



Das INTERREG IV A-Projekt “Gewässer-Zukunft“ 2009 – 2013

**Ausgewählte Ergebnisse aus den Einzugsgebieten des
Waginger und Tachinger Sees (Bayern) und der Antiesen
(Oberösterreich)**





Das INTERREG IV A-Projekt “Gewässer-Zukunft“ 2009 – 2013

**Ausgewählte Ergebnisse aus den Einzugsgebieten des
Waginger und Tachinger Sees (Bayern) und der Antiesen
(Oberösterreich)**



Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziert.

IMPRESSUM

Medieninhaber und Herausgeber:
HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 Irdning
des Bundesministerium für Land- und
Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Für den Inhalt verantwortlich:
Für die einzelnen Beiträge zeichnen die jeweiligen Autoren verantwortlich

Redaktion:
Dr. Andreas Bohner, Dr. Volker Prasuhn, Brigitte Marold

Titelbild:
oben: Landzunge zwischen Waginger und Tachinger See (Tourist Information Waging)
unten: Kulturlandschaft im Teileinzugsgebiet der Antiesen (Christoph Schneiderbauer, BBK Ried)

Druck:
Robert Deli / drugra - druck + grafik, Döllacher Straße 2, A-8940 Liezen

Download unter:
www.raumberg-gumpenstein.at

© HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Österreich
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 13: 978-3-902559-91-3

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

M. Huber

H. Brunner

J. Pühringer, M. Hiegelsberger und R. Anschober

Das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ – ein oberösterreichisch-bayerisches Gemeinschaftsprojekt für den Gewässerschutz M. Berger-Stöckl	1
Entwicklung der Nährstoffsituation in oberösterreichischen Fließgewässern B. Gstöttner	29
Entwicklung der Wasserqualität stehender Gewässer in Bayern in Hinblick auf Nährstoffe / Schwerpunkt Waginger-Tachinger See S. Trautwein	37
Phosphor in landwirtschaftlich genutzten Böden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen im oberösterreichischen Innviertel A. Bohner, C. Huemer, J. Schaumberger und P. Liebhard	45
Wirksamkeit konservierender Bodenbearbeitungsverfahren zur Reduktion von Oberflächenabfluss und Bodenerosion R. Hösl und P. Strauss	59
Wirkung bodennaher Gülleausbringung auf den Phosphorausstrag in Drainagen P. Strauss, R. Hösl, A. Eder, M. Forster, H. Ulrich und E. Murer	69
BoBB – Bodenerosion, Beratung und Berechnung – Ein Werkzeug zur Unterstützung der landwirtschaftlichen Beratungspraxis P. Strauss, R. Hösl und J. Devaty	79
Beratungsmaßnahmen und Ergebnisse der Umsetzung im Einzugsgebiet der Antiesen C. Schneiderbauer und F.-X. Hölzl	93
Untersuchungen zum Phosphor-Austrag aus drainierten Grünlandböden im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees S. Mühlbacher-Kreuzer, H. Ulrich, B. Glatzenberger und M. Forster	109
Methode und Ergebnisse der Seenschutzberatung am Waginger und Tachinger See M. Parzinger und R. Oehler	121
Projektpartnerverzeichnis	139

Vorwort

Das bayerisch-österreichische Alpenvorland ist reich an Seen, die das Landschaftsbild prägen. Ihre Flora und Fauna zu bewahren liegt nicht nur im Interesse der Natur, sondern auch im Interesse der Menschen, die dort leben und arbeiten. Die Schönheit und die Attraktivität der Region um den Waginger See ist zugleich auch eine wichtige Grundlage für den Fremdenverkehr.



Wie auch in vielen anderen Gewässern war der Nährstoffeintrag in den Waginger See in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts stark angestiegen. Dank großer, vom Freistaat Bayern geförderter Anstrengungen der Kommunen in der Abwasserreinigung und -fernhaltung hat sich die Wasserqualität des Waginger Sees verbessert. Noch aber sind die Umweltziele nach EG-Wasserrahmenrichtlinie nicht erreicht.

