannung zwischen der Sättigung und 20 kPa.

Ergebnisse

Die Modellrechnung zeigt für den Zeitraum von 1995 bis 2008 auf täglicher Basis wesentliche Unterschiede im Wasseranteilsverlauf in der Krume zwischen dem nicht verdichteten und dem verdichteten Standort (Abbildung 4). Im verdichteten Standort treten wesentlich öfter höhere Wassergehalte im Oberboden auf als im nicht verdichteten Standort. Im nicht verdichteten Standort wird eine Sättigung der Krume infolge der ausreichenden vertikalen Wasserdurchlässigkeit innerhalb des Betrachtungszeitraumes 1995 bis 2008 nie erreicht. Im gleichen Zeitraum tritt jedoch am verdichteten Standort eine Sättigung in 20 cm Tiefe achtmal auf. Das bedeutet, dass es im verdichteten Standort entweder zu Wasserstau in der Krume oder zu einem Zwischenabfluss gekommen ist.

Diese beispielhaften Berechnungen weisen sehr deutlich darauf hin, dass schädliche Bodenverdichtungen eine Änderung im Bodenwasserhaushalt haben. Damit können gravierende Veränderungen in der Durchwurzelbarkeit und biologischen Aktivität der Böden, in deren Wasser-

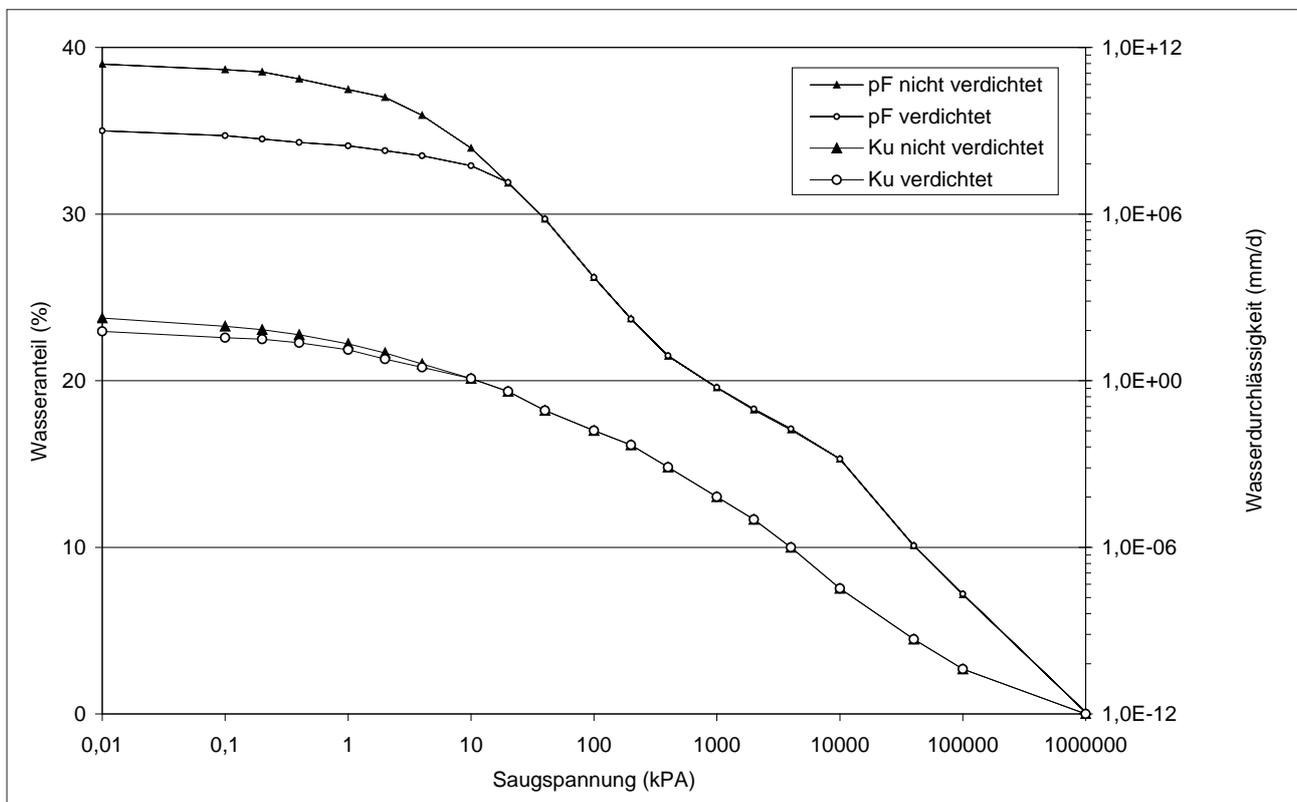


Abbildung 3: Bodenphysikalischen Kennwerte des verdichteten und nicht verdichteten Standortes zwischen 25 und 40 cm Tiefe

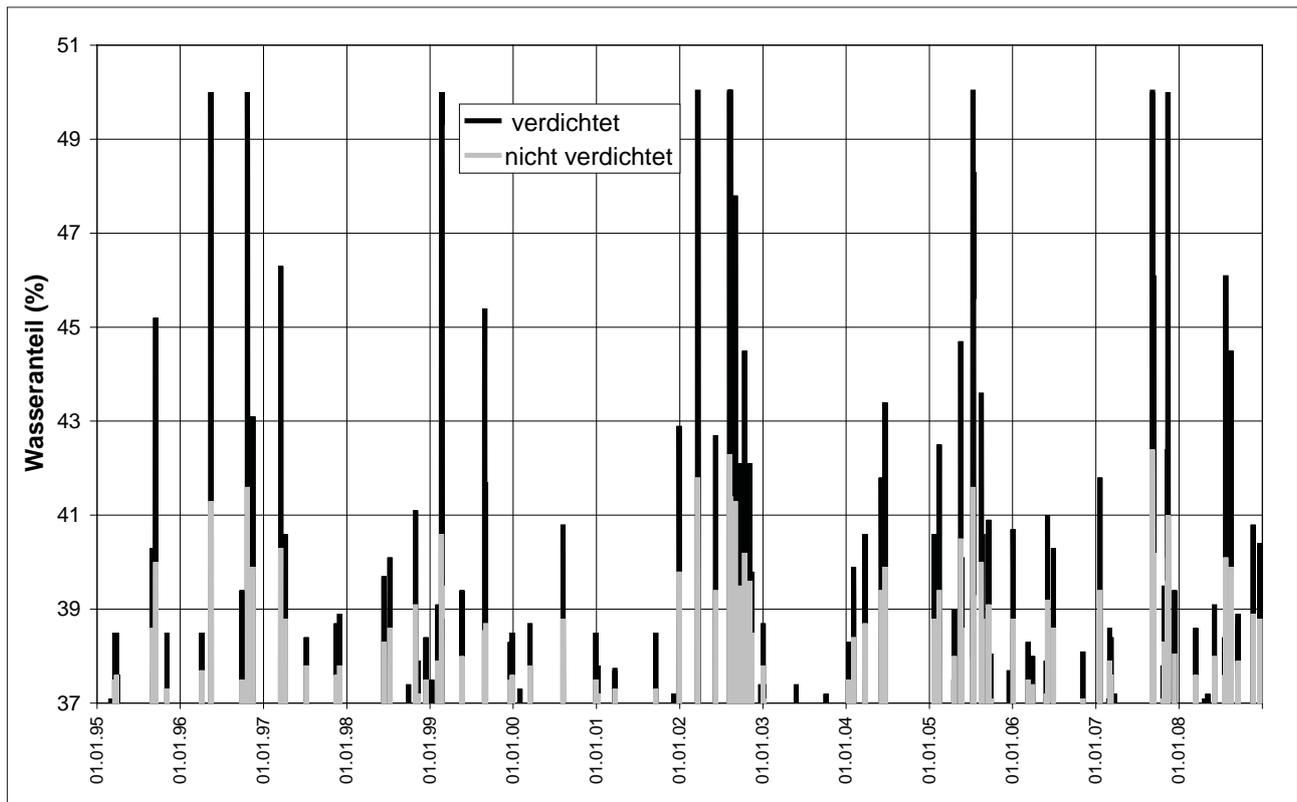


Abbildung 4: Verlauf des Wasseranteils in der Krume (20 cm Tiefe)

Lufthaushalt und Redoxbedingungen sowie in der Nährstoffverfügbarkeit verbunden sein. Schadverdichtungen in Böden führen deshalb zu wesentlichen Veränderungen der Bodenfunktionen, von denen die allgemeinen Kreisläufe von Wasser, Luft und Nährstoffen in der Ökosphäre betroffen sind. Bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung kann es besonders in sehr trockenen wie auch sehr feuchten Jahren zu Ertragseinbußen kommen. In sehr trockenen Jahren kann Wassermangel infolge einer verringerten Durchwurzelbarkeit des Unterbodens zu Mindererträgen führen, während in sehr feuchten Jahren Stauwasser und Luftmangel verbunden mit Reduktions- und Fäulnisprozessen im Oberboden Ertragseinbußen bewirken können. Zudem ist die Wasserinfiltration nach starken Niederschlägen bei ausgeprägten Unterbodenverdichtungen deutlich verringert, so dass ein erhöhter Oberflächenabfluss und damit verbunden ein erhöhter Bodenabtrag die Folge sind.

Literatur

- Ad-hoc-AG BODEN, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Aufl., Hannover.
- BRÜMMER, G.W., 2001: Schadverdichtungen in Ackerböden – Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen – Einführung. 14. Wissenschaftliche Fachtagung vom 5.12.2001. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn.
- EGGELSMANN, R., 1973: Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau. Verlag Wasser und Bodenaxel Lindow & Co. Hamburg.
- HAÖ, 2007: Hydrologischer Atlas Österreichs. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- HZB, 1994: Hydrographischer Dienst in Österreich. Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 1994. Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft, Hydrographisches Zentralbüro, Wien.
- MURER, E., 2009: Bericht über die Überprüfung der Anwendbarkeit von Modellen zur Beurteilung der Bodenverdichtung. Projektbericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Petzenkirchen (unveröffentlicht).
- MURER, E., 2011: Bericht über die ÖPUL-Evaluierung - Wirksamkeit von ÖPUL-Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenverdichtung. Projektbericht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Petzenkirchen (unveröffentlicht).
- STENITZER, E., 1988: Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31.
- STENITZER, E., 1998: Die Abschätzung der Grundwasserneubildung mit dem Modell SIMWASER auf Basis der Österreichischen Bodenkarte 1:25000. Schriftenreihe des BAW, Band 7, 104-112.

Grundwasserbelastung aus spezifischen Tierhaltungssystemen

Franz Feichtinger^{1*} und Karl Buchgraber²

Zusammenfassung

Zur Freilandhaltung von Hausschweinen und zur Koppelhaltung von Pferden wurde die Gewässerverträglichkeit (wasserrechtliche Bewilligungsfreiheit) hinterfragt. Diesbezügliche Untersuchungen an mehreren Freilandgehegen und Pferdekoppeln in Niederösterreich zeigten, dass bei hoher Nutzungsintensität der Flächen eine Beeinträchtigung der Gewässerqualität durch die Tierausscheidungen gegeben ist. Zu beiden Formen der Tierhaltung wurden Merkblätter publiziert, worin die Anforderungen an eine gewässerverträgliche Freilandhaltung von Hausschweinen bzw. Koppelhaltung von Pferden festgehalten sind.

Schlagwörter: Schweinefreilandhaltung, Koppelhaltung, Pferd, Gewässerverträglichkeit

Summary

Outdoor pig farming and keeping horses in small paddocks raised up some questions concerning water pollution. Investigations on some fields in Lower Austria, where animals were kept in such a way, revealed, that the quality of water bodies there became affected. As a consequence guidelines were published, where management requirements are specified for outdoor pig farming and keeping horses in small paddocks in order to comply to environmental regulations.

Keywords: Outdoor pig farming, paddock, horse, water regulations

Einleitung

Die Begegnung von Mensch und Tier spannt den Bogen vom anschmiegsamen Weggefährten über den begleitenden Beschützer und Wächter bis hin zum tödlichen Gegenüber in Form von Schlachtung oder tödlichem Schlangenbiss. Die Koppelhaltung von Pferden (KoPf) und die Freilandhaltung von Hausschweinen (FSchw) sind dazu spezifische Auszüge aus der Vielfalt möglicher Mensch – Tier – Beziehungen. Beide Tiere, Pferd wie Schwein kommen aus der freien Wildbahn, wurden vom Menschen domestiziert und mit einem Auslauf in der Koppel bzw. einer Freilandhaltung will man das natürliche Verhaltensrepertoire (Bewegung, wühlen, suhlen, Pflege von Sozialkontakten) teilweise ermöglichen. Was jedoch dem Wohlbefinden der Tiere und der Fleischqualität gut tut, ist unter Umständen aus umweltökologischen Aspekten zu hinterfragen. So stellt sich im speziellen die Frage nach einer allfälligen Gewässerbelastung durch die FSchw bzw. eine Pferdehaltung auf sogenannten „Gatschkoppeln“. Aus der Fachliteratur ist bekannt, dass Gewässerbefrachtungen infolge FSchw möglich sind (WORTHINGTON und DANKS 1992, STAUFFER et al. 1999, WILLIAMS et al. 2000, ERIKSEN et al. 2001, ERIKSEN et al. 2002, PFEILER 1996, INGOLD und KUNZ 1997). Stoffkreisläufe zu unterschiedlichen Formen der Pferdehaltung sind ebenfalls untersucht (FADER 2001, ZEITLER-FEICHT 2001, KREIMEIER et al. 2006) und SCHÖNFELDER stellt 2010 zum Ausscheidungsverhalten von Pferden fest „...der Wert des eingetragenen Stickstoffs in den Boden und somit in das Grundwasser durch die Ausscheidungen

im Auslauf zumindest in 2 Gruppen den zulässigen Wert des Wasserschutzgesetzes übersteigt“.

Zu beiden Themen hat das Amt der NÖ Landesregierung, Abt. Wasserwirtschaft Arbeiten in Auftrag gegeben, wo zu klären war, unter welchen Rahmenbedingungen lediglich eine geringfügige Einwirkung auf Gewässer (wasserrechtliche Bewilligungsfreiheit) durch die FSchw bzw. durch die KoPf zu erwarten ist.

Material und Methoden

Freilandhaltung von Hausschweinen

Ein Antrag des „Vereins zur Förderung der Freilandhaltung von Nutztieren“ um wasserrechtliche Bewilligung von FSchw auf Grundstücken in den Katastralgemeinden Geras, Wolfsbach, Starrein, Unterpertholz, Weikertschlag und Oberndorf bei Raabs an die BH Horn als zuständige Wasserrechtsbehörde veranlasste das Amt der NÖ Landesregierung, Abt. Wasserwirtschaft infolge fehlender Beurteilungsgrundlagen diesbezügliche Untersuchungen zu beauftragen. Das Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (IKT) und die Universität für Bodenkultur, Institut für Nutztierwissenschaften, wurden beauftragt, ein wasserwirtschaftliches Monitoring und die laufende Dokumentation der Tierbestandsdaten für diese Flächen durchzuführen und die Anforderungen an eine gewässerverträgliche FSchw abschließend abzuleiten.

Diese Untersuchungen, die beginnend Mitte 2001 über etwa 2 Jahre zu vier der 6 Gehegeflächen durchgeführt wurden

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

² Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ), Raumberg 38, A-8952 IRDNING

* Ansprechpartner: DI Franz Feichtinger, franz.feichtinger@baw.at

(zwei Gehege wurden nie mit Schweinen belegt), mündeten im Merkblatt „Gewässerträgliche Freilandhaltung von Hausschweinen“ und umfassten folgende Arbeiten:

- Erhebung der Ausgangssituation auf den Gehegeflächen hinsichtlich Nährstoffvorräte im Boden,
- Messung der zeitlichen Entwicklung der Nährstoffvorräte im Boden der Gehegeflächen während der Beweidung,
- Messung physikalischer, chemischer und mikrobiologischer Parameter in Wasservorkommen (Oberflächengewässer, Grundwasser) im Umfeld der Gehege,
- Ableitung von Empfehlungen für eine wasserwirtschaftlich verträgliche FSchw,
- Erarbeitung einer möglichst einfachen Vorgangsweise zur Beurteilung der generellen Eignung von Flächen für die FSchw.

Die klimatischen Rahmenbedingungen des Waldviertels sind für Japons (1988-1998) durch ein Jahresmittel der Lufttemperatur von 6,3 °C und eine mittlere jährliche Niederschlagssumme von 568 mm gekennzeichnet. Geologisch liegt das Projektgebiet im Ostteil bzw. am Ostrand der Böhmisches Masse. Kristalline Schiefer (Gneis, Amphibolit, Granulit) bilden den Untergrund und schluffig-sandige Deckschichten den Oberboden.

Die Basisuntersuchung der Böden (Ende Juni 2001) zur Erhebung der Ausgangssituation umfasste die Parameter Textur, Humusgehalt, N_{ges} , N_{min} , pflanzenverfügbare Phosphor- und Kalium-Gehalte, elektrische Leitfähigkeit und pH. Mit Ausnahme der Parameter Textur und Humusgehalt wurde dies zu Projektende (17. Oktober 2002) wiederholt. N_{min} – Untersuchungen am Boden der Gehegeflächen wurden periodisch (27. Juni, 2. Oktober, 17. Dezember 2001, 12. April 2002, 24. Juni 2002 und 17. Oktober 2002) und nutzungsdifferenziert (Acker, Wiese, Wald, nieder- und hochfrequentierte Flächen) durchgeführt. Weiters wurde einmalig die Umgebung einer Schlafhütte der Schweine - stellvertretend für intensiv genutzte Gehegeflächen - im Detail bezüglich der N_{min} – Vorräte im Boden untersucht, wobei in Radien von 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 und 7,5 Metern ausgehend vom Hüttenausgang beprobt wurde. Die den Gehegen nahegelegenen Wasservorkommen (Oberflächengewässer, Grundwasser) wurden parallel zu den N_{min} – Untersuchungen beprobt (Grundwasser erst ab Mitte Oktober 2001). An diesen Proben wurden die Konzentrationen von NO_3^- , NH_4^+ , P_{gesamt} und $\text{P}_{\text{gelöst}}$ bzw. bezüglich der mikrobiologischen Parameter Fäkalcoliforme Bakterien und Fäkalstreptokokken bestimmt

Über den Tierbesatz in den Einzelgehegen wurden laufende Aufzeichnungen geführt. Mit diesen Besatzzahlen und mit Literaturwerten zum Exkrementanfall und dessen Nährstoffgehalt wurden die Nährstoffeinträge in die Gehege bewertet. Weiters wurde in 4 Tagesaktivitätsperioden das örtliche Verteilungsmuster der Kot- und Harnausscheidungen aufgezeichnet, um den Einfluss des Tierverhaltens auf die Verteilung der Nährstoffeinträge beurteilen zu können. Anhand dieser Information sollten die Möglichkeiten eines gezielten Gehegemanagements zur Steuerung der Flächennutzung und somit der Verteilung der Nährstoffeinträge ausgelotet werden.

Die Analytik erfolgte für gelösten, partikulär gebundenen und Gesamt-Phosphor im Institut für Gewässerökologie, Fischereibiologie und Seenkunde (Scharfling), für die mikrobiologischen Parameter Fäkalcoliforme Bakterien und Fäkalstreptokokken im Institut für Wassergüte (Wien) und für die restlichen Parameter im Labor des IKT.

Koppelhaltung von Pferden

Unzureichende Erfahrungen mit den wasserwirtschaftlichen Auswirkungen der KoPf und vor allem Missstände auf sogenannten „Gatschkoppeln“ waren Anlass, dass das Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft und die Landwirtschaftskammer Niederösterreich beim IKT ein Projekt in Auftrag gaben, in dem dieses Problem umfassend untersucht werden sollte. Die Untersuchungen wurden in intensiver Zusammenarbeit mit dem Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein (LFZ) durchgeführt, wo auch zwei diesbezügliche Bakkalaureatsarbeiten durch Doz. Buchgraber im Zusammenwirken mit der Veterinärmedizinischen Universität Wien, Prof. Troxler betreut wurden.

„Gatschkoppeln“ sind Koppelflächen ohne Bewuchs, wo Pflanzen fehlen, die die von den Pferden ausgeschiedenen Nährstoffe aufnehmen können. Daher ist dort ein aus wasserwirtschaftlicher Sicht unerwünschter Transport von z.B. Stickstoff in das Grundwasser oder in Oberflächengewässer nicht auszuschließen. Wasserwirtschaftlich relevante Untersuchungen wurden 2009 und 2010 bei drei Pferdehaltern in Niederösterreich durchgeführt und umfassten im Wesentlichen folgende Arbeiten:

- Erhebung der Ausgangssituation auf den Koppeln hinsichtlich der Nährstoffvorräte im Boden,
- Messung der zeitlichen Entwicklung der Nährstoffvorräte im Boden während der Beweidung,
- Messung der Nitratkonzentration im Grundwasser im Umfeld von Koppeln.

Auf einem Betrieb südöstlich von St. Pölten wurden drei Flächen, sowohl Gatschkoppeln als auch eine Portionsweide, untersucht. Auf einem nordöstlich von Wiener Neustadt gelegenen Betrieb wurden fünf Koppeln untersucht, wo sowohl Gatschkoppeln als auch eine nunmehr mehrjährig begrünte ehemalige Gatschkoppel vertreten waren. Östlich von Eggenburg wurden drei Flächen unterschiedlicher Nutzungsintensität (Gatschkoppel wie auch dauergrüne Weidekoppel) untersucht. Auf allen Flächen wurde der mineralische Stickstoffvorrat im Boden (N_{min}) erhoben und nahe Eggenburg wurde parallel dazu die Nitratkonzentration im Grundwasser ermittelt. Der Tierbesatz der Pferdeköpeln und die Form der Koppelbesetzung (Offenstallhaltung, Boxenhaltung mit temporärem Aufenthalt auf einer Gatschkoppel) waren für die Flächen bekannt. Nicht bekannt und auch in der Literatur unzureichend aufbereitet waren der Kot- und Harnabsatz in Menge, Zeit und Örtlichkeit bei unterschiedlichen Formen der Pferdehaltung und des Koppelmanagements. Diese Information war jedoch unentbehrlich, um den Stickstoffinput durch die Pferdeexkremente für die Flächen bewerten zu können und in weiterer Folge Lenkungsmaßnahmen abzuleiten. Dazu

wurde in zwei Bakkalaureatsarbeiten das Ausscheidverhalten der Pferde sowohl bei Offenstallhaltung (BRAACH 2010) als auch für Boxenhaltung mit temporärem Aufenthalt auf einer Gatschkoppel (MÜNSCH 2010) untersucht und dargelegt. Auf Basis dieser Daten und Fakten wurde das Merkblatt „Pferdehaltung; wasserrechtliche, baurechtliche und tierschutzrechtliche Anforderungen“ (KONHEISNER und ERASIMUS 2011) publiziert, worin die wasserwirtschaftlichen Anforderungen an eine gewässerträgliche Kopf festgeschrieben sind. Eine Sonderbeilage der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Grünland- und Futterbau (ÖAG) soll den Transfer und die praktische Umsetzung dieser Erfordernisse wesentlich unterstützen (ÖAG 2011).

Die Bereitschaft und somit Kooperation der untersuchten Betriebe wurde primär von der Landwirtschaftskammer Niederösterreich (Dr. Erasmus) und zum Betrieb nahe Eggenburg von Dipl. Ing. Gutscher (Gebietsbauamt – Krems) aufbereitet.

Ergebnisse

Freilandhaltung von Hausschweinen

Gehegemonitoring

Die Ergebnisse der Erst- und Endbeobachtung zeigten zu den Nährstoffen Gesamtstickstoff, Phosphor und Kalium keine gerichtete Veränderung der Bodengehalte. Auswirkungen der FSchw waren somit anhand dieser Parameter nicht ersichtlich. Die Ergebnisse aus der Analyse von Oberflächengewässern und Grundwasser auf Gesamtphosphor und gelösten Phosphor wie auf die mikrobiologischen Parameter Fäkalcoliforme Bakterien und Fäkalstreptokokken wiesen vereinzelt jedoch nicht durchgängig auf eine Dotation aus der FSchw hin, was durch Direktkontakt Wasser – Tier oder durch Abschwemmung verursacht erschien. Eine Befruchtung von Grundwasser mit Nitrat war gelegentlich in Bereichen hoher Nutzungsintensität festzustellen, wobei eine Aufstockung der N_{\min} – Vorräte im Boden in der Regel vorausging.

In Zeiträumen einer Gehegebelegung mit Schweinen steht eine Zunahme der N_{\min} – Vorräte im Boden in Relation zu dem N-Import durch die Schweineexkremate. Für die untersuchten Gehegeflächen sind die akkumulierten N-Einträge in die Fläche infolge FSchw - Ausscheidungen und die zeitgleichen Veränderungen der N_{\min} - Mengen im Boden in *Abbildung 1* für den Belegungszeitraum einander gegenübergestellt. Daraus sind die Stickstoffbefruchtung der Flächen und die einhergehende Erhöhung der N_{\min} -Vorräte im Boden durch die FSchw in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität (mittlere N-Importe) klar ersichtlich.

Detailuntersuchungen zur Stickstoffverteilung im Bereich einer Schlafhütte haben ergeben, dass im Nahbereich des Hütteneinganges enormer Nährstoffanfall durch die Schweineexkremate gegeben ist, der sich bei länger dauernder Nutzung der selben Fläche auch in massiv erhöhten Bodengehalten niederschlägt. Dies veranschaulicht *Abbildung 2*, wo die im Boden gemessenen Stickstoffmengen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Hütteneingang und in Relation zu gering frequentiertem Gehegeareal festgehalten

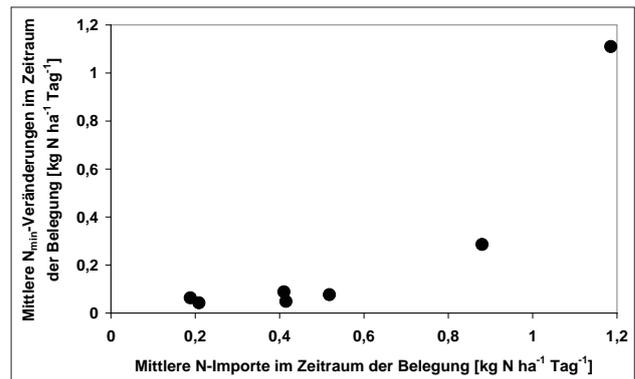


Abbildung 1: Mittlere N_{\min} -Veränderungen im Boden in Relation zu mittleren N-Importen durch die FSchw

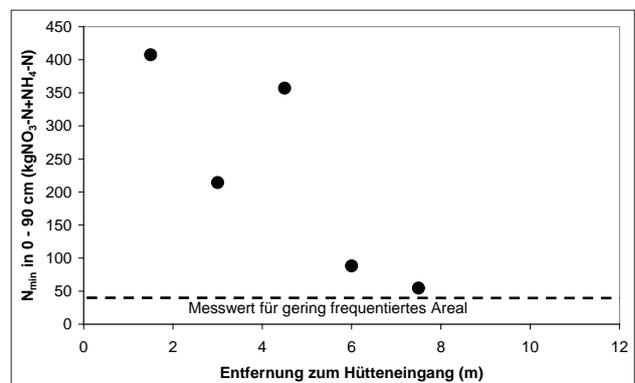


Abbildung 2: Mineralischer Stickstoff im Boden beim Eingang einer Schlafhütte

sind. Derart hoch frequentierte Flächen, wie die Umgebung einer Hütte, sind auch Fütterungen und Tränken.

Die Ergebnisse aus dem wasserwirtschaftlichen Monitoring sind in guter Übereinstimmung mit jenen einer Dissertation (PFEILER 1999), wo FSchw unter annähernd gleichen Rahmenbedingungen untersucht wurde. In Zusammenschau all dieser Erkenntnisse wurden im Merkblatt „Gewässerträgliche Freilandhaltung von Hausschweinen“ die nachfolgenden Anforderungen an eine gewässerträgliche Freiland Schweinehaltung formuliert.

Merkblatt (Auszug)

(download:http://www.noel.gv.at/Umwelt/Wasser/Publikationen/Wasser_und_Landwirtschaft_Broschueren.print.html)

Generelle Anforderungen

- Die Weidefläche darf nicht in wasserrechtlichen Schutz- oder Schongebieten liegen und muss Mindestabstände (im Merkblatt spezifiziert) zu Trinkwasserversorgungsbrunnen (-quellen) aufweisen.
- Die Weidefläche darf kein hoch anstehendes Grundwasser aufweisen.
- Die Weidefläche muss zu Gewässern folgende Mindestabstände aufweisen:

zu Seen:	mind. 20 Meter
zu sonst. stehende Gewässer:	mind. 10 Meter (ausgen. Beregnungsteiche)

zu Fließgewässern: mind. 5 Meter oder
 mind. 3 Meter, sofern
 es sich bei der Weide-
 fläche um einen Klein-
 schlag < 2 ha oder um
 eine Fläche entlang von
 Entwässerungsgräben
 handelt

- Die durchschnittliche Geländeneigung der Weideflächen darf max. 10 % betragen.
- Der Anteil von Wald an der Gehegefläche darf max. 20 % betragen und muss die Form eines Waldrandstreifens aufweisen.
- Im Wald sind Einrichtungen, die einen häufigen Aufenthalt der Schweine bedingen, wie zB. Hütten und Futterplätze nicht zulässig.
- Die Waldfläche ist für die Bestimmung der Besatzdichte nicht anrechenbar.
- Für die Nutzung der Waldflächen als Weide ist eine forstrechtliche Bewilligung erforderlich.
- Der Beginn jeder Weideperiode muss auf einer festen Grasnarbe erfolgen.
- Dauer der durchgehenden Beweidung max. 1 Jahr.
- Auf Teilstücken von Gehegen, die nicht die Mindestbodenzahl aufweisen (20 für das Waldviertel) ist unabhängig von der Höhe des flächengewichteten Mittels der Boden-zahl (gemäß Finanzbodenschätzung) keine Einrichtung zulässig, die zu einer erhöhten Frequenz führt, wie zB. Schlafhütte oder Futterstelle.
- Durch Verstellung der Gehegeeinrichtungen muss während einer Weideperiode die gesamte Gehegefläche, ausgenommen Teilflächen mit Boden-zahl < der Mindestbodenzahl (20 für das Waldviertel) und Wald-flächen, möglichst gleichmäßig genutzt werden. Der hütteneingangsnahe Bereich muss mit einer Strohauf-lage versehen werden, die im Sinne einer ordnungsgemäßen und sachkundigen Vorplatzbetreuung zu behandeln ist.

Spezifische Anforderungen in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit (Boden-zahl gemäß Finanzbodenschätzung) und der klimatischen Wasserbilanz

Aufgrund der regionalspezifischen Bedingungen im Waldviertel gilt:

- Die Boden-zahl (flächengewichteter Mittelwert für das gesamte Gehege) muss größer/gleich 20 sein.
- An die Beweidung müssen 2 Vegetationsperioden mit stickstoffzehrender Fruchtfolge unmittelbar anschließen.
- Boden-zahlen zwischen 20 und 30 und Boden-zahlen größer/gleich 30 sind mit detaillierten Vorgaben zum Tierbesatz, zur Anzahl der Umtriebe und zur Folgenutzung der Gehege belegt (sh. Merkblatt).

Koppelhaltung von Pferden

Koppelmonitoring

Wie bereits zur FSchw steht auch bei der KoPf das Ausmaß einer Nährstoffbefruchtung des Bodens und in weiterer

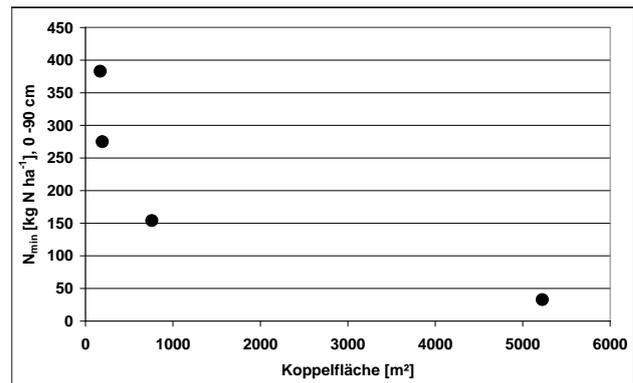


Abbildung 3: N_{min} – Menge im Boden in Relation zur Koppelfläche für vier Koppeln nahe Eggenburg

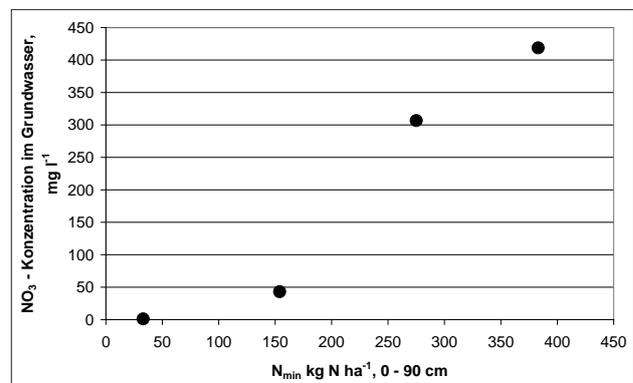


Abbildung 4: Nitratkonzentration im Grundwasser in Relation zur N_{min} - Menge im darüber befindlichen Boden für vier Koppeln nahe Eggenburg

Folge des Gewässers bzw. Grundwassers durch Tierausscheidungen in engem Zusammenhang mit der Nutzungsintensität der Koppel. Die Nutzungsintensität ist dabei das Zusammenwirken von verfügbarer Koppelfläche, Dichte des Tierbesatzes, Aufenthaltsdauer auf der Koppelfläche und Gewohnheiten des Koppelmanagements. Am Betrieb nahe Eggenburg konnte die Kette des Nährstofftransports vom Pferd bis ins Grundwasser klar aufgezeigt werden. Vier Areale wurden dort bei gleichbleibendem Tierbesatz (2 Großpferde, 2 Pony) als Gatschkoppel bis hin zur dauergrünen Weide genutzt. N_{min} – Werte (0-90 cm), die Mitte Juli 2009 auf den vier Flächen erhoben wurden, stehen in eindeutiger Beziehung zum jeweiligen Flächenausmaß (Abbildung 3), welches dort offensichtlich für die Nutzungsintensität steht. Zeitgleich zur N_{min}-Beprobung wurde Grundwasser jeweils unter den vier Flächen gezogen und deren Nitratkonzentration bestimmt. Abbildung 4 zeigt die Wertpaare von N_{min}-Menge im Boden und Nitratkonzentration des darunter befindlichen Grundwassers für die vier Teilflächen, was die massive Stickstoffbefruchtung von Boden und Grundwasser bei hoher Nutzungsintensität aufzeigt.

Von BRAACH und MÜNSCH liegen Ergebnisse vor, die den Kot- und Harnabsatz in Häufigkeit, zeitlicher Verteilung und Menge in Abhängigkeit von der Aufenthaltsdauer auf der Koppel für Offenstallhaltung wie auch für Boxenhaltung mit temporärem Aufenthalt auf einer Gatschkoppel exakt beschreiben. Ebenso sind Analyseergebnisse zu den

Nährstoffgehalten von Kot und Harn genannt. Diese Daten ermöglichen bei Kenntnis von Tierbesatz, Flächenausmaß der Koppel und Aufenthaltsdauer der Pferde auf der Koppel die jährliche Stickstoffbefrachtung je Flächeneinheit für eine Koppel zu ermitteln. Dieser Stickstoffeintrag und eine allfällige Stickstoffdüngung sind die Inputglieder für die Berechnung einer Stickstoffbilanz für eine Koppel, wo ein Absammeln von Kot und Begrünungs- bzw. Beweidungszeiträume als Outputglieder eingehen. Für die Berechnung einer koppelspezifischen Stickstoffbilanz wurde ein EDV-Hilfsmittel programmiert. Im Konsens aller Projektbeteiligten wurde ein Stickstoffsaldo $\leq 20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ als gewässerverträgliche KoPf für Niederösterreich fixiert. Mit dieser Festlegung wurde das Merkblatt „Pferdehaltung“ erstellt, worin die nachfolgenden Anforderungen aus wasserrechtlicher Sicht genannt sind.

Merkblatt (Auszug zu den wasserwirtschaftlichen Aspekten)

(download: http://www.noel.gv.at/Umwelt/Wasser/Publikationen/Wasser_und_Landwirtschaft_Broschueren.print.html)

- Koppelflächen mit ständigem Bewuchs (Grünkoppel) sind gewässerverträglich
- Für Koppelflächen ohne ständigen Bewuchs (Gatschkoppel) gelten:

Generelle Anforderungen

- Auf bestehende Schutzgebietsanforderungen bei Wasserversorgungsanlagen ist bedacht zu nehmen.
- Auf Mindestabstände zu Trinkwasserbrunnen ist bedacht zu nehmen. Die Abstände richten sich nach dem Grundwasserzustrom zum Brunnen, wobei die Strömungsdauer mind. 60 Tage zu betragen hat. Üblicherweise ergeben sich dabei Entfernungen von ca. 30 – 120 m.
- Mittlerer Abstand zwischen dem Grundwasserspiegel und der Geländeoberkante mindestens 1 m.
- Außerhalb des 30-jährlichen Hochwasserabflussbereiches.
- Mindestabstände der eingezäunten Koppel zu Gewässern:

zu Seen:	mind. 20 Meter
zu sonst. stehende Gewässer:	mind. 10 Meter (ausgenommen Beregnungsteiche)
zu Fließgewässern:	mind. 5 Meter
- Keine Wasserableitung von Koppel in Gewässer, Kanäle und Sickerschächte.
- Kein Bodenaustausch zur Verbesserung der Durchlässigkeit.

Spezifische Anforderungen

Um einen gewässerverträglichen Stickstoffsaldo für die Koppelfläche zu gewährleisten, ist angepasstes Koppelmanagement erforderlich. Der Stickstoffsaldo für ein Jahr ist das Ergebnis einer Bilanzierung von Stickstoff-Input und Stickstoff-Output auf der Koppelfläche. Entsprechend dem jährlichen Stickstoffsaldo werden die angeführten Maßnahmen erforderlich:

- Bei einem **Stickstoffsaldo von weniger als 20 kg/ha und Jahr** sind langfristig **keine Maßnahmen** erforderlich
- Bei einem **Stickstoffsaldo zwischen 20 – 40 kg/ha und Jahr** können **nachfolgend angeführte Lenkungsmaßnahmen**, die seitens des Betriebes freiwillig durchgeführt werden, eine Reduktion bewirken:
 - Kot absammeln
 - Befestigung des Bereiches der Tränke und Heuraufe
 - zeitliche Begrenzungen für den Auslauf der Pferde
 - Reduktion der Besatzdichte
 - Begrünungen
- Bei einem **Stickstoffsaldo von mehr als 40 kg/ha und Jahr** ist **zu oben angeführten Lenkungsmaßnahmen noch ein Bewirtschaftungsplan** zu erstellen, um einen Stickstoffsaldo von kleiner 20 kg/ha zu erreichen. Dieser **Bewirtschaftungsplan ist der Behörde** vorzulegen.

Weiters sind Definitionen und Detailerfordernisse zur Offenstallhaltung und zur Boxenhaltung mit temporärem Koppelaufenthalt formuliert, Hilfsmittel zur Bemessung des Stickstoffsaldos angeboten und die Vorgangsweise für die Umsetzung der Anforderungen präzisiert. Diesbezüglich wird auf das Merkblatt verwiesen. Jedenfalls wird für alle Betriebe empfohlen, ein **Koppelbuch** zu führen, zwingend ist dies dann erforderlich, wenn ein Stickstoffsaldo von mehr als 40 kg/ha und Jahr gegeben ist.

Fazit

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass spezifische Tierhaltungsformen wie die Freilandhaltung von Hausschweinen bzw. Koppelhaltung von Pferden bei intensiver Flächennutzung eine qualitative Beeinträchtigung von Gewässern und Grundwasser verursachen können. Werden jedoch Grenzen der Nutzungsintensität und Spielregeln des Flächenmanagements eingehalten, ist gewässerverträgliche Freilandhaltung von Hausschweinen bzw. Koppelhaltung von Pferden möglich. Die diesbezüglichen Anforderungen sind in Merkblättern für die Freilandhaltung von Hausschweinen und für die Koppelhaltung von Pferden festgehalten.