Mit dem INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ wurde daher ein Maßnahmen- und Untersuchungsprogramm zur Landbewirtschaftung angestoßen, um den Nährstoffeintrag in den See weiter zu reduzieren. Die gewonnenen Ergebnisse können zugleich pilothaft der Verbesserung anderer Seen dienen.

Alle Beteiligten - in Österreich wie in Bayern, Landwirtschaft wie Wasserwirtschaft - haben hierbei an einem Strang gezogen. Mein besonderer Dank gilt den Landwirten, die Flächen für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt haben. Das starke Engagement für den Waginger See vor Ort zeigt u.a. den Zusammenschluss der anliegenden Gemeinden zum „Seenbündnis Waginger-Tachinger See“ während der Projektlaufzeit.

Auf dieser gemeinsamen Basis von Landwirten, Gemeinden und Behörden werden wir den guten Zustand des Waginger Sees erreichen: Lassen Sie uns gemeinschaftlich an der Zukunft des Waginger Sees arbeiten!



Dr. Marcel Huber MdL
Bayerischer Staatsminister
für Umwelt und Gesundheit

Vorwort

Sie halten den Abschlussbericht des INTERREG IV A-Projektes "Gewässer-Zukunft" in Händen. Ziel des dreijährigen Projektes war die Reduzierung des Phosphoreintrages aus der landwirtschaftlich genutzten Fläche, um die Gewässerqualität des Waginger Sees zu verbessern und den nach EG-Wasserrahmenrichtlinie geforderten guten ökologischen Zustand zu erreichen. Die besondere geologische Situation am Waginger See mit undurchlässiger Grundmoräne, dichtem Gewässernetz und den für die landwirtschaftliche Nutzung erforderlichen Drainagesystemen begünstigt den Phosphoreintrag in den See. Daher stand im Mittelpunkt des Projekts die intensive Zusammenarbeit mit den Landwirten der Region.



Im Projektzeitraum hat fast die Hälfte aller angefragten landwirtschaftlichen Betriebe im 7 200 Hektar großen Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees eine einzelbetriebliche Seenschutzberatung in Anspruch genommen. Dies alleine zeigt schon die Verbundenheit der Landwirte mit ihrem See. Schwerpunkt der einzelbetrieblichen Beratung war eine Optimierung der Düngeplanung, die neben einem verbesserten Gewässerschutz auch betriebswirtschaftliche Vorteile mit sich bringt. Daneben wurden zusammen mit dem kommunalen „Seenbündnis Waginger-Tachinger See“ weitere Ansatzpunkte für Verbesserungsmaßnahmen angestoßen und so auf den Weg gebracht. Die Zusammenarbeit im Rahmen des INTERREG-Projektes mit der Partnerregion im oberösterreichischen Innviertel hat wichtige Impulse gesetzt. Ich hoffe, dass der fachliche Austausch auch nach Abschluss dieses Projekts fortgesetzt wird.

Ich danke allen Projektpartnern, insbesondere den Landwirten, die freiwillig aktiv am Gelingen dieses Projektes mitgewirkt haben. Ich bin zuversichtlich, dass wir die notwendige Gewässerqualität erreichen können, wenn alle Beteiligten vor Ort auch in Zukunft an einem Strang ziehen.



Helmut Brunner
Bayerischer Staatsminister
für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Vorwort

Das "Land am Rande der Alpen", das bayerisch - österreichische Alpenvorland, ist eine Region von besonderem Interesse. Die teils ebenen, teils hügeligen Landschaften, das Klima, die guten Böden und die Gewässer haben zu einer relativ dichten Besiedelung und einer starken landwirtschaftlichen Prägung dieses Raumes geführt.

Die Intensivierung und Ausdehnung der landwirtschaftlichen Produktion in Richtung der Gewässer des Alpenvorlandes bewirkte verstärkte Nährstoffeinträge und Qualitätsverluste der Gewässer.