Literatur

- BRAACH, J., 2010: Stickstoffanfall bei der Offenstallhaltung von Pferden und dessen Auswirkungen auf unbefestigte Koppeln. Veterinärmedizinische Universität, Wien, Österreich.
- ERIKSEN, J. and K. KRISTENSEN, 2001: Nutrient excretion by outdoor pigs: a case study of distribution, utilisation and potential for environmental impact. *Soil Use and Management* 17, 21-29.
- ERIKSEN, J., S.O. PETERSEN and S.G. SOMMER, 2002: The fate of nitrogen in outdoor pig production. *Agronomie* 22 (7/8).
- FADER, C., 2001: Ausscheide- und Ruheverhalten von Pferden in Offenlaufstall- und Boxenhaltung. Dissertation TU München.
- HERMANSEN, J.E., V.A. LARSEN and B.H. ANDERSEN, 2002: Development of organic pig production systems. *Proceedings Perspectives in Pig Sciences*, University of Nottingham, Sutton Bonington Campus, Loughborough, Leics LE12 5RD, 1-16.
- KONHEISNER, G. und L. ERASIMUS, 2011: Merkblatt Pferdehaltung. Wasserrechtliche, baurechtliche und tierschutzrechtliche Anforder-

- rungen. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Wasser, Mai 2011.
- KREIMEIER, P., K. MÜLLER, F.-J. BOCKISCH, J. WALTER und U. DÄMMGEN, 2006: Einfluss verschiedener Haltungsverfahren auf das Ausscheidungsverhalten von Pferden unter besonderer Berücksichtigung der Auslaufkontamination. Untersuchung des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung Braunschweig und der Hochschule Neubrandenburg.
- INGOLD, U. und P. KUNZ, 1997: Freilandhaltung von Schweinen. Schweizerische Ingenieurschule für Landwirtschaft, Zollikofen; Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau.
- MÜNSCH, C., 2010: Stickstoffanfall bei der Pferdehaltung auf Matschkoppeln und dessen Einfluss auf die Ökologie. Veterinärmedizinische Universität, Wien, Österreich.
- ÖAG, 2011: Sonderbeilage der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Grünland- und Futterbau „Pferde auf Gatschkoppeln“. Der fortschrittliche Landwirt, Fachzeitschrift für die Bäuerliche Familie, Pferdplus, INFO 5/2011.
- PFEILER, U., 1996: Ergebnisse von Untersuchungen zur Bodenbelastung bei der Freilandhaltung von Schweinen. Dissertation an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.
- SCHÖNFELDER, K.J., 2010: Untersuchung zum Ausscheidungsverhalten von Pferden unter besonderer Berücksichtigung des Geschlechts und der örtlichen Verteilung. Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieurin. Institut für Nutztierwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien.
- STAUFFER, W., H. MENZI und P. TRACHSEL, 1999: Gefährden Freilandschweine das Grundwasser? Agrarforschung 6(7): 257-260.
- WILLIAMS, J.R., B.J. CHAMBERS, A.R. HARTLEY, S. ELLIS and H.J. GUISE, 2000: Nitrogen losses from outdoor pig farming systems. Soil Use and Management 46, 237-243.
- WORTHINGTON, T.R. and P.W. DANKS, 1992: Nitrate leaching and intensive outdoor pig production. Soil Use and Management 8, 56-60.
- ZEITLER-FEICHT, M., 2001: Handbuch Pferdeverhalten. Eugen Ulmer GmbH & Co. Verlag, Stuttgart.

Grünlanddüngung und Gewässerschutz - Versuchsergebnisse aus Bayern

Michael Diepolder^{1*} und Sven Raschbacher¹

Zusammenfassung

Bei zwei Düngungsversuchen im Allgäuer Alpenvorland und im Oberbayerischen Altmoränen-Hügelland wurden in den Jahren 2008-2010 mit dort fest installierten Saugkerzenanlagen die Nitrat-, Phosphor- und Schwefelkonzentrationen des Bodenwassers unter Dauergrünlandparzellen gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass bei fachgerechter, intensiver Grünlandwirtschaft die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und damit die N-Frachten sehr niedrig und auf gleichem Niveau wie bei extensiver Bewirtschaftung liegen können. Sie zeigen allerdings auch, dass bei einer (stark) überhöhten N- und S-Düngung die Gefahr von Austrägen signifikant und deutlich ansteigt.

Bei Untersuchungen zu P-Austrägen bei Grünland in Hanglage wurden auf einer viermal pro Jahr geschnittenen und praxisüblich mit Gülle gedüngten Wiese mit 14 % Hangneigung im Allgäuer Alpenvorland die durch natürliche Niederschlagsbedingungen bewirkten Wasserabflüsse von der Bodenoberfläche sowie die Art und Höhe des dadurch verursachten P-Austrags gemessen. Ebenfalls wurde untersucht, inwieweit sich der P-Austrag durch ungedüngte Randstreifen mindern lässt. Im Gesamtmittel des siebenjährigen Untersuchungszeitraumes (2003-2009) floss nur ein sehr geringer Anteil (3 %) des Niederschlagswassers direkt von der Oberfläche ab. Der damit einhergehende und vorwiegend auf Starkregen beruhende P-Austrag lag in Relation zu dem mit Gülle ausgebrachten Phosphor weit unter 1 %, erfolgte jedoch überwiegend in gelöster Form. Des Weiteren zeichneten sich deutlich positive Effekte für den Gewässerschutz durch Anlage von ungedüngten Randstreifen ab, welche sich allerdings in diesem Versuch – anders als in früheren

Feldversuchen mit künstlicher Beregnung – aufgrund kleinräumiger Bodenunterschiede statistisch nicht absichern ließen.

Schlagwörter: Güllendüngung, Sickerwasser, Nitrat, Wasserabfluss, P-Austräge, Gewässerrandstreifen

Summary

In this fertilizer experiment, conducted at two sites in Bavaria (Germany), we measured from 2008 to 2010 the concentration of nitrate, phosphorus and sulphur in the seepage water of grassland soils. For the collection of seepage water we used suction cups. Our results show that in the case of a site-adapted, intensive grassland management the nitrate concentration in the seepage water and consequently the N-loads are low and are on a level comparable with soils of extensively used grassland. But, in the case of an excessive application of nitrogen and sulphur fertilizers to permanent grassland the risk of enhanced leaching losses increases significantly. Furthermore, in a meadow on a slope with 14 % inclination we measured over a period of 7 years the phosphorus losses due to surface runoff. The meadow with four cuts every year was fertilized with slurry as in practice. Additionally, we analysed the importance of unfertilized buffer-strips for reducing phosphorus losses. During the investigation period (2003-2009) only a small proportion (on an average 3 %) of the annual precipitation led to surface runoff. Primarily heavy rain caused phosphorus losses due to surface runoff. These losses were lower than 1 % of the total phosphorus applied to the grassland soil with slurry and they occurred mainly in the form of dissolved phosphorus. Finally, our findings suggest that unfertilized buffer-strips can reduce these unwanted losses.

Einleitung

Mit dem Inkrafttreten der EG-Richtlinie Nr. 80/778/EWG vom 15. Juli 1980 wurde ab August 1985 der bis dahin für die Bundesrepublik Deutschland gültige nationale Grenzwert von 90 mg Nitrat je Liter Trinkwasser aus Gründen der Vorsorge auf den EG-Wert von 50 mg NO₃/l (= 11,3 mg NO₃-N) abgesenkt. Die bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) untersucht im Rahmen der Forschung zur N-Dynamik und zum vorbeugenden Grundwasserschutz seit rund 30 Jahren, inwieweit sich im Grünland unterschiedliche Intensitätsstufen der Bewirtschaftung auf den Nitratgehalt des Sickerwassers und damit auf das Potenzial von vertikalen N-Austrägen auswirken. Im Focus stehen dabei Fragen

zu Art, Höhe und Terminierung der Düngung, vor allem eines fachgerechten Gülleeinsatzes. Die in den vergangenen Jahrzehnten auf zwei Standorten in Südbayern mittels dort installierter Saugkerzenanlagen gewonnenen Versuchsergebnisse wurden von DIEPOLDER und RASCHBACHER (2011 b) im Rahmen der Internationalen Tagung zur Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland zusammengefasst und diskutiert. Als Fazit konnte festgehalten werden, dass die mittlere Nitratkonzentration im dränenden Bodenwasser bei sachgerecht bewirtschaftetem Wirtschaftsgrünland und güllebetonter Düngung in einem niedrigen Bereich von ca. 1-9 mg NO₃/l liegt. Dies entspricht einem geschätzten mittleren N-Austrag aus dem Wurzelraum von rund 2-12 kg N/ha pro Jahr und ist damit im Einklang mit anderen Arbeiten

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischer Landbau und Bodenschutz, Lange Point 12, D-85354 FREISING

* Ansprechpartner: Dr. Michael Diepolder, michael.diepolder@lfl.bayern.de

(EDER 2000, DIEPOLDER et al. 2006, BUCHGRABER et al. 2010) deutlich weniger bzw. nur ein Bruchteil als bei Grünland mit Nutzungsaufgabe oder bei Ackerkulturen. Ebenfalls ergaben sich bisher für südbayerische Standortverhältnisse keine Anhaltspunkte dafür, dass eine moderate Gülledüngung im Herbst nach dem letzten Schnitt im Vergleich zu einer Frühjahrsdüngung vor dem ersten Schnitt zu einem Anstieg der Nitratgehalte im Sickerwasser führt. Im ersten Teil des vorliegenden Beitrags werden nun Ergebnisse eines noch laufenden und bisher unveröffentlichten Versuchsvorhabens vorgestellt und diskutiert. In diesem wird u.a. die N-Düngung bewusst über die fachliche Empfehlung (LFL 2011) hinaus gesteigert.

Wirtschafteigener Dünger wird auf Grünland mit Schnittnutzung vorwiegend in Form von Gülle ausgebracht. Naturgemäß haben im Voralpenland und Mittelgebirgsraum viele Wiesen eine geneigte Oberfläche. Die Jahresniederschläge sind in den Regionen meist hoch, durch den Klimawandel dürfte die Wahrscheinlichkeit von Starkniederschlägen zunehmen. Daher gilt es vor allem in Hinblick auf Gewässerschutzstrategien, die Art und Höhe von P-Frachten aus praxisüblich bewirtschafteten hängigen Grünlandflächen in angrenzende Gewässer zu quantifizieren. Ebenfalls sollen datengestützte Aussagen getroffen werden, ob und inwieweit sich durch landwirtschaftliche Maßnahmen eine Reduzierung erreichen lässt. Berechnungsversuche zeigen, dass intensive Niederschläge nach Gülledüngung bei hängigem Grünland zu einem starken Anstieg des oberflächlichen P-Austrages führen, jedoch ungedüngte Randstreifen die P-Belastung signifikant mindern können (DIEPOLDER und RASCHBACHER 2008). Um diese unter Extremsituationen („worst case“) gewonnenen Erkenntnisse mit natürlichen langjährigen Niederschlagssituationen zu vergleichen, wurde ein noch laufender Langzeitversuch durchgeführt, dessen Ergebnisse im zweiten Teil dieses Artikels beschrieben werden. Damit werden auch Untersuchungen von POMMER et al. (2001) fortgesetzt, die sich thematisch ebenfalls mit

dem P-Austrag vom Grünland durch Oberflächenabfluss beschäftigten.

Versuchsergebnisse zur Nitratbelastung des Sickerwassers

Material und Methoden

Die Versuche stehen im Allgäuer Alpenvorland am Spitalhof in Kempten (730 m ü. NN, 1290 mm Ø Jahresniederschlag, Parabraunerde aus uL, Grünlandbestand mit Deutschem Weidelgras als Leitgras) sowie in Puch bei Fürstfeldbruck (550 m ü. NN, 920 mm Ø Jahresniederschlag, Parabraunerde aus tU, Leitgras ist ebenfalls Deutsches Weidelgras).

In *Tabelle 1* sind die jeweiligen Versuchsvarianten und die gedüngten Nährstoffmengen aufgeführt. In Puch wird jedes Versuchsglied in dreifacher Wiederholung, dagegen am Spitalhof aus versuchstechnischen Gründen nur in zweifacher Wiederholung geprüft. Wie zudem aus *Tabelle 1* zu entnehmen ist, liegt somit zwar kein identischer Versuchsaufbau vor, jedoch ist beiden Versuchen folgender Kernansatz gemeinsam: Ausgehend von Variante 2 mit ausschließlicher Gülledüngung, bei der die Höhe des organischen N-Einsatzes in Anlehnung an die „170er“-Regelung (Puch) bzw. „230er-Regelung“ (Spitalhof) der bundesdeutschen Düngeverordnung (DÜV, BUNDESGESETZBLATT, 2007) erfolgt, wird die N-Zufuhr bei Variante 3 und 4 am Spitalhof bzw. bei Variante 3 in Puch mit Kalkammonsalpeter (KAS) weiter gesteigert. Dabei ist vorgesehen, dass die insgesamt ausgebrachte N-Menge bei Variante 3 in Puch bzw. bei Variante 4 am Spitalhof die fachliche Empfehlung (LFL 2011) deutlich überschreitet. Mit Variante 1, die durch eine mineralische PK-, jedoch fehlende N-Düngung sowie durch eine reduzierte Nutzungsintensität charakterisiert ist, sollen Effekte einer „reduzierten“ gegenüber einer intensiven Bewirtschaftungsintensität untersucht werden. Verwiesen sei auch darauf, dass bei Variante 1 im Zusammenhang mit

Tabelle 1: Versuchsvarianten und Nährstoffzufuhr

Variante	Schnitte [n a ⁻¹]	N	Ø Nährstoffzufuhr ¹⁾			
			P ₂ O ₅	K ₂ O [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	S	MgO
Standort: Spitalhof/Kempten						
1 Ohne N-Düngung ¹⁾	3	0	75	255	71	38
2 „230 kg N/ha aus Viehhaltung“ ¹⁾	5	225	91	315	~ 45	~ 65
3 Wie 2 plus 90 kg N/ha (KAS) ^{1,2)}	5	315	91	315	~ 45	~ 65
4 Wie 2 plus 230 kg N/ha (KAS) ^{1,2)}	5	455	91	315	~ 45	~ 65
Standort Puch						
1 Ohne N-Düngung ¹⁾	3	0	90	225	70	30
2 „170 kg N/ha aus Viehhaltung“ ¹⁾	4	176	90	209	~ 20	~ 80
3 Wie 2 plus 183 kg N/ha (KAS) ^{1,2)}	4	359	90	209	~ 20	~ 80

Spitalhof/Kempten:

¹⁾ Gesamt-Nährstoffzufuhr; bei Var. 1 als mineralische PK-Düngung (S und Mg als Begleitstoffe) in 3 Teilgaben pro Jahr; bei Var. 2-4 als Gülledüngung mit jährlich 4 Gaben à ca. 25 m³/ha (Ø 4,1 % TS) zum 2., 4. und 5. Aufwuchs sowie im Herbst nach dem letzten Schnitt; S- und MgO-Zufuhr über Gülle geschätzt. Bei Var. 3 und 4 zusätzliche mineralische N-Düngung als KAS.

²⁾ 90 kg N/ha zum 3. Aufwuchs; bei Var. 4 zusätzlich 4 x 35 kg N/ha kurz nach den einzelnen Güllegaben.

Puch:

¹⁾ Gesamt-Nährstoffzufuhr; bei Var. 1 als mineralische PK-Düngung (S und Mg als Begleitstoffe) in 3 Teilgaben pro Jahr; bei Var. 2 und 3 als Gülledüngung mit jährlich 3 Gaben à 16-22 m³/ha (Ø 7,0 % TS) zum 2. und 4. Aufwuchs sowie im Herbst nach dem letzten Schnitt; S- und MgO-Zufuhr über Gülle geschätzt.

²⁾ Bei Var. 3 zusätzlich 180 kg N/ha in 3-4 Teilgaben à 45-95 kg N/ha als KAS.

der PK-Düngung im Vergleich zu den anderen Versuchsgliedern mit Abstand die höchsten Schwefelgaben verabreicht wurden, die deutlich über einer geschätzten S-Abfuhr von rund 20-35 kg S/ha mit dem Erntegut liegen.

Die Versuche befinden sich über Saugkerzenanlagen nach CZERATZKI (1971). Bei diesen Anlagen wird das unter den Parzellen versickernde Bodenwasser durch dauerhaft im Boden installierte Keramik-Saugkerzen, an die mit einer automatisch gesteuerten Vakuumpumpe mehrmals am Tag ein Unterdruck von 0,5 bar angelegt wird, kontinuierlich aufgefangen. Die Saugkerzen sind in ca. 60 cm und 120-130 cm Bodentiefe eingebaut. Pro Variante stehen in diesem Versuchsvorhaben insgesamt 8 Saugkerzen am Spitalhof und 20-24 Saugkerzen in Puch zur Wassergewinnung zur Verfügung. In regelmäßigen Abständen (ca. 1-3 Wochen) werden bei den Proben die Nitratkonzentration sowie die Gehalte an Phosphor und Schwefel analysiert. Zur näherungsweise Umrechnung auf mittlere jährliche Nährstofffrachten wird die mittlere jährliche Sickerwassermenge (ca. 630 l/m² am Spitalhof bzw. ca. 300 l/m² in Puch) nach klimatischen Literaturangaben geschätzt.

Die Verrechnung der Daten erfolgte mit SAS, wobei die Mittelwerte der Erträge und Nährstoffkonzentrationen unter Anwendung einer Grenzdifferenz von 5% Irrtumswahrscheinlichkeit ($GD_{5\%}$) verglichen werden. Unterschiedliche Kleinbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten.

Ergebnisse und Diskussion

Die in *Tabelle 2* aufgeführten Daten zu den Pflanzenbeständen und Erträgen sowie die in *Abbildung 1* dargestellten Beziehungen zwischen der Höhe der N-Düngung und der N-Aufnahme durch die oberirdische Biomasse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Standorten und den Varianten. Der Vergleich der TM- und Rohprotein-Erträge der in beiden Versuchen „extensiv“ bewirtschafteten Variante 1 mit drei Schnitten und unterlassener N-Düngung lässt auf wesentlich bessere Standortvoraussetzungen am Spitalhof schließen. So lagen im Untersuchungszeitraum die TM-Erträge um ca. 75 % und die Rohprotein-Erträge um 116 % höher als in Puch. In Puch konnte sich trotz jährlicher PK-Düngung der Klee nicht

Tabelle 2: Bestandszusammensetzung und Erträge (Mittel 2008-2010)

Ort Variante	Ø Artenanteile im 1. Aufwuchs ¹⁾			Erträge	
	Gräser [% in der Frischmasse]	Kräuter	Klee	TM [dt/ha]	Rohprotein [kg RP/ha]
Spitalhof					
1 (0 N)	63	29	8	102,6 b	1428 c
2 (225 N)	60	32	8	97,3 b	1630 bc
3 (315 N)	59	36	5	102,8 b	1697 b
4 (455 N)	74	23	3	120,2 a	2092 a
Puch					
1 (0 N)	79	20	1	58,7 b	660 b
2 (176 N)	83	16	1	73,4 b	936 b
3 (359 N)	90	9	1	104,4 a	1581 a

¹⁾ Spitalhof: Mittelwert der Bestandsaufnahmen 2008-2010; Puch: Mittelwert der Bestandsaufnahmen 2008/09

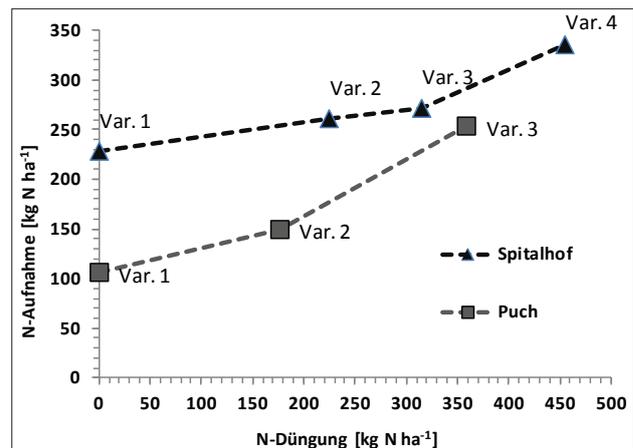


Abbildung 1: Beziehung zwischen der N-Düngung und der N-Aufnahme durch die oberirdische Biomasse an den Standorten Spitalhof und Puch

etablieren. Bemerkenswert ist, dass selbst bei völlig unterlassener N-Düngung am Spitalhof im Mittel rund 230 kg N/ha in die oberirdische Biomasse eingelagert werden konnten, während in Puch das Niveau bei rund 105 kg N/ha lag. Die Ursachen hierfür dürften neben dem bereits erwähnten höheren Kleeanteil, dem humusreicheren alten Grünlandboden am Spitalhof u.U. auch in der Nachwirkung von vorherigen Düngungsversuchen zu suchen sein. Jedenfalls weisen gerade die am Spitalhof erzielten Resultate darauf hin, dass im Falle regelmäßiger PK-Düngung auch bei ausgesetzter N-Düngung bei mittlerer Nutzungsintensität zumindest für eine gewisse Zeit ein hohes Ertragsniveau ohne nachteilige Veränderung des Pflanzenbestands möglich ist. Wird jedoch auch die PK-Düngung ausgesetzt, so ist mit einem starken Ertragsabfall und einer nachteiligen Veränderung der Pflanzenbestände zu rechnen. Dies belegen Untersuchungen von DIEPOLDER und RASCHBACHER (2011 a) in einem früheren Versuch (2000-2004) auf demselben Teilschlag, wo bei gleicher Nutzungsintensität, jedoch mehrjährig völlig fehlender Düngung der Kräuteranteil auf rund 55 % angestiegen war, während der Gräseranteil auf 33 % abgenommen und das Ertragsniveau auf 57 dt TM/ha gesunken war.

Völlig unterschiedlich fiel auf beiden Standorten auch die Reaktion auf eine Erhöhung der Bewirtschaftungsintensität (Steigerung der Schnitzzahl, Gülledüngung) aus, was anhand des Vergleichs der Varianten 1 und 2 ersichtlich wird. In Puch konnte bei vier Nutzungen und 176 kg Gülle-N pro Jahr bei Variante 2 der TM-Ertrag um 25 % bzw. der Rohprotein-Ertrag um ca. 42 % gegenüber Variante 1 zumindest tendenziell – wengleich nicht statistisch absicherbar – angehoben werden. Dagegen wurde am Spitalhof bei fünf Schnitten und 225 kg Gülle-N pro Jahr bei der Biomasse keine Steigerung und nur eine wesentlich geringere Erhöhung (14 %) des Rohprotein-Ertrags festgestellt. Obwohl bei diesem Vergleich auch die unterschiedlichen Niveaus der Realerträge zu berücksichtigen sind, erstaunt dennoch die schlechte Umsetzung des Gülle-Stickstoffs am Spitalhof in diesem Versuch. Zwar ist gemeinhin bekannt, dass für die Sicherung hoher Erträge und Futterqualität bei Intensivierung der Schnittnutzung auch eine entsprechende Anpassung der Düngung vorgenommen werden muss. Dennoch kann

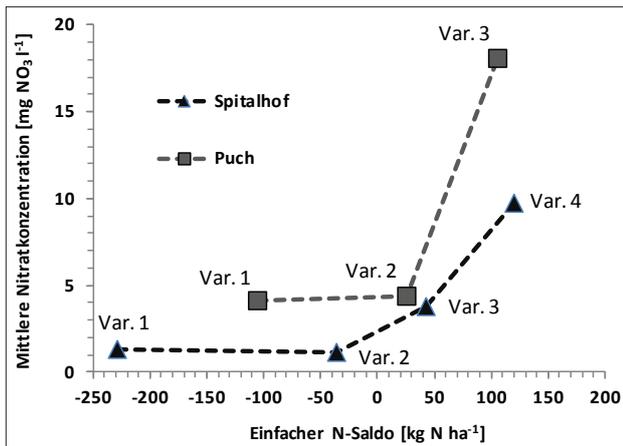


Abbildung 2: Beziehung zwischen dem einfachen N-Saldo (N-Düngung minus N-Abfuhr) und der mittleren Nitratkonzentration im aufgefangenen Bodenwasser

für das Ertragsverhalten von Variante 2 am Spitalhof keine völlig schlüssige Erklärung gegeben werden. Die Höhe der in mehreren Teilgaben aufgebrauchten gesamten Güllegabe sowie der niedrige TS-Gehalt der Gülle (4,1 % TS) hätte ein anderes Ergebnis erwarten lassen. Auch wurden am Spitalhof auf den Parzellen eines Versuchs auf einem anderen Teilschlag bei gleichfalls fünf Schnitten pro Jahr, jedoch niedrigerem Gülleeinsatz im langjährigen Mittel rund 113 dt TM/ha bzw. 1950 kg Rohprotein geerntet (DIEPOLDER und RASCHBACHER 2010 b; DIEPOLDER und RASCHBACHER 2011 c). Daher bleibt nur zu vermuten, dass die Ursachen für die vergleichsweise niedrige Nährstoffumsetzung der Gülle in einer Kombination von bereits sehr hohen N-Nachlieferungsraten durch den Standort, ggf. einer nicht ganz optimalen Gülleverteilung (Sommer/Herbstbetonte Düngung) und ggf. weiteren unbekanntem Bodeneigenschaften des Versuchsfeldes gelegen haben.

Zu erwähnen ist ferner, dass bei Variante 2 in Puch bereits rund 25 kg N/ha mehr Stickstoff über Gülle auf die Parzellen gelangte als durch das Erntegut im Jahresmittel abgefahren wurde, was auch den *Abbildungen 1* und *2* zu entnehmen ist. Am Spitalhof dagegen wurde trotz höherem Gülleeinsatz bei Variante 2 jährlich um ca. 35 kg N/ha mehr abgefahren als zugeführt. In beiden Fällen lagen die Nitratkonzentrationen im aufgefangenen Bodenwasser jedoch auf gleicher Höhe wie bei Variante 1 mit reduzierter Bewirtschaftungsintensität (siehe auch *Tabelle 3*). Festzuhalten bleibt auch, dass trotz der suboptimalen N-Verwertung der eingesetzten Gülle die gegebenen 230 kg N/ha über den Wirtschaftsdünger am Spitalhof zu keiner Gefährdung des Grundwassers führten, was frühere Resultate am gleichen Standort (DIEPOLDER und RASCHBACHER 2011 a) bestätigten.

Bei Variante 3 am Spitalhof wurde zusätzlich zum dritten Aufwuchs 90 kg N/ha als Kalkammonsalpeter gedüngt. Diese Gabe trug jedoch weder bei der Trockenmasse-, noch beim Rohproteintrag (siehe *Tabelle 2*) zu einer signifikanten Steigerung bei. Die errechnete N-Verwertung des mineralischen Stickstoffs war mit 12 % ausgesprochen niedrig, was auch aus *Abbildung 1* hervorgeht. Diese Düngung erhöhte daher den N-Saldo bzw. die N-Bilanz beträchtlich und führte im aufgenommenen Bodenwasser zu einer zwar geringfügigen,

jedoch signifikanten Zunahme der mittleren Nitratkonzentration sowie der Nitratspitzen (90 %-Quantile, *Tabelle 3*). Eine alleinige und hohe N-Düngung zum dritten Aufwuchs erwies sich in diesem Versuch als sehr ungünstige Düngungsstrategie. Dies gerade deswegen, weil die bei Variante 4 verabreichten zusätzlichen mineralischen N-Gaben kurz nach den einzelnen Güllegaben den TM-Ertrag um 17 % und den Rohproteintrag um 23 % an hoben. Somit führte eine anders verteilte, jedoch insgesamt höhere N-Düngung nochmals zu einem kräftigen Anstieg der N-Aufnahme (*Abbildung 1*).

In beiden Versuchen führte der jeweils höchste N-Einsatz signifikant zu den höchsten Erträgen. In Puch weisen die Realerträge zwar ein deutlich niedrigeres Niveau als am Spitalhof auf (*Tabelle 2*). Relativ gesehen jedoch konnte durch den Mineraleinsatz ein größerer Einfluss auf den Ertragsanstieg als am Spitalhof genommen werden.

Sowohl bei Variante 4 am Spitalhof als auch bei Variante 3 in Puch lag das Niveau der N-Düngung um ca. 100-120 kg N/ha über der N-Abfuhr durch das Erntegut, was aus *Abbildung 2* hervorgeht. Wenn man in einem erweiterten Bilanzansatz zusätzlich Nährstoffverluste bei der Gülleausbringung sowie die N-Nachlieferung durch Leguminosen mit einbezieht (*Tabelle 3*, links), ergeben sich um rund 20-30 kg N/ha geringere jährliche N-Überhänge, die jedoch mit 92 bzw. 79 kg N/ha immer noch als sehr hoch zu bezeichnen sind. *Tabelle 3* zeigt, dass mit diesen Bilanzüberhängen ein signifikanter und ausgeprägter Anstieg der mittleren Nitratkonzentration im aufgefangenen Bodenwasser einherging. Ebenfalls nahm die Wahrscheinlichkeit sehr hoher Nitratwerte stark zu, was aus den 90%-Quantilen hervorgeht.

Hingewiesen sei auch darauf, dass bei Variante 1, wo über die mineralische Grunddüngung jährlich erhebliche Schwefelmengen von rund 70 kg S/ha in Form von Sulfat zugeführt wurden, die S-Konzentrationen um rund das Drei- bis Vierfache gegenüber den Varianten mit organisch/mineralischer Düngung ohne mineralischen Schwefeleinsatz anstiegen.

Erkennbar ist zudem der Einfluss des Standortes auf die Nitrat-, Phosphor- und Schwefelkonzentrationen im aufge-

Tabelle 3: N-Bilanz und Nährstoffkonzentrationen im aufgefangenen Bodenwasser

Ort Variante	N-Bilanz ²⁾ [kg N/ha]	Nährstoffkonzentrationen ¹⁾			
		Ø Nitrat	Q _{90%} [mg/l]	Ø P	Ø S
Spitalhof					
1 (0 N)	-196	1,3 c	2,87	0,07 a	1,7 a
2 (225 N)	-44	1,1 c	2,07	0,06 a	0,3 b
3 (315 N)	23	3,8 b	11,18	0,05 a	0,4 b
4 (455 N)	92	8,7 a	21,90	0,04 a	0,5 b
Puch					
1 (0 N)	-102	4,1 b	7,7	0,33 a	8,6 a
2 (176 N)	-1	4,4 b	12,2	0,32 a	2,3 b
3 (359 N)	79	18,1 a	43,5	0,32 a	2,7 b

¹⁾ Angefallene / untersuchte Wasserproben bei den einzelnen Varianten/ Untersuchungsparametern; Spitalhof: ca. 355-365 (1, 2, 4), 295 (3); Puch: ca. 490-505 (1), ca. 380-390 (2), ca. 370-385 (3)

²⁾ N-Bilanz = N-Zufuhr minus N-Abfuhr unter Berücksichtigung von N-Verlusten bei Gülledüngung in Anlehnung an die Düngeverordnung (DüV) sowie N-Lieferung durch den Kleeanteil; N-Bilanz = [(Gesamt-N_{Gülle} × 0,824 + N_{KAS} + 4 kg N/ha × % Klee) - N-Abfuhr]

fangenen Bodenwasser (*Tabelle 3 rechts*), was maßgeblich auf die unterschiedlichen Sickerwassermengen zurückzuführen sein dürfte.

Für eine möglichst exakte Umrechnung der Nährstoffkonzentrationen in jährliche Nährstofffrachten ist eine zeitlich eng aufgelöste Zuordnung des tatsächlichen Sickerwasseranfalles mit entsprechenden Konzentrationswerten erforderlich. Daher kann die Multiplikation von mittleren Nährstoffkonzentrationen mit langjährigen standortbezogenen Sickerwasserabschätzungen mit mehr oder weniger großen Fehlern behaftet sein. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung sei dennoch als grobe Frachtabschätzung festgestellt, dass mit Ausnahme der ungünstigsten Düngungsstrategie der mittlere jährliche N-Austrag aus dem Wurzelraum auf beiden Standorten in einem Bereich von rund 2-5 kg N/ha, dagegen bei stark überbilanzierter Düngung bei 12 kg N/ha lag. Die Höhe der mittleren P-Austräge dürfte pro Jahr bei 0,2-1,0 kg P (0,5-2,3 kg P₂O₅) und die Höhe der S-Austräge bei 2-10 kg S/ha (Spitalhof) bzw. 10-25 kg S/ha (Puch) anzusetzen sein.

Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse lassen darauf schließen, dass im Wirtschaftsgrünland bei fachgerechter Bemessung der Düngung mit keiner negativen Beeinträchtigung des Grundwassers zu rechnen ist, hingegen eine deutlich über

der Nährstoffabfuhr liegende N-Düngung zu einem signifikanten Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser führen kann. Gleiches trifft für die Schwefeldüngung zu. Daher sollte die vorherrschende Meinung, dass es unter Grünland kaum zu Nährstoffausträgen kommt, differenziert gesehen werden, zumal es auch Hinweise darauf gibt, dass in intensiv bewirtschafteten grünlandbasierten Regionen hohe Nitratgehalte in Wassergewinnungsanlagen nicht auszuschließen sind. Hier ist weiterer Forschungsbedarf gegeben, in dem auch ungünstigere Standort- und Bewirtschaftungsverhältnisse (Bodenart, Gründigkeit, Niederschlagsverteilung, überhöhte Düngung im Herbst und vor Vegetationsbeginn) als in den bisherigen Versuchen Berücksichtigung finden sollten.

Versuchsergebnisse zu oberflächlichen P-Austrägen bei begüllten Grünlandflächen in Hanglage

Material und Methoden

Der Versuch steht im Allgäuer Alpenvorland am Standort Spitalhof/Kempten (730 m ü. NN, Ø Jahresniederschlag im langjährigen Mittel 1290 mm, Ø Jahrestemperatur 7,0 °C). Der ortsfeste Dauerversuch besteht aus vier 30 m breiten und 70 m langen Parzellen. Er ist auf einer Grünlandfläche

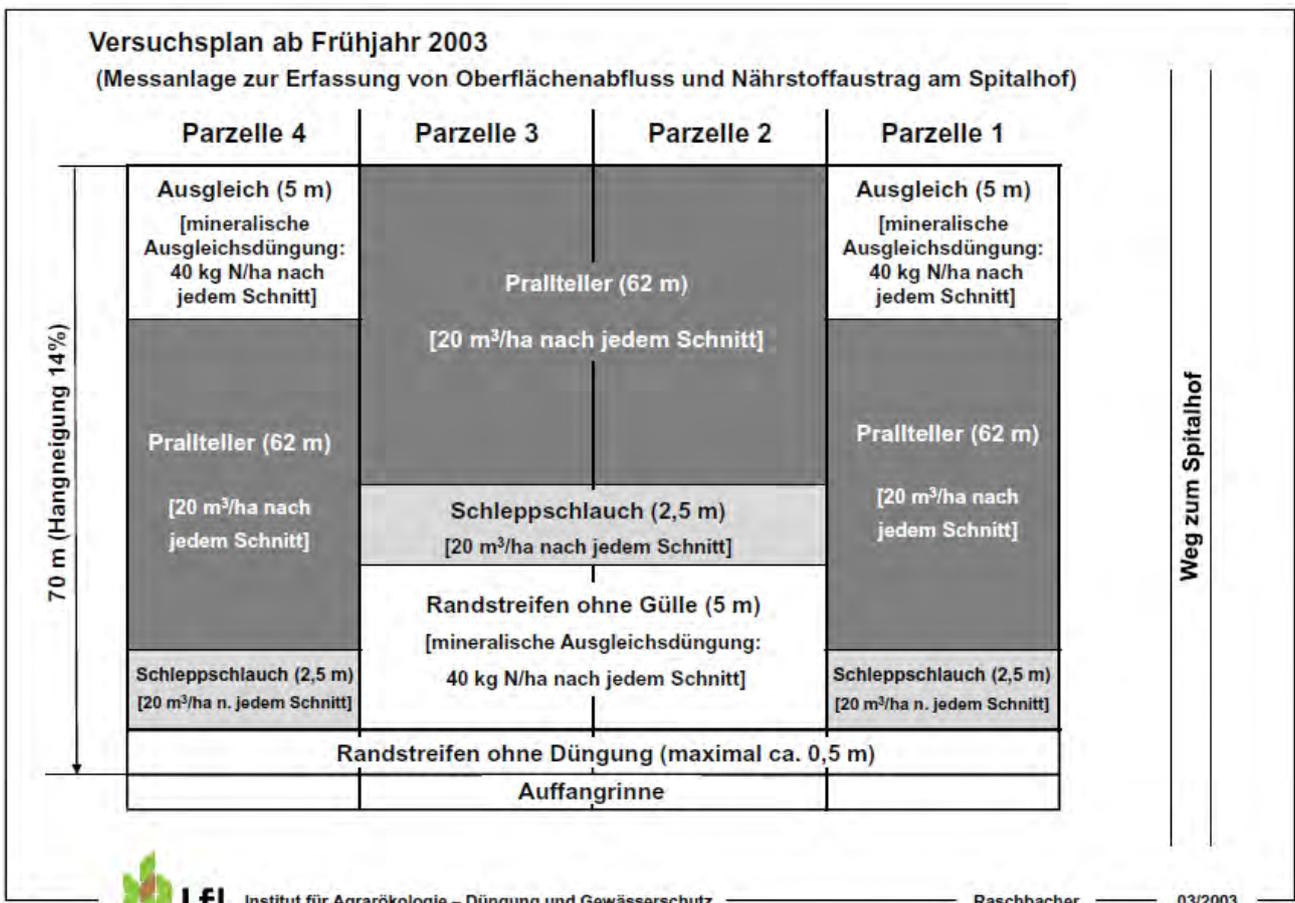


Abbildung 3: Ortsfeste Versuchsanlage zur Erfassung von Oberflächenabfluss

mit 14 % Hangneigung und gleichmäßigem Relief über Parabraunerde aus Moränenmaterial angelegt. *Abbildung 3* zeigt die Varianten und das Prinzip der Versuchsanlage.

Die Düngung erfolgte ausschließlich in Form von Gülle zu allen vier geernteten Aufwüchsen in praxisüblicher Weise mit dem Prallteller. Damit wurden durchschnittlich pro Hektar und Jahr 49 kg Phosphor (=112 kg P_2O_5 /ha) gedüngt, wobei dieser Wert geringfügig über der in Bayern veranschlagten Düngung (LFL 2011) von Vierschnittwiesen in Gunstlagen liegt. Es wurde darauf geachtet, dass bei allen Parzellen mit dem Prallteller die gleiche Fläche gedüngt wurde, was die mineralischen Ausgleichsflächen bei der Variante „ohne Randstreifen“ (Parzellen 1 und 4) in *Abbildung 3* erklärt. Um eine exaktere Abgrenzung zwischen begüllten und nicht begüllten Flächen zu gewährleisten, wurde bei allen Parzellen die Gülle auf den letzten 2,5 m quer zum Hang mit Schleppschlauchtechnik (Versuchsgerät) ausgebracht. Einen weiteren Schutz vor Direkteinträgen bot ein schmaler ungedüngter Randstreifen von 0,5 m Breite direkt vor der Auffangrinne. Die Abflüsse der vier Parzellen wurden in einer Auffangrinne am Hangfuß getrennt gesammelt. Von dort gelangten sie in ein in einer Grube befindliches Kippgefäß. Ein einfaches mechanisches Zählwerk registrierte jede Kippung (50 l). Außerdem wurde pro Kippung automatisch eine Probe zur Nährstoffanalyse entnommen. Die Untersuchung der Wasserproben erfolgte auf Gesamt-Phosphor (TP) sowie auf „löslichen Phosphor“ (DTP), d.h. nach Passieren eines 45 μ m-Filter wurde der Gesamt-P des Filtrats bestimmt. Der partikuläre Phosphor (PP) wurde aus der Differenz berechnet. Zeitpunkt und Menge der Niederschlagsereignisse registrierte eine agrarmeteorologische Messstation am Standort.

Die Probenahme, Analyse und Auswertung umfasste drei Abstufungen: So wurden Wasserproben nach einem vorherigen Starkregenereignis extra aufgefangen. Als ein Starkregenereignis wurde definiert, wenn die Abflüsse über 2 l/m² betragen. Bei der Auswertung wurde weiterhin unterschieden, ob diesen Ereignissen ca. 1-2 Tage vorher eine Güllendüngung voranging oder diese schon länger zurücklag. Alle niedrigeren Abflüsse (unter 2 l/m²) gingen in eine Sammelprobe ein, die einmal jährlich auf TP und DTP untersucht wurde. Der dargestellte Untersuchungszeitraum umfasst die Jahre 2003-2009.

Ergebnisse und Diskussion

Niederschlag und oberflächlicher Wasserabfluss

Das mittlere Niveau der Jahresniederschläge lag im siebenjährigen Untersuchungszeitraum bei 1064 mm und damit deutlich unter dem langjährigen Standortmittel von 1290 mm a⁻¹. Ein durchschnittlicher Abfluss von 32,4 l m⁻² a⁻¹ (*Tabelle 4*) weist darauf hin, dass unter den gegebenen Reliefverhältnissen nur ein sehr geringer Anteil (3 %) der Niederschläge direkt von der Oberfläche abfloss. POMMER et al. (2001) stellten am gleichen Standort bei etwas höheren mittleren Jahresniederschlägen eine Abflussrate von etwa 6 % fest. Auffallend ist, dass innerhalb des Versuches die durchschnittlichen Wasserabflüsse trotz einheitlicher Reliefstruktur in einem weiten Bereich schwankten (*Tabelle 5*), wofür unterschiedliche Bodenverhältnisse (u.a. lokale Verdichtungen) verantwortlich waren.

Der Wasserabfluss von der Hangfläche war vorwiegend auf Starkregenereignisse zurückzuführen. Dabei ist bemerkenswert, dass solche Ereignisse im Versuchszeitraum (2003-2009) insgesamt nur 16mal auftraten. Dies entspricht nach der oben beschriebenen Definition einer durchschnittlichen „Wahrscheinlichkeit“ von 2,3 Starkregen mit Abfluss pro Jahr.

P-Frachten, P-Fraktionen und mittlere TP-Konzentration

Aus dem Versuch wurden im siebenjährigen Mittel pro Hektar und Jahr 147 g an Gesamt-P (TP) durch Oberflächenabfluss ausgetragen (*Tabelle 4*), wobei sich die Spannweite der P-Fracht in den Einzeljahren zwischen 29 und 318 g TP/ha bewegte. Bemerkenswert ist, dass der durch hohe Wasserabflüsse 1-2 Tage nach Güllendüngung verursachte P-Austrag an der Gesamtfracht einen mittleren Anteil von über 50 % einnahm, obwohl solche Situationen im Untersuchungszeitraum nur viermal eintraten. Dies verdeutlicht den entscheidenden Beitrag einer an Wetterprognose und Bodenverhältnisse orientierten Güllendüngung auf Grünlandflächen im Hügelland für die potenzielle Reduzierung von P-Einträgen in Oberflächengewässer. Gleichfalls wie in Untersuchungen von DIEPOLDER und RASCHBACHER (2008, 2010 a) mit simulierten Starkregenereignissen (künstliche Beregnung) bildete auch bei den vorliegenden, hier unter natürlichen Niederschlagsbedingungen gewonnenen Resultaten stets der „lösliche Phosphor“ (DTP) die

Tabelle 4: Jährliche Abflussmengen, P-Frachten und errechnete durchschnittliche TP-Konzentrationen im Gesamtversuch (Mittel 2003-2009)

Herkunft Abfluss /P-Fracht	Ø Abfluss- menge [l m ⁻² a ⁻¹]	DTP	Ø P-Frachten ⁴⁾ PP [g ha ⁻¹ a ⁻¹]		Ø TP- Konz. ⁵⁾ [µg/l]
Ohne Starkregenereignis ¹⁾	7,3	28	11	39	536
Starkregen ohne Güllendüngung ²⁾	18,6	24	6	30	162
Starkregen mit Güllendüngung ³⁾	6,5	62	16	78	1195
Σ bzw. Ø	Σ 32,4	Σ 114	Σ 33	Σ 147	Ø 454

¹⁾ Jahresproben (7)

²⁾ Proben mit Abflüssen > 2 l/m²; ohne vorherige Güllendüngung: ø 1,7 Ereignisse pro Jahr

³⁾ Proben mit Abflüssen > 2 l/m²; Güllendüngung max. 2 Tage vorher: ø 0,6 Ereignisse pro Jahr

⁴⁾ TP und DTP gemessen, PP aus Differenz: PP = TP – DTP

⁵⁾ ø TP-Konzentration: Errechnet aus ø TP-Fracht/ ø Abfluss

Tabelle 5: Jährliche Abflussmengen, TP-Frachten und errechnete durchschnittliche TP-Konzentrationen der einzelnen Parzellen (Mittel 2003-2009)

Herkunft Abfluss /P-Fracht	Ø Abfluss- menge [l m ⁻² a ⁻¹]	Ø TP- Fracht [g ha ⁻¹ a ⁻¹]	Ø TP-Konzen- tration errechnet [µg/l]
Parzelle 1 (ohne Randstreifen)	48,3	255	527
Parzelle 2 (mit 5 m Randstreifen)	29,0	111	383
Parzelle 3 (mit 5 m Randstreifen)	35,8	123	344
Parzelle 4 (ohne Randstreifen)	16,5	100	607
Mittel 1,4 (ohne Randstreifen)	32,4	177 ¹⁾	547
Mittel 2,3 (mit 5 m Randstreifen)	32,4	117 ¹⁾	362

¹⁾ Differenz der Mittelwerte ist nicht signifikant, siehe Text

überwiegende P-Fraktion. Dies bestätigt die These der Autoren, die einen „Auskämmeffekt“ des vorwiegend partikulären Güllephosphats durch die Grasstoppen für die Ursache halten. In Relation zum insgesamt mit der Gülle ausgebrachten Phosphor lag der Anteil des direkt durch Oberflächenabfluss in den Vorfluter eingetragenen TP in einer Größenordnung von ca. 0,3 %. Diese scheinbar geringe Menge führte jedoch zu einer mittleren TP-Konzentration im abfließenden Wasser von 454 µg TP/l (Tabelle 4), welche um mehr als das 20fache über dem Grenzwert lag, den VOLLENWEIDER (1982), zit. bei POMMER et al. (2001) für eine tragbare Belastung des Gewässerzuflusses angibt. Natürlich ist hierbei zu berücksichtigen, dass Vorfluter kaum ausschließlich vom Oberflächenabfluss gespeist werden und dieser nur einen geringen Anteil des gefallenen Niederschlags ausmacht, selbst wenn man die Evapotranspiration mit in Kalkül einbezieht. Anzumerken ist auch noch, dass mit der Versuchsanlage Wasserabflüsse und somit P-Frachten unter der Bodenoberfläche nicht erfasst werden konnten. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Im Mittel lag die TP-Fracht bei den beiden Parzellen 2 und 3, bei denen zusätzlich vor der Auffangrinne ein 5 m breiter Randstreifen ohne Gülledüngung vorgelagert wurde (Abbildung 3) um ca. ein Drittel unterhalb des Mittelwertes der beiden Parzellen ohne einen solchen Randstreifen (Tabelle 5, unten). Allerdings konnte diese Differenz aufgrund der bereits erwähnten Bodenunterschiede und der nur 2 Wiederholungen pro Variante in diesem ortsfesten Versuch statistisch nicht abgesichert werden, was sich auch anhand der Einzelwerte der TP-Frachten (siehe Tabelle 5, mittlere Spalte, insb. Parzellen 1 und 4) andeutet. Setzt man jedoch die mittleren jährlichen TP-Frachten in Relation zu den mittleren Jahresabflüssen, so fallen bei den so errechneten mittleren TP-Konzentrationen die Unterschiede der beiden Parzellen „ohne Randstreifen“ nicht so deutlich aus. Eine statistische Absicherung zwischen den Varianten unterblieb hier allerdings.

Schlussfolgerung

Die Versuchsergebnisse belegen, dass P-Austräge aus Wirtschaftsgrünland in Hanglagen vorwiegend auf vergleichsweise wenigen Starkregenereignissen beruhen. Im Fall von Gülledüngung erfolgen die P-Belastungsspitzen in Oberflächengewässer hauptsächlich in Form von gelöstem und damit schnell verfügbarem Phosphor. Durch

ungedüngte Randstreifen vor dem Vorfluter können die P-Austräge teilweise deutlich vermindert werden, allerdings können auch kleinräumige Bodenunterschiede diesen für den Gewässerschutz positiven Effekt überlagern.

Literatur

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL), 2011: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft, 9. Unveränderte Auflage 2011, 99. S.
- BUCHGRABER, K., M. HERNDL und J. PEINTNER, 2010: Trinkwasser – Verminderte Qualität bei Nutzungsaufgabe. Der fortschrittliche Landwirt, Heft 24, 28-29.
- BUNDESGESETZBLATT, 2007: Bekanntmachung der Neufassung der Düngeverordnung vom 27. Februar 2007. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I, ausgegeben zu Bonn am 5. März 2007, 221-240.
- CZERATZKI, 1971: Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser. Landbauforschung Völkenrode 21, 13-14.
- DIEPOLDER, M., F. PERETZKI, L. HEIGL und B. JAKOB, 2006: Nitrat- und Phosphorbelastung des Sickerwassers bei Acker- und Grünlandnutzung – Ergebnisse von zwei Saugkerzenanlagen in Bayern. Schule und Beratung, Heft 04/06, III-3-10. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2008: Abschlussbericht des Forschungsprojekts Saubere Seen 2002-2005. Internetangebot der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (www.lfl.bayern.de/iab/duengung/; siehe unter Rubrik Düngung und Umwelt – Gewässerschutz).
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2010 a: Projekt „Saubere Seen“ - Untersuchungen zu Phosphorausträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. Bericht über das 2. Umweltökologische Symposium „Boden- und Gewässerschutz in der Landwirtschaft“, 79-88. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-Irdning.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2010 b: Leistungsfähiges Grünland und Verzicht auf mineralische Düngung – sind hohe Erträge und Futterqualitäten möglich? Schule und Beratung, Heft 3-4/10, III-13-19. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2011 a: Erträge, Futterqualität und Nährstoffgehalte des Sickerwassers bei unterschiedlicher Grünlanddüngung. Schule und Beratung, Heft 3-4/11, III-18-23. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2011 b: Nitratbelastung unter Grünlandflächen – Versuchsergebnisse aus Bayern. In: Tagungsband Internationale Tagung „Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, 190-194, Hsg. Elsässer, Diepolder, Huguenin-Eli, Pötsch, Nußbaum, Meßner, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2011 c: Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität – Güllegaben und Nutzungshäufigkeit – bei einem Standort im Allgäuer Alpenvorland. In: Tagungsband Internationale Tagung „Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, 81-85, Hsg. Elsässer, Diepolder, Huguenin-Eli, Pötsch, Nußbaum, Meßner, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg.
- EDER, G., 2000: Stickstoffauswaschung schwankt stark. Der fortschrittliche Landwirt, Heft 2, 34-35.
- POMMER, G., R. SCHRÖPEL und F. JORDAN, 2001: Austrag von Phosphor durch Oberflächenabfluss auf Grünland. Wasser & Boden, 53/4, 34-38. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.
- VOLLENWEIDER, R. and J. KERKES, 2008: Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD Paris.

Die Bedeutung der Wurzel für die Leistungen der Zwischenfruchtbegrünung im Boden- und Grundwasserschutz

Gernot Bodner^{1*}

Zusammenfassung

Zwischenfruchtbau ist eine wesentliche Agrarumweltmaßnahme für Boden- und Grundwasserschutz. Das vorhandene Spektrum von Zwischenfruchtarten weist eine Vielfalt an Wurzeleigenschaften auf, denen spezifische funktionelle Bedeutung für die Wirkung der Begrünungsmaßnahme zukommt. Grundwasserschutz erfordert Zwischenfrüchte mit explorativer, tiefreichender Wurzelarchitektur. Erosionsschutz wird durch intensive Oberbodendurchwurzelung gefördert, die zu Aggregat- und Porenstabilisierung sowie Bioporenbildung führt. Pflanzenarten mit starker Pfahlwurzel können zur Lockerung verdichteter Böden beitragen. Die Stabilisierung der Humusgehalte durch Zwischenfrüchte ist vor allem über deren Wurzelrückstände möglich, da diese im Vergleich zum oberirdischen Material wesentlich langsamer abgebaut werden. Für ein zielgerichtetes Begrünungsmanagement bedarf es einer exakten vergleichenden Beschreibung der artspezifischen Wurzelsysteme und vermehrter quantitativer Studien über Wechselwirkungen zwischen Wurzelparametern und Bodeneigenschaften.

Schlagwörter: Zwischenfrucht, Wurzelsystem, Umweltleistungen, Bioporen, Humus

Summary

Cover cropping is a widely used agro-environmental measure for soil and groundwater protection. The existing spectrum of cover crop species shows a diversity of root systems with specific functions relevant for their environmental impact. Groundwater protection requires cover crops with deep explorative root architecture. Soil erosion is reduced by an intense rooting of the upper soil layers resulting in aggregate and pore stabilization as well as bio-pore formation. Species with strong tap roots can contribute to loosening of dense soil layers. Stabilization of humus content by cover crops is mainly a function of their roots which have a slower decay compared to above-ground residues. For a targeted cover crop management an exact comparative root system description is required as well as quantitative studies on the interaction of root traits with soil properties.

Keywords: cover crops, root system, environmental impact, biopores, humus

Einleitung

Zwischenfruchtbau gehört zu den wichtigsten Agrarumweltmaßnahmen in Europa. In Österreich stellt die „Begrünung von Ackerflächen“ mit einer Teilnahme von 49.905 Betrieben und 433.640 ha Ackerfläche eine der am weitesten angenommenen ÖPUL-Maßnahmen dar (GRÜNER BERICHT 2011).

Zielsetzungen des Zwischenfruchtbaus sind Verringerung der Nitratauswaschung, Erosionsschutz, Verbesserung der Humusbilanz und Bodenstrukturstabilisierung. Viele Zwischenfruchteffekte hängen ursächlich mit dem Wurzelsystem der eingesetzten Pflanzenarten zusammen. Eine systematische Beschreibung von Zwischenfruchtarten und –sorten im Hinblick auf ihre Umweltleistungen ist im Vergleich zur Sortenbeschreibung von Hauptfrüchten jedoch nicht vorhanden. Dies gilt umso mehr für die Wurzeleigenschaften der Begrünungspflanzen. Die Berücksichtigung der Wurzeleigenschaften und ihrer Funktionen im Zwischenfruchtmanagement wäre jedoch für einen optimalen Einsatz des vorhandenen Artenspektrums zum Boden- und Grundwasserschutz notwendig. Im folgenden

Beitrag werden die Funktionen und Wirkungen der Zwischenfruchtwurzeln im Zusammenhang mit den Zielen der Begrünungsmaßnahme aufgezeigt.

Wurzelsysteme von Zwischenfrüchten

Die Systematik der Wurzelsysteme bietet nur eine grobe Unterscheidung in Pflanzenarten mit homorrhizen und allorhizen Wurzelbild. Homorrhizie findet sich bei monokotylen Pflanzen und zeichnet sich durch die Gleichrangigkeit der primären samenbürtigen mit den sekundären sproßbürtigen Wurzeln aus, wobei die Primärwurzeln in manchen Fällen mit der Ausbildung des Sekundärsystems ihre Funktion verlieren. Allorhizie, wie sie bei Dikotylen auftritt, bezeichnet Wurzelsysteme mit einer dominanten Primärwurzel von der die hierarchisch nachgeordneten Seitenverzweigungen ausgehen. Manche Arten bilden dabei eine verdickte Primärwurzel aus (Pfahlwurzel), die zur Stoffspeicherung dient.

Wichtige funktionelle Wurzelparameter, die sich von der Topologie und Architektur des Systems ableiten, sind Wurzeltiefe, Wurzelverteilung und Durchwurzelungsdichte. Aufgrund dieser Parameter unterscheidet FITTER (2002)

¹ Institut für Pflanzenbau und -züchtung, Universität für Bodenkultur Wien, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

* Ansprechpartner: Dr. Gernot Bodner, gbodner@groupwise.boku.ac.at

zwischen explorativen (Ausfüllung eines maximalen Bodenvolumens) und exploitativen (Optimierung des Entzuges aus einem beschränkten Volumen) Wurzelsystemen. Die Ausbildung des Wurzelsystems unterliegt stärker noch als die Formausprägung des oberirdischen Phänotyps einer intensiven Interaktion zwischen Genotyp und vorherrschenden Bodenverhältnissen.

Neben den Eigenschaften der Wurzelarchitektur spielt auch die stoffliche Zusammensetzung der Wurzel eine bedeutende Rolle im System Boden-Pflanze. Die Wurzel liefert sowohl rasch umsetzbare organische Substanzen (Exsudate, abgestorbene Zellen der Wurzelspitze, Feinwurzeln) mit einer Lebensdauer von wenigen Tagen (ZOBEL 2005, PIERRET et al. 2005) als auch schwer abbaubares Material (Lignin, Suberin) als Quelle chemisch stabiler organischer Bodensubstanz.

Abbildung 1 zeigt den Tiefenverlauf der Wurzellängendichte ausgewählter Begrünungskulturen sowie deren Gesamt-trockenmasse im Vergleich zur oberirdischen Biomasse. Phacelia brachte in den Untersuchungsjahren die dichteste Durchwurzelung. Auch Lein (2009) führte zu sehr hohen Wurzellichten. Das Wurzelsystem der Leguminosen mit dickeren Einzelwurzeln lag dagegen bei der Durchwurzelungsdichte im unteren Bereich. Hinsichtlich der Wurzelbiomasse zeigte Senf mit seiner unter den Versuchsvarianten deutlichsten sekundären Verdickung der Primärwurzel die höchsten Werte. Das Wurzel/Sproß-Verhältnis lag zwischen 0,21 (Wicke 2004) und 0,94 (Roggen 2005), im Mittel bei 0,59. Dies beweist auch die mengenmäßige Bedeutung des Wurzelsystems als Quelle organischer Substanz bei Zwischenfrucht Begrünungen.

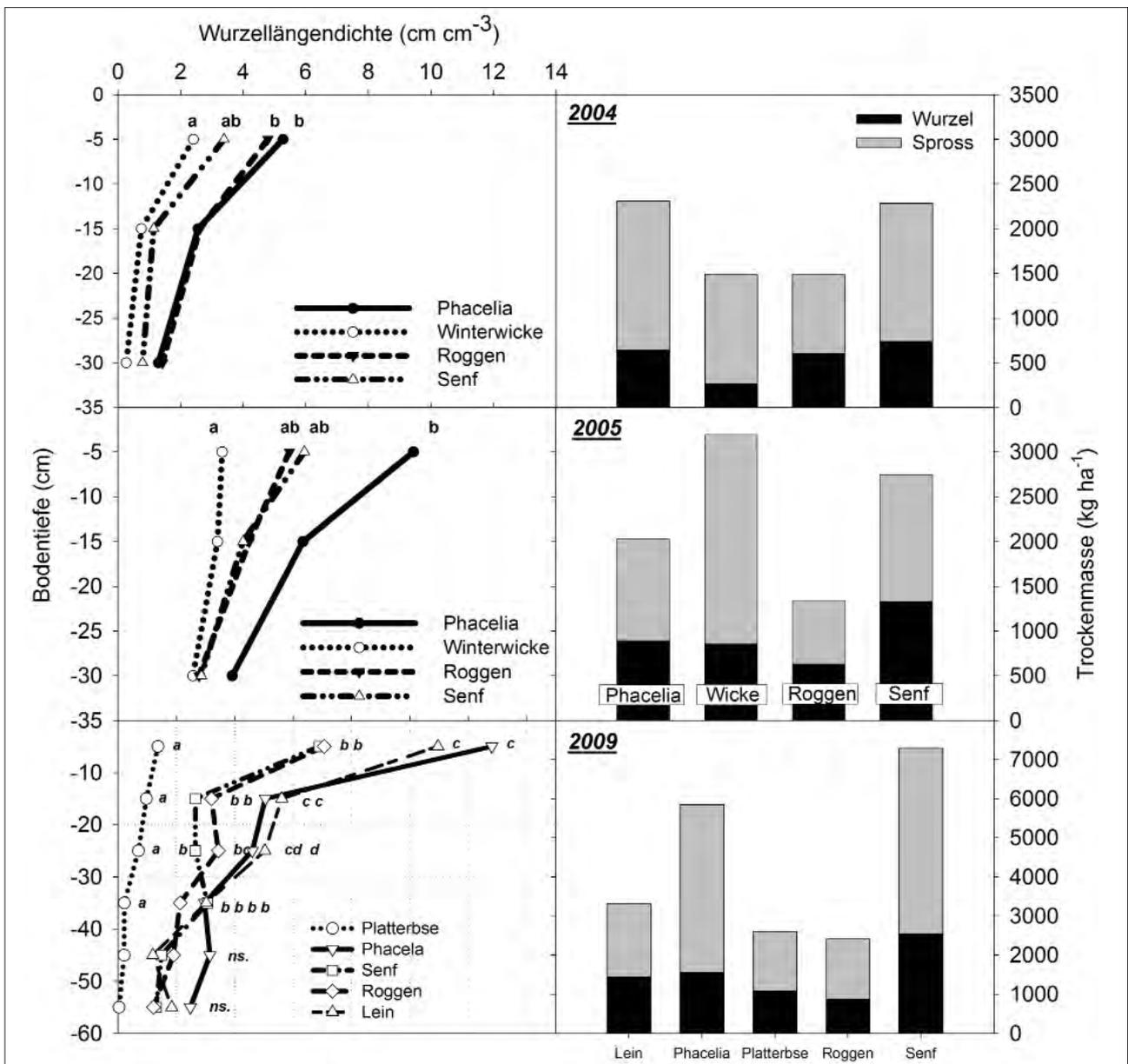


Abbildung 1: Wurzellängendichte, Wurzel- und Spross-biomasse ausgewählter Zwischenfrüchte (Versuchsstandorte Hollabrunn 2004, 2005, und Groß Enzersdorf 2009; Methode: Bodenzylinder und Bildanalyse).

Zwischenfruchtwurzel und Grundwasserschutz

Die Effektivität der Zwischenfrucht für den Schutz des Grundwassers vor der Auswaschung von Nitrat aus Dünger und Mineralisation während der Zwischenbrachzeit wurde in vielen Studien gezeigt (z.B. BÖHM und HÖSCH 2001, SPIESS et al. 2011) und spiegelt sich in der örtlichen Verbesserung des Grundwasserzustandes durch ÖPUL wieder.

Relevante Wurzelparameter für die Optimierung der Nitrataufnahme sind maximale Wurzeltiefe und Geschwindigkeit des Tiefenwachstums. Für eine unlimitierte Wasseraufnahme unter erdfeuchten Bedingungen (Feldkapazität) wird eine Wurzeldichte von $0,5 \text{ cm cm}^{-3}$ als ausreichend angenommen (PASSIOURA 1980, DE WILLIGEN et al. 2000). Nitrat wird über Massenfluss mit der Bodenlösung zur Wurzeloberfläche transportiert. Daraus kann geschlossen werden, dass schon bei geringen Durchwurzelungsdichten zwischen $0,5$ bis 1 cm cm^{-3} die Pflanze in der Lage ist, entsprechend ihrer Wasseraufnahmemenge, vorhandenes Nitrat dem Boden zu entziehen und einen Verlust in Richtung Grundwasser zu verhindern. Die Wurzelverteilungen in *Abbildung 1* zeigen, dass die Wurzeldichte der untersuchten Begrünungen exponentiell mit der Tiefe abnimmt, jedoch mit Ausnahme der Leguminosen in der Beprobungstiefe zumeist deutlich über dem kritischen Wert von $0,5 \text{ cm cm}^{-3}$ liegen. In Ausgrabungen im Trockengebiet konnte bei Ölrettich die Hauptwurzel in einer Schwarzerde bis auf etwa $1,70 \text{ m}$ verfolgt werden, wobei sich das Wurzelsystem unter dem durch Oberbodentrockenheit temporär verhärteten A-Horizont im Bereich des AC und C-Horizontes noch intensiv verzweigte.

Demnach ist für die Nitrataufnahme eine zwar nur extensive Wurzeldichte im Unterboden erforderlich, jedoch eine explorative Wurzelsystemarchitektur, mit der die Pflanze ein hohes Bodenvolumen erfasst. Zu den tiefwurzelnden Begrünungen mit raschem Wurzelwachstum, die für den Grundwasserschutz besonders geeignet sind, zählen die Kreuzblütler Ölrettich, Senf und Markstammkohl.

Zwischenfruchtwurzel und Erosionsschutz

Eine langandauernde Bodenbedeckung durch wachsende Pflanzen und Mulchmaterial kann den Oberflächenabfluss und Bodenabtrag effizient reduzieren: Der Bodenabtrag verringert sich exponentiell mit dem Bedeckungsgrad und ist bei einer Bedeckung von 50% der Bodenoberfläche bereits um 80% verringert (ZUAZO und PLEGUEZUELO 2008). Neben der raschen und langdauernden Bodenbedeckung durch ein Pflanzendach und Mulch spielt jedoch auch das Wurzelsystem der Zwischenfrucht eine substantielle Rolle.

Die Zwischenfruchtwurzeln tragen durch ihre Wirkung auf die Bodenstruktur im Oberboden zum Erosionsschutz bei. Wurzeln spielen in der Bodenaggregation und Stabilisierung der Aggregate eine vielfältige Rolle (vgl. SIX et al. 2004): Verkittung der Mineralteilchen über Exsudate, partikuläre Wurzelreste als Kern der Aggregatbildung, sowie Vernetzung der Makroaggregate durch Feinwurzeln und Pilzhyphen. Als „Spiegelbild“ der Bodenaggregate beeinflussen die Wurzeln auch das Porensystem: abgestorbene Wurzeln führen zu Biomakroporen, die Porenwände

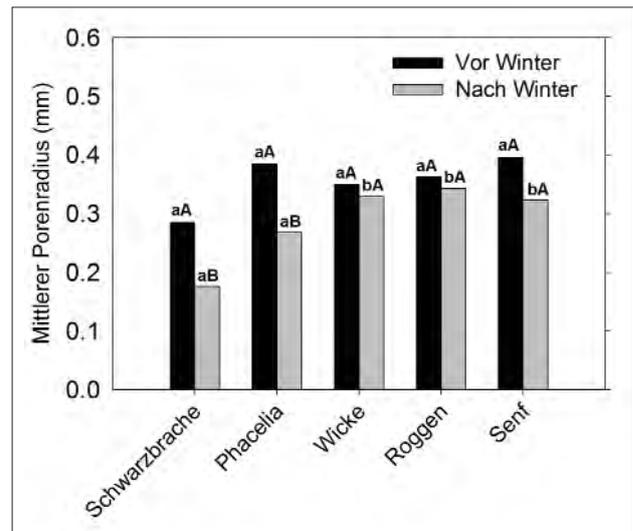


Abbildung 2: Änderung des flussgewichteten Porenradius unter verschiedenen Zwischenfrüchten im Vergleich zu Brache. (Versuchsstandort Hollabrunn 2004, 2005; Methodik: Ableitung aus Infiltrationsversuch; Kleinbuchstaben vergleichen die Varianten, Großbuchstaben den Beprobungszeitraum).

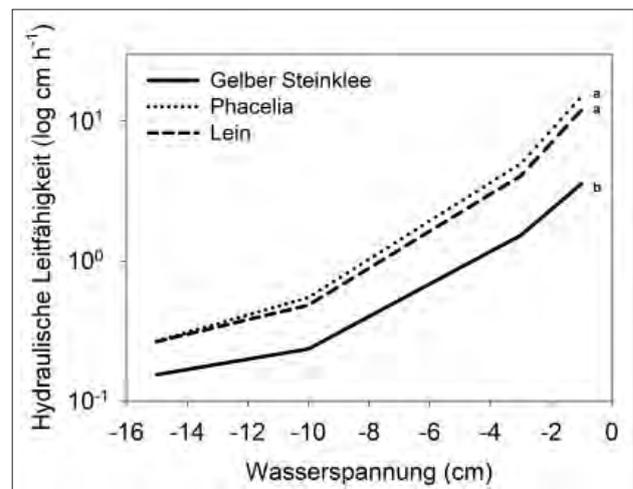


Abbildung 3: Vergleich der hydraulischen Leitfähigkeit von Zwischenfrüchten mit intensiver Pfahlwurzel (Gelber Steinklee) und Arten mit ausgeprägter Feindurchwurzelung im Oberboden (Phacelia, Lein; Versuchsstandort Groß Enzersdorf 2011; Methodik: Tensionsinfiltrometer).

bestehender Poren werden durch organische Ausscheidungen stabilisiert und in der Wurzelumgebung kann es durch kleinräumige Feuchte-Trocken-Zyklen zu erhöhter Porosität über Mikrorisse kommen (vgl. YOUNG 1998).

Abbildung 2 zeigt die Stabilisierung der Poren über Winter an einem schluff- und feinsandreichen Standort, der zu natürlicher Dichtlagerung neigt. Es zeigt sich, dass die Abnahme des mittleren Porenradius über Winter bei der Schwarzbrache höher war als unter Zwischenfrüchten. *Abbildung 3* zeigt, dass voluminöse Pflanzenwurzeln jedoch auch temporär zu einer Verringerung der Wasserleitfähigkeit führen können, wenn sie präferentiell in bestehende Poren wachsen. Nach Absterben der Pflanzen ist jedoch auch hier die Bildung von wurzelinduzierten Bioporen zu erwarten.

Tabelle 1: Maximaler axialer Wurzeldruck landwirtschaftlicher Nutzpflanzen (nach CLARK et al., 2003).

Art	Wurzeldruck (MPa)
Erbse	0,58
Weizen	0,49
Gerste	0,49
Mais	0,43
Lupine	0,41
Sonnenblume	0,24

Zwischenfruchtwurzeln und Bodenverdichtung

Schadverdichtungen beeinträchtigen die Regulations-, Lebensraum- und Produktionsfunktionen des Bodens. Die Möglichkeit Bodenverdichtungen durch Zwischenfruchtwurzeln zu durchbrechen wäre demnach eine wichtige Leistung in der natürlichen Bodenverbesserung.

Pflanzen versuchen verdichtete Horizonte mit ungünstigem Luft- und Wasserhaushalt zu vermeiden. Dennoch, manche Pflanzenarten sind besser in der Lage, dichtgelagerte Schichten zu durchdringen. Es liegen nur wenige vergleichende Messdaten über die maximale Kraft von Wurzeln, die auf ein mechanisches Hindernis treffen, vor. Als indirekter Hinweis wird daher der mittels Penetrometer gemessene Eindringwiderstand des Bodens herangezogen. Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass Penetrometerwerte über 2,5 MPa das Eindringen von Pflanzenwurzeln in den Boden verhindern. *Tabelle 1* gibt einige Werte über den maximalen axialen Wurzeldruck verschiedener Arten wieder, wobei die Unterschiede in diesem Kennwert jedoch gering sind.

Bei Beobachtung der Anzahl von Wurzeln, die verdichtete Schichten durchdringen, zeigen sich dagegen deutliche Unterschiede zwischen zweikeimblättrigen Arten im Vergleich zu Gräsern. Zweikeimblättrige mit dickeren Wurzeln sind besser in der Lage, durch Verdichtungshorizonte durchzuwachsen. Ihr höherer Wurzelradius und das sekundäre Dickenwachstum ihrer Wurzeln führen zu einer besseren Bodenlockerung und erleichtern den wachsenden Wurzelspitzen das Vorkommen in dichten Böden. Der höhere Wurzelradius verringert darüber hinaus die Tendenz zum frühzeitigen Abknicken in die horizontale Wachstumsrichtung. Neben dem Einfluss des Wurzelradius, sind mehrjährige Pflanzen im Vergleich zu Einjährigen in ihrer Lockerungswirkung überlegen. Aus den vorliegenden Ergebnissen zur biologischen Lockerungswirkung von Wurzeln kann folgende Reihung getroffen werden: mehrjährigen Gehölzpflanzen > mehrjährige Futterleguminosen (Luzerne) > tiefwurzelnden Gräsern > einjährige Acker Nutzpflanzen (dikotyle Pfahlwurzel > Leguminosen, Mais, Sonnenblume > Getreide). Wie lassen sich diese Erkenntnisse nun in der Nutzpflanzenproduktion einsetzen?

Zwischenfruchtwurzeln und Humushaushalt

Die Stabilisierung und standortspezifisch mögliche Erhöhung der Humusgehalte des Bodens ist eine der wichtigsten Anforderungen an eine nachhaltige Pflanzenproduktion. SPIEGEL und DERSCH (2009) zeigten, dass die Humus-

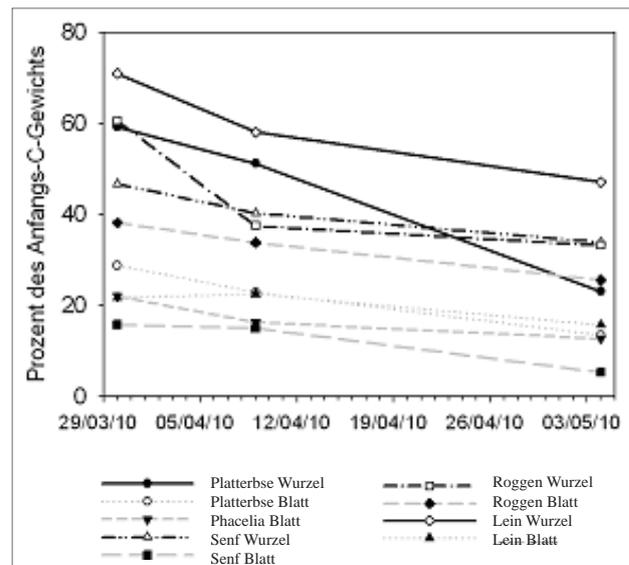


Abbildung 4: Mineralisierungsverlauf oberirdischer und Wurzelrückstände von Zwischenfrüchten (Versuchsstandort Groß Enzersdorf, 2009/10; Methode: Litterbags).

gehalte im österreichischen Ackerland stabilisiert wurden, wobei davon ausgegangen werden kann, dass die Begrünung durch ÖPUL dabei eine wichtige Rolle spielte. Besonders im Zusammenhang mit der Anreicherung stabiler Kohlenstoffverbindungen im Boden als Maßnahme zur CO₂-Reduktion kommt der Pflanzenwurzel eine besondere Rolle zu (RASSE et al. 2005). Schätzungen gehen von einer C-Speicherung von 300–800 kg C ha⁻¹ und Jahr durch Zwischenfrüchte aus. Tiefwurzelnden Pflanzen wird ein Potential von 600–800 kg C ha⁻¹ und Jahr zugerechnet (FREIBAUER et al. 2004).

Die Wurzel als Humusquelle der Zwischenfrucht ist umso bedeutender als sich oberirdische Pflanzenrückstände und Wurzeln in ihrer Abbaudynamik wesentlich unterscheiden. *Abbildung 4* zeigt die Abnahme des Kohlenstoffes von in den Boden eingebrachten Zwischenfruchtresten.

Die Wurzelrückstände wiesen eine höhere Stabilität auf als das oberirdische Material. Am 4. Mai 2010 waren im Mittel noch 34,3 % des eingesetzten Kohlenstoffes der Wurzelrückstände gegenüber 14,5 % des oberirdischen Materials vorhanden. Die unterschiedliche Qualität des Materials bei stärkerer Verholzung der Wurzelrückstände (besonders bei Lein) führte zu einer langsameren Mineralisierung des Wurzelmaterials, während die oberirdischen Rückstände als Gründünger rasch umgesetzt wurden. Die Zielsetzung Humus und Kohlenstoffspeicherung im Boden erfordert demnach einen besonderen Fokus auf die Wurzelmasse.

Schlussfolgerungen

Der Zwischenfruchtbau ist eine der effektivsten Maßnahmen zum Boden- und Grundwasserschutz in der Landwirtschaft und zur nachhaltigen Sicherung von Bodenfruchtbarkeit und Ertragsstabilität. Es steht derzeit ein breites Artenspektrum an Begrünungskulturen zur Verfügung. Die Optimierung des Zwischenfruchtbaus erfordert (i) eine standortspezifische Diagnose der vordringlichen Umweltproblematik (Nitrat, Erosion, Humus, Verdichtung) und (ii) die Wahl der geeig-

netsten Pflanzenart. Dabei ist für alle Umwelteffekte der Zwischenfrucht die Kenntnis des Wurzelsystems entscheidend, um eine bestmögliche Wirkung zu erzielen. Obwohl der Kenntnisstand über die Zwischenfrucht durch zahlreiche nationale und internationale Studien weit fortgeschritten ist, fehlt es an exakten, vergleichenden Beschreibungen der Wurzelsysteme von Zwischenfrüchten. Auch liegen nur wenige quantitative Untersuchungen über die funktionelle Rolle der Wurzel in Wechselwirkung mit Bodeneigenschaften als Grundlage des Managements von wurzelinduzierter Bodenlockerung und Humusverbesserung vor. Das Postulat der Praxis ist es, Begründermischungen anzubieten, die im Wurzelraum eine Kombination von Leistungen über einen Stockwerkbau der Wurzelsysteme bieten. Die Forschung ist daher gefordert, sich verstärkt dem arbeitsaufwendigen und komplexen Bereich der „verdeckte Hälfte“ der Pflanze zuzuwenden.

Literatur

- BÖHM, K. und J. HÖSCH, 2001: Der Zwischenfruchtanbau als Instrument der Stoffkonservierung. 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 51-56.
- CLARK, L.J., W.R. WHALLEY and B.P. BARRACLOUGH, 2003: How do roots penetrate strong soil. *Plant Soil* 255, 93-104.
- DE WILLIGEN, P., N.E. NIELSEN, N. CLAASSEN and A.M. CASTRIGNANO, 2000: Modelling water nutrient uptake. In: A.L. Smit, A.G. Bengough, C. Engels, M. van Noordwijk, S. Pellerin, S.C. van de Geijn (Hrsg.) *Root Methods – A Handbook*, Springer, Berlin, 511-543.
- FITTER, A. 2002: Characteristics and functions of plant roots. In: Y. Waisel, A. Eshel, T. Beeckman, U. Kafkafi (Hrsg.) *Plant Roots: The Hidden Half*. Marcel Dekker, Madison, NY, 21-50.
- FREIBAUER, A., M.D.A. ROUNSEVELL, P. SMITH and H. VERHAGEN, 2004: Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122, 1-23.
- GRÜNER BERICHT, 2011: www.gruenerbericht.at
- PASSIOURA, J.B., 1980: The transport of water from soil to shoot in wheat seedlings. *J. Exp. Bot.* 31, 333-345.
- PIERRET, A., CH.J. MORAN and C. DOUSSAN, 2005: Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New Phytol.* 166, 967-980.
- RASSE, D.P., C. RUMPEL and M.F. DIGNAC, 2005: Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant Soil* 269, 341-356.
- SIX, J., H. BOSSUYT, S. DeGRYZE and K. DENEFF, 2004: A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79, 7-31.
- SPIEGEL, H. und G. DERSCH, 2009: Die Humusversorgung selbst bilanzieren. *Bauernzeitung* 52, 24.
- SPIESS, E., V. PRASUHN und W. STAUFFER, 2011: Einfluss der Winterbegrüner auf Wasserhaushalt und Nitratauswaschung. 14. Gumpensteiner Lysimetertagung, 149-154.
- YOUNG, I.M., 1998: Biophysical interactions at the root-soil interface: a review. *J. Agr. Sci. Cambridge*, 130, 1-7.
- ZOBEL, R.W., 2005: Tertiary root systems. In: Zobel, R.W., Wright, S.F. (Hrsg.) *Roots and soil management. Interactions between roots and the soil*. *Agronomy Monograph No. 48*, 35-56.
- ZUAZO, V.H.D. and C.R.R. PLEGUEZUELO, 2008: Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review, *Agron. Sustain. Dev.* 28, 65-86.

Ökologische Aspekte bei der Produktion „Nachwachsender Rohstoffe“ auf landwirtschaftlich genutzten Flächen: Vergleich einjähriger und ausdauernder Kulturen in Österreich

Peter Liebhard^{1*}, E. Hochbichler² und Ferdinand S. Deim¹

Zusammenfassung

Der Anstieg auf der Nachfrageseite **nach** Energie- und Industrierohstoffen erfordert aus mehrfachen Gründen eine Erhöhung bei der Aufbringung von regenerativen Materialien (Rohstoffen, Quellen). Die Produktion von „Nachwachsenden Rohstoffen“ verursacht im Vergleich zur Schöpfung aus fossilen Quellen meist höhere Kosten und verursacht bei zu geringer Berücksichtigung von Optimierungsmaßnahmen auch negative Umweltwirkungen.

Für die Produktion von Biokraftstoffen (Ethanol, Pflanzenöl, Biodiesel) und Biogas sowie Stärke werden überwiegend einjährige Fruchtarten bei hoher Bewirtschaftungsintensität eingesetzt. Ausdauernde Kulturen liefern meist verholzte Erntegüter (Zellulose, Lignozellulose, Lignin), die vorzüglich in Heiz- und Blockheizkraftwerken oder in der stofflichen Verwertung eingesetzt werden.

Low-Input Arten von ausdauernden Kulturen weisen durch die langzeitige Flächendeckung vielfache Vorteile in der Umweltwirkung auf. Umfassend beschrieben werden die „Holzproduktion im Kurzumtrieb“ und „Miscanthus Giganteus“.