Mit der europäischen Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahr 2000 wurde als zentrales Ziel der "gute Zustand" für unsere Seen und Flüsse festgelegt. Dieses Ziel wird an einigen Gewässern durch erosionsbedingte Einträge von Bodenpartikeln und Nährstoffen gefährdet. Die Einträge in die Fließgewässer und Seen stehen überwiegend in Verbindung mit Stoffausträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen und dem Verlust von Boden, der wertvollen landwirtschaftlichen Produktionsgrundlage.

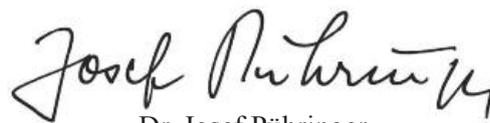
Um den Zustand der Gewässer zu verbessern, wurde von Bayern und Oberösterreich gemeinsam das INTERRG IV A-Projekt "Gewässer-Zukunft" ins Leben gerufen und auf oberösterreichischer Seite ein Teileinzugsgebiet der Antiesen als Modelleinzugsgebiet ausgewählt. Eine zentrale Rolle spielt dabei der Phosphor, welcher einerseits einen wichtigen Pflanzennährstoff für die Landwirtschaft darstellt, andererseits hingegen in den Gewässern zu Überdüngung führt.

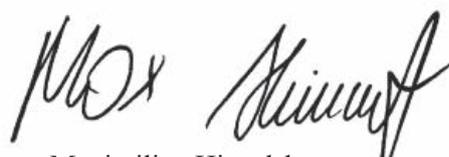
Im Rahmen dieses Projektes wurde in Bayern und Oberösterreich ein weiterer Schritt in der Zusammenarbeit von Landwirtschaft und Gewässerschutz getan, um ein Nebeneinander der unterschiedlichen Systeme - landwirtschaftliche Produktionsfläche und nährstoffarmes Fließgewässer - zu ermöglichen.

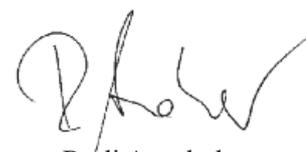
Alle Beteiligten haben an einem Strang gezogen, um weitere Erkenntnisse in der Wirkungsweise von Maßnahmen zu erlangen, den grenzüberschreitenden Erfahrungsaustausch zu fördern und verschiedene Fortbildungs- und Beratungsangebote während der Projektdauer und darüber hinaus zu installieren.

Nur wenn alle Akteure zusammenwirken und sorgfältig mit den Lebensgrundlagen umgehen, ist eine langfristige Sicherung und Erhaltung der Ressourcen Wasser und Boden möglich!




Dr. Josef Pühringer
Landeshauptmann


Maximilian Hiegelsberger
Landesrat


Rudi Anschober
Landesrat

Das INTERREG IV A-Projekt "Gewässer-Zukunft" – ein oberösterreichisch-bayerisches Gemeinschaftsprojekt für den Gewässerschutz

Marlene Berger-Stöckl

Zusammenfassung

Oberösterreichische und bayerische Wissenschaftler und Berater erarbeiteten gemeinsam das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ mit dem Ziel, den zu hohen Phosphoreintrag in die Gewässer ihrer Region zu verringern. Ein Untersuchungsgebiet im Flusseinzugsgebiet der Antiesen (Innviertel, Oberösterreich) und im Einzugsgebiet am Waginger-Tachinger See (Landkreis Traunstein, Bayern) wurden beispielgebend für dieses Projekt ausgewählt.

Ein wesentlicher Teil des Phosphoreintrags in die Antiesen gelangt diffus aus dem oberflächlichen Bodenabtrag vorwiegend von Ackerflächen in die Gewässer. Im Untersuchungsgebiet wurden die Phosphorgehalte im Boden ermittelt und grundlegende Informationen z.B. zu den austragsgefährdeten Problemflächen gesammelt. Zur Verringerung von Bodenabtrag und Abschwemmung wurde das Ziel entwickelt, insbesondere auf den sommerräumenden Flächen mit der Folgekultur Mais 100% Winterbegrünung zu erreichen. Im Winter 2011/2012 wurde erstmalig versucht, eine flächendeckende Begrünung umzusetzen. Mittels mehrerer Beregnungsversuche wurden unterschiedliche konservierende