Schlagwörter: Nachwachsende Rohstoffe, Ausdauernde Kulturen, Holzproduktion im Kurzumtrieb, Miscanthus Giganteus, CO₂-Senkenpotential, ökologische Aspekte

Summary

The constant increase in demand of energy and industrial raw materials, leads to a need for increasing the production of renewable materials (raw materials, sources). The production of „renewable resources“ causes compared to fossil fuels higher costs. Also negative environmental effects can occur without optimizing production and transport cycles.

For the production of biofuels (ethanol, biodiesel) and biogas as well as starch mainly annual crops with high management intensity are used. Perennial crops deliver material (cellulose, lignocellulose, lignin), that is mainly used in combined heat and power plants or for material use.

These low-input perennial cultivars show long-term soil coverage with several advantages for the environment. The short rotation coppice production and „Miscanthus giganteus“ will be comprehensively described within this article.

Keywords: Renewable raw materials, perennial crops, short rotation coppice, short rotation forestry, „Miscanthus giganteus“, carbon dioxide sink, environmental aspects

Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

Österreich weist mit 83,878 km² Gesamtfläche für ca. 8,431 Mill. Einwohner günstigste Bedingungen für einen hohen Versorgungsgrad mit Nahrungs- und Futtermitteln sowie für einen hohen Lebensstandard der Bevölkerung auf aufgrund des großen Wald- und Erholungsflächenanteils. Durch den Waldflächenanteil von ca. 47,6 % und der großen extensiv bewirtschafteten Dauergrünlandfläche von ca. 0,9 Mio ha ist der Ackerflächen- (ca. 1,4 Mio ha) und Wirtschaftsgrünlandflächenanteil (ca. 0,9 Mio ha) relativ gering. Mit der steigenden Produktion von ‚Erneuerbarer Energie‘ und ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ für die stoffliche Verwertung werden die fossilen Vorräte geschont, die Abhängigkeit vom Importbedarf geringer und der Eintrag von CO₂ in die bodennahe Atmosphäre vermindert.

Aufgrund der geringen Ackerfläche und der knappen Wirtschaftsgrünlandfläche in Österreich müssen zur Deckung des steigenden Bedarfs ‚Nachwachsender Rohstoffe‘ hohe flächenbezogene Erträge und zunehmend, derzeit nicht bewirtschaftete Flächen, Grenzstandorte und Rekultivierungsflächen unterschiedlicher Art herangezogen werden. Ertragsstabilität und hohe Erträge sind bei allen landwirtschaftlichen Produktionszweigen mit hohen Kosten verbunden und durch den Preisdruck bei den Ernteprodukten ‚Nachwachsender Rohstoffe‘ sind in der Produktion verminderte Maßnahmen beim Schutz der Umwelt die Folge.

Durch den Anbau von einjährigen Feldfrüchten für die Stärke- bzw. Bioethanol-, Biodiesel- und Biogaserzeugung bzw. durch die Errichtung von Kurzumtriebsanlagen (KU – Anlage) oder Auspflanzung von Miscanthus ‚Giganteus‘

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie, Abteilung für Pflanzenbau, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

² Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald und Bodenwissenschaften, Institut für Waldbau, Peter Jordan Straße 82, A-1190 WIEN

* Ansprechpartner: A.o.Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.nat.techn. Peter Liebhard, peter.liebhard@boku.ac.at

Anlagen erhalten die landwirtschaftlichen Betriebe die Möglichkeit ‚Nachwachsende Rohstoffe‘ zu produzieren und in den „Non-Food“ Bereich einzusteigen. Kurzumtriebsanlagen in mittellanger Rotation für stoffliche und energetische Nutzung sowie Miscanthus Giganteusflächen stellen zukünftig den „Connecting link“ auch für Grenzstandorte und Kleinflächen zwischen einer ökologisch nachhaltigen Landbewirtschaftung und der Produktion von ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ auf Dauergrünland- und Ackerflächen dar.

Einjährige Fruchtarten für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘

Im gemäßigten Klimaraum ist bei ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ zur Bedarfsdeckung von Erntegütern mit spezieller Nutzung (z. B. Ethanol, Biodiesel, Stärke,...) der Anbau von einjährigen Fruchtarten erforderlich. Meist sind für diese „spezielle Nutzung“ Feldfruchtarten erforderlich, bei denen es in der Produktion ausreichend Kenntnisse und Erfahrungen gibt. Bei einer Flächenausweitung zur Bedarfsdeckung sind keine zusätzlichen Investitionen bezüglich Maschinen, Geräte oder für die Lagerung des Erntegutes erforderlich. In Österreich werden derzeit von den nachfolgend angeführten einjährigen Fruchtarten bedeutende Anbauflächen für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘ bereitgestellt:

Stoffliche Nutzung:

Mais	– Stärkeproduktion
Kartoffel	– Stärkeproduktion
Körnerraps	– Öl für Verlustschmierung
Lein	– Fasernutzung, Öl – Farben und Lacke

Energetische Nutzung:

Körnermais	– Ethanol
Mais Corn-Cob	– Ethanol und Biogas
Silomais	– Biogas
Weizen	– Ethanol
Körnerraps	– Biodiesel
Sonnenblume	– Pflanzenöl als Biokraftstoff

Ausgewählte mehrjährige Fruchtarten für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘

Miscanthus ‚Giganteus‘ - eine leistungsfähige Kulturpflanze auf günstigen Produktionsstandorten

Miscanthus ist eine in Südostasien beheimatete relativ große Pflanzengattung aus der Familie der Süßgräser. Miscanthus ‚Giganteus‘ ist eine natürliche triploide Zufalls-Artkreuzung aus der diploiden Form *Miscanthus sinensis* und der tetraploiden Art *Miscanthus sacchariflorus*. Nur diese Zufallskreuzung, ein steriler Bastard, ist extrem leistungsfähig; alle übrigen Miscanthusarten werden weltweit vorwiegend als Zierpflanzen verwendet.

Miscanthus ‚Giganteus‘ weist einige botanische Besonderheiten auf, wie eine unterirdisch verzweigende, bewurzelnde sprossbürtige Rhizombildung mit jährlichem Austrieb. Die mögliche Nutzungsdauer wird derzeit auf bis zu 30 Jahre

geschätzt. Die jährlich neuen Triebe werden überwiegend am Ende der Rhizome kreisförmig nach außen gebildet, daher kommt es ca. ab dem achten Aufwuchsjahr zum Verkahlen in der Mitte des Horstes. Die Halme (Triebe) werden bis zu 1 cm (1,3) dick und erreichen je nach Standort- und Witterungsbedingungen eine Höhe von 0,5 bis 4,0 m. Die Blätter sind lanzettlich und an den Blatträndern scharf und schneidend ausgebildet (LIEBHARD 1993).

Miscanthus ‚Giganteus‘ ist eine Kurztagspflanze und bildet bei wärmeren Standortbedingungen jährlich im Spätsommer eine fächerförmige Rispe mit bis zu 20 cm langen glänzenden Trauben als Blütenstand. Vereinzelt werden auch Samen ausgebildet, diese sind aber steril. Als C4-Pflanze kann sie bei der Photosynthese noch bei geringer relativer Luftfeuchte CO₂ einbauen, was zu einem niedrigen Transpirationskoeffizienten führt (nur 170 bis 250 kg Wasserverbrauch/kg TM), auch der Stickstoffausnutzungsgrad ist bei dieser Pflanzenart im Vergleich zu anderen sehr hoch.

Eine Vermehrung ist nur über vegetative Pflanzenteile möglich. Meist werden 6 bis 10 cm lange Rhizomstücke oder vorgezogene Jungpflanzen aus Rhizomstücken als Pflanzgut verwendet (PUDE 1998). Bei hohem Stückzahlbedarf an Jungpflanzen ist eine Gewebekulturproduktion wirtschaftlich. Das Auspflanzen muss im Spätfrühling erfolgen. Ein Pflanzverband von 1 x 1 m ist beinahe für alle Nutzungsarten vorteilhaft (10.000 Rhizomstücke oder Jungpflanzen/ha).

Die jungen Miscanthuspflanzen sind konkurrenzschwach, weisen ein langsames Jugendwachstum auf und müssen daher im Auspflanzjahr bis in den Spätsommer gegen Un- bzw. Beikräuter geschützt werden. In sämtlichen Miscanthuspflanzenkompartimenten befindet sich eine hohe Anzahl an Silikataggregaten und daher werden die Pflanzen kaum von Schädlingen oder Krankheiten befallen (LIEBHARD 1999).

Miscanthus ‚Giganteus‘ weist einen sehr geringen Düngungsbedarf auf. Ab dem Spätsommer wird ein Teil der in den oberirdischen Pflanzenteilen enthaltenen Nährstoffe wieder in die unterirdischen Wurzel-Rhizome rückverlagert.

Die optimale **Nutzungsdauer** ist regional unterschiedlich und kann bei günstigen Bedingungen bis zu 30 Jahre andauern. In der Etablierungsphase (ca. 2 Jahre) werden erst im zweiten Vegetationsjahr TM-Erträge über 10 t/ha erreicht. Ab der **Hauptnutzungsphase** (ca. 15 Vegetationsperioden) können je nach Standort- und Witterungsbedingungen zwischen **15 und 20 t TM/ha** geerntet werden. Hohe Erträge werden auf warmen Standorten mit Ø Jahresniederschlägen ab 750 mm erreicht. In der Nachnutzungsphase (0 bis 10 Vegetationsperioden) verringert sich die Halmzahl/m² und dadurch kommt es zu einer stetig abnehmenden Ertragsleistung. Damit der Boden auf einem hohen Fruchtbarkeitsniveau erhalten bleibt, ist eine nettonährstoffbezugsbezogene Düngung erforderlich. Wie in *Tabelle 1* angeführt, werden durch das Erntegut hohe Kalium-, geringe Kalk- und sehr geringe Stickstoff- und Phosphatmengen abgeführt.

Der **Erntetermin** und auch die **Erntetechnik** sind bei Miscanthus ‚Giganteus‘ von der Verwertung des Erntegutes abhängig. Die höchsten Biomasseerträge werden im Spätherbst geerntet. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich noch ein Großteil der Blätter am Stängel. Der Wassergehalt des Erntegutes liegt bei einer Vorwinterernte meist um die 50 %

Tabelle 1: ø Mineralstoffgehalte in kg/t TM und Spurenelementgehalt in mg/kg TM, Miscanthus ‚Giganteus‘ Erntegut im Vergleich zu Getreidestroh

Mineralstoff		Getreidestroh	Miscanthus ‚Giganteus‘
Stickstoff	N	4,40	2,80
Phosphor	P ₂ O ₅	2,70	1,90
Kalium	K ₂ O	7,20	5,8 bis ca. 22,00
Calcium	CaO	5,60	3,40
Magnesium	MgO	0,80	0,80
Blei	Pb	2,92	1,75
Cadmium	Cd	0,12	0,16
Chrom	Cr	0,49	0,62
Kupfer	Cu	2,91	1,92
Nickel	Ni	0,04	0,98
Quecksilber	Hg	0,03	0,02
Zink	Zn	24,00	19,00

(und darüber). Über den Winter fällt ein Großteil der Blätter ab (ca. 15 % Ertragsverminderung) und der Wassergehalt im Erntegut vermindert sich bis Ende März meist auf ca. 20 %. Bei hohen Weichschneemengen im Frühwinter kommt es zum Knicken des Bestandes und zu einer Verminderung des Trocknungsvorganges (höhere Erntekosten und zusätzliche Ertragsverminderung). Die Schnitthöhe soll bei der Ernte möglichst tief liegen – 10 bis maximal 15 cm. Bei hoher Schnitthöhe vermindert sich der Ertrag und nachfolgend kommt es zu einer Beschattung der jungen Triebe mit negativen Folgen (HEATON et al. 2004, LIEBHARD et al. 2010).

Meist wird mit einem reihenunabhängigen Silomaishäcksler geerntet. Die Häcksellänge richtet sich nach der Verwertung des Erntegutes und beträgt meist 2 bis 3 cm. Bei längerem Häckselgut vermindert sich das Schüttgewicht und es kommt zu vermehrten Verstopfungen bei Förderschnecken. Ein absetziges Ernteverfahren mit Mahd-Schwadlegen und nachfolgend in Ballen pressen ist meist von Nachteil, da es durch die meist noch vorhandene Mulchauflage zu einer starken Verschmutzung des Erntegutes kommt. Die Ganzpflanzenernte mit Mähvorsatz und Quader-Großballenpresse vermindert die Transportkosten und den Lagerraumbedarf. Ein Zerkleinern der Ballen vor der Verarbeitung des Erntegutes ist aber meist notwendig.

Bei einer thermisch-energetischen Verwertung ist die Rückführung der Asche auf das Feld vorteilhaft. In Abhängigkeit der Witterung im Spätherbst und Winter werden bei Miscanthus Giganteus' wesentliche Mineralstoffmengen, vor allem bei Kalium, entzogen.

Holzproduktion im Kurzumtrieb

Die Holzproduktion im Kurzumtrieb ist eine mehrjährige Nutzungsform von Ackerflächen. Gem § 1a Abs 5 ForstG 1975 ist eine Rotationsdauer von höchstens 30 Jahren möglich. Nach der INVEKOS-CC-V 2010 des BMLFUW sind Weiden (*Salix* sp.), Pappeln (*Populus* sp.), Robinie (*Robinia pseudacacia*), Grauerle (*Alnus incana*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), Esche (*Fraxinus*) und Birke (*Betula* sp.) hierfür geeignete Baumarten (DEIM et al. 2010). In Österreich kommen derzeit spezielle Klone bzw. Sorten von Pappeln, Weiden und Robinien zum Einsatz. Zeitgemäße Anlagen zur Holzproduktion im Kurzumtrieb

werden bei energetischer Verwertung im zwei- bis fünfjährigen Umtrieb und im fünf- bis fünfzehnjährigen Umtrieb bei stofflicher Verwertung geführt. Durch intensive züchterische Bearbeitung wurden die Wiederaustriebsfähigkeit und die jährliche Zuwachsleistung wesentlich erhöht. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer konnte bei einigen Klonen auf fünf bis zehn Umtriebe erhöht werden. Meist steigt die Ertragsleistung vom ersten bis zum dritten Umtrieb an, bleibt bis zum fünften weitgehend stabil und fällt ab dem sechsten Umtrieb wieder ab. Der Pflanzverband muss je nach Baumart, der geplanten Umtriebszeit und je nach Nutzungsart ausgerichtet werden. Bei Strauchweiden sind mit einem doppelreihigen Pflanzverband, bei den übrigen Baumarten für den Kurzumtrieb mit einreihigen Beständen höhere Zuwächse erreichbar. Bei einreihigen Pflanzverbänden richtet sich der Pflanz- und Reihenabstand nach der gewählten Baumart und der Sorte sowie der geplanten Umtriebszeit. Zur Ausschöpfung des Ertragspotentials und einer kostengünstigen Ernte werden meist Pflanzverbände mit einem Fahrgassenabstand von drei Metern und einem Abstand in der Reihe von 0,5 bis 2,0 Metern gewählt. Die Ernte kann auf verschiedene Art erfolgen. Bei kurzer Rotationszeit mit bis zu fünf Jahren Umtriebsdauer ist eine einphasige vollmechanisierte Ernte mittels eines speziellen Feldhäckslers und eines adaptierten Schneidvorsatzgerätes möglich. Das Erntegut fällt in Form von Hackgut an. Die Ernte erfolgt ausschließlich bei Safruhe im Winter bei tragfähigem (gefrorenem) Boden. Der hohe Wassergehalt im Erntegut (zwischen 50 bis 65 %) weist Nachteile auf. Ein Trocknen des Häckselgutes erfordert spezielle Trocknungsanlagen und verursacht hohe Kosten. Häufig wird das erntefeuchte Hackgut mit trockenem vermisch. Durch ein absetziges Ernteverfahren, – Stamm- und oder Ganzbaumernte und Lagerung, Hackung zu einem späteren Zeitpunkt – kann der Wassergehalt bei einer wettergeschützten Lagerung über mehrere Monate auf bis zu 30% gesenkt werden. Erntegut mit unter 30 % Wassergehalt ist in kleinen bis mittelgroßen Feuerungsanlagen problemlos einsetzbar. Unabhängig vom Ernteverfahren ist bei der Ernte besonders auf die Qualität des Fallschnittes zu achten. Nur bei einem nicht fransenden Schnitt und **keiner Kambium-einreißenden Verletzung** des Wurzelstockes ist eine hohe Wiederaustriebsrate in den nächsten Vegetationsperioden gesichert. Ein glatter Fallschnitt vermindert wesentlich den Infektionsgrad mit Stockpilzen des verbleibenden Stockes. Das anfallende Hackgut bei einem einphasigen Ernteverfahren weist meist einen Wassergehalt von 55 – 60 % auf und muss zum Schutz vor einem starken Energieabbau einer unmittelbaren Trocknung zugeführt werden.

Tabelle 2 zeigt eine Ertragsschätzung für die Hackgutproduktion im Kurzumtrieb bei praxisüblicher Bewirtschaftungsintensität für drei unterschiedliche Produktionsgebiete, die für einen Großteil der landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen in Österreich repräsentativ sind.

In gehacktem Zustand ist Kurzumtriebserntegut zwar leicht manipulierbar, braucht im Verhältnis zur Energiedichte (bei einem Wassergehalt zwischen 20 und 60 %) ein sehr hohes Transportvolumen. Deshalb soll die Verwertung im Umkreis von 10 bis 30 km vom Produktionsort entfernt erfolgen.

Tabelle 2: Ertragserwartung für die Hackgutproduktion im Kurzumtrieb bei Pappel und Weide in t TM je ha/Jahr für 6 Umtriebe in 3 Produktionsgebieten Österreichs (LIEBHARD 2007)

Umtrieb	auf Grenzertragsböden ca. Ertrag t TM ha/Jahr	Standort - Produktionsraum für semiaride oder kühle Lagen ca. Ertrag t TM ha/Jahr	für semihumide oder günstige Lagen ca. Ertrag t TM ha/Jahr
1. Umtrieb	7,00	10,00	12,00
2. Umtrieb	8,00	11,00	14,00
3. Umtrieb	8,00	11,00	14,00
4. Umtrieb	7,20 -10 % zu 1. bis 3. Ernte	9,90 -10 % zu 1. bis 3. Ernte	12,60 -10 % zu 1. bis 3. Ernte
5. Umtrieb	6,40 -20 % zu 1. bis 3. Ernte	8,80 -20 % zu 1. bis 3. Ernte	11,20 -20 % zu 1. bis 3. Ernte
6. Umtrieb	6,00 -25 % zu 1. bis 3. Ernte	8,25 -25 % zu 1. bis 3. Ernte	10,50 -25 % zu 1. bis 3. Ernte
	ca. 7,00 t TM ha/Jahr	ca. 10,00 t TM ha/Jahr	ca. 12,00 t TM ha/Jahr

Gegenüberstellung ökologischer Aspekte von einjährigen und ausdauernden Fruchtarten für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘

Die Basis zur Sicherung hoher flächenbezogener Erträge liegt in der Optimierung der standortbezogenen Produktionsfaktoren. Die Ergebnisse bezüglich Ertragsleistung zeigen, dass entgegen der Erwartung die **einjährigen Fruchtarten** – auch bei ausgewählten Sorten – im hohen Maß vom jeweiligen Jahreswitterungsverlauf in den kritischen Phasen (Mais, Getreide z.B. EC 21 bis EC 55, Kartoffel, Zuckerrübe) abhängig sind. Bei langandauernder Frühjahrstrockenheit wird bei Fruchtarten mit Sommererntetermin das Kornertragsmaximum (z. B. Winterkörnerapps, Getreide) auch bei niedrigen Düngergaben (z. B. W-Weizen bei 60 bis 80 kg Stickstoff ha⁻¹) erreicht.

Die erzielbare Ethanolmenge aus Weizen ist vom Stärkegehalt, welcher mit dem Proteingehalt negativ korreliert, abhängig ($r = 0,77^*$ bis $0,90^*$). Weiters sind noch die Stärkebeschaffenheit, der Anteil vergärbare Stärke und die Kornausbildung sowie weitere unbekannte Faktoren entscheidend (OBERFORSTER und KÖHLDORFER 2007). Neben dem Jahreswitterungs- und Standorteinfluss sowie verschiedenen Wechselwirkungen ist die Sorte für die Höhe des flächenbezogenen Ertrages entscheidend (DIN EN ISO 1997) DIN EN ISO 14040 (1997).

Einjährige Fruchtarten erfordern durch die jährliche Bestandesgründung zur Produktion von „Nachwachsenden Rohstoffen“ eine zwar unterschiedlich intensive, aber jährliche Bearbeitung des Bodens. Die zum Teil späte Saat im Frühjahr mit den weiten Reihenabständen führt in der Folge zu einer höheren Erosion durch Wind und Wasser. Die hohen Ertragsanforderungen erfordern meist auch eine intensive Unkrautbekämpfung bzw. Beikrautregulierung und eine der Ertragserwartung entsprechende Düngung. Bei einem Großteil der einjährigen Fruchtarten ist zur Ertragssicherung von „Nachwachsenden Rohstoffen“ ein steigender Pestizideinsatz zur Bekämpfung der Krankheiten und tierischen Schädlinge erforderlich (Körnerapps, Mais, Zuckerrübe, Kartoffel,...).

Von den **ausdauernden Fruchtarten für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘** werden die Holzproduktion im Kurzumtrieb und Miscanthus ‚Giganteus‘ angeführt. Generell erfordern ausdauernde Fruchtarten weniger jährliche Kultur- und Pflegemaßnahmen.

Die **„Holzproduktion im Kurzumtrieb“** wirkt sich vielfältig und großteils vernetzend auf die Umwelt aus. Ein großflächiger Anbau (Monokultur) mit meist nur zwei Baumarten und wenigen Sorten bzw. Klonen führt zu erhöhten Risikofaktoren. Meist kommt es zu einer Vernetzung und Vergesellschaftung mit dem benachbarten Waldgefüge. Zur Verminderung von biotischen und abiotischen Schadwirkungen müssen dem Standort angepasste Baumarten und Klone ausgepflanzt werden (GYURICZA und LIEBHARD 2011). In ausgeräumten Kulturlandschaften und in Regionen mit geringem Waldanteil ($\leq 25\%$) übernehmen ökologisch gut geführte Kurzumtriebsanlagen teilweise die Waldfunktion. Das Auspflanzen einer Anlage, aber im Besonderen die Beerntung soll in Teilflächen, in einer Anzahl in Abhängigkeit von der Länge der Umtriebszeit, erfolgen.

Die Düngerbedürftigkeit von Kurzumtriebsflächen ist im Vergleich zu Acker- und Wiesenbeständen gering. Durch den jährlichen Laubfall und die meist vollständige Mineralisierung im Folgejahr kommt es zu einer ausreichenden biologischen Aktivität und Nährstofffreisetzung in der Krume. Bei einem mittleren Nährstoff-Versorgungsgrad im Ober- und Unterboden (Versorgungsstufe C) ist bei der Düngung nur der Nettonährstoffentzug durch das Erntegut zu ersetzen.

Bei Verbrennung des Erntegutes soll die anfallende Rost- und Feinflugasche unter Berücksichtigung der Richtlinie zur Aschedüngung (2010) wieder rückgeführt werden.

Die Ascherückführung soll in den Erntejahren auf den abgeernteten Flächen in Form von Aschekompost erfolgen. Ein Großteil der erforderlichen Düngernährstoffe, außer Stickstoff, kann in einem teilgeschlossenen Kreislauf geführt werden (LIEBHARD et al. 2009).

Durch das Bepflanzen der Abstandsflächen zu Nachbargrundstücken und von Randreihen mit speziellen Stauden und Baumarten kann die Biodiversität bei Käfern, Faltern,

Tabelle 3: Weidengrobasche (= Rostasche) - Ø Elementgehalt in Gewichtsprozent bzw. in mg/kg Trockenasche (Mittelwert aus vier Ernten, Winterernte, 3-jährige Rotation, erster und zweiter Umtrieb, Standort Groß Enzersdorf und Gießhübl/Amstetten, Niederösterreich)

Elementgehalt in Gewichtsprozent bzw. mg/kg																
P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	S %	Na %	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mo mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	
3,28	6,8	40,4	4,8	(25,0)	0,55	0,08	930	n.b.	98	420	2,90	3,80	4,80	5,20	<0,2	
0,23	0,60	4,90	0,99	---	0,4	0,03	817	615	18	68	3	8	1,00	27,00	0,10	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6,42	15,6	47,1	7,30	---	1,1	0,5	22000	31000	780	6.000	250	542	26,00	127,00	4,90	

Tabelle 4: Gehaltswerte und ausgewählte Bodenparameter nach 10-jähriger unterschiedlicher Düngung; Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf

Düngungsvariante	pH-Wert (CaCl ₂)		Calciumcarbonat		Phosphor (P): CAL		Kalium (K): CAL		Humusgehalt %	
	Oberb	Unterb	Oberb	Unterb	Oberb	Unterb	Oberb	Unterb	Oberb	Unterb
0-Parzelle	7,4	7,6	25,7	24,7	95	62	132	56	2,5	1,3
Phosphat-Kalium (Sulfat)	7,3	7,5	25,1	26,1	88	68	184	104	2,6	1,5
Phosphat-Kalium (Chlorit)	7,3	7,5	24,3	25,7	95	76	194	109	2,7	1,5
Asche	7,4	7,5	24,5	27,1	94	90	132	48	2,9	1,6
2 x Asche	7,4	7,5	25,3		99	88	151	70	2,7	1,4
Kompost	7,4	7,5	24,6	27,5	98	96	134	64	3,0	1,7

Schnecken... und auch bei Wildtierarten (z. B. Rebhuhn) wesentlich erhöht werden. Bei der Auswahl der Stauden und Bäume ist zu beachten, dass sie keine bevorzugten Nistplätze und Zwischenwirte für bedeutende Krankheiten (Pilzbefall) und Schädlinge sind (LIEBHARD et al. 2011). Eine Rückführung der Kurzumtriebsbestandsflächen mit einer Stockfräse in landwirtschaftliche Nutzfläche ist problemlos möglich (GROSZE et al. 2010).

Bei Einsatz florenfremder Kulturarten mit ausdauernden Kulturarten sind bei der Produktion „Nachwachsender Biomasse“ die regional standortbezogenen Ergebnisse zur Ertragssicherung und deren ökologische Beurteilung von besonderer Bedeutung.

Bei Gegenüberstellung mit anderen Fruchtarten in die Produktion „Nachwachsender Rohstoffe“ ist hervorzuheben, dass Miscanthus ‚Giganteus‘ mehrfache Vorteile in der Einsparung von Produktionsmitteln aufweist. Hervorzuheben ist der geringe N-Düngerbedarf und die hohe Stickstoffeffizienz (bezogen auf kg gebildeter TM).

Mit den hohen Biomasseerträgen bei **Miscanthus ‚Giganteus‘** werden in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf im Herbst und Winter teilweise sehr hohe Kaliummengen abgeführt, die bei der nachfolgenden Düngerbemessung zu berücksichtigen sind. Aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung ist bei Dauerkulturen die Frostgare für die Aggregatbildung und die Erhaltung eines ausreichenden Porenanteils entscheidend. Bei Miscanthus ‚Giganteus‘ kommt es durch die hohe Mulchaufgabe nur zu einer verminderten oder gar keiner Frostgare im Winter. Nach mehrjähriger Nutzung sind daher bei Miscanthus im Oberboden eine Zunahme der Lagerungsdichte und Abnahme des Grobporenanteils zu erwarten, die bei der Rückführung der Fläche in Acker- oder Grünland zu berücksichtigen sind.

Erfahrungsgemäß sind bei Miscanthus ‚Giganteus‘ im semihumiden und semiariden Ackerbaugesamt mittelschwere humose Böden für eine langzeitige Nutzung vorteilhaft.

Die auf Feldversuchen erzielten Ergebnisse im semiariden Klimagebiet (auf sandigem lehmigem Schluff) zeigen, dass Böden dieser Art für Miscanthus problematisch bezüglich Verbesserung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit sind.

Eine umfassende Bewertung bezüglich Umweltschutz und Ökologie bei Miscanthus ‚Giganteus‘ ergibt sowohl bei der stofflichen als auch bei der energetischen Verwertung einen hochwertigen „Nachwachsenden Rohstoff“. Bei speziellen Heizungsanlagen kommt es zu einer Reduzierung der CO₂ Abgabe um mindestens 300 g CO₂-Äq/kWh gegenüber einer Ölheizung. Bei Einsatz einer Kraft-Wärmekopplung mit Stromerzeugung erhöht sich die verminderte CO₂ Freisetzung auf 1 000 g CO₂-Äq/kWh. Die höchste Effizienz ist bei der BtL-Kraftstoffproduktion zu erwarten.

Bei Verbrennung von Miscanthus ist nach Rückführung der Rost- und Zyklonasche mit Ausnahme von Stickstoff ein beinahe geschlossener Nährstoffkreislauf möglich.

Bei einer Asche- oder auch Kompostdüngung erhöht sich der Humusgehalt im Oberboden in einer zehnjährigen Anlage um bis zu 25 %.

In der ökologischen Bewertung überwiegen die positiven Umweltwirkungen. Während der vegetationsfreien Zeit ist der 2,5 bis 3 m hohe Miscanthus ‚Giganteusbestand‘ landschaftsprägend. Die Miscanthusbestände sind ein hochwertiger Ersatz für Kurzumtriebsflächen und sie bieten zwischen November und Ende März einen attraktiven Einstand bzw. Unterschlupf für Schwarz-, Rot- und Niederwild. Auch erdhöhlenbauende Kleinsäuger (Dachs, Fuchs,...) und Bodenbrüter sind häufig anzutreffen. Im Vergleich zum Ackerbau und zur intensiven Grünlandbewirtschaftung kommt es bei der Produktion von Miscanthus ‚Giganteus‘ nur zu einer extensiven Bodennutzung (LIEBHARD et al. 2010).

Zusammenfassung

Aufgrund der stetigen Bedarfssteigerung bei ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ und der speziellen Verwertung

sind sowohl einjährige als auch ausdauernde Frucht- bzw. Kulturarten erforderlich. Bei Berücksichtigung einiger produktionstechnischer Maßnahmen bezüglich Umweltschutz wird es möglich, eine Vernetzung einer ökologisch nachhaltigen Landbewirtschaftung und der zunehmenden Ausweitung der Energie- und Rohstoffproduktion auf landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen zu erreichen. In Österreich konkurrieren ‚Nachwachsende Rohstoffe‘ um Acker- und Wirtschaftsgrünlandflächen mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Daher ist es im Vergleich zu anderen europäischen Ländern noch wichtiger, auch für die Produktion von ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ die Produktionsmaßnahmen bei den jeweiligen Kulturarten für eine erforderliche Ertragshöhe mit Ertragssicherung zu optimieren und derzeit extensiv bewirtschaftete oder nicht genutzte Flächen in die Produktion einzubinden.

Einjährige Fruchtarten bringen bei entsprechender Bewirtschaftungsintensität sehr hohe Erträge mit hoher Qualität für die Verarbeitung. Sie benötigen aber auch entsprechend hohe Aufwendungen bezüglich Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen. Bei Einbindung von Hanglagen sind die Böden im Besonderen wassererosionsgefährdet.

Die ausdauernden Kulturen ‚Holzproduktion im Kurzumtrieb‘ und *Miscanthus ‚Giganteus‘* zeigen meist eine positive landschaftsgestalterische Wirkung und tragen vor allem in einer waldarmen Region wesentlich zur Vernetzung des Lebensraum-Verbundsystems bei. Vielerorts erhöhen sie den Erholungswert einer Region und tragen zur Erhöhung der Biodiversität einer Landschaft bei. Auf Grenzflächen sichern sie das Offenhalten der Landschaft vor Verbuschung. Durch das geringe Düngungsbedürfnis dieser Kulturarten und den meist wenigen Pflanzenschutzmaßnahmen bei ganzjähriger Bodenbedeckung ist der Boden- (Wind- und Wassererosion) und Wasserschutz (Grundwasser, Steh- und Fließgewässer) im Vergleich zu anderen Bodennutzungsformen meist in einem höherem Ausmaß gewährleistet. Ein Großteil der Kurzumtriebs- und *Miscanthus*bestände ergeben ein neues bzw. zusätzliches Rückzugsgebiet für Wildtiere. In den Kurzumtriebsflächen mit jährlicher Teilflächenbeerntung entstehen zusätzlich Brutplätze und Aufzuchtträume für verschiedene Vogelarten.

Die positiven ökologischen Effekte bei der ‚Holzproduktion im Kurzumtrieb‘ und bei *Miscanthus ‚Giganteus‘* ergeben sich im Vergleich zu einjährigen Pflanzenarten durch die langanhaltend hohen Erträge bei geringem Aufwand an Dünger und Pflanzenschutzmaßnahmen. Diese ‚Low-Input Produktion‘ ergibt während der gesamten Nutzungsdauer keinen Kohlenstoffeintrag in die bodennahe Atmosphäre und eine hohe Effizienz der eingestrahlten Sonnenenergie bei der Bindung von CO₂.

Literatur

- DEIM, F.S., E.R. GROISS und P. LIEBHARD, 2010: Rechtliche Vorgaben für die Produktion nachwachsender Rohstoffe (NAWAROS) in Österreich und der Europäischen Union. 65. ALVA-Tagung Wels, Tagungsbericht. Hrsg. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA), 112-114.
- DIN EN ISO 14040, 1997: Umweltmanagement. Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen.
- GROSZE, W., L. BÖCKER, D. LANDGRAF und V. SCHOLZ, 2010: Rückwandlung von Plantagenflächen in Ackerland. In: Bemman, A./ Knust, C.: Agrowood Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag.
- GYURICZA, C. und P. LIEBHARD, 2011: Ausgewählte Sanierungsmethoden für schwermetallbelastete Böden. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, Landwirtschaft, Lebensmittel und Veterinärmedizin - Zukunft der Forschung in Österreich, ISSN 1606-612X, [ALVA Jahrestagung, Graz, 23-24 Mai, 2011]; 184-186.
- HEATON, E.A., J. CLIFTON-BROWN, T.B. VOIGT, M.B. JONES and S.P. LONG, 2004: *Miscanthus* for renewable Energy generation: European Union Experience and Projections for Illinois. Mitigation and Adaption Strategies for Global Change. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 9, 433-451.
- LIEBHARD, P., 1993: *Miscanthus sinensis* ‚Giganteus‘ Erneuerbare Biomasse als Brenn- und Industrierohstoff. Ergebnisse von 1 bis 4-jährigen Beständen in Österreich. Ergänzungsbericht – Forschungsbericht Nr. L 574/89 Pflanzenbauliche Versuche zur Produktion von Alternativpflanzen als Rohstoff für eine industrielle Verarbeitung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien. 1-91.
- LIEBHARD, P., 1999: *Miscanthus ‚Giganteus‘* und Getreideganzpflanzen für die Thermische Nutzung. Forschungsprojekt L 0931/94 und NE 78/F - Bericht. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien und Amt der Niederösterreichischen Landesregierung St. Pölten, 1-286.
- LIEBHARD, P., K. REFENNER, H. WAGENTRISTL und C. ZEITLHOFER, 2009: Asche- und Kompostdüngung zur Schließung von Nährstoffkreisläufen bei der Produktion Nachwachsender Rohstoffe in Österreich – *Miscanthus Giganteus*. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 21, 83-84.
- LIEBHARD, P., C. KNUST and F. DEIM, 2010: Production of Renewable Raw material with perennial Crops – Short Rotation Coppice and *Miscanthus Giganteus* – and their Interaction with Ecosystems. Proceedings of the Second Conference: Modern Technologies an Biotechnologies for Environmental Protections. Lucian Blaga University of SIBIU. Department of Agricultural Sciences and Environmental Protection. 102-111.
- LIEBHARD, P., F. DEIM, R.E. GROISS, K. REFENNER und E. HOCHBICHLER, 2011: Ausgewählte ökologische Aspekte in der Hackgut- und Holzproduktion im Kurzumtrieb in Österreich.
- OBERFORSTER, M. und R. KÖHLDORFER, 2007: Genetische und umweltbedingte Variation des Stärkegehaltes von Weizen und Triticale in Hinblick auf die Bioethanolerzeugung. Bericht über die 58. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 105-109.
- PUDE, R., 1998: Die Winterfestigkeit von *Miscanthus* in der Etablierungsphase. Bonn, Wehle.

Das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ - ein österreichisch-bayerisches Gemeinschaftsprojekt für den Gewässerschutz

M. Berger-Stöckl^{1*}

Zusammenfassung

Die Regionen Antiesen und Waginger-Tachinger See arbeiten mit vereinten Kräften an einer Verringerung des Phosphoreintrags aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in Oberflächengewässer (Antiesen, Waginger-Tachinger See), der die ökologische Qualität der Gewässer beeinträchtigt. In der Region Antiesen ist im Projektzeitraum 2009 – 2012 ein schnellerer Beratungserfolg zu erwarten als in der Region Waginger-Tachinger See, da die Gegenmaßnahmen für eine Verringerung des Eintrags über Erosion einer klaren Strategie folgen, während beim Eintrag von hauptsächlich gelöstem Phosphor auf bayerischer Seite ein Bündel notwendiger Gegenmaßnahmen je nach Einzelbetrieb erforderlich ist, die einen finanziellen Ausgleich bräuchten.

Schlagwörter: Phosphoreintrag, Drainagenetz, Sickerwasser, Erosion, ganzjährige Bodenbedeckung

Einleitung

Das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ läuft von Dezember 2009 bis November 2012 in Zusammenarbeit der Regionen Antiesen (Nebenfluss des Inns bei Ried im Innkreis, Oberösterreich) und Waginger-Tachinger See in Bayern. Zielsetzung ist es, den hohen Phosphoreintrag in beide Gewässer zu reduzieren, im Hinblick auf die Einhaltung der EU-Wasserrahmenrichtlinie, die bis 2015 einen „guten Zustand“ der Gewässer fordert, aber auch vor dem Hintergrund der hohen wirtschaftlichen Bedeutung sauberer Gewässer in der touristisch geprägten Voralpenlandschaft. Dieses Ziel wird in Kooperation von landwirtschaftlichen und wasserwirtschaftlichen Fachbehörden, zwei regionalen Gewässerschutzberatern und den Landwirten aus dem jeweiligen Einzugsgebiet in Abstimmung mit den beteiligten Ministerien und EU-Koordinierungsstellen verfolgt.

Material und Methoden

Der zu hohe Phosphoreintrag stammt in beiden Regionen überwiegend aus dem Eintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, die Ursachen sind jedoch unterschiedlich. An der Antiesen stammt der Hauptteil des eingetragenen Phosphors aus Erosion insbesondere an hängigen Ackerflächen, ist also partikulär gebunden (Sedimentabschwemmungen). Der Hauptteil des Phosphors am Waginger See wird über Drainagenabfluss (40%) und Sickerwasser (Zwischenabfluss; 34%) eingetragen (vgl. LÖSCHENBRAND 2007)

und ist zu 60-80% gelöst (vgl. BUCHMEIER 2007); der Rest ist partikulär gebunden. Erosion, Oberflächenabfluss und Direkteinträge spielen eine weniger große Rolle.

Um den Eintrag in der Region Antiesen wirksam zu verringern, wird eine ganzjährige dichte Bodenbedeckung auf 100% des Einzugsgebiets angestrebt. 19 beteiligte Betriebe werden intensiv beraten und beteiligen sich z.T. an Versuchen zu Zwischenfruchtanbau, Winterbegrünung und erosionsmindernden Anbauverfahren (Mulchsaat). Die „hot spots“ des Phosphoraustrags wurden über eine „Blitzlicht-Beprobung“ (Snap shot sampling) erfasst und werden in die Beratung einbezogen. Grundlage für die Beratung ist auch die Auswertung mehrerer hundert schlagbezogener Bodenuntersuchungen, die den Landwirten anschließend zur Verfügung gestellt wurden. Der durchgeführte Beregnungsversuch gibt Aufschluss über die erosionsmindernde Wirkung verschiedener Zwischenfruchtverfahren in Abhängigkeit von verschiedenen Anbaufaktoren.

Für die Region Waginger-Tachinger See gibt es einen Beratungskatalog aus dem Vorgängerprojekt INTERREG III A „SeenLandWirtschaft“, der ein Bündel von Maßnahmen umfasst und von der guten fachlichen Praxis (ausgeglichene Nährstoffbilanz, ordnungsgemäße Lagerung und Ausbringung organischer Dünger, Grünlandsanierung) bis zu phosphormindernden Ausbringungsverfahren (bodennahe Gülleausbringung) sowie der Unterstützung kommunaler Maßnahmen (Pufferstreifen an Gewässern) reicht. Das Einzugsgebiet umfasst über 400 Betriebe auf einer Fläche von 7.200 ha LN, denen eine kostenlose Seenschutzberatung angeboten wird. Begleitend wurde 2011 unter Leitung des österreichischen Bundesamtes für Wasserwirtschaft ein Beregnungsversuch durchgeführt, der den Phosphoreintrag in Drainagen bei unterschiedlichen Gülleausbringungstechniken untersucht. In einem Dauerfeldversuch auf zwei Betriebsflächen mit je zwei Teilflächen wird der Phosphoraustrag unter natürlichen Bodenverhältnissen ganzjährig untersucht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Beregnungsversuche, des begleitenden Monitoring und der Hot-Spot-Ermittlung an der Antiesen werden überblicksartig von R. Hösl und P. Strauss vorgestellt, auf die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen werden A. Bohner und C. Huemer in ihren Beiträgen näher eingehen. C. Schneiderbauer stellt die Erfahrungen in der landwirtschaftlichen Beratung an der Antiesen vor, Hanna

¹ Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Schnepfenluckstraße 10, D-83278 TRAUNSTEIN

* Ansprechpartner: Marlene Berger-Stöckl, marlene.berger-stoeckl@aelf-ts.bayern.de

Ulrich die Ergebnisse der Untersuchungen aus den drainierten Grünlandböden auf bayerischer Seite.

Diskussion

Die klare Methodik zur Verringerung des Phosphoraustrags an der Antiesen über eine ganzjährige Bodenbedeckung, die in mehreren Praxisversuchen der Landwirtschaftskammer vor Ort gemeinsam mit den beteiligten Landwirten erprobt und verbessert wird, lässt auf einen nachhaltigen Erfolg der Beratungsmaßnahmen an der Antiesen hoffen. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen, die den Landwirten über das Projekt kostenlos zur Verfügung gestellt werden, schaffen einen Zusatznutzen für die Landwirte; die begrenzte Anzahl der betroffenen Betriebe wirkt sich positiv auf die Bereitschaft zur Projektteilnahme und die Betreuungsmöglichkeiten in der Beratung aus.

Schwieriger ist die Situation auf bayerischer Seite. Für die Verringerung des Eintrags an überwiegend gelöstem Phosphor ist ein Bündel von Maßnahmen notwendig, das an die einzelbetriebliche Situation angepasst werden muss. In der Beratung wurden bisher gut 100 von 200 angeschriebenen Betrieben für eine freiwillige Seenschutzberatung erreicht, die meisten Kontakte reichen noch nicht über eine erste Beratung hinaus. Der relativ hohe Viehbesatz in vielen Milchviehbetrieben erschwert in Verbindung mit den besonderen geologischen Verhältnissen am Waginger See (verdichtete Grundmoräne; dichtes Gewässer- und Drainagenetz mit schnellem Eintrag von Nährstoffen in Verbindung mit Starkregenereignissen) insbesondere die Umsetzung freiwilliger Maßnahmen, die über die gute fachliche Praxis hinaus zu Verbesserungen für den Seenschutz führen könnten. Wachsende Flächenknappheit sowie wirtschaftlicher Druck zu weiterer Intensivierung kommen für viele Betriebe erschwerend hinzu. Geeignete finanzielle Ausgleichsmaßnahmen standen 2010 nur begrenzt über einige KuLaP- und VNP-Maßnahmen zur Verfügung und fehlten 2011 für Neuabschlüsse. Für ein angepasstes regionales Seenprogramm sind derzeit keine Finanzmittel zu

erwarten. Trotz konstanter Öffentlichkeitsarbeit über INTERREG IV A „Gewässerzukunft“ in Zusammenarbeit mit dem kommunalen Seebündnis vor Ort kann ein sichtbarer Erfolg der Beratungsmaßnahmen erst nach mehrjähriger intensiver Betreuung im Einzugsgebiet im Zusammenspiel mit ordnungsrechtlichen und/ oder finanziellen Ausgleichsmaßnahmen erwartet werden.

Danksagungen

Der Leadpartner Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Traunstein bedankt sich bei den beteiligten Ministerien (Landwirtschafts- und Verbraucherschutzministerien Bayern/ Oberösterreich, Umwelt- und Lebensministerien Bayern/ Oberösterreich) und allen fachlichen Projektpartnern (Landwirtschaftskammer Ried, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Bundesamt für Wasserwirtschaft Petzenkirchen, Wasserwirtschaftsamt Traunstein, Landesanstalt für Landwirtschaft Freising) für die wissenschaftliche und praktische Unterstützung sowie die sehr offene und gute Zusammenarbeit im Projekt.

Literatur

- Broschüre „Landwirtschaft und Gewässerschutz in Grünlandregionen des Bayerisch-österreichischen Alpenvorlands, Ergebnisse des Projekts SeenLandWirtschaft 2004 bis 2007“; Traunstein, Dezember 2007; Herausgeber: Regierung von Oberbayern, Sachgebiet 52, D-80534 München, sowie HBLFA Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irnding.
- BUCHMEIER, G., 2007: Der Waginger-Tachinger See (Bayern, Deutschland): Einzugsgebiet, trophische Entwicklung und Phosphordynamik. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 26, November 2007: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IIIA-Projektes „SeenLandWirtschaft“; Petzenkirchen.
- LÖSCHENBRAND, F., St. ZIMMERMANN und A. MELZER, 2007: Modellierung der Phosphorgesamtausträge im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 26, November 2007: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IIIA-Projektes „SeenLandWirtschaft“; Petzenkirchen.
- Weitere Informationen unter www.gewaesser-zukunft.eu

Untersuchungen zum Phosphoraustrag aus drainierten Grünlandböden im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees

Hanna Ulrich^{1*} und Mira Forster¹

Zusammenfassung

Ein Großteil der Nährstoffeinträge in den Waginger-Tachinger See wird aus der landwirtschaftlichen Fläche eingetragen. Drainagen stellen einen wichtigen Eintragsweg dar, da durch diese die Bodenpassage verkürzt wird und das Sickerwasser schneller in Vorfluter eingeleitet wird.

Im Zuge des Projektes wurde auf zwei drainierten Grünlandstandorten der Phosphoraustrag unter natürlichen Verhältnissen untersucht. In einem zeitlich hoch aufgelösten Probenahmeintervall wurde das Drainagewasser beprobt und die Phosphorkonzentration darin bestimmt. Zusätzlich wurde an beiden Standorten der Abfluss der Drainagen aufgezeichnet. Die Flächen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Phosphorversorgung. Die Fläche E liegt in der Versorgungsstufe E, die Fläche A in der Versorgungsstufe B.

Mit steigendem Abfluss nahmen auch die Phosphorkonzentrationen im Drainagewasser zu. Maximalkonzentrationen von 5 mg/L konnten an der Versuchsfläche E nachgewiesen werden. Die höchsten Konzentrationen wurden während Niederschlagsereignissen, die zeitnah nach der Güllegabe eintraten, detektiert. Aus der sehr hoch versorgten Untersuchungsfläche wurde deutlich mehr Phosphor ausgetragen als aus der niedrig versorgten Fläche.

Schlagwörter: Nährstoffbelastung, Drainage, Gülle, Phosphor

Summary

Most of the nutrient input into the Waginger-Tachinger lake originates from agricultural runoff. Underground agricultural drainage systems are of main interest because they transport the water quickly through the soil into the receiving waterways.

We studied the phosphorus discharge from the drainage systems from two agricultural fields, area A and area E, under natural conditions. The phosphorus concentration of the runoff was quantified at a high temporal resolution and the flow rates were measured, at both sampling areas.

The sampling areas differed relating to their soil phosphorus levels. Sampling area E had a very high soil phosphorus content, and sampling area A had a low soil phosphorus content.

Phosphorus concentrations in the sampled drainage water increased with increasing flow rates. At area E concentrations reached a peak of 5 mg/L. Maximum concentrations were detected after the spreading of manure followed by precipitation. Phosphorus loads in the sampled drainage water from the area with very high soil phosphorus content were much higher than from the sampling area with low soil phosphorus content.

Einleitung

Erhöhte Nährstoffeinträge und die damit einhergehende Gefahr einer Eutrophierung stellen für viele Seen des Vorarlperlandes ein großes Problem dar. Auch der Waginger See erreicht nach derzeitigem Stand den nach der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) geforderten guten ökologischen Zustand sehr wahrscheinlich bis 2015 nicht (BUCHMEIER 2007a).

Die Vorgängeruntersuchungen am Waginger-Tachinger See zeigten, dass Phosphor, der limitierende Faktor für die Primärproduktion, überwiegend aus der landwirtschaftlich genutzten Fläche in die Vorfluter eingetragen wird (BUCHMEIER 2003). Hierbei spielt die Nährstoffversorgung des Bodens sicherlich eine wichtige Rolle (GÄCHTER et al. 1999, PRASUHN 2010). Im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees sind 40% der Grünlandböden und 47% der Ackerböden hoch bis sehr hoch mit Phosphor versorgt

(DIEPOLDER et al. 2007). Während Hochwasserereignissen gelangt der Großteil der Phosphorjahresfracht in den Waginger See (BUCHMEIER 2007b).

Phosphor gelangt über die Eintragswege Erosion, Oberflächenabfluss, Drainageabfluss, Zwischenabfluss und Grundwasserabfluss in die Oberflächengewässer. Wie aus der im Vorgängerprojekt durchgeführten Modellierung von LÖSCHENBRAND et al. 2007 hervorgeht, wird eine erhebliche Menge an Phosphor über den Drainageabfluss (38%) in den Waginger See eingetragen. Aufgrund der verkürzten Bodenpassage durch präferentielle Fließwege, findet auf drainierten Flächen eine erhöhte Phosphorauswaschung statt (STAMM 1998, PRASUHN 2003). Um diesen Eintragspfad genauer zu untersuchen, wurden auf zwei drainierten, intensiv genutzten Grünlandflächen im Einzugsgebiet des Waginger Sees über einen Zeitraum von einem bzw. einem halben Jahr der Abfluss und die Phosphorkonzentration im

¹ Wasserwirtschaftsamt Traunstein, Rosenheimer Straße 7, D-83278 TRAUNSTEIN

* Ansprechpartner: Hanna Ulrich, hanna.ulrich@wwa-ts.bayern.de

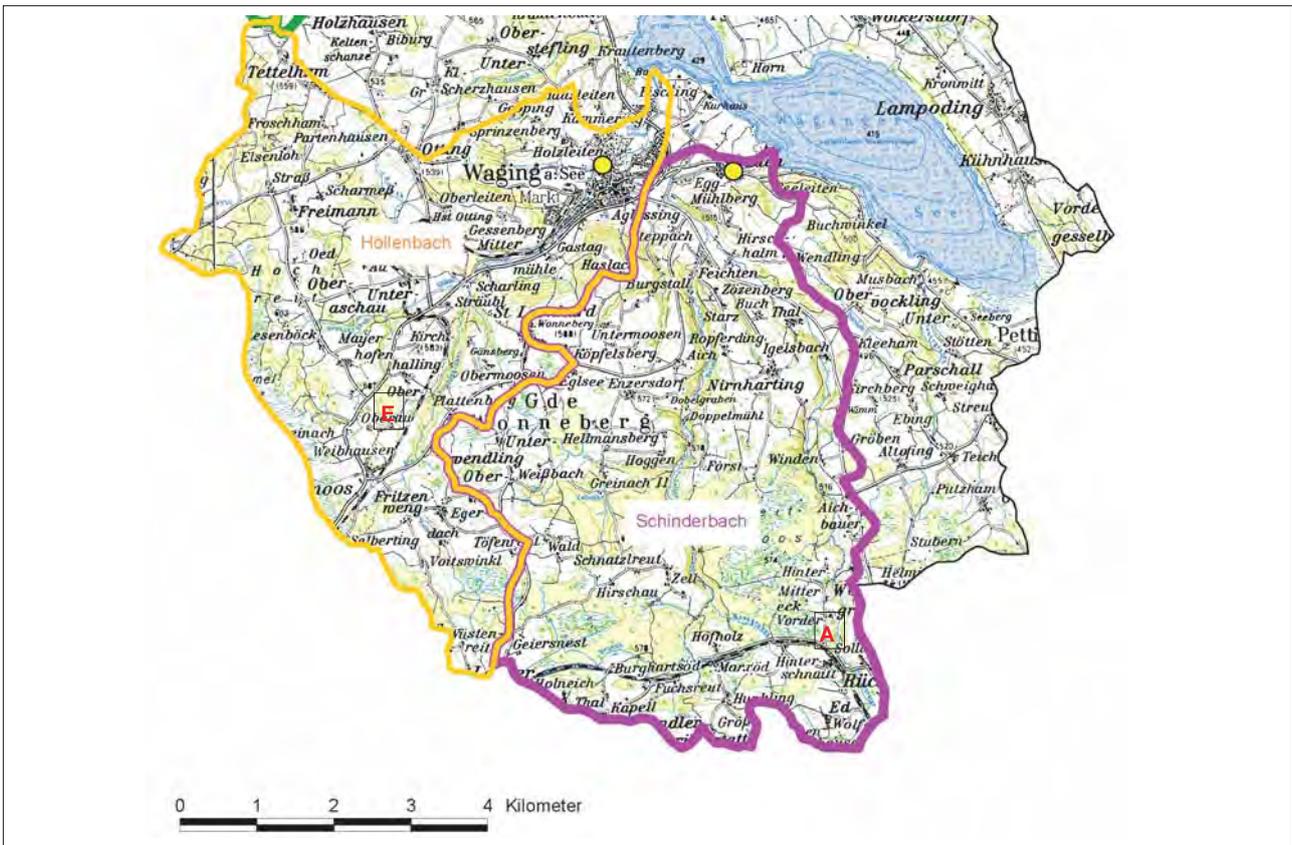


Abbildung 1: Lage der Versuchsflächen A und E (markiert durch die Kreise) im Einzugsgebiet des Schinder- und des Höllenbachs, die beide in den Waginger See entwässern.

Drainagewasser bestimmt. Ziel der Untersuchung war es weitere Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Phosphoraustrag, Phosphorversorgung des Bodens, Güllezeitpunkt und Niederschlagsereignissen zu gewinnen.

Untersuchungsgebiet, Material und Methode

Die Versuchsfläche A im Einzugsgebiet des Schinderbachs (siehe *Abbildung 1*) befindet sich auf einem pseudovergleyten Braunerdestandort mit schwach wechselfeuchtem Bodenwasserhaushalt. Die mittels der CAL-Methode ermittelte Phosphorversorgung im Oberboden beträgt 5 mg P₂O₅/100g Boden.

Bei der Versuchsfläche E handelt es sich um einen feuchten Gleye-Standort im Einzugsgebiet des Höllenbachs (siehe *Abbildung 1*). Die Phosphorversorgung im Oberboden ist mit 31 mg P₂O₅/100g deutlich höher als auf der Fläche des Versuchsstandortes A.

Der mittlere Jahresniederschlag am Waginger See beträgt 1200 mm.

An den Versuchsflächen erfolgte eine volumenproportionale Probenahme mittels eines automatischen Probenehmers (ISCO 6700) mit eingebautem Lufteinperlmodul und Messwehreinsatz an den Drainagenden zur Abflussbestimmung. 16 Teilproben mit einem Volumen von 30 mL wurden zu einer Mischprobe zusammengefasst. Die Probenehmer wurden mindestens einmal wöchentlich entleert. Im Labor des Wasserwirtschaftsamtes Traunstein wurden die Wasser-

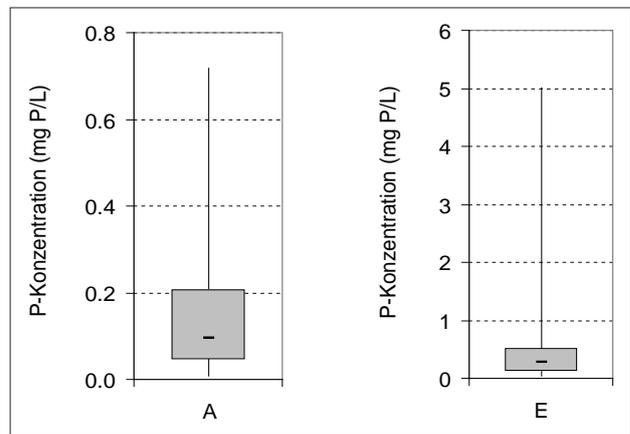


Abbildung 2: Statistische Verteilung der Phosphorkonzentrationen im Drainagewasser der Versuchsflächen A (n=187) und E (n=150) dargestellt in Box-Whisker-Plots.

proben homogenisiert und anschließend 100 mL der Probe bis zur Bestimmung der Phosphorgesamtkonzentration tief gefroren. Die Analytik erfolgte am Bundesamt für Wasserwirtschaft (BAW) in Petzenkirchen.

Bei jeder Güllelegabe wurde eine Stichprobe der Gülle zur Nährstoffbestimmung entnommen und bis zur Analytik an der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (HBLFA) tief gefroren. Im Untersuchungszeitraum erfolgte keine mineralische Düngegabe.

Um kleinräumige Wetterereignisse zu erfassen, wurden im Februar 2010 an beiden Versuchsstandorten Regenwippen installiert. Die bis dahin verwendeten Niederschlagsdaten stammen von der DWD-Wetterstation Waginger See am Standort Schnöbling, die sich in einer Entfernung von 8 bzw. 8,5 km zu den Versuchsflächen befindet.

Ergebnisse und Diskussion

In *Abbildung 2* sind die Verteilungen der Phosphor-Konzentrationen im Drainagewasser für die jeweiligen Versuchsflächen in Box-Whisker-Plots dargestellt. Bei den Grafiken muss berücksichtigt werden, dass sich die Skalierung der Y-Achse zwischen den Versuchsflächen A und E um beinahe eine Zehnerpotenz unterscheidet.

Die Medianwerte werden in der Darstellung durch den horizontalen Strich (-) in der grauen Box gekennzeichnet. Der Median der Phosphorkonzentration auf der Fläche A betrug 0,1 mg P/L, auf der Fläche E 0,3 mg P/L. Der Interquartilabstand, der Bereich zwischen 25%- und 75%-Quantil, der die Hälfte aller beobachteten Werte enthält und in der Abbildung der grauen Box entspricht, umfasst auf der Versuchsfläche A Phosphorkonzentrationen zwischen 0,05 bis 0,21 mg P/L und auf der Versuchsfläche E 0,13 bis 0,52 mg P/L. Auf der Versuchsfläche E wurden Maximalwerte bis zu 5,0 mg P/L detektiert. Auf der Fläche A betrug die Maximalkonzentration dagegen nur 0,7 mg P/L.

Besonders die sehr hohe Phosphorversorgung des Bodens aber auch eine höhere Menge an ausgebrachter Gülle mit höherem Phosphorgehalt verursachen sehr wahrscheinlich

die höheren Phosphorkonzentrationen im Drainagewasser der Versuchsfläche E.

In den *Abbildungen 3* und *4* sind die zeitlichen Verläufe der Phosphorkonzentration und des Abflusses der Drainagen beider Versuchsflächen dargestellt. Die Drainage auf der Versuchsfläche A fiel immer wieder trocken, wohingegen die Drainage der Versuchsfläche E nur während der Trockenwetterperioden von Ende April bis Anfang Mai 2011 trocken fiel.

Mit steigendem Abfluss nahmen unabhängig vom Güllezeitpunkt auf beiden Flächen auch die Phosphorkonzentrationen im Drainagewasser zu. Besonders hohe Konzentrationsanstiege waren während sogenannter „worst case“-Szenarien zu beobachten, bei denen kurz nach der Güllegabe hohe Niederschläge zur Phosphorauswaschung führen.

Auf der Versuchsfläche A wurden pro Niederschlagsereignis zwischen 4 und 103 g/ha Phosphor ausgetragen, auf der Fläche E zwischen 109 und 1231 g/ha. Die Maximalwerte traten an beiden Flächen zwischen dem 17.3. und 22.3.11 auf. Hohe Niederschläge und die nur wenige Tage zuvor ausgebrachte Gülle, dürften diese maximalen Konzentrationen verursacht haben.

Die Ergebnisse zeigen, dass aus der Versuchsfläche E mit der sehr hohen Phosphorversorgung sehr viel mehr Phosphor ausgetragen wird als aus der niedrig versorgten Fläche.

Danksagung

Ich möchte mich sehr herzlich bei Herrn Dr. Bohner von der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-

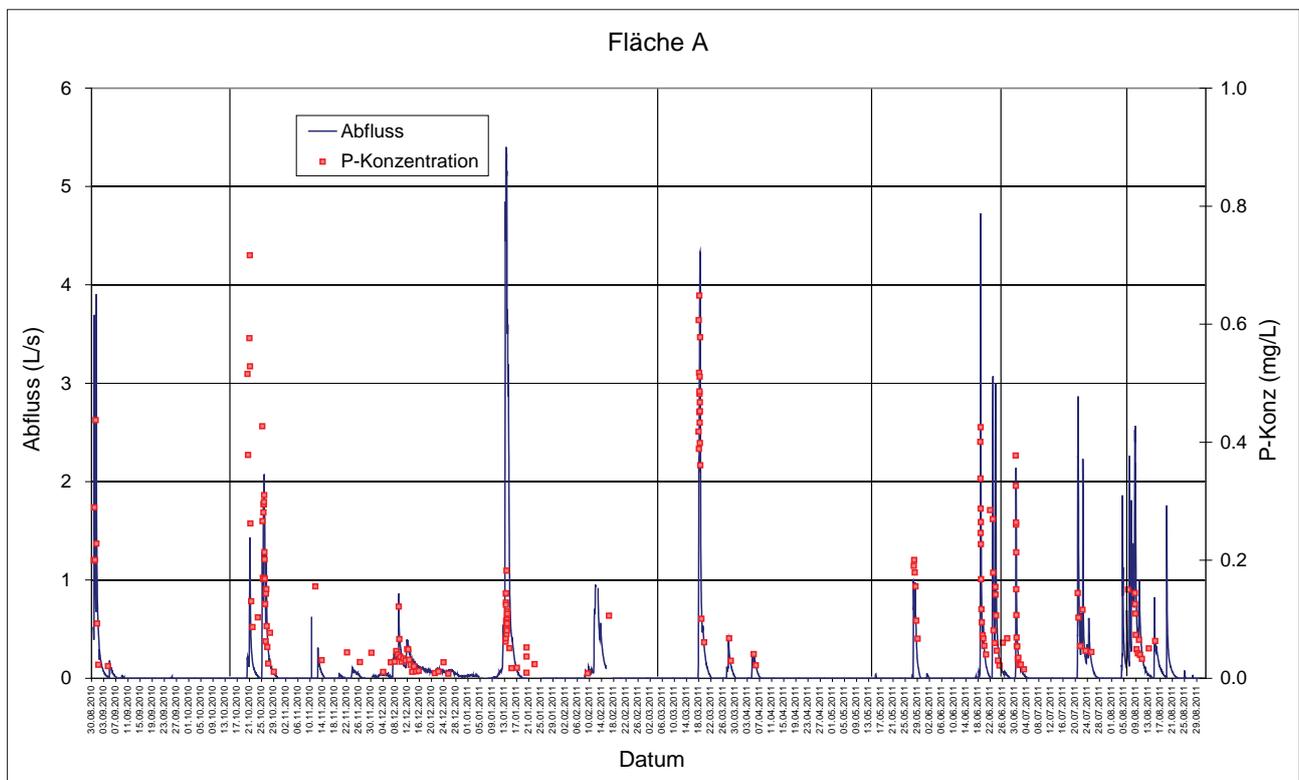


Abbildung 3: Verlauf der Phosphorkonzentration und des Abflusses im Drainagenablauf der Fläche A. Die vertikalen schwarzen Linien im Diagramm markieren die Güllezeitpunkte.

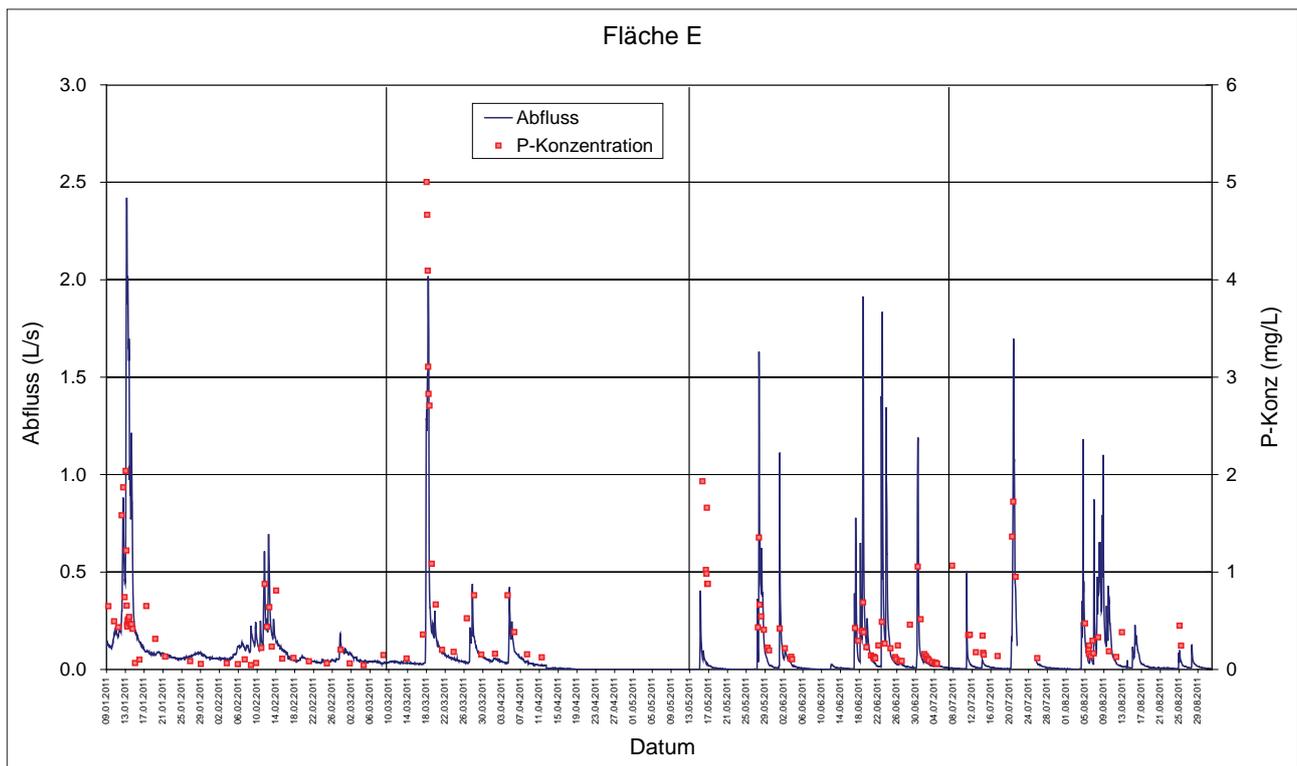


Abbildung 4: Verlauf der Phosphorkonzentration und des Abflusses im Drainagenablauf der Fläche E. Die vertikalen schwarzen Linien im Diagramm markieren die Güllezeitpunkte.

Gumpenstein (HBLFA) für die Unterstützung bei der Bodenansprache und Bodenprobenahme und für die Analytik der Boden- und Gülleproben bedanken. Herrn Dr. Strauss vom Bundesamt für Wasserwirtschaft danke ich für die Analytik der Wasserproben sowie die Denkanstöße und Diskussionen. Und zuletzt danke ich Frau Buchmeier vielmals für Ihre Unterstützung und Ratschläge.

Literatur

- BUCHMEIER, G., 2003: Nährstoffeinträge und ihre Auswirkungen auf den Waginger-Tachinger See: Untersuchungsjahre 2001/2002. Wasserwirtschaftsamt Traunstein, 18 S.
- BUCHMEIER, G., 2007a: Der Waginger-Tachinger See (Bayern, Deutschland): Einzugsgebiet, trophische Entwicklung und Phosphordynamik. Schriftenreihe BAW, 26, 66-79.
- BUCHMEIER, G. 2007b: Phosphoreintrag in den Waginger-Tachinger See (Bayern): Phosphorkonzentration und Phosphorfracht in Bächen. Schriftenreihe BAW, 26, 91-108.
- DIEPOLDER, M., M. WENDLAND und S. RASCHBACHER, 2007: Ergebnisse von Erhebungen zur Phosphorbilanz landwirtschaftli-

cher Betrieben in den Einzugsgebieten des Waginger-Tachinger Sees und des Mondsee-Irrsees. Schriftenreihe BAW, Band 26, 109-131.

- GÄCHTER, R. und B. MÜLLER, 1999: Die bodenbürtige P-Belastung des Sempacher Sees. GWA Gas Wasser Abwasser 6, 460-466.
- LÖSCHENBRAND, F., S. ZIMMERMANN und A. MELZER, 2007: Modellierung der Phosphorgesamtausträge im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees. Schriftenreihe BAW, Band 26, 80-93.
- PRASUHN, V. und R. MOHNI, 2003: GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Interner Bericht FAL – Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz.
- PRASUHN, V., 2010: Phosphorabschwemmung von Graslandflächen in der Schweiz – Eintragspfade und Maßnahmen zur Verminderung, 2. Umweltökologischen Symposium des Lehr- und Forschungszentrums für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 73-78.
- STAMM, C., H. FLÜHLER, R. GÄCHTER, J. LEUENBERGER und H. WUNDERLI, 1998: Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. J. Environm. Quality 27(3), 515-522.

Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und des Reliefs auf den Nährstoffgehalt im Oberboden mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors

Andreas Bohner^{1*}, Christa Huemer², Jakob Schaumberger¹ und Peter Liebhard³

Zusammenfassung

Das Ziel des INTERREG IV A-Projekts „Gewässer-Zukunft“ ist eine nachhaltige Verbesserung der Wasserqualität der Antiesen im oberösterreichischen Innviertel. Dazu müssen die Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in den Fluss reduziert werden. Um die tatsächlichen und möglichen Phosphor-Einträge qualitativ beurteilen zu können, sind zunächst einmal Kenntnisse über den Phosphor-Gehalt der landwirtschaftlich genutzten Böden im Einzugsgebiet erforderlich. Daher wurde in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen der Nährstoffstatus der Acker- und Grünlandböden erhoben. Insgesamt wurden 590 Bodenproben aus dem Oberboden (0-15 cm Bodentiefe) gezogen. Für den Nachweis einer erosionsbedingten horizontalen Nährstoffverlagerung wurde auf jedem Schlag in Hanglage zumindest der Ober-, Mittel- und Unterhang beprobt. Die im Boden unterschiedlich verfügbaren Phosphor-Anteile wurden mit verschiedenen Methoden ermittelt. Die Ergebnisse der Bodenanalysen belegen sehr niedrige Gehalte an CAL-löslichem Phosphor auf den meisten Grünlandflächen. Die Ackerböden mit den Kulturarten Getreide, Mais und Ölpflanzen (Raps, Lein) sind im Oberboden im Durchschnitt besser mit CAL-löslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Die untersuchten Böden besitzen eine hohe Phosphor-Speicherkapazität. Der Phosphor-Sättigungsgrad ist mit wenigen Ausnahmen sehr niedrig. Somit dürfte das Risiko für erhöhte Phosphor-Verluste durch Auswaschung gering sein. Eine erosionsbedingte Phosphor-Anreicherung im Unterhang konnte nicht festgestellt werden. Die Untersuchungsergebnisse werden im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Antiesen diskutiert.

Schlagwörter: Ackerböden, Grünlandböden, Bodenerosion, Phosphor-Speicherkapazität, Phosphor-Sättigungsgrad

Summary

Aim of the INTERREG IV A-project “Gewässer-Zukunft” is a sustainable improvement of the water quality of river Antiesen. To reach this target, phosphorus inputs from agricultural used areas have to be reduced. In order to assess the actual and potential losses of phosphorus from arable land and grassland to the river Antiesen, knowledge of the soil phosphorus levels in the catchment is necessary. Therefore, the nutrition status of the arable soils and grassland soils within a selected catchment of river Antiesen was investigated. A total of 590 soil samples from the topsoil (0-15 cm of soil depth) were collected. To assess the risk of phosphorus losses from agricultural used soils by soil erosion, in each sloping field soil samples were taken at least from the upper, middle and lower part of the slope. The pools of various forms of phosphorus were determined by different methods. Most of the grassland soils investigated exhibit very low levels of CAL-soluble phosphorus. Arable land, cropped with cereals, maize or oil plants (rapeseed, flax), has on an average higher contents of CAL-soluble phosphorus in the topsoil than grassland. The soils investigated possess high phosphorus sorption capacities. With few exceptions, the degree of phosphorus saturation is very low. Therefore, also the risk of elevated phosphorus losses by leaching seems to be low. Surprisingly, we could not observe a phosphorus enrichment on the lower part of the slope due to soil erosion. The findings will be discussed with regard to the risk of eutrophication of river Antiesen.

Keywords: arable soils, grassland soils, soil erosion, phosphorus sorption capacity, degree of phosphorus saturation

Einleitung

Gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000/60/EG) müssen die österreichischen Gewässer (Oberflächengewässer und Grundwasser) ab 2015 einen „guten Zustand“ bzw. ein „gutes ökologisches Potenzial“ aufweisen. Die Antiesen im oberösterreichischen Innviertel wird dieses

Ziel möglicherweise nicht erreichen. Für eine eventuelle Zielverfehlung sind vermutlich Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen verantwortlich. Daher wurde von der oberösterreichischen Landesregierung das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ initiiert. Das primäre Ziel dieses Forschungsprojekts ist die nachhaltige Verbesserung der Wasserqualität der Antiesen, um den

¹ Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ), Raumberg 38, A-8952 IRDNING

² Hauptstraße 1, A-4552 WARTBERG AN DER KREMS

³ Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Pflanzenbau und -züchtung, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

* Ansprechpartner: Dr. Andreas Bohner, andreas.bohner@raumberg-gumpenstein.at

Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu entsprechen. Für die Zielerreichung ist es notwendig, dass die Phosphor-Einträge in den Fluss reduziert werden. Die Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen werden vom Wasserhaushalt (insbesondere Niederschlagsmenge und -intensität), von der Parzellentopographie (insbesondere Hangneigung und Hanglänge), von den Bodeneigenschaften (insbesondere Phosphor-Gehalt, pH-Wert, Redoxpotential, Gründigkeit, Textur, Struktur), von der Art und Intensität der Bewirtschaftung sowie von der Art und vom Ausmaß der Bewirtschaftungsmaßnahmen (insbesondere Menge, Häufigkeit, Art und Zeitpunkt der Düngung) im Einzugsgebiet der Gewässer bestimmt (FROSSARD et al. 2004). Der Phosphor-Eintrag in die Oberflächengewässer aus diffusen Quellen erfolgt vorwiegend durch Erosion, Abschwemmung und Auswaschung (BRAUN et al. 1991, BRAUN und HURNI 1993, GÄCHTER et al. 1996, FROSSARD et al. 2004). Die Bodenerosion hat im Dauergrünland für die Gewässer-Eutrophierung im Allgemeinen nur eine geringe Bedeutung (WERNER et al. 1991, VON ALBERTINI et al. 1993). Vom Grünland können allerdings erhebliche Mengen an gelöstem Phosphor abgeschwemmt werden, insbesondere wenn Gülle kurz vor einem Starkregenereignis ausgebracht wird (BRAUN und LEUENBERGER 1991, VON ALBERTINI et al. 1993, BRAUN und PRASUHN 1997, POMMER et al. 2001, PRASUHN und LAZZAROTTO 2005). Die Phosphor-Einträge durch Abschwemmung nehmen generell mit steigenden Düngermittelgaben zu (SHARPLEY et al. 1994). Beim Ackerland ist die Bodenerosion der wichtigste diffuse Eintragungspfad für Phosphor in die Oberflächengewässer (SHARPLEY et al. 1994, KLAGHOFER 1997, PRASUHN 2001, 2005). Die Phosphor-Belastung hängt einerseits von der Menge des in ein Gewässer transportierten Bodenmaterials und andererseits vom Phosphor-Gehalt des Erosionsmaterials ab (PRASUHN 2005). Die Phosphor-Auswaschung kann sowohl im Ackerland als auch im Grünland unter bestimmten Boden-, Vegetations- und Witterungsverhältnissen für die Gewässer-Eutrophierung von Bedeutung sein (SCHEFFER 1977, OTTO 1980, BOHNER et al. 2007, DIEPOLDER und RASCHBACHER 2007). Die Phosphor-Einträge in die Gewässer aus landwirtschaftlich genutzten Flächen nehmen generell mit steigenden Phosphor-Gehalten im Boden zu (SCHEFFER 1977, OTTO 1980, MEISSNER et al. 1992, Römer 1997). Um die tatsächlichen und möglichen Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen qualitativ beurteilen zu können, sind zunächst einmal Kenntnisse über den Phosphor-Gehalt der Acker- und Grünlandböden im Einzugsgebiet von Gewässern erforderlich. Anschließend können wirksame Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer sowie Maßnahmen, welche ein Ansteigen dieser Phosphor-Einträge nachhaltig verhindern, ausgearbeitet werden.

Mit der vorliegenden Studie werden primär folgende Ziele verfolgt:

- Beurteilung und Bewertung des Phosphor-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich genutzten Oberböden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr des Flusses,

- Ermittlung von Flächen mit erhöhtem Austragspotenzial für Phosphor (hot spots),
- Analyse des Einflusses verschiedener Kulturarten und der Reliefposition auf den Phosphor-Gehalt im Boden und
- Schaffung von Grundlagen für die Entwicklung von regionalen Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität der Antiesen.

Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen in den Gemeinden Eggerding, Lambrecht und Ort im Innkreis durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet liegt in der Molassezone. Der Schlier ist ein häufiges und weit verbreitetes Molassegestein. Es handelt sich dabei vorwiegend um feinsandig-glimmerige Mergel (OBERHAUSER 1980). Die Landschaft repräsentiert ein flachwelliges Hügelland mit Seehöhen zwischen 380 und 490 m. Hanglagen mit einer Hangneigung von 5-15 % dominieren. Stellenweise kommen allerdings auch Steilhänge mit einer Hangneigung über 35 % vor. Die Böden sind überwiegend Braunerden, Pseudogleye, Gleye und Kulturrohböden (eBOD 2012). Die nächstgelegene Wetterstation befindet sich in Reichersberg in 350 m Seehöhe. Hier beträgt im langjährigen Mittel (1971-2000) die Juli-Temperatur 17,5 °C, die Jänner-Temperatur -2,0 °C und die Jahresmittel-Temperatur 7,9 °C. Der Jahres-Niederschlag macht im Durchschnitt 840 mm aus. Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In der Vegetationsperiode (April bis September) fallen etwa 63 % des Jahres-Niederschlags. Der Juli ist im langjährigen Mittel der niederschlagsreichste Monat, im Februar hingegen fallen die geringsten Niederschlagsmengen. Erosionsfördernde Starkregen treten vor allem im Zeitraum Juni bis August auf. Die Zahl der Tage mit Gewitter beträgt 22 im Jahr und die jährliche Schneedeckenperiode erstreckt sich über 41 Tage (ZAMG 2002). Das Klima, die Böden und das Relief begünstigen den Ackerbau. Im Untersuchungsgebiet dominieren daher Ackerflächen. Die Hauptkulturen sind Körner- und Silomais, Wintergerste, Winterweichweizen und Winterraps. Angebaut werden auch Sommerhafer, Triticale und Sonderkulturen wie beispielsweise Öllein oder Kümmel (SCHNEIDERBAUER, mündliche Mitteilung). Die Ackerflächen werden regelmäßig mit Mineral- und Wirtschaftsdünger gedüngt. Das Grünland wird in Abhängigkeit vom Pflanzenbestand (Dauergrünland oder Wechselgrünland) und von der Jahreswitterung meist drei- bis fünfmal pro Jahr gemäht und regelmäßig mit Wirtschaftsdünger gedüngt.

Material und Methoden

Im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 590 Bodenproben für routinemäßige Bodenanalysen zur Bewertung der Nährstoffsituation aus dem Oberboden (0-15 cm Bodentiefe) gezogen. Damit wurden alle landwirtschaftlich genutzten Flächen beprobt. Zusätzlich wurden 98 umfassendere Bodenanalysen primär zur Beurteilung der Phosphor-Speicherkapazität und des Phosphor-Sättigungsgrades durchgeführt. Auf jedem Probenahmepunkt wurden auf einer Fläche von rund 2 m² mit dem Spaten Einzelproben entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die Probe-

nahme erfolgte vor der Düngung im Sommer und Herbst 2010 sowie im Frühjahr 2011. Gemäß ÖNORM L 1056 (Probenahme von Dauergrünland) und ÖNORM L 1055 (Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden) werden in Österreich die Bodenproben auf Grünlandflächen aus der Tiefenstufe 0-10 cm und auf Ackerflächen aus 0-20 cm gezogen. Um die Grünlandböden mit den Ackerböden hinsichtlich ihres Nährstoffgehaltes im Oberboden vergleichen zu können, erfolgte die Probenahme auf allen Flächen einheitlich aus der Tiefenstufe 0-15 cm. Für den Nachweis einer erosionsbedingten horizontalen Nährstoffverlagerung wurde auf jedem Schlag in Hanglage zumindest vom Ober-, Mittel- und Unterhang (inklusive Hangfuss, Mulde und Wanne) eine Bodenprobe gezogen. Auf jenen Schlägen, wo reliefbedingt die Eutrophierungsgefahr der Fließgewässer durch Bodenerosion und Abschwemmung größer ist, wurde die Anzahl der Bodenproben erhöht.

Die Bodenproben wurden luftgetrocknet, homogenisiert und bei 2 mm Maschenweite gesiebt. Die Analysemethoden richteten sich nach der jeweiligen ÖNORM (pH-Wert in einer 0.01 M CaCl₂-Lösung gemäß ÖNORM L 1083, elektrische Leitfähigkeit konduktometrisch gemäß ÖNORM L 1092, Phosphor und Kalium mit der CAL-Methode gemäß ÖNORM L 1087, wasserlöslicher Phosphor-Gehalt gemäß ÖNORM L 1092). Der Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel wurde mittels Elementaranalyse bestimmt. Die Aggregatstabilität wurde mit einem Tauchsiebverfahren nach KEMPER und KOCH (1966) ermittelt. Die Aggregatstabilität ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Verschlammung durch Wasser (SCHACHTSCHABEL und HARTGE 1959). Eine niedrige Aggregatstabilität führt häufig zu Verschlammung und Verkrustung der Bodenoberfläche sowie bei Hanglage zu Bodenerosion (FRANKEN und LOH 1987).

Auf Grund der speziellen Problemstellung (Gewässer-Eutrophierung) wurden die Bodenanalysen auf den Phosphor fokussiert. Die unterschiedlich verfügbaren Phosphor-Anteile im Boden wurden mit verschiedenen Phosphor-Bestimmungsmethoden charakterisiert. Die in Österreich übliche Routineuntersuchungsmethode für Phosphor ist die Calcium-Acetat-Lactat-Methode (CAL-Methode). Mit der CAL-Extraktionsmethode wird der CAL-lösliche Phosphor-Pool im Boden erfasst. Damit kann der „Kapazitätsfaktor“ annähernd ermittelt werden. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden dient in der Landwirtschaft als Grundlage für die Erstellung einer Phosphor-Düngeempfehlung. Im Gegensatz zum CAL-löslichen Kalium-Gehalt hängt der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden primär von der Höhe der zugeführten Düngermenge in der Gegenwart und/oder Vergangenheit ab und ist daher ein geeigneter Indikator für das langjährige Düngungsniveau (RUTHSATZ 2001, BOHNER 2005). Mit der Messung des Phosphor-Gehaltes im Wasserextrakt wird der „Intensitätsfaktor“ festgestellt. Die Extraktion mit Wasser liefert Informationen über die Menge an wasserlöslichem und damit leicht mobilisierbarem Phosphor im Boden. Der wasserlösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden ist ein Maß für die Kapazität des Oberbodens Phosphor an den Oberflächenabfluss abzugeben (SHARPLEY et al. 1986). Die Quantität des hauptsächlich an pedogene Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxide ad-

sorbierten Phosphates wurde durch die Bestimmung des oxalatlöslichen Phosphors ermittelt (PIHL und WERNER 1993, LEINWEBER et al. 1997). Der Gesamtelementgehalt an Phosphor repräsentiert den „Quantitätsfaktor“. Zur Abschätzung der Phosphor-Speicherkapazität der Acker- und Grünlandböden und zur Beurteilung der potenziellen Gefahr von Phosphor-Verlusten durch Auswaschung wurden die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) folgendermaßen berechnet (ECKHARDT und LEINWEBER 1997):

$$\text{PSC (in mmol kg}^{-1}\text{)} = 0,5 \times (\text{Al}_{\text{ox}} + \text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Mn}_{\text{ox}})$$

$$\text{DPS (in \%)} = 100 \times \text{P}_{\text{ox}} \times \text{PSC}^{-1}$$

Die Gehalte an amorphen Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxiden bzw. -Hydroxiden sind hauptverantwortlich für die Phosphor-Speicherkapazität des Bodens. Bei einer geringen Phosphor-Speicherkapazität führt eine übermäßige Düngung (nicht an den mengenmäßigen und zeitlichen Bedarf der Pflanzen angepasste Düngung) rasch zu einem hohen Phosphor-Sättigungsgrad, und die Gefahr der Eutrophierung von Grundwasser und Oberflächengewässern nimmt zu (LOOKMANN et al. 1996). Deshalb sind die Phosphor-Speicherkapazität und der Phosphor-Sättigungsgrad geeignete Indikatoren für die Abschätzung von Phosphor-Auswaschungsverlusten aus landwirtschaftlich genutzten Böden (LEINWEBER et al. 1999). Im Rahmen der umfassenderen Bodenanalysen wurden oxalatrextrahierbares Aluminium, Eisen und Mangan sowie oxalatlöslicher Phosphor nach SCHWERTMANN (1964) analysiert. Die Gesamtelementgehalte an Aluminium, Eisen, Mangan und Phosphor wurden nach Mikrowellenaufschluss mit Königswasser bestimmt. Der Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor wurde nach Extraktion mit 0,1 M H₂SO₄ ermittelt. Der Gesamtgehalt an organischem Phosphor wurde als Differenz aus Phosphor-Gesamtgehalt und Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor errechnet.

Die Kartenerstellung erfolgte mit dem geostatistischen Interpolationsverfahren Kriging (KRIGE 1951). Als GIS-Software wurde Geostatistical Analyst (ArcGIS der Firma ESRI) verwendet.

Ergebnisse

Die untersuchten Ackerböden befinden sich nahezu ausschließlich im Karbonat- und Silikat-Pufferbereich (*Abbildung 1*). Diese pH-Bereiche sind für die im Untersuchungsgebiet hauptsächlich angebauten Kulturarten optimal. Die untersuchten Grünlandböden gehören überwiegend dem Silikat-Pufferbereich an (*Abbildung 2*). Dieser pH-Bereich ist für die Grünlandpflanzen günstig. Der Großteil der Ackerböden fällt hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor und Kalium in die Gehaltsstufe C (ausreichende Phosphor- und Kalium-Gehalte) (*Abbildung 3,4*). Nur wenige Ackerböden weisen hohe Phosphor-Gehalte (Gehaltsstufe D) sowie hohe und sehr hohe Kalium-Gehalte (Gehaltsstufe D und E) auf. Die Grünlandböden hingegen sind – bewertet nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) – meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt; der Großteil fällt in die Gehaltsstufe A (sehr niedrige Phosphor-Gehalte) (*Abbildung 5*). Nur wenige Grünlandböden gehören der Gehaltsstufe D und E (hohe

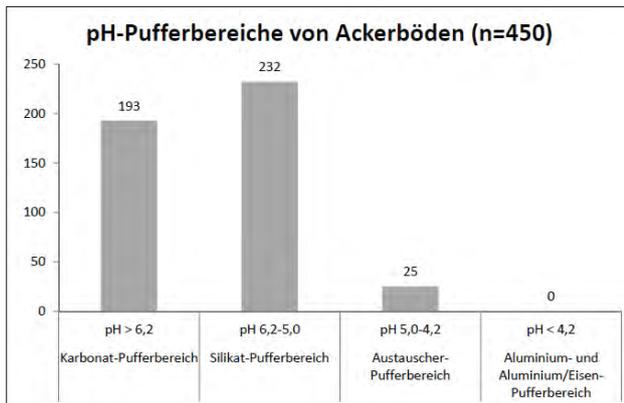


Abbildung 1: pH-Werte (pH CaCl₂) der untersuchten Ackerböden (n = 450) in der Bodentiefe 0-15 cm

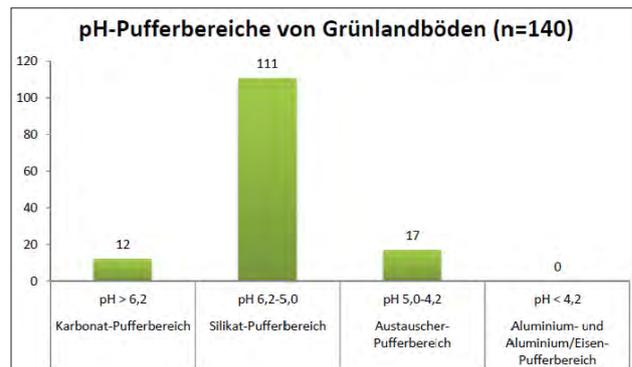


Abbildung 2: pH-Werte (pH CaCl₂) der untersuchten Grünlandböden (n = 140) in der Bodentiefe 0-15 cm

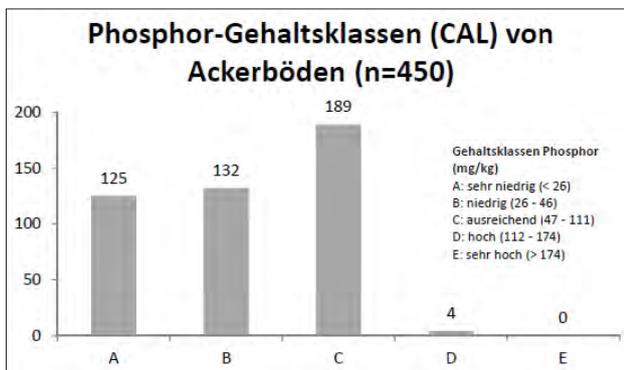


Abbildung 3: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Ackerböden (n = 450) in der Bodentiefe 0-15 cm

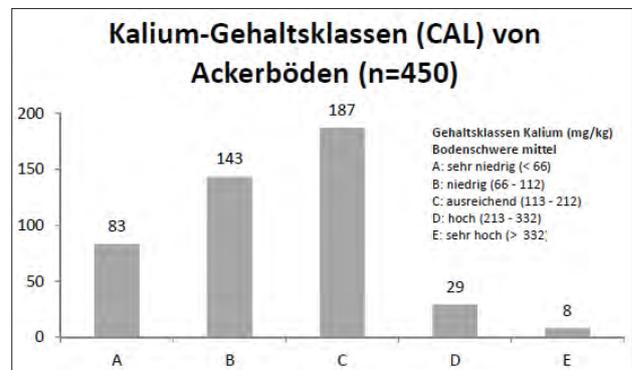


Abbildung 4: Kalium-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Ackerböden (n = 450) in der Bodentiefe 0-15 cm

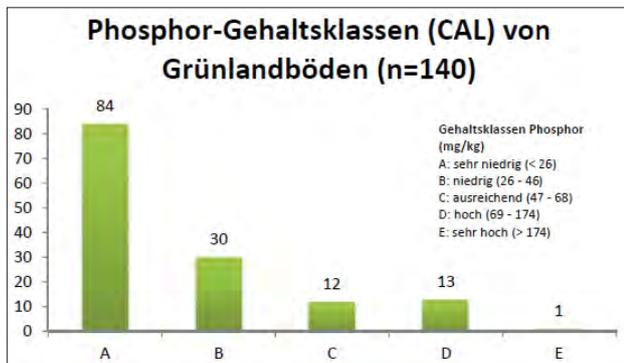


Abbildung 5: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Grünlandböden (n = 140) in der Bodentiefe 0-15 cm

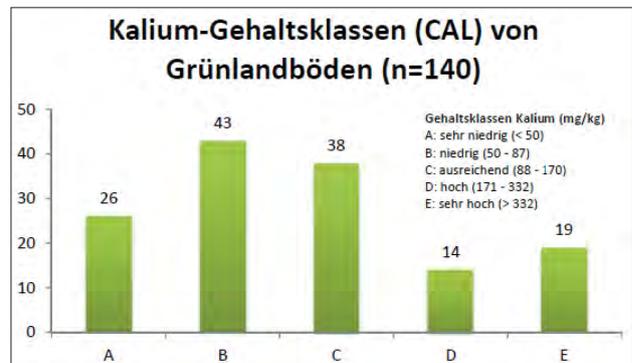


Abbildung 6: Kalium-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Grünlandböden (n = 140) in der Bodentiefe 0-15 cm

und sehr hohe Phosphor-Gehalte) an. Erhöhte CAL-lösliche Phosphor-Gehalte im Oberboden wurden vor allem in der unmittelbaren Umgebung von Güllegruben und Mistlagerstätten festgestellt. Etwas günstiger ist die Versorgung mit CAL-löslichem Kalium. Die Mehrheit der untersuchten Grünlandböden befindet sich in der Gehaltsstufe B und C (niedrige und ausreichende Kalium-Gehalte) (Abbildung 6). Einige Grünlandböden weisen allerdings auch hohe und sehr hohe Kalium-Gehalte (Gehaltsstufe D und E) auf.

In den Abbildungen 7 und 8 sind die Probenahmepunkte sowie die CAL-löslichen und wasserlöslichen Phosphor-Gehalte von den untersuchten Acker- und Grünlandböden

kartographisch dargestellt. Die Phosphor-Gehalte weisen innerhalb des Untersuchungsgebietes eine ungleichmäßige räumliche Verteilung mit lokal erhöhten und sehr niedrigen Werten auf. Es besteht eine zufriedenstellende räumliche Übereinstimmung zwischen den beiden Phosphor-Fractionen. Die wasserlöslichen Phosphor-Gehalte sind im Oberboden zum Teil sehr hoch. Auf diesen Flächen kann Phosphor bei Oberflächenabfluss leicht gelöst und abgeschwemmt werden. Insbesondere verdichtete und strukturgeschädigte Böden mit hohen wasserlöslichen Phosphor-Gehalten im Oberboden sind bei entsprechender Hangneigung und Hanglänge „hot spots“, auf denen die Gefahr der Abschwemmung von gelöstem bodenbürtigen

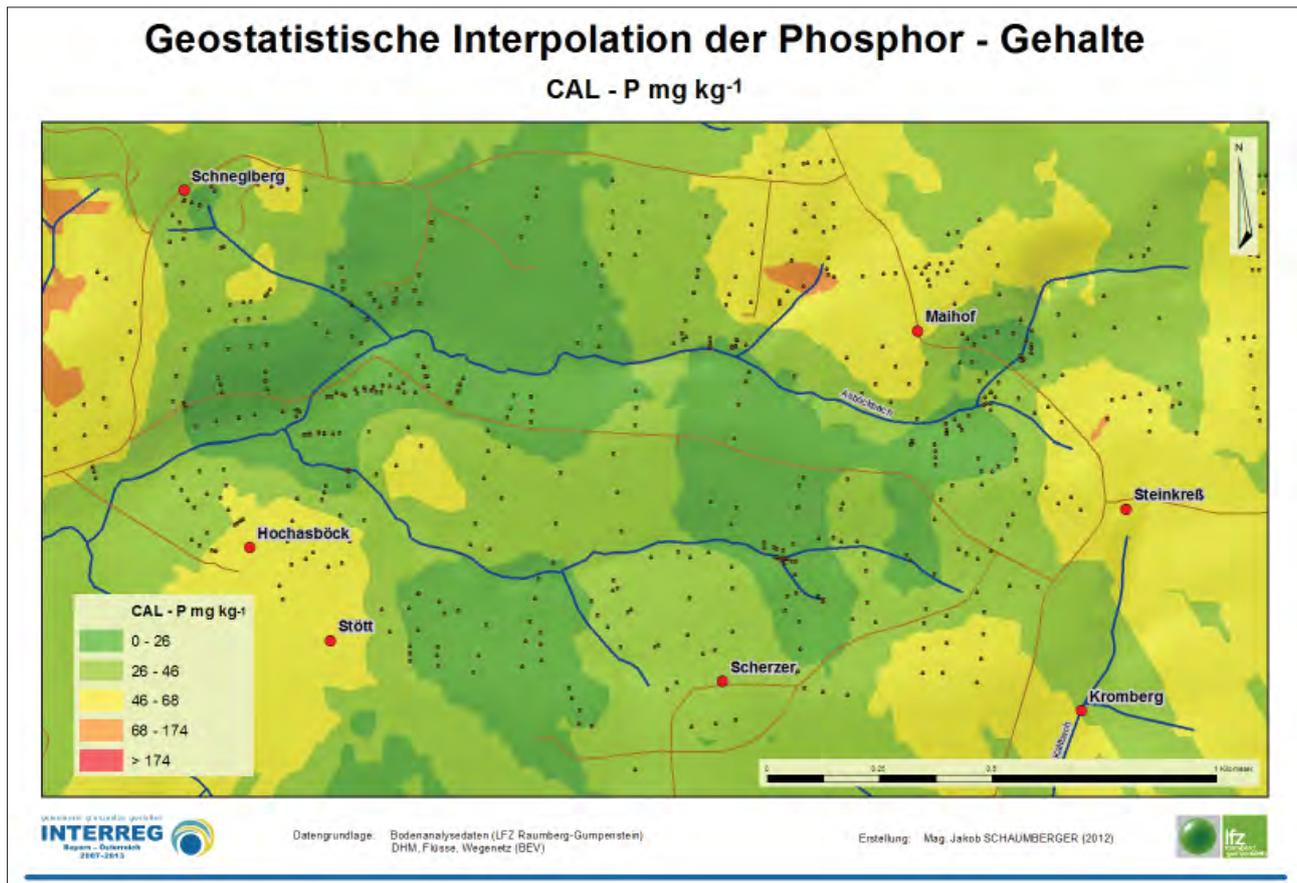


Abbildung 7: CAL-lösliche Phosphor-Gehalte in den untersuchten Acker- und Grünlandböden (n = 590) in der Bodentiefe 0-15 cm

Phosphor und die Gefahr von Phosphor-Verlusten durch direkte Gülleabschwemmung besonders hoch sind.

Wie die polynomische Regressionsfunktion in *Abbildung 9* zeigt, nimmt der wasserlösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden mit steigendem CAL-löslichem Phosphor-Gehalt im Schwankungsbereich der gemessenen Phosphor-Werte tendenziell zu. Ungefähr 35 % des CAL-löslichen Phosphors liegen im Oberboden in wasserlöslicher und damit leicht mobilisierbarer Form vor. In den Grünlandböden ist dieser prozentuale wasserlösliche Phosphor-Anteil mit 45 % im Durchschnitt etwas höher als in den Ackerböden mit 33 %.

Der Humusgehalt, die Humusqualität und die Nährstoffgehalte im Oberboden sind stark von der Kulturart abhängig (*Tabelle 1,2*). Der Humusgehalt und somit auch die Gesamtgehalte an Stickstoff und Schwefel sind in den Böden des Dauergrünlandes deutlich höher als in den Ackerböden. Die Ackerböden mit den Kulturarten Mais und Getreide weisen im Durchschnitt die niedrigsten C:N-Verhältnisse auf. Dies zeigt einen vergleichsweise stickstoffreicheren Humus in diesen Böden an. Die Ackerböden mit den Kulturarten Ölpflanzen (Raps, Lein), Getreide und Mais sind im Oberboden im Durchschnitt besser mit CAL-löslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Dies ist ein Indiz für vergleichsweise nährstoffreichere Bodenverhältnisse in den Ackerböden. Die Böden des Dauergrünlandes hingegen sind im Durchschnitt am besten mit CAL-löslichem Kalium versorgt. Die Aggregatstabilität ist in den Grünlandböden deutlich höher als in den Ackerböden. Die Ackerböden mit

der Kulturart Mais weisen im Durchschnitt die niedrigste Aggregatstabilität auf.

Der vorhandene Phosphor-Vorrat liegt im Oberboden in unterschiedlicher Bindungsform vor. Es besteht ein deutlicher Unterschied zwischen Acker- und Grünlandböden (*Tabelle 3*). Die Ackerböden weisen im Durchschnitt einen niedrigeren Gesamtelementgehalt an Phosphor und einen geringeren Gesamtgehalt an organischem Phosphor als die Grünlandböden auf. Im Gegensatz dazu sind die Gehalte an anorganischem Phosphor und oxalatrehabierbarem Phosphor vergleichsweise höher. Der niedrigere Humusgehalt in den Ackerböden und die stärkere Düngung der Ackerflächen dürften für die nutzungsspezifischen Unterschiede hauptverantwortlich sein. Die Gesamtelementgehalte an Phosphor weisen in den Grünland- und Ackerböden meist Werte unter 1000 mg pro kg Feinboden auf; somit besteht keine übermäßige anthropogene Phosphor-Anreicherung im Oberboden. Der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt beträgt in den Ackerböden im Durchschnitt 50 % und in den Grünlandböden 63 %. In den Ackerböden ist der oxalatrehabierbare Phosphor und in den Grünlandböden der organisch gebundene Phosphor die dominierende Phosphor-Fraktion und somit der größte Phosphor-Pool im Oberboden. In den Ackerböden sind die C_t:P_t- und C_t:P_o-Verhältnisse mit durchschnittlich 29:1 und 58:1 enger als in den Grünlandböden; hier betragen die entsprechenden Quotienten im Oberboden im Durchschnitt 39:1 und 63:1. In den untersuchten Acker- und

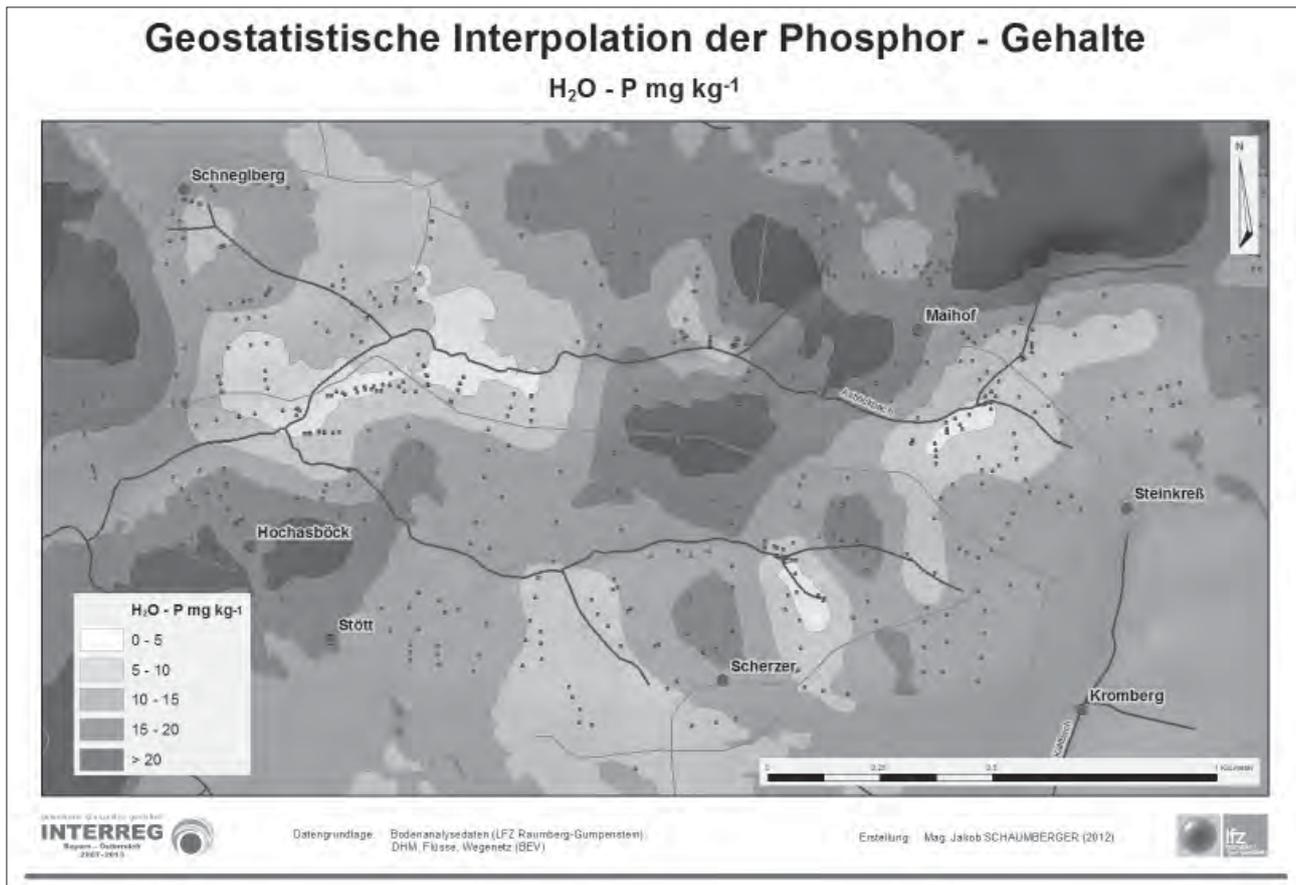


Abbildung 8: Wasserlösliche Phosphor-Gehalte in den untersuchten Acker- und Grünlandböden (n = 590) in der Bodentiefe 0-15 cm

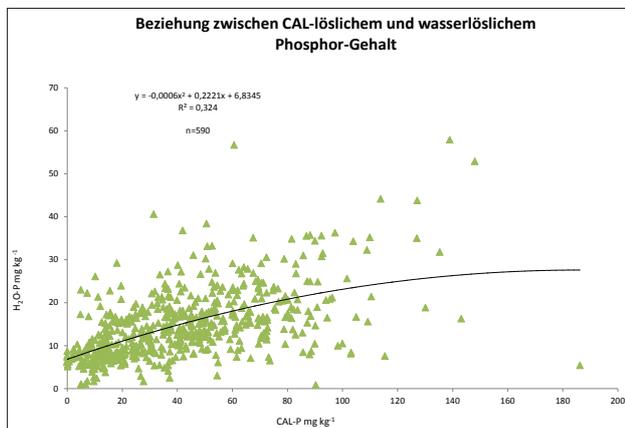


Abbildung 9: Beziehung zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt und wasserlöslichem Phosphor-Gehalt in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm (n = 590)

Grünlandböden haben vor allem die oxalateextrahierbaren Eisen-Oxide und -Hydroxide eine große Bedeutung für die Adsorption und Festlegung von Phosphat (Tabelle 4). Die Böden besitzen in den obersten 15 cm auf Grund der hohen Gehalte an amorphen Eisen-Oxiden bzw. -Hydroxiden eine große Phosphor-Speicherkapazität (PSC). Sie ist in den Ackerböden im Durchschnitt etwas geringer als in den Grünlandböden (Tabelle 3). Der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) ist sowohl in den Acker- als auch in den Grünlandbö-

den mit durchschnittlich 19 bzw. 16 % sehr niedrig (Tabelle 3). Somit dürfte das Risiko für erhöhte Phosphor-Verluste durch Auswaschung gering sein.

In den Tabellen 5 und 6 sind die Bodenkennwerte in Abhängigkeit von der Reliefposition dargestellt. Der Unterhang weist sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandflächen im Durchschnitt höhere Humus- und somit auch höhere Gesamtgehalte an Stickstoff als der Oberhang auf und die C:N-Verhältnisse sind vergleichsweise weiter. Dies sind Indizien für eine Anreicherung von stickstoffärmerem Humus im Unterhang der Acker- und Grünlandflächen. Auch der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt ist sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandböden im Unterhang größer als im Oberhang. Dies ist ein Indiz für eine stärkere Anreicherung von organisch gebundenem Phosphor im Unterhang der landwirtschaftlich genutzten Flächen. Bemerkenswert ist ferner die höhere Aggregatstabilität bei den Ackerböden im Unterhang im Vergleich zum Oberhang. Der höhere Humusgehalt im Unterhang dürfte dafür verantwortlich sein. Auffallend und zurzeit nicht plausibel ist die fehlende Phosphor-Anreicherung im Unterhang der Ackerflächen. Bei den Grünlandböden sind die Phosphor-Gehalte der einzelnen Phosphor-Fractionen im Unterhang sogar deutlich niedriger als im Oberhang. In der Tabelle 7 ist das Verhältnis der einzelnen Bodenkennwerte zwischen Ober- und Unterhang angeführt. Die Quotienten sind mit drei Ausnahmen (S_p , CAL-K, P_{org}) bei den Ackerböden immer enger als bei

Tabelle 1: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Kulturart

Kulturart	n	CaCl ₂ pH	μS cm ⁻¹ eL	C _t	% N _t	S _t	C:N	C:S	N:S
Getreide	174	6,0	65	1,64	0,20	0,02	8,2	82	10
Mais	132	6,0	69	1,67	0,22	0,02	7,6	84	11
Ölpflanzen	79	6,6	93	1,97	0,22	0,02	8,9	99	11
Wechselgrünland	67	5,9	89	2,80	0,30	0,02	9,3	140	15
Dauergrünland	138	5,6	95	3,15	0,37	0,04	8,5	79	9

n = Anzahl der Bodenanalysen; eL = elektrische Leitfähigkeit; C_t, N_t, S_t = Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel

Tabelle 2: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Kulturart

Kulturart	n	CAL-P	mg kg ⁻¹ CAL-K	H ₂ O-P	% AS
Getreide	174	48	130	16	45
Mais	132	43	143	14	43
Ölpflanzen	79	54	119	15	47
Wechselgrünland	67	26	90	11	72
Dauergrünland	138	31	163	14	85

n = Anzahl der Bodenanalysen; CAL-P und CAL-K = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt; H₂O-P = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt; AS = Aggregatstabilität

den Grünlandböden. Dies ist ein Indiz für eine relativ stärkere Humus- und Nährstoffanreicherung im Unterhang der Ackerflächen im Vergleich zu den Grünlandflächen.

Diskussion

Die Daten aus den Bodenanalysen ermöglichen eine Beurteilung und Bewertung des Phosphor-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich genutzten Oberböden im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Antiesen.

Die untersuchten Grünlandböden sind – bewertet nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) – meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt; der Großteil fällt in die Gehaltsstufe A (sehr niedrige Phosphorgehalte). Auch HEINZLMAIER et al. (2005), BOHNER und EDER (2006) sowie BOHNER und SCHINK (2007) mussten in anderen österreichischen Naturräumen den Großteil ihrer untersuchten Grünlandböden der Gehaltsstufe A zuordnen. Nach GERZABEK et al. (2004) zeigen Grünlandböden in Österreich tendenziell eine Unterversorgung mit CAL-löslichem Phosphor. Ein hoher Anteil an ungenügend mit CAL-löslichem Phosphor versorgten Grünlandböden dürfte somit kein Unikum des Untersuchungsgebietes sein. Eine Überprüfung der zurzeit gültigen Gehaltsklasseneinstufung für den CAL-löslichen Phosphorgehalt von Grünlandböden gemäß den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) ist daher notwendig. Der Großteil der untersuchten Ackerböden fällt hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor in die Gehaltsstufe C (ausreichende Phosphorgehalte). Die Ackerböden sind im Oberboden im Durchschnitt besser mit CAL-löslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Auch die Gehalte an anorganischem Phosphor und oxalatrextrahierbarem

Tabelle 3: Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0-15 cm Bodentiefe)

	Ackerböden (n = 67)							Grünlandböden (n = 31)						
	P _t	mg kg ⁻¹			%	mmol kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		%	mmol kg ⁻¹		%	
	P _t	P _i	P _o	P _{ox}	P _{org}	PSC	DPS	P _t	P _i	P _o	P _{ox}	P _{org}	PSC	DPS
Min	427	114	242	175	29	52	4	476	68	194	205	28	65	6
Max	1269	842	773	911	81	133	36	1370	992	660	930	86	132	30
Median	689	350	351	456	50	81	17	745	266	475	369	64	86	14
MW	764	397	367	485	50	88	19	808	329	479	433	63	92	16

n = Anzahl der Bodenanalysen; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; P_t = Gesamtelementgehalt an Phosphor; P_i = Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor; P_o = Gesamtgehalt an organischem Phosphor; P_{ox} = Gesamtgehalt an oxalatrextrahierbarem Phosphor; P_{org} = Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt; PSC = Phosphor-Speicherkapazität; DPS = Phosphor-Sättigungsgrad

Tabelle 4: Oxalatrextrahierbares Aluminium, Eisen und Mangan (0-15 cm Bodentiefe)

	Ackerböden (n = 67)			Grünlandböden (n = 31)		
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
	Al _{ox}	Fe _{ox}	Mn _{ox}	Al _{ox}	Fe _{ox}	Mn _{ox}
Min	780	2772	155	1085	4283	292
Max	2895	8601	1389	2885	8100	1245
Median	1361	5556	811	1586	5685	785
MW	1573	5763	785	1755	5795	805

n = Anzahl der Bodenanalysen; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; Al_{ox}, Fe_{ox}, Mn_{ox} = oxalatrextrahierbares Aluminium, Eisen, Mangan

Tabelle 5: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Reliefposition

Reliefposition	n	CaCl ₂	μS cm ⁻¹		% C:N		
		pH	eL	C _t	N _t	S _t	
Oberhang Acker	132	6,0	69	1,74	0,22	0,02	8,0
Unterhang Acker	167	6,1	80	2,06	0,24	0,02	8,6
Oberhang Grünland	39	5,7	104	2,98	0,36	0,04	8,3
Unterhang Grünland	54	5,6	100	3,27	0,38	0,04	8,5

n = Anzahl der Bodenanalysen; eL = elektrische Leitfähigkeit; C_t, N_t, S_t = Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel

Tabelle 6: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Reliefposition

Reliefposition	n	mg kg ⁻¹					
		CAL-P	CAL-K	H ₂ O-P	P _t	P _{org}	AS
Oberhang Acker	132	45	139	15	776	47	46
Unterhang Acker	167	43	105	14	778	54	52
Oberhang Grünland	39	42	201	17	875	55	82
Unterhang Grünland	54	29	176	12	722	68	85

n = Anzahl der Bodenanalysen; CAL-P und CAL-K = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt; H₂O-P = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt; P_t = Gesamtelementgehalt an Phosphor (67 Bodenanalysen Acker, 31 Bodenanalysen Grünland); P_{org} = Anteil des organisch gebundenen Phosphor am Phosphor-Gesamtgehalt (67 Bodenanalysen Acker, 31 Bodenanalysen Grünland); AS = Aggregatstabilität

Tabelle 7: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe, n = 392) im Verhältnis Oberhang : Unterhang

	Acker	Grünland
pH CaCl ₂	0,98	1,02
eL	0,86	1,04
C _t	0,84	0,91
N _t	0,91	0,93
S _t	0,99	0,95
P _t	1,00	1,21
C:N	0,92	0,98
CAL-P	1,05	1,44
CAL-K	1,32	1,14
H ₂ O-P	1,11	1,49
P _{org}	0,87	0,81
AS	0,88	0,96

eL = elektrische Leitfähigkeit; C_t, N_t, S_t = Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel; P_t = Gesamtelementgehalt an Phosphor (67 Bodenanalysen Acker, 31 Bodenanalysen Grünland); CAL-P und CAL-K = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt; H₂O-P = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt; P_{org} = Anteil des organisch gebundenen Phosphor am Phosphor-Gesamtgehalt (67 Bodenanalysen Acker, 31 Bodenanalysen Grünland); AS = Aggregatstabilität

Phosphor sind trotz niedrigerem Gesamtelementgehalt vergleichsweise höher. Dies sind Indizien für eine stärkere Anreicherung anorganischer Phosphor-Fractionen in den Ackerböden im Vergleich zu den Grünlandböden. Das höhere Düngungsniveau auf den Ackerflächen dürfte dafür hauptverantwortlich sein. Die untersuchten Böden besitzen eine hohe Phosphor-Speicherkapazität. Sie ist in den Ackerböden in den obersten 15 cm im Durchschnitt etwas geringer als in den Grünlandböden. Der Großteil der untersuchten Böden weist einen niedrigen Phosphor-Sättigungsgrad auf. Ein Phosphor-Sättigungsgrad über 30 % wird in der internationalen Literatur als kritischer Wert für einen erhöhten Phosphor-Austrag in die Gewässer angeführt (SCHOETERS et al. 1995, DE SMET et al. 1996, LOOKMAN et al. 1996, LEINWEBER et al. 1997). Dieser Grenzwert wird in den Ackerböden in den obersten 15 cm sechsmal und in den Grünlandböden nur einmal überschritten. Auf Grund des überwiegend niedrigen Phosphor-Sättigungsgrades dürfte die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser bei den untersuchten Acker- und Grünlandböden im Falle einer standortangepassten Bewirtschaftung, sachgerechten Düngung und bei durchschnittlichen Niederschlagsereignissen gering sein.

Verdichtete und strukturgeschädigte Böden in Hanglage weisen infolge verminderter Infiltration von Regen- und Schneeschmelzwasser einen erhöhten Oberflächenabfluss

sowie eine niedrigere Infiltrationsrate der Flüssigdünger (Gülle, Jauche) auf. Dies erhöht das Risiko für eine Phosphor-Abschwemmung in die Fließgewässer (VON ALBERTINI et al. 1993). Die Phosphor-Einträge durch Abschwemmung sind auch vom wasserextrahierbaren Phosphor-Gehalt in der obersten Bodenschicht (1-2,5 cm) abhängig (SHARPLEY et al. 1994). Daher fördert ein hoher wasserlöslicher Phosphor-Gehalt im Oberboden die Gewässer-Eutrophierung (PRASUHN und LAZZAROTTO 2005). Im Untersuchungsgebiet weisen landwirtschaftlich genutzte Flächen in steiler Hanglage vor allem dann ein größeres Phosphor-Abschwemmungsrisiko auf, wenn die Oberböden verdichtet und stark mit wasserlöslichem Phosphor angereichert sind. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass größere Phosphor-Mengen von „Problemflächen“ (hot spots) mit überdurchschnittlich hohen Phosphor-Gehalten im Oberboden, wie beispielsweise die unmittelbare Umgebung von Güllegruben und Mistlagerstätten in die Fließgewässer gelangen. Das Phosphor-Eintragspotenzial aus Grünlandflächen ist auch erhöht, wenn es durch falsche Grünlandbewirtschaftung zu einer Narbenauflockerung und Lückenbildung im Pflanzenbestand kommt.

Die Aggregatstabilität ist in den untersuchten Grünlandböden deutlich höher als in den Ackerböden. Die intensivere Durchwurzelung der Grünlandböden und der höhere Humusgehalt dürften dafür hauptverantwortlich sein. Die Gefahr einer Bodenerosion ist daher auf Grünlandflächen beträchtlich geringer als auf Ackerflächen. Die Ackerböden mit der Kulturart Mais weisen im Durchschnitt die niedrigste Aggregatstabilität und somit die höchste Erosionsgefährdung auf. Mehrere Erosionsrillen auf einigen Ackerflächen zeigen an, dass eine lineare Erosion im Untersuchungsgebiet stattfindet. Durch Bodenerosion wird partikulär gebundener Phosphor in die Fließgewässer eingetragen (PRASUHN 2005).

Erodiertes Bodenmaterial ist normalerweise mit Phosphor angereichert (SHARPLEY et al. 1994). Eine Phosphor-Anreicherung im Unterhang der Ackerflächen konnte allerdings nicht festgestellt werden. Die Ursache hierfür ist noch nicht bekannt. Sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandflächen ist der Unterhang mit stickstoffärmerem Humus angereichert. Auch der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt ist im Unterhang größer als im Oberhang. Möglicherweise wird auf den Ackerflächen bei erosionsauslösenden Starkniederschlägen das von den Hangflächen erodierte Bodenmaterial zum Großteil nicht im Unterhang abgelagert, sondern gelangt sofort in die Fließgewässer. Die Humusanreicherung, das weitere C:N-Verhältnis und der höhere Anteil des organisch

gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt im Unterhang der Acker- und Grünlandflächen dürften weniger die Folge einer Sedimentation von erodiertem humusreichen Bodenmaterial sondern vielmehr das Ergebnis einer reliefbedingten (staunässebedingten) geringeren Mineralisierung der organischen Substanz im Unterhang sein.

Schlussfolgerung

Bei der Ausarbeitung regionaler Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Antiesen müssen Abschwemmung, Bodenerosion und einzelne „hot spots“ mit höchster Priorität berücksichtigt werden. Um den Phosphor-Eintrag in die Fließgewässer zu begrenzen, sollte insbesondere in steilen Hanglagen eine starke Anreicherung von wasserlöslichem Phosphor im Oberboden vermieden werden. Dazu ist eine Anpassung der Phosphor-Düngung an den mengenmäßigen und zeitlichen Bedarf der Pflanzen notwendig (WERNER et al. 1991). Auf Ackerflächen in erosionsgefährdeten steilen Hanglagen sollte kein Mais angebaut werden, wenn die Gefahr sehr hoch ist, dass bei Starkniederschlägen das erodierte Bodenmaterial zum Großteil direkt in die Fließgewässer gelangt. Zur Verringerung der Phosphor-Einträge durch Erosion und Abschwemmung müssen strukturschädigende Bewirtschaftungs- und Bodenbearbeitungsmaßnahmen sowie eine Bodenverdichtung vermieden werden. Außerdem sollten spezielle erosions- und abflussmindernde pflanzenbauliche Maßnahmen zur Minimierung von Phosphor-Verlusten eingeleitet und Strategien zu einer umweltschonenderen Düngerausbringung konzipiert werden.

Danksagung

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen des INTERREG IV A-Projekts „Gewässer-Zukunft“ durchgeführt.



Literatur

- BOHNER, A., 2005: Bodenindikatoren für die Bewirtschaftungsintensität und die floristische Artenvielfalt im Wirtschaftsgrünland. Mitt. der Österr. Bodenkundl. Ges., Heft 72, 67-73.
- BOHNER, A. und G. EDER, 2006: Boden- und Grundwasserschutz im Wirtschaftsgrünland. Seminar Umweltprogramme für die Landwirtschaft. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 53-64.
- BOHNER, A. und M. SCHINK, 2007: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors. Schriftenreihe BAW 26, 34-50.
- BOHNER, A., G. EDER und M. SCHINK, 2007: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 91-99.
- BRAUN, M., M. FREY und P. HURNI, 1991: Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer im Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen (Stand 1986). FAC Liebfeld, 87 S.
- BRAUN, M. und P. HURNI, 1993: Abschwemmung von Phosphor auf Grasland an zwei verschiedenen Standorten im Einzugsgebiet des Sempachersees. Landwirtschaft Schweiz, Band 6, 615-620.
- BRAUN, M. und J. LEUENBERGER, 1991: Abschwemmung von gelöstem Phosphor auf Ackerland und Grasland während den Wintermonaten. Landwirtschaft Schweiz, Band 4, 555-560.
- BRAUN, M. und V. PRASUHN, 1997: Maßnahmen, um die Gewässerbelastung zu vermindern. Agrarforschung 4, 339-342.
- DE SMET, J., G. HOFMAN, J. VANDERDEELEN, M. Van MEIRVENNE and L. BAERT, 1996: Phosphate enrichment in the sandy loam soils of West-Flanders, Belgium. Fertilizer Research 43, 209-215.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2007: Quantifizierung von P-Austrägen aus landwirtschaftlichen Flächen – Ergebnisse eines Forschungsprojekts. Schule und Beratung, Heft 8-9/07, 5-12.
- eBOD, 2012: <http://www.bfw.ac.at/ebod/ebod.main>.
- ECKHARDT, K.-U. und P. LEINWEBER, 1997: P-Fractionen zur Vorhersage von P-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Mitt. der Deutschen Bodenkundl. Ges. 85, II, 871-874.
- FRANKEN, H. und M. LOH, 1987: Der Einfluss ackerbaulicher Maßnahmen auf die Dynamik der Aggregatstabilität. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 28, 35-41.
- FROSSARD, E., P. JULIEN, J.-A. NEYROUD und S. SINAJ, 2004: Phosphor in Böden, Düngern, Kulturen und Umwelt – Situation in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 368, 172 S.
- GÄCHTER, R., A. MARES, C. STAMM, U. KUNZE und J. BLUM, 1996: Dünger düngt Sempachersee. Agrarforschung 3, 329-332.
- GERZABEK, M.H., A. BAUMGARTEN, M. TULIPAN und S. SCHWARZ, 2004: Ist die Nährstoffversorgung der Pflanzen noch ausgewogen? Eine Analyse aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen und Langzeitversuchen. Ländlicher Raum 2/2004, 1-8.
- HEINZLMAIER, F., M.H. GERZABEK, M. TULIPAN und A. BAUMGARTEN, 2005: Pflanzennährstoffe in Österreichs Böden: Räumliche und zeitliche Variationen sowie Wechselwirkungen mit Bodeneigenschaften. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 17, 96-97.
- KEMPER, W.D. and E.J. KOCH, 1966: Aggregate stability of soils from Western United States and Canada. Measurement procedure, correlations with soil constituents. Technical Bulletin 1355, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Washington, 1-52.
- KLAGHOFER, E., 1997: Bodenerosion. In: Bodenschutz in Österreich. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, 37-45.
- KRIGE, D.G., 1951: A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa 52: 119-139.
- LEINWEBER, P., F. LÜNSMANN and K.U. ECKHARDT, 1997: Phosphorus sorption capacities and saturation of soils in two regions with different livestock densities in northwest Germany. Soil Use and Management 13, 82-89.
- LEINWEBER, P., R. MEISSNER, K.-U. ECKHARDT and J. SEEGER, 1999: Management effects on forms of phosphorus in soil and leaching losses. European Journal of Soil Science 50, 413-424.
- LOOKMANN, R., K. JANSEN, R. MERCKX and K. VLASSAK, 1996: Relationship between soil properties and phosphate saturation parameters. A transect study in northern Belgium. Geoderma 69, 265-274.
- MEISSNER, R., H. KLAPPER und J. SEEGER, 1992: Wirkungen einer erhöhten Phosphatdüngung auf Boden und Gewässer. Wasser und Boden 4, 217-220.
- OBERHAUSER, R. (Red.), 1980: Der geologische Aufbau Österreichs. Springer Verlag, 699 S.
- OTTO, A., 1980: Gewässerbelastung durch Land- und Forstwirtschaft. Wasser und Boden 1/1980, 26-30.

- PIHL, U. und W. WERNER, 1993: Zur Interpretation von Quantitäts-/ Intensitäts-Quotienten als Kriterien vertikaler Phosphatverlagerung in Böden. VDLUFA Kongressband 1993, 37, 99-102.
- POMMER, G., R. SCHRÖPEL und F. JORDAN, 2001: Austrag von Phosphor durch Oberflächenabfluss auf Grünland. Wasser & Boden, 53/4, 34-38.
- PRASUHN, V., 2001: Abschätzung der P- und N-Einträge in die Gewässer des Kantons Zürich mittels GIS. Mitt. der Deutschen Bodenkundl. Ges., Band 96, Heft 2, 645-646.
- PRASUHN, V., 2005: Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Erosion. Schriftenreihe der FAL Reckenholz 57, 108-119.
- PRASUHN, V. und P. LAZZAROTTO, 2005: Abschwemmung von Phosphor aus Grasland im Einzugsgebiet des Sempachersees. Schriftenreihe der FAL Reckenholz 57, 95-107.
- RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG, 2006: Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Aufl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 80 S.
- RÖMER, W., 1997: Phosphoraustrag aus der Landwirtschaft in Gewässer. Wasser & Boden, 49. Jahrgang, 51-54.
- RUTHSATZ, B., 2001: Pflanzen- und Boden-Indikatoren für die Intensivierung der Landwirtschaft in Mittelgebirgen – am Beispiel des Wirtschaftsgrünlandes einer kleinen Gemeinde bei Trier. Arch. für Nat.-Lands. Vol. 40, 289-323.
- SCHACHTSCHABEL, P. und K. HARTGE, 1959: Die Verbesserung der Strukturstabilität von Ackerböden durch eine Kalkung. Z. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 83, 193-202.
- SCHEFFER, B., 1977: Stickstoff- und Phosphorverlagerung in nordwestdeutschen Niedrungsböden und Gewässerbelastung. Geol. Jb. F4, 203-221.
- SCHOETERS, L., R. LOOKMANN, R. MERCKX and K. VLASSAK, 1995: Inventorisation and evaluation of phosphate saturation in Northern Belgium. Proceedings of the International Workshop, Phosphorus Loss to Water from Agriculture, Wexford, 79-80.
- SCHWERTMANN, U., 1964: Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 105, 194-202.
- SHARPLEY, A.N., S.J. SMITH and R.G. MENZEL, 1986: Phosphorus criteria and water quality management for agricultural watersheds. Lake and Reservoir Management 2, 177-182.
- SHARPLEY, A.N., S.C. CHAPRA, R. WEDEPOHL, J.T. SIMS, T.C. DANIEL and K.R. REDDY, 1994: Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options. J. Environ. Qual. 23: 437-451.
- VON ALBERTINI, N., M. BRAUN und P. HURNI, 1993: Oberflächenabfluss und Phosphorabschwemmung von Grasland. Landwirtschaft Schweiz, Band 6, 575-582.
- WERNER, W., H.-W. OLFS, K. AUERSWALD und K. ISERMANN, 1991: Stickstoff- und Phosphoreintrag in Oberflächengewässer über „diffuse Quellen“. In: A. Hamm (ed.): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern. Academia Verlag, Sankt Augustin.
- ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) 2002: Klimadaten von Österreich 1971-2000. – http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm.

Maßnahmen für eine nachhaltige, gewässerschonende Landbewirtschaftung

Rosemarie Hösl¹* und Peter Strauß¹

Zusammenfassung

Hauptziel des Interreg IV A Projektes „Gewässer-Zukunft“, einem Kooperationsprojekt zwischen Oberösterreich und Bayern, ist es, eine dauerhafte Reduktion von Phosphoreinträgen in Oberflächengewässer aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsgebiet der Antiesen zu erreichen. Zu hohe Phosphorkonzentrationen im Gewässer können großflächig als Ursache für das Verfehlen der vorgegebenen Qualitätsziele der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) „guter ökologische Zustand“ angesehen werden. In einem ersten Schritt wurden GIS-gestützte Erosionsgefährdungskarten erstellt, und Abflusswege in ausgewählten Kleineinzugsgebieten ermittelt, um so genannte Hot Spots, Flächen mit besonders hohem Gefährdungspotential, zu ermitteln. Diese Erkenntnisse wurden in anschließende Beratungsaktivitäten integriert. Durch begleitende Gewässeranalysen in diesen Kleineinzugsgebieten sollen Veränderungen verschiedener Wasserqualitätsparameter (Schwebstoff, Phosphor) kontinuierlich aufgezeichnet und ausgewertet werden. Zusätzlich werden durch zahlreiche Beregnungsversuche Gewässerschutzmaßnahmen wie z.B. Mulchsaattechniken auf Parzellenebene untersucht.

Schlagwörter: Gewässerschutzmaßnahmen, Phosphoreintrag in Oberflächengewässer, Hot Spots, Monitoring hydrologischer Einzugsgebiete

Summary

Within the collaborative Interreg IV A project of Upper Austria and Bavaria various sustainable surface water protection measures are evaluated. Main aim of the project is an enduring phosphorus input reduction into surface waters from agriculturally used land. High phosphorus concentrations in surface waters are the main problem for the expected failing of the prescribed quality goals of the Waterframe Directive (WFD). In a first step hot spots areas with high vulnerability to soil erosion – were detected through GIS based erosion calculations combined with mapping of linear flow paths in selected subcatchments of the river Antiesen. This information is used for further consulting by the chamber of agriculture, especially for the concerned farmers in the project area. The project is accompanied by continuous monitoring of changes in water quality, various parameters (sediment concentration, phosphorus) are collected and analysed. Additionally numerous plot-based rainfall simulations are made, to test various conservative mulching techniques.

Keywords: surface water protection measures, phosphorus input into surface waters, hot spots, catchment monitoring

Einleitung

Oberflächengewässer in der zum Teil intensiv genutzten Kulturlandschaft des Alpenvorlandes in Bayern und Oberösterreich sind oftmals durch Nährstoffeinträge belastet, sodass diese Gewässer das bis 2015 zu erreichende Qualitätsziel „guter ökologischen Zustand“ bzw. „gutes ökologisches Potenzial“ verfehlen werden. Dies ist unter anderem über das Monitoring nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) belegt.

In Bayern (BY) und Oberösterreich (OÖ) ist laut Entwurf des Gewässer- Bewirtschaftungsplanes nach EU-Wasserrahmenrichtlinie für einen erheblichen Anteil der Oberflächenwasserkörper die Verringerung von diffusen Nährstoffeinträgen aus der Landwirtschaft notwendig. Erhöhte Nährstoffeinträge führen nicht nur zu ökonomischen Schäden sondern vor allem zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Wasserqualität und der Biozöosen, in weiterer Folge kommt es zu Gewässereutrophierung mit den Fol-

geproblemen Verkrautung und erhöhtem Algenwachstum. Im Regelfall liegt Phosphor als wachstumsbestimmender Faktor vor und kann großflächig als Ursache für das Verfehlen des Qualitätszieles „guter Zustand in Oberflächengewässern“ angesehen werden. Da der Grad der kommunalen Abwasserreinigung in Bayern und Oberösterreich bereits sehr hoch ist, kommt der überwiegende Teil des Phosphoreintrags aus diffusen Stoffeinträgen von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Der Eintrag von Phosphor aus diesen Flächen in Gewässerläufe erfolgt dabei auf unterschiedlichen Pfaden. Einerseits weisen landwirtschaftlich intensiv genutzte Flächen oft eine hohe Versorgung mit Phosphor auf, der oberflächlich über lineare Abflusswege oder über schnelle Versickerungsleitbahnen (Grobporen) in die Gewässer gelangt. Andererseits kommt es durch Bodenerosion zur Verlagerung des angereicherten Oberbodens in Richtung der Gewässer und letztendlich ebenfalls zu einem erhöhten Stoffeintrag. Hauptziel dieses Kooperationsprojektes zwischen Bayern und Oberösterreich stellt die Reduktion von

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

* Ansprechpartner: Mag. Rosemarie Hösl, rosemarie.hoesl@baw.at

Phosphoreinträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in Oberflächengewässer dar. Die ökologische Qualität von Wasser und Gewässerlebensraum soll an der Antiesen in Oberösterreich und dem Waginger-Tachinger See in Bayern durch die Projektaktivitäten nachhaltig verbessert werden. Ziel ist es, eine verbesserte Umsetzung von Maßnahmen zu erreichen, die geeignet sind, Phosphoreinträge in Oberflächengewässer, verursacht durch intensive Grünlandnutzung (BY) und Ackernutzung (OÖ), zu reduzieren.

Im Weiteren wird die Phosphor-Problematik und der Projektverlauf für das oberösterreichische Projektgebiet dargestellt. Im Einzugsgebiet der Antiesen liegt die Hauptproblematik des Phosphoreintrags im Bereich der oberflächlichen Eintragspfade – zum Teil durch lineare Abflusswege – und der Verlagerung über Bodenabtrag.

Die Umsetzung von geeigneten Gewässerschutzmaßnahmen findet im Dialog mit betroffenen Landwirten statt. Durch Öffentlichkeitsarbeit, Fortbildungs- und Beratungsangebote der Landwirtschaftskammer werden Landwirte über Gewässerschutzmaßnahmen informiert. Die Projektaktivitäten teilen sich im Wesentlichen in drei Bereiche: a) Ermittlung von Hot Spots, b) Begleitende Gewässeruntersuchungen und c) Durchführung von Begrünungsversuchen.

Methodik

a) Ermittlung von Hot Spots

Die Ermittlung von so genannten Hot Spots, Gebieten mit besonderem hohem Gefährdungspotential, soll die Möglichkeit bieten, schlagbezogene Gewässerschutzmaßnahmen gezielt vorschlagen zu können. Die Ermittlung dieser Hot Spots beinhaltet eine GIS-gestützte Erstellung von Erosionsgefährdungskarten auf Basis von digitalen Höhenmodellen. Endprodukt ist eine schlagbezogene Bewertung des Risikos für Erosion und Phosphoraustrag aller landwirtschaftlichen Flächen im Projektgebiet. Zudem wurde die Ermittlung von linearen Abflusswegen automatisiert und durch Feldbegehungen durchgeführt und die erhaltene Genauigkeit der Fließwege verglichen.

Fließwegeermittlung unter Berücksichtigung von Feldkartierungen

Trotz der Verwendung hochauflösender Höhenmodelle (Rasterweite 1m) als Datengrundlage für die Erhebung von Fließwegen, entspricht ein automatisch generiertes Fließwegenetz nicht immer der Realität.

Lineare Fließwege wie Entwässerungsgräben, Kanäle oder Straßengräben werden in automatisierten Fließwegberech-

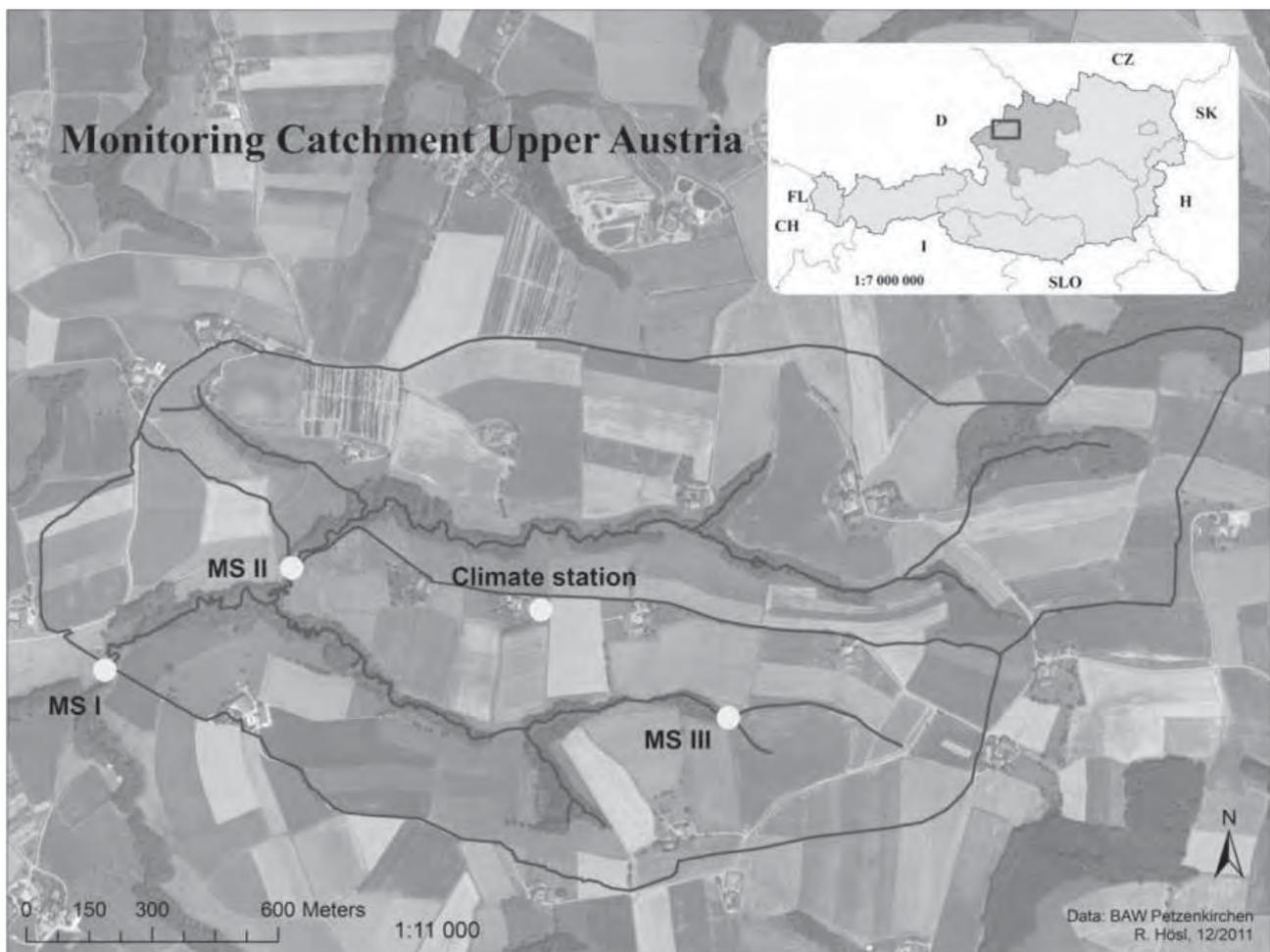


Abbildung 1: Übersicht zum begleitenden Monitoring-im Einzugsgebiet der Antiesen in Oberösterreich; Asböckbach.

nungen nicht berücksichtigt, da diese Strukturen oft zu klein in ihrer Ausformung sind. Trotzdem beeinflussen sie die hydrologische Situation in einem Einzugsgebiet wesentlich. Mittels Feldbegehungen wurden lineare Strukturen die als bevorzugte Fließwege fungieren und direkt mit dem Oberflächengewässer verbunden sind, erhoben und in das Höhenmodell integriert (HÖSL et al. 2012). Die Generierung des Fließwegenetzes erfolgte mittels ArcGIS 9.3.

b) Begleitende Gewässeruntersuchungen

Ein zentraler Bestandteil des Projektes sind begleitende Gewässeruntersuchungen, bestehend aus kontinuierlichen Abflussmessungen dreier hydrologischer Messstellen in einem Einzugsgebiet an der Antiesen (Asböckbach bei Ort im Innkreis). An zwei dieser Messstellen (MS I und MS II, siehe *Abbildung 1*) werden Abfluss- und Schwebstoffdaten kontinuierlich im Gewässer über Messsonden erfasst. Zusätzlich werden ereignisbezogene (abflussgesteuerte) Wasserproben mittels automatischen Probensammlers genommen, um zusätzliche Schwebstoff- und Phosphoranalysen zu erhalten. Zusätzlich werden auch Handproben genommen um einen möglichst kontinuierlichen Verlauf der Schwebstoff- und Phosphorkonzentrationen nachvollziehen zu können. An einer dritten Messstelle (MS III) wird der Oberflächenabfluss eines ca. 10 ha großen Feldes gemessen. Eine Abfluss- sowie Schwebstoffmessung erfolgt hier ebenfalls kontinuierlich über Messsonden, bzw. durch einen Probensammler, der ebenfalls abflussgesteuert ist. Die Datenübertragung erfolgt an allen drei Messstellen online mittels GPRS Übertragung, womit gewährleistet wird, dass bei erfolgten Probenahmen die Wasserproben schnellstmöglich abgeholt und im Labor analysiert werden können.

Eine Wetterstation wurde zentral im Einzugsgebiet eingerichtet (siehe *Abbildung 1*), Lufttemperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und -richtung, Luftfeuchtigkeit und Globalstrahlung werden hier kontinuierlich aufgezeichnet. Diese Daten werden mittels GSM-Übertragung abgerufen, aufbereitet und auch den Landwirten im Projektgebiet zur Verfügung gestellt.

c) Beregnungsversuche

Der Zusammenhang zwischen verschiedenen Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Anbautechniken und Bodenerosion wird mithilfe von Regensimulationen untersucht. Dazu wurden im Herbst 2010 Beregnungsversuche in Oberösterreich durchgeführt, die unterschiedliche Saatbeetbereitungsvarianten bei Zwischenfruchtanbau auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag untersuchten (HÖSL und STRAUSS 2011). Auf einer Versuchsfläche wurden dazu fünf verschiedene Bearbeitungsvarianten mit grobem oder feinem Saatbeet angelegt. Die Zwischenfruchtmischung wurde um den 22. August gesät, rund ein Monat danach wurde jede Variante mit drei Wiederholungen beregnet, insgesamt wurden also 15 Parzellen (5 m x 2 m) beregnet. Die groben Saatbeetvarianten wurden jeweils nur einmal gegrubbert (~18 cm Tiefe), die feinen Saatbeetvarianten wurden gegrubbert und zweimal mit der Kreiselegge bearbeitet bevor die Zwischenfrucht angebaut wurde.

Auf diesen Versuchsflächen wurden im Frühling 2011 weitere Beregnungsversuche durchgeführt. Die abgefrostete Zwischenfrucht vom Herbst wurde für Mulchsaat- und Direktsaatvarianten genutzt, jeweils eine Mulchsaatvariante und eine Direktsaatvariante wurden dabei sowohl auf dem groben als auch auf dem feinen Saatbeet vom Herbst 2010 angebaut. Eine fünfte konventionelle Anbauvariante wurde ebenfalls auf Bodenabtrag und Oberflächenabfluss untersucht, dabei wurde einmal mit Pflug und zweimal mit der Kreiselegge bearbeitet.

Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse zu den oben genannten drei Arbeitspaketen dargestellt.

a) Hot Spots – lineare Abflusswege

Verbunden mit der Ermittlung von Flächen mit erhöhtem Gefährdungspotential im Bezug auf Phosphoreinträge in

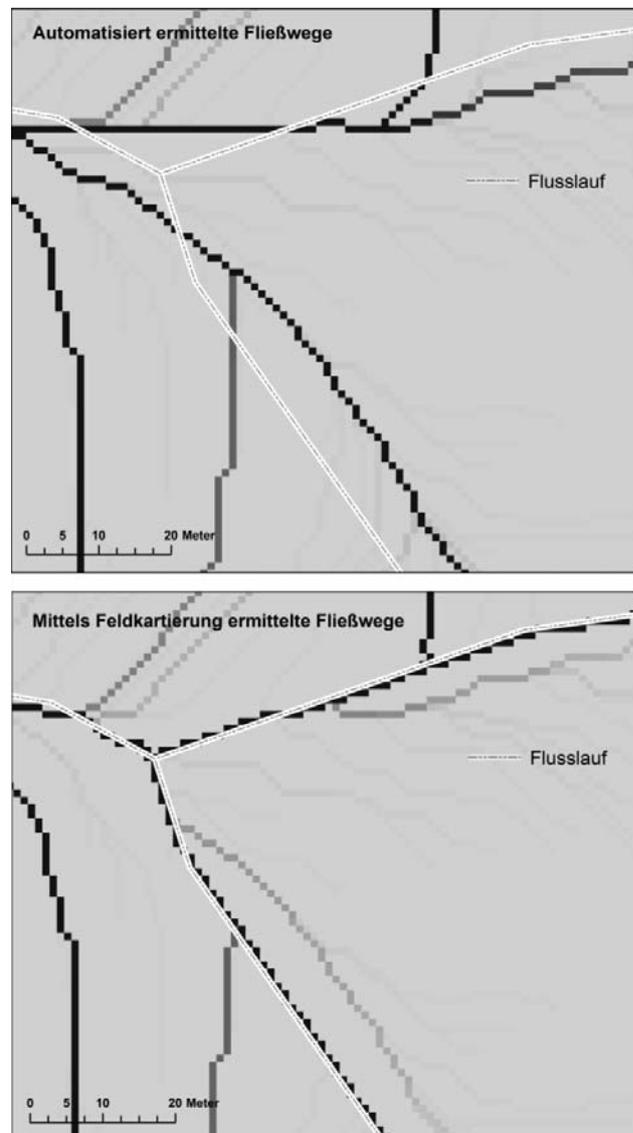


Abbildung 2: Vergleich von automatisch ermittelter Fließwege und durch Feldbegehung ermittelte Fließwege

Oberflächengewässer ist die Fragestellung wie die landwirtschaftlich genutzten Flächen an die Oberflächengewässer angeschlossen sind. Anhand von *Abbildung 2* wird der Unterschied zwischen den beiden Berechnungsvarianten (automatisiert und durch Kartierung ermittelte lineare Fließwege) verdeutlicht. Ohne kartierte Fließwege und korrigiertes Gewässernetz wird das Fließwegenetz nur ungenau dargestellt. Damit einher geht die Verbindung zwischen landwirtschaftlicher Fläche und Oberflächengewässer, die ebenfalls nur ungenau dargestellt werden kann. So entwässern beispielsweise ca. 25% der untersuchten Einzugsgebiete über lineare Abflusswege, die ohne Kartierung nicht erfasst worden wären. Mithilfe von Feldkartierungen konnte die hydrologische Situation im Projektgebiet bestmöglich wiedergegeben werden und bietet die Grundlage für weitere Modellanwendungen im Bezug auf Phosphoreinträge in Gewässer durch Bodenerosion. *Abbildung 2* stellt einen Ausschnitt des Projektgebietes dar, um die Berechnungsergebnisse zu veranschaulichen.

b) Begleitendes Monitoring

Durch begleitende Gewässeruntersuchungen soll eine Basis für die Bewertung von Qualitätsänderungen gelegt werden. In den nachstehenden Grafiken werden zur besseren Darstellung an zwei Messstellen der Verlauf von Abfluss, Schwebstoff- und Phosphorkonzentration bei einem Niederschlagsereignis dargestellt.

Für das Niederschlagsereignis vom 12.-13. Oktober 2011 wurde ein Niederschlag von rund 29 mm gemessen. Allerdings fielen vom 7.10. bis zum 10.10.2011 rund 45 mm. Es kann daher von einer erheblichen Vorsättigung des Bodens ausgegangen werden. Die beiden *Abbildungen 3* und *4* zeigen denselben Zeitraum für die zwei Messstellen MS

I und MS III. Die unterschiedlich großen Einzugsgebiete (MS I= \sim 260 ha; MS III= \sim 10 ha) erklären die unterschiedlich hohen Abflüsse, PO_4 und Schwebstoffkonzentrationen. Der Verlauf der Abflusskurven erscheint aber plausibel, auch die Schwebstoff- und Phosphorkonzentrationen bei MS I geben einen erwartungsgemäßen Verlauf wieder, es lässt sich eine gute Korrelation zwischen den beiden Werten herstellen. Dies war zu erwarten, da Phosphor zu einem Großteil partikelgebunden ins Gewässer transportiert wird. Der Verlauf der Schwebstoff- und Phosphorkonzentrationen bei MS III zeigt hingegen ein unruhiges Bild, diese häufigen Schwankungen werden auf die Variabilität des kleinen Einzugsgebietes zurück geführt. (An dieser Messstelle liegt das Intervall der Probenahme bei 15 Minuten, weshalb die letzte automatische Probenahme bereits um 4:19 erfolgte.)

c) Beregnungsversuche

Im Einzugsgebiet der Antiesen wurden im Herbst 2010 und im Frühling 2011 Beregnungsversuche bei unterschiedlicher Aufgabenstellung durchgeführt. Im Herbst 2010 wurden im Wesentlichen unterschiedliche Saatbeetbereitungen für den Zwischenfruchtanbau untersucht. Folgende Varianten wurden mit drei Wiederholungen beregnet: GS= grobes Saatbeet mit Zwischenfruchtanbau; GS+S= grobes Saatbeet mit Saatstriegel, mit Zwischenfruchtanbau; FS= feines Saatbeet mit Zwischenfruchtanbau; FS+F= feines Saatbeet mit Fahrspuren, mit Zwischenfruchtanbau; GS-ZF= grobes Saatbeet ohne Zwischenfruchtanbau. *Abbildung 5* zeigt die Ergebnisse jener Beregnungsversuche. Die Bodenbedeckung (Zwischenfrucht) war rund ein Monat nach Anbau bei den groben Saatbeetvarianten (GS, GS+S) deutlich geringer als bei den feinen Saatbeetvarianten (FS, FS+F), die Zwischenfrucht hatte erwartungsgemäß einen besseren

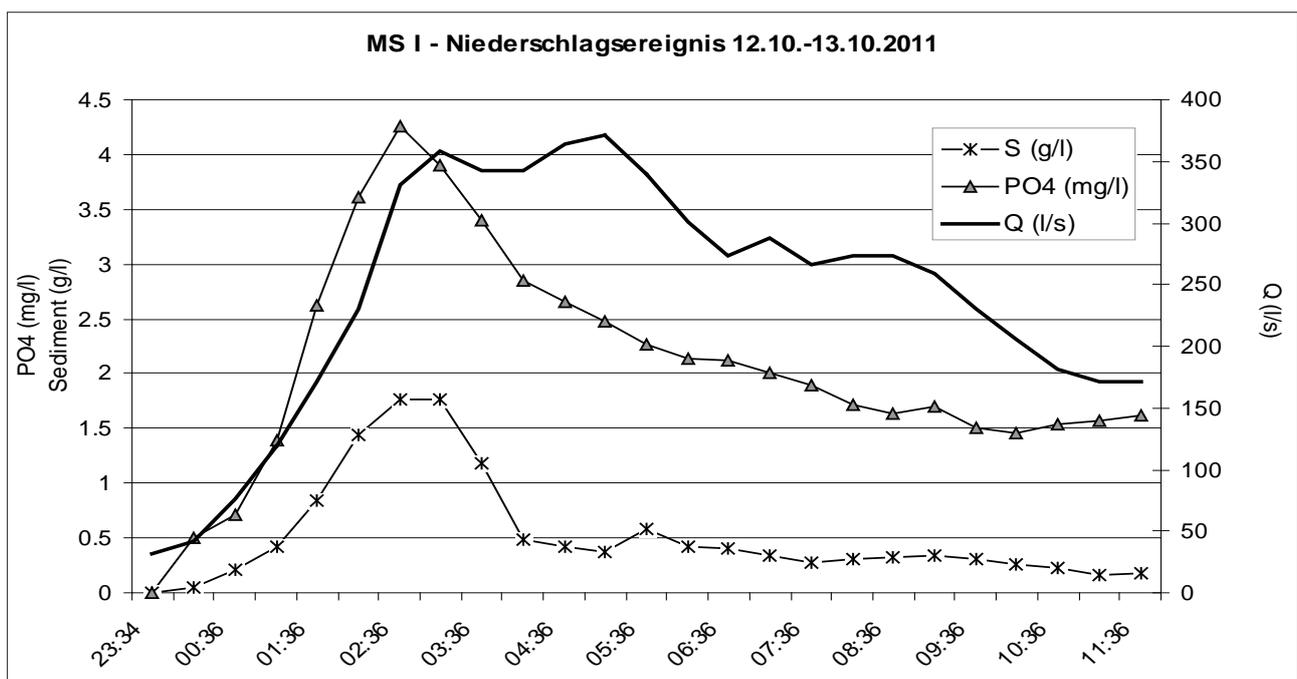


Abbildung 3: Niederschlagsereignis Oktober 2011, an Messstelle 1 (MS I), Darstellung des Abflusses, PO_4 -Konzentration und Schwebstoffkonzentration.

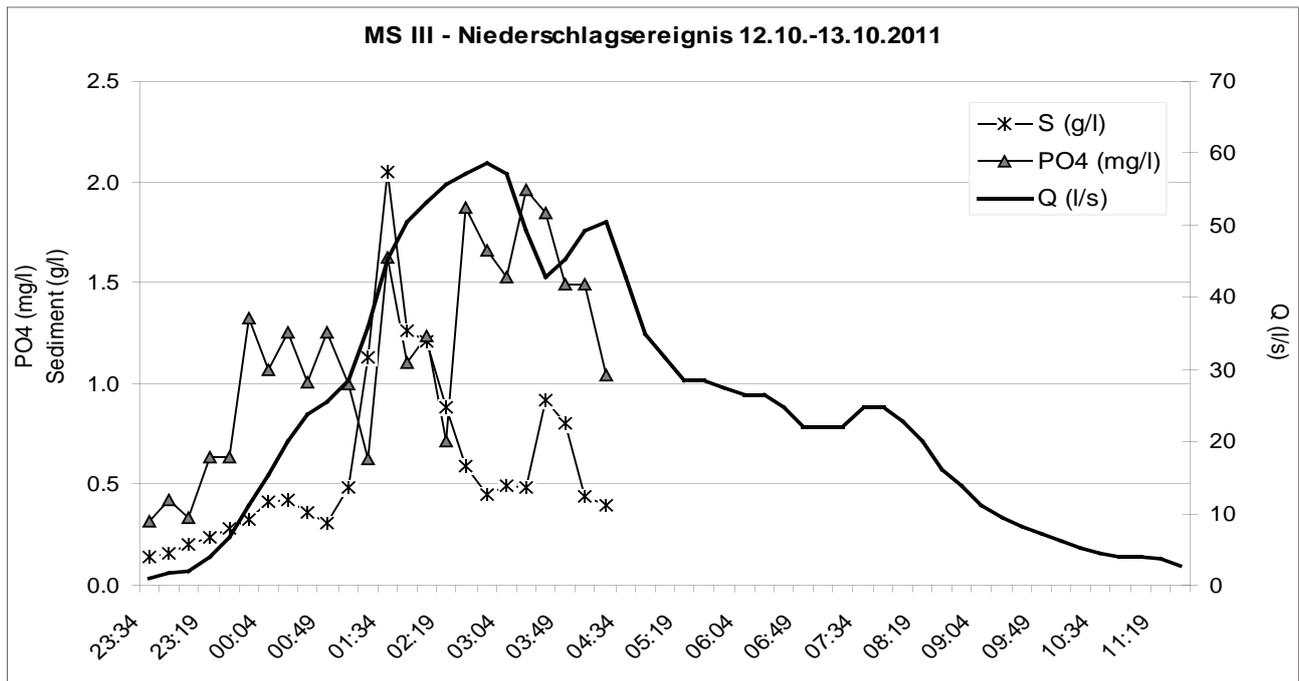


Abbildung 4: Niederschlagsereignis Oktober 2011, an Messstelle Einzelschlag (MS III), Darstellung des Abflusses, PO₄-Konzentration und Schwebstoffkonzentration.

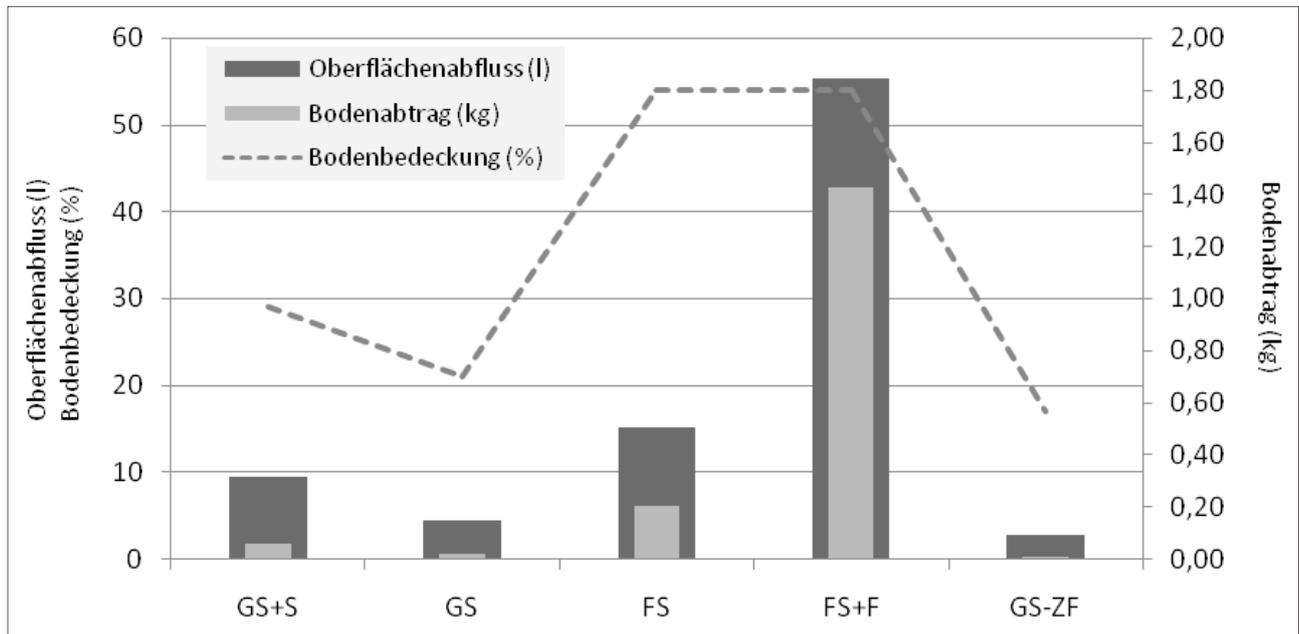


Abbildung 5: Ergebnis der Berechnungsversuche vom Herbst 2010; GS= grobes Saatbeet mit Zwischenfruchtanbau; GS+S=grobes Saatbeet mit Saatriegel, mit Zwischenfruchtanbau; FS= feines Saatbeet mit Zwischenfruchtanbau; FS+F=feines Saatbeet mit Fahrspuren, mit Zwischenfruchtanbau; GS-ZF= grobes Saatbeet ohne Zwischenfruchtanbau.

Aufwuchs durch das feine Saatbeet. Es wird allerdings deutlich, dass trotz hoher Bodenbedeckung bei diesen Varianten (FS, FS+F) sowohl Oberflächenabfluss als auch Bodenabtrag wesentlich höher waren als bei den groben Saatbeetvarianten (GS, GS+S, GS-ZF). Demnach kommt der Saatbeetbereitung eine entscheidende Rolle in der Verminderung der Bodenerosion und somit der Reduktion von Phosphoreinträgen in Gewässer zu.

Im Frühling 2011 wurden verschiedene Mais-Anbauvarianten mittels künstlicher Regensimulationen untersucht. Folgende Varianten wurden wiederum mit drei Wiederholungen berechnet: MS+K= Mulchsaat, 1x mit Kreiselegge bearbeitet; GS+DS= Direktsaat auf grobe Saatbeet; MS+SK= Mulchsaat, 1x mit Scheibenegge + 1x mit Kreiselegge bearbeitet; FS+DS= Direktsaat auf feinem Saatbeet; CT= konventioneller Anbau, 1x Pflügen + 2x Kreiselegge. Als

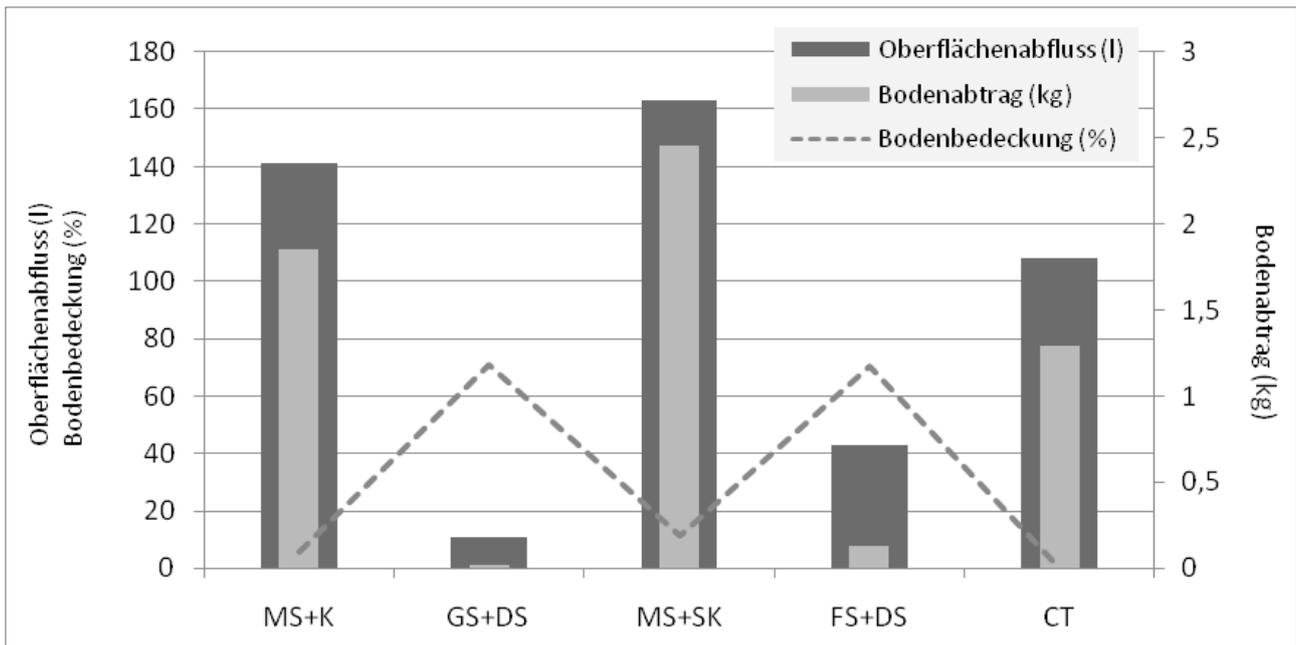


Abbildung 6: Ergebnis der Berechnungsversuche vom Frühling 2011; MS+K= Mulchsaat, 1x mit Kreiselegge bearbeitet; GS+DS= Direktsaat auf grobe Saatbeet; MS+SK= Mulchsaat, 1x mit Scheibenegge + 1x mit Kreiselegge bearbeitet; FS+DS= Direktsaat auf feinem Saatbeet; CT= konventioneller Anbau, 1x Pflügen + 2x Kreiselegge.

Mulchmaterial diente die im Herbst angebaute Zwischenfrucht. Die Bodenbedeckung durch Mulchmaterial war leider durch die Bodenbearbeitung nicht zufriedenstellend auf der Saatbeetoberfläche zurückgeblieben, deshalb konnte lediglich bei den Direktsaatvarianten eine ausreichend hohe Bodenbedeckung zum Zeitpunkt der Berechnungsversuche bonitiert werden. Das erklärt auch, warum die Mulchsaatvarianten (MS+K, MS+SK) im Vergleich zu den Direktsaatvarianten (GS+DS, FS+DS) um ein Vielfaches schlechter abschneiden. Darüber hinaus hat auch die konventionelle Anbauvariante (CT) deutlich weniger Oberflächenabfluss und Bodenabtrag zu verzeichnen als die Mulchsaatvarianten, dies wird auf die größere Infiltrationsleistung durch die Tieflockerung bei Pflugbearbeitung zurückgeführt.

Im Jahr 2011 wurden rund 30% der Fläche im Projektgebiet mit Mais bebaut. Von diesen 30% wurden rund 60% mittels Mulchsaat gebaut, deren Bodenbedeckung ebenfalls im Frühjahr bonitiert wurde und auf lediglich einer Fläche im Projektgebiet zufriedenstellend (über 50%) war.

Ausblick

Mittels begleitendem Monitoring sollen mögliche Veränderungen der Wasserqualität im Projektgebiet an der Antiesen (Asböckbach) weiterhin beobachtet werden. Hauptaugenmerk im letzten Projektjahr 2012 wird auf den Maisanbau gelegt. Mais ist die durch Erosion am stärksten gefährdete Kultur im Projektgebiet. Durch die Beratungsaktivitäten der Interessensvertreter vor Ort konnten alle Landwirte im Projektgebiet (19) davon überzeugt werden, im nächsten Frühjahr 2012 alle geplanten Maisanbauflächen mit Mulchsaat zu bewirtschaften. Dazu wurden die Landwirte auch mit

Saatgut für den Zwischenfruchtanbau unterstützt. Für den Frühling 2012 sind wiederum Berechnungsversuche auf einer Maisanbaufläche vorgesehen, die eine zufriedenstellende Bodenbedeckung (mindestens 50%) aufweist. Weiters ist für 2012 die Erstellung digitaler Beratungsunterlagen zur Erosionsabschätzung auf Schlägen vorgesehen, die für weitere intensive Beratungsaktivitäten eingesetzt werden können.

Danksagung

Das Kooperationsprojekt „Gewässer-Zukunft“ wird vom Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) sowie vom Land Oberösterreich finanziert. Wir bedanken uns für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung bei allen beteiligten Projektpartnern. Weitere Informationen können unter www.gewaesser-zukunft.eu abgerufen werden.



Literatur

- HÖSL, R., P. STRAUSS and T. GLADE, 2012: Man-made linear flow paths at catchment scale: Identification, factors and consequences for the efficiency of vegetated filter strips. *Landscape and Urban Planning* 104/2, 245-252.
- HÖSL, R. and P. STRAUSS, 2011: Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten für die Zwischenfrucht Begrünung auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag. 66. ALVA Jahrestagung, 23.-24. Mai 2011, Graz. Beitrag und Vortrag.

Erfahrungen und Umsetzung des InterReg Projektes IVa „Gewässerzukunft“ Antiesen aus Sicht der Beratung

Christoph Schneiderbauer^{1*}

Zusammenfassung

Diese durch das InterReg-Projekt IVa „Gewässerzukunft“ Antiesen erfolgte genaue Auswahl von möglichen Projektgebieten hat schon die Komplexität der Oberflächenabflüsse aufgezeigt. Die im Projektgebiet situierten Landwirte ergreifen schon aus Eigenerfahrungen verschiedene Maßnahmen zur Hintan Haltung der Oberflächenerosion. Dennoch ist noch Potential für eine Verbesserung bei der Durchführung von bestehenden Maßnahmen auf den Ackerflächen vorhanden. Mit handfesten, nachvollziehbaren Zielen, die über entsprechend dotierten Maßnahmen unbürokratisch durch zu führen sind, werden entsprechend positive Ergebnisse zu erzielen sein. Dazu bedarf es aber vor allem der Bewusstseinsbildung auf allen mitwirkenden Ebenen.

Einleitung

Alle Veränderung erzeugt Angst. Und die bekämpft man am besten, indem man das Wissen verbessert. (Ihno Schneevoigt)

Die Herausforderung für die Beratung ist, diese Furcht der Landwirte vor dem Neuen zu entkräften und somit den Weg frei zu machen und mit den Projektpartnern gemeinsam praxisorientierte Lösungsansätze zu erarbeiten, beziehungsweise vorhandenes weiter zu entwickeln.

Die Bezirksbauernkammer Ried stellt gemeinsam mit der Bodenschutzberatung der LK-OÖ im InterReg IVa „Gewässerzukunft“ Antiesen die Schnittstelle zwischen den einzelnen Projektpartnern und den Landwirten dar (*Abbildung 1*).

Um erfolgreich die angestrebten Ziele erreichen zu können, fungiert hier die Beratungsstelle quasi als „Dolmetscher“ zwischen Wissenschaft und Praxis.

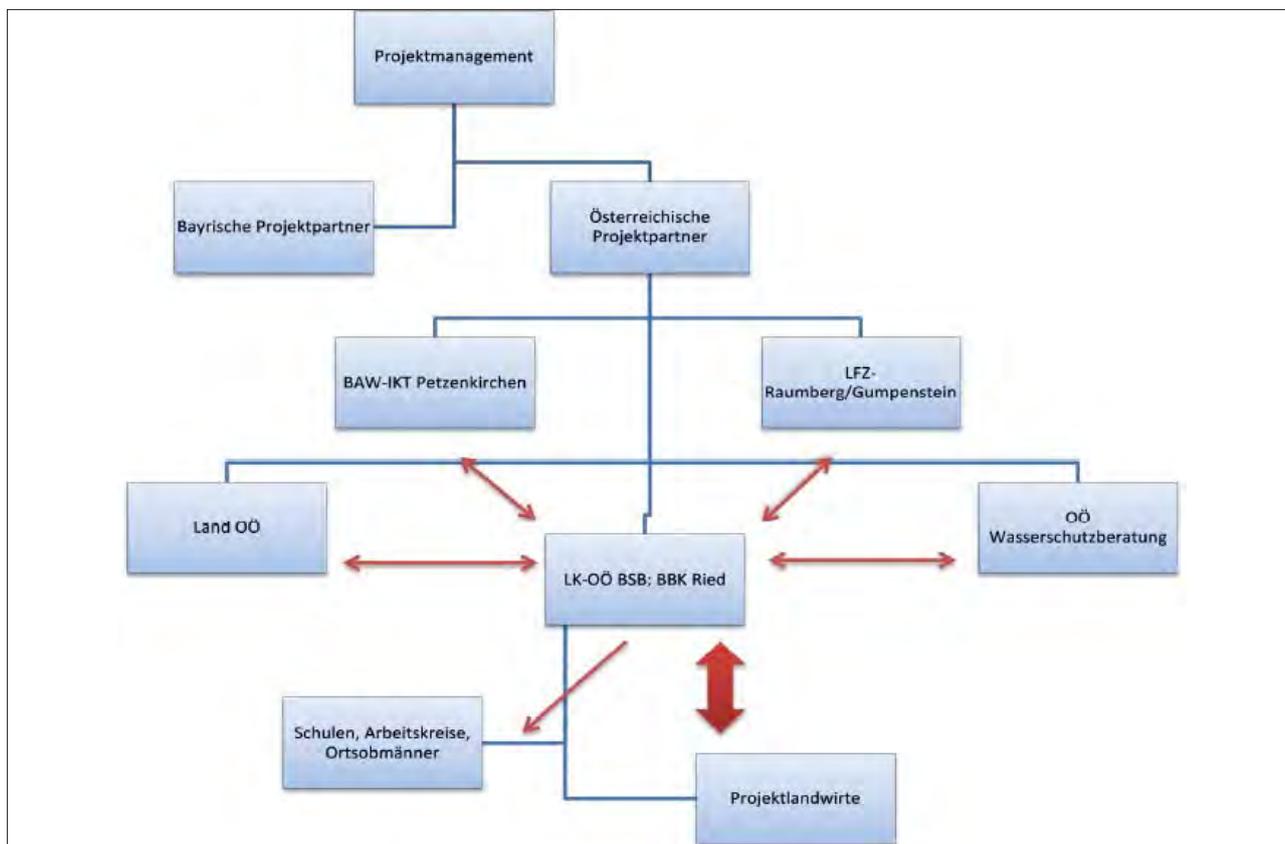


Abbildung 1: Graphische Darstellung Projektpartner

¹ Bezirksbauernkammer Ried im Innkreis, Volksfestplatz 1, A-4910 RIED IM INNKREIS

* Ansprechpartner: Ing. Christoph Schneiderbauer, christoph.schneiderbauer@lk-ooe.at

Umsetzung des InterReg Projektes

Aus Sicht der Beratung teilt sich der Projektablauf in vier große Blöcke auf:

1. Start-, Initialphase;

In der ersten Phase stand, neben der Auswahl des Projektgebietes, hauptsächlich die Information und Gewinnung der betroffenen Landwirte und Grundeigentümer im Vordergrund. Mit den durchgeführten Messungen und Untersuchungen im Gebiet sind die Projektpartner auf die Zustimmung der Landwirtschaft angewiesen. Daher wurde eine entsprechend intensive Lobbying Arbeit bei den Landwirten betrieben. Es konnten dadurch alle betroffenen Bewirtschafter dahingehend überzeugt werden, ihre Flächen die im Projektgebiet liegen, einzubringen.

Für die durchgeführten Kartierungen, Untersuchungen, Messungen, ... standen somit 100% der Fläche im ausgewählten Gebiet zur Verfügung.

2. Erhebung der Ausgangssituation;

Die zweite Phase des Projektes hatte die Datenerhebung der bisherigen Bewirtschaftungspraxis im Vordergrund. Dazu wurde ein Parameterkatalog erstellt. Hinzu kam die GIS-Codierung der Feldstücke und Schläge um die Daten eindeutig zuweisen zu können. Dies war auch für die Datenaufbereitung und Dokumentation der Bodenproben und deren Ergebnisse sehr hilfreich.

3. Maßnahmen und Kleinflächenversuche;

In diesem dritten Block werden mittels verschiedener Ansatzpunkte Maßnahmen zur Verbesserung der Situation untersucht und auf Praxistauglichkeit geprüft.

4. Ergebnispräsentation und Berichtslegung;

Natürlich werden den Projektlandwirten zeitnah, wenn möglich Ergebnisse und Diskussionspunkte aus dem InterReg Projekt vorgelegt bzw. bei Veranstaltungen erörtert. Der Großteil der Ergebnisse kann trotzdem erst 2012 kommuniziert werden. Der Schwerpunkt bei der Aufbereitung und Darlegung der Messergebnisse liegt hier sicherlich auf wissenschaftlicher Seite und wird durch die Beratungsseite mit den Landwirten auf Umsetzungstauglichkeit geprüft werden müssen.

Start-, Initialphase

Um alle Projektlandwirte in der Startphase zu erreichen, wurden zwei Informationsveranstaltungen durchgeführt. Weiters wurden durch Betriebsbesuche in intensiven Gesprächen die Angebote aus dem Projekt für die betroffenen Landwirte und deren Erwartungshaltung am Projektnutzen und Projektverlauf diskutiert. Letztendlich konnte von 100%

der Betriebsführer die schriftliche Einverständniserklärung zur Verwendung der betrieblichen Daten für die notwendigen Erhebungen und Auswertungen eingeholt werden.

Die von den Projektlandwirten insgesamt bewirtschaftete landwirtschaftliche Nutzfläche beläuft sich auf rund 755 ha. Hiervon sind ca. 28% durch das Projektgebiet erfasst. Die Aufteilung der Projektgebietsfläche ist in *Tabelle 1* ersichtlich.

Erhebung der Ausgangssituation

Zur Erhebung der vorhandenen IST-Situation wurden zum einen 606 Bodenproben gezogen und durch die LFZ-Raumberg-Gumpenstein ausgewertet. Die somit zur Verfügung stehende Fülle an Bodendaten wurde für die Projektlandwirte aufbereitet und in das bekannte Gehaltsklassensystem transferiert. Somit konnten den Landwirten, als ein Projekt nutzen, die Bodenprobenergebnisse in tabellarischer Form und in grafisch aufbereiteten Luftbildkarten ausgehändigt werden. Für die lückenlose Nachvollziehbarkeit wurden alle Probenstellen mittels GPS verortet und in einem GIS-Programm dargestellt.

Diese Bodenprobenergebnisse dienen weiterführend als Grundlage für die Düngeplanung, -berechnung wie sie die LK-OÖ anbietet. Zum Anderen wurden die bisherigen Bewirtschaftungsdaten mit Schwerpunkt auf die Begrünungskulturen - und weniger auf die Hauptfrüchte - EDV gestützt anhand eines Parameterkataloges erhoben.

Abgerundet wurde diese Projektphase mit Vorträgen, Exkursionen und Begehungen im Projektgebiet rund um das Thema Erosionsschutz im Ackerbau.

Maßnahmen – Versuche

Aufbauend auf die intensiven Beratungsgespräche im Rahmen der IST-Zustand Erhebung mit den Landwirten und ersten Ergebnissen aus den Berechnungsversuchen im Frühjahr 2011, bot sich die Möglichkeit einer flächendeckenden Begrünung im Winterhalbjahr 2011-12 zu generieren.

Durch die Winterbegrünungsaktion 2011 konnten somit 100% der Flächen mit sommerräumenden Früchten, auf denen in der kommenden Vegetationsperiode eine Maisausaat geplant ist, mit abfrostenden Kulturen begrünt werden. Wie wurde dies möglich?

- Den Projektlandwirten wurde für die 2012 geplante Maisausaatfläche Begrünungssaatgut zur Verfügung gestellt.
- Franz Xaver Hölzl, Bodenschutzberatung der LÖK-OÖ, hat beim Gruppentreffen am 16. Juni 2011 die Landwirte zu den Aussaatkriterien für die jeweiligen Begrünungsmischungen informiert und geschult.

Tabelle 1: Aufteilung der Projektgebietsfläche

	Fläche im Projektgebiet	Gesamte landw. Nutzfläche der Projektlandwirte	Ø Projekt-LN-Anteil in % je LW
Ackerland	180,41 ha	608,41 ha	30%
Grünland, Streuobstgärten	34,63 ha	146,55 ha	24%
Wald, Uferstrandzonen, Bachläufe, Baumschule	35,66 ha		
Gebäude-Hofflächen, Straßen, ...	11,83 ha		
Σ LN	262,53 ha	754,96 ha	28%

Tabelle 2: Aufteilung der Begrünungssaatgutmischungen

Saatgut-Mischung	Anteil an Begrünungsfläche
Senf	11%
Senf, Ölrettich	32%
Senf, Phacelia	10%
Alexandrin Klee, Phacelia	11%
Alexandrin Klee	5%
Ölrettich, Alexandrin Klee	4%
Senf, Buchweizen	21%
Wassergüte früh	7%

Tabelle 3: Entwicklung der Winterbegrünungsfläche im Projektgebiet

	Winterhalbjahr 2010-11 in ha	Winterhalbjahr 2011-12 in ha	% Veränderung zum Vorjahr
Wintergetreide	98,55	88,03	-11%
Begrünung	54,61	80,41	47%
Schwarzbrache	27,09	11,81	-56%
	180,25	180,25	

Von den Projektlandwirten wurde auf ca. 71 ha der Projektschläge eine Maisaussaat geplant und dementsprechend begrünt. Die Aufteilung der verschiedenen ausgegebenen Begrünungssaatgutmischungen ist in *Tabelle 2* ersichtlich.

Gleichzeitig konnte mit der Winterbegrünungsaktion 2011 eine signifikante Steigerung der begrünten Fläche im Projektgebiet erreicht werden (*Tabelle 3*). Als Zusatznutzen wurden auch die Schwarzbracheflächen stark reduziert. Leider wurden aufgrund der 5-Jahres-Fristen für die automatische Grünlanddefinition einige Schläge im Herbst gepflügt um den Ackerlandstatus nicht zu verlieren. Interessant wäre

die Entwicklung der dauerbegrünten Schläge bei Wegfall dieser Regelung.

Um für die Überarbeitung der Bodenabtraggleichung und der Erstellung von Beratungsunterlagen entsprechendes Material zur Verfügung zu haben, werden:

- neben der Dokumentation der Entwicklung der Begrünungskulturen auch die im Sommer/Herbst 2011 angelegten winterharten Hauptkulturen bildtechnisch aufgenommen
- nur sachgerechte Auswertungen der Entwicklungsdaten Vorfrucht, Aussaatzeitpunkt, Aussaatmenge, Aussaattechnik und vorausgehende Bodenbearbeitung und Düngemengen erhoben
- die Begrünungs- und Hauptkulturen in laufenden Abständen bis ins Frühjahr 2012 begleitet.

Ergebnisse

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Landwirtschaft an sich offen ist für praxisorientierte Projekte, jedoch bedarf es einer intensiven Informations- und Lobbying Arbeit um eine 100% Teilnahme zu erreichen. Als ein zentrales Element kann man die eingeforderte Einbeziehung der Landwirte in die Durchführung der Versuche und deren abschließende Interpretation betrachten. Großflächige Maßnahmen werden gerne umgesetzt, wenn neben den ökologischen Aspekten auch eine deutliche ökonomische Komponente vorhanden ist. Ein intensiver Informationsaustausch zwischen Wissenschaft und Praxis wäre ein Garant für praxiserprobte, zeitnah kommunizierbare Ergebnisse. Um die so erarbeiteten Maßnahmen erfolgreich in Umsetzung zu bringen ist eine Bewusstseinsbildung auf allen mitwirkenden Ebenen unumgänglich.

Bewusstseinsbildende Maßnahmen für einen nachhaltigen Grundwasserschutz am Beispiel der Feldkapazität als wesentlichen Parameter für die Düngeberatung

Alexander Beichler^{1*}, Albert Bernsteiner¹ und Johannes Maßwohl¹

Zusammenfassung

Die österreichische Trinkwasserverordnung regelt die Anforderungen an die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Die Auswirkung von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Grundwasserqualität ist sehr komplex. Für die effiziente Umsetzung Grundwasser schonender Maßnahmen in der Landwirtschaft ist ein hohes Maß an Akzeptanz und Problembewusstsein bei den Landwirten erforderlich. Als zentrales Element des landwirtschaftlichen Grundwasserschutzes ist die standort- und bedarfsgerechte Düngebemessung zu nennen. An Hand des ausgewählten Projektgebietes wurden bestimmte Parameter zur Einstufung der Böden hinsichtlich der Düngebemessung verglichen. Der Zusammenhang von Bodenbonität und standörtlichem Risiko einer Nitratwaschung ist hierbei von entscheidender Bedeutung.

Summary

To protect and to improve the quality of drinking water there is a host of decrees, e.g. the Austrian drinking water regulation. In Austria, agriculture is the most important type of land use. Due to changes in agricultural land use practices and increasing fertilization, the nitrate concentration in ground water exceeded legal limits. Due to ecological and economical reasons, fertilization has to be oriented on the nutritional requirement of the plants. Geographical information systems (GIS) help to estimate nitrogen leaching. Therefore, these systems can serve as basis for evaluation of different fertilization practices. Particularly the soil water capacities of different soils have to be mentioned. In this context, effects resulting from the modification of several parameters are shown.

Einleitung

Der tolerierbare WHO-Richtwert für Trinkwasser, der bis 1970 vorsorglich mit 100 mg/l festgesetzt war, wurde 1980 auf 50 mg/l halbiert und europaweit als politischer Grenzwert festgelegt.

Dementsprechend liegt der aktuelle Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser laut der österreichischen Trinkwasserverordnung bei 50 mg/l. In der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser, welche die Grundwasserschwellenwertverordnung abgelöst hat, wurde der bisherige Vorsorgewert von 45 mg/l beibehalten.

Mit dem zunehmenden Gesundheitsbewusstsein und der Halbierung des Grenzwertes wurde eine Fülle von Maßnahmen zur Sicherstellung des Vorsorgewertes von 45 mg/l gesetzt. Gleichzeitig wurden intensive Forschungen zum Grundwasserschutz betrieben. Als Resultat dieser Bemühungen sind diese Maßnahmen in Österreich in der QZV Chemie GW zusammengefasst. Bei der Erlassung von konkreten Programmen hat der Landeshauptmann aus den Nutzungsbeschränkungen oder Reinhaltemaßnahmen die geeigneten Maßnahmen für die Bewirtschaftung (Einhaltung von Düngungsrichtlinien, Erstellung von Nährstoffbilanzen, schlagbezogene Düngeaufzeichnungen, Düngeverbotszeiträume, Anlage von Begrünungen, verpflichtende Weiterbildungsmaßnahmen etc.) auszuwählen.

Problemstellung

Die effiziente Umsetzung Grundwasser schonender Maßnahmen in der Landwirtschaft erfordert ein hohes Maß an Akzeptanz und Problembewusstsein bei den betroffenen Landwirten. Diese erreicht man durch zielwirksame, nachvollziehbare, möglichst unbürokratische, praktikable und in den Betriebsablauf integrierbare Maßnahmen.

Die derzeit gültigen Bestimmungen in den Schongebietsverordnungen erfüllen nur zum Teil diese Kriterien, haben eine schlechte Akzeptanz und verringern dadurch das Problembewusstsein für den Grundwasserschutz.

Das zentrale Element des landwirtschaftlichen Grundwasserschutzes ist eine standort- und bedarfsgerechte Düngebemessung. Die standörtlichen Gegebenheiten können mit dem Parameter der „nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes“ (nFK Wr) beschrieben werden.

Die Berücksichtigung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) in der Düngerbemessung könnte sowohl aus ökonomischer wie auch aus ökologischer Sicht eine zielwirksame, nachvollziehbare und Bewusstsein bildende Maßnahme darstellen. Eine wichtige Kenngröße für die Bestimmung des Bodenwasserhaushaltes ist die Abfolge von Wasserzufuhr zum Boden und die Wasserabfuhr aus dem Boden im Laufe eines Jahres. Verantwortlich für diese Dynamik sind Klima, Vegetation sowie die Böden selbst. Mit den Kennzahlen der

¹ Landwirtschaftskammer Steiermark, Hamerlinggasse 3, A-8010 GRAZ

* Ansprechpartner: DI Albert Bernsteiner, albert.bernteiner@lfi-steiermark.at

Feldkapazität, der nutzbaren Feldkapazität und der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes lassen sich u. a. das Wasserspeichervermögen, das pflanzenverfügbare Wasser sowie die Austragsgefährdung für Nitrat ableiten und zahlenmäßig erfassen.

Feldkapazität

Wenn die Wasserzufuhr z. B. nach länger andauernden Niederschlag beendet ist, verändert sich der Wassergehalt im Bodenprofil allmählich in Richtung auf ein gleiches hydraulisches Potential. Diese Verteilung des Wassers verläuft meist nicht gleichmäßig, sondern verlangsamt sich nach 1 bis 2 Tagen so stark, dass das Erreichen eines Gleichgewichtes vermutet werden könnte. Der Wassergehalt, bei dem dieser Zustand auftritt wird als Feldkapazität bezeichnet (vgl. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992).

Nutzbare Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes

Die nutzbare Feldkapazität eines Bodens bzw. Horizontes ist der Teil der Feldkapazität, der für die Vegetation verfügbar ist. Sie beinhaltet damit die Wassermenge, die ein grundwasserferner Horizont in natürlicher Lagerung bei Saugspannungen von pF 1,8 bis 4,2 nach ausreichender Sättigung gegen die Schwerkraft zurückhalten kann (vgl. FRIEDRICH und VORDERBRÜGGE 2003).

Die entscheidende Eigenschaft des Bodens für die Wasserversorgung von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ist hierbei die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes. Der effektive Wurzelraum hängt von der Boden- und Pflanzenart ab.

Diskussion der Ergebnisse

Für das ausgewählte Gebiet (ca. 138 ha) in Goritz bei Radkersburg innerhalb der Grenzen des Porengrundwasserkörpers „Unteres Murtal“ sind die nachfolgend beschriebenen Bodenverhältnisse verglichen worden. Als Datenquellen zu den Bodenverhältnissen der landwirtschaftlich genutzten Flächen dienten die Angaben der Österreichischen Bodenkartierung (ÖBK) und die Angaben der Finanzbodenschätzung. In den nachfolgenden Grafiken werden die Parameter nutzbare Feldkapazität, Bodenzahl, Wertigkeit des Ackerlandes und Durchlässigkeit des Bodens für das ausgewählte Gebiet verglichen.

Anhand der errechneten mittleren nFK-Werte für die einzelnen Klassen des Ackerschätzungsrahmens und der

vorgenommenen Klassifizierung ergeben sich für das ausgewählte Gebiet folgende Einstufungen für die Errechnung der zulässigen Düngemengen (vgl. *Tabelle 1*).

Anhand der *Abbildung 1* lassen sich folgende Interpretationen ableiten:

- Im Projektgebiet Goritz bei Radkersburg sind laut ÖBK drei Durchlässigkeitsstufen (3 - gering; 5 - mäßig; 7 - hoch) der 9-stufigen Skala vorhanden. Diese sind flächenmäßig in etwa gleich verteilt. In der Auswertung nach der Schongebietsverordnung überwiegen die gering austragsgefährdeten Böden (vgl. Grafiken 1.1 und 1.2).
- Im Vergleich der nutzbaren Feldkapazität nach ÖBK mit der Berechnung der nutzbaren Feldkapazität über die Finanzschätzungskarte nach VORDERBRÜGGE et al. (vgl. Grafiken 1.3 und 1.4) ergeben sich scheinbar sehr große Differenzen. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Bewertungen auf unterschiedlichen Wurzelraumtiefen und Klassen basieren (s. *Tabelle 1*).
- Im Vergleich der Bonitäten der landwirtschaftlichen Nutzflächen nach ÖBK bzw. nach Bodenzahlen sind kaum Übereinstimmungen gegeben (vgl. Grafiken 1.5 und 1.6). Entsprechend den Regelungen für die Einschätzung der Ertragslage auf Ackerflächen nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ ist eine Ertragslage „hoch“ nur möglich wenn
 - der natürliche Bodenwert nach den Ergebnissen der ÖBK nicht als geringwertiges Ackerland ausgewiesen ist oder
 - die Ackerzahl > 30 ist oder
 - die Bodenklimazahl > 30 ist.

Die Klasseneinteilung der Bodenzahlen (vgl. *Tabelle 1*) erfolgte auf Grundlage des Österreichischen Ackerschätzungsrahmens bzw. unter Berücksichtigung der nutzbaren Feldkapazität in Anlehnung nach VORDERBRÜGGE et al. 2004.

Schlussfolgerung

Auf Grund der unterschiedlichen Bonitätseinstufungen ist die Grundwasser verträgliche Düngebemessung derzeit nicht ausreichend differenziert. Die Erkenntnis des Zusammenhangs von Bodenbonität und standörtlichem Risiko einer Nitratauswaschung ist für den flächendeckenden Grundwasserschutz von entscheidender Bedeutung. Die Erweiterung der Düngungseinstufung um den Parameter „nutzbare Feldkapazität“ scheint angebracht. Letztendlich sind regionale Gegebenheiten (Klima, Witterung, tatsächliche Erträge, bisherige Bewirtschaftung, Betriebsstruktur

Tabelle 1: Einstufung der Böden anhand verschiedener Parameter hinsichtlich der Düngebemessung

Parameter	niedrig	Düngung mittel	hoch
nFK Wr in Anlehnung an Vorderbrügge	gering (< 90)	mittel (90 – 140)	hoch (> 140)
nFK nach ÖBK	gering (< 140)	mittel (140 – 220)	hoch (> 220)
Bodenzahl (BZ), eigene Einstufung	< 40	40 – 56	> 56
Wertigkeit des Ackerlandes (ÖBK)	gering	mittel	hoch
Durchlässigkeit (ÖBK)	hoch	mäßig	gering
Austragsgefährdung nach SchongebietsVO	sehr hoch	hoch	mäßig

Quelle: LK Umweltberatung, 2011

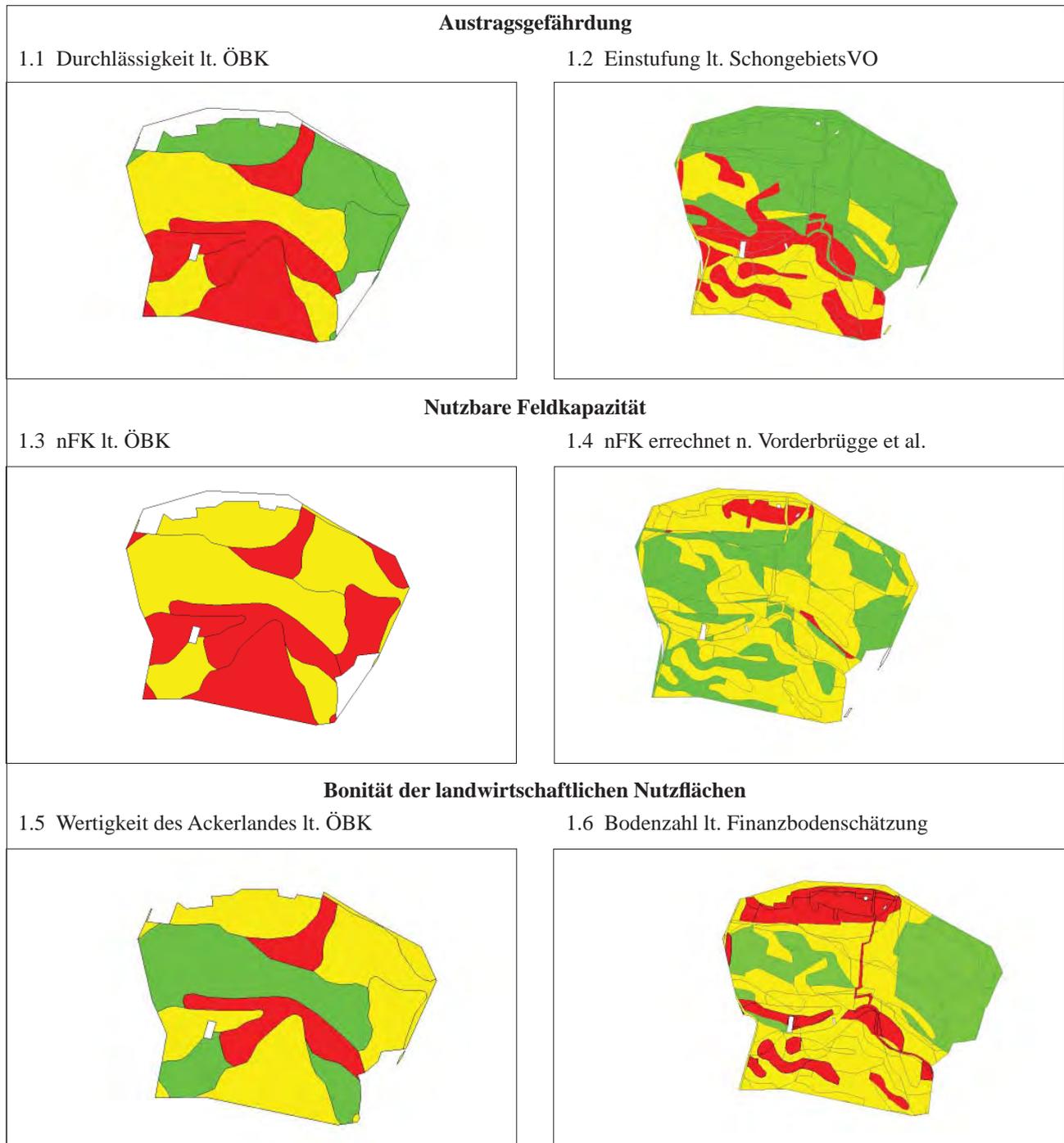


Abbildung 1: Einstufung der Böden anhand verschiedener Parameter hinsichtlich der Düngebemessung im Projektgebiet Goritz bei Radkersburg; Quelle: Umweltberatung 2011, Datengrundlage: BFW (Digitale Bodenkarte von Österreich), BMF (Digitale Schätzungskarte der Finanzbodenschätzung)

etc.) für die Düngebemessung maßgebend. Lokale Standortgegebenheiten liegen in der Kenntnis des Landwirtes und sind für die Düngeberatung sehr wertvoll. Ein verantwortungsbewusster Umgang mit diesen Kenntnissen aus Wissenschaft und Erfahrung ist die Grundlage für einen Grundwasser schonenden Ackerbau. Die „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ bieten diesbezüglich eine fundierte Grundlage für die zahlenmäßige Einstufung der

Düngung an die Standortfaktoren (vgl. Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 2006). Darüber hinaus können weitere Maßnahmen zur Reduzierung des Stickstoffeintrages in das Grundwasser beitragen (s. Tabelle 2).

Die Akzeptanz bzw. Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen wird sehr stark von den betriebsspezifischen Gegebenheiten beeinflusst. Um das Bewusstsein für einen nachhaltigen Grundwasserschutz zu stärken, sind ein entsprechendes

Tabelle 2: Wirkung von ausgewählten Maßnahmen zur Vermeidung von Stickstoffeintrag in das Grundwasser

Maßnahme	Beurteilung ¹⁾	Kontrollierbarkeit
Verbot der N-Düngung zur Strohhütte im Herbst	3	3
Erhöhung der Lagerkapazität für flüssigen Wirtschaftsdünger	3	3
Stillelegung mit gezielter Begrünung	3	3
Umwandlung von Ackerland in extensives Grünland	3	3
problemorientierte bzw. einzelbetriebliche Beratung	3	3
flächendeckende Einstufung der Böden hinsichtlich ihres Auswaschungsrisikos	3	3
Weiterbildung von Landwirten	2	3
maßnahmenbezogene Förderungen	2	3
Anlage eines Testflächennetzes zur N-Dynamik und zur Prognose der N _{min} -Gehalte im Frühjahr und Ableitung von N-Düngungsempfehlungen	2	3
Bewirtschaftung nach Kriterien des Ökologischen Landbaus	2	3
Führen und Auswerten einer Schlagkartei	2	3
Zwischenfruchtanbau ohne Leguminosen	2	3
Einschränkung der Anbaudüngung auf hoch austragsgefährdeten Flächen	3	1
N-Düngung in Abhängigkeit von Ertrag und Qualität	2	1
Einsatz von N-Düngern mit verzögerter Wirkung	1	1
Einsatz von Nitrifikationshemmern in Gülle	1	2
verlustarme und Boden schonende Ausbringtechnik	1	3
Gülleverteilung nach Ausbringungsplan	2	2

¹⁾Beurteilung: 1 = gering, 2 = gut, 3 = sehr gut; Quelle: in Anlehnung an Schaumberg G., 2009

Fachwissen und das Bekenntnis zum Grundwasserschutz erforderlich.

Folgende Inhalte sind in Bewusstsein bildenden Maßnahmen zu vermitteln:

- Wissen über die Ertragsfähigkeit der Böden (Bodenprofile, Versuche, Testflächennetz etc.)
- Wissen über die Austragsgefährdung der Böden (z. B. Grundwasserkarten, Schätzungskarten, eBod)
- Wissen über die Bodendauereigenschaften (Gründigkeit, Bodenschwere, Wasserverhältnisse etc.)
- Wirkungsweise der Düngemittel (Wirtschaftsdünger, Mineraldünger)
- Berücksichtigung der Witterungsbedingungen bei der Düngung
- Ausbringzeiten und Verbotszeiträume für die Düngung
- pflanzenbauliche Kenntnisse (Nährstoffbedarf der Kulturen, Vorfruchtwirkungen, Kulturführung)

Diese Maßnahmen sind in der Beratung wesentlich und können beliebig erweitert werden. Wichtig hierbei ist vor allem, dass auch jene Betriebe erreicht werden, die bis dato das Beratungsangebot nur sehr spärlich in Anspruch genommen haben.

Literatur

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT [Hrsg.], 2006: Richtlini-

en für die Sachgerechte Düngung, Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft, 6. Auflage, Wien 2006, S. 22, 27.

FRIEDRICH, K. und T. VORDERBRÜGGE, 2003: Nutzbare Feldkapazität des Bodens bis 100 cm, 1.7.2003, in: www.hlug.de

SCHAUMBERG, G. et al., 2009: Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) und Landwirtschaft, Positionspapier mit Maßnahmenvorschlägen zum Bereich Pflanzenbau. In: Landwirtschaft und Wasserrahmenrichtlinie – Wie sollen die Ziele der ersten Maßnahmenprogramme erreicht werden? Tagung der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume, 25. bis 26. März 2009 in Bad Kissingen, S. 17 ff.

SCHEFFER F./SCHACHTSCHABEL, P., 1992: Lehrbuch der Bodenkunde, 13., durchgesehene Auflage von P. Schachtschabel et al., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1992, S. 191, 197.

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW), BGBl. II 2010/98 idGF.

Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TWV), BGBl. II 2001/304 idGF.

Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 9. Dezember 2008, mit der die Verordnung betreffend das Grundwasserschongebiet zum Schutz der Wasserversorgungsanlagen der Stadtgemeinde Bad Radkersburg geändert wird, LGBl. Nr. 121/2008.

VORDERBRÜGGE, T. et al., 2004: Ableitung der nutzbaren Feldkapazität aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung. In: DBG-Mitteilungen 2004, Bd. 104, S. 33-34.

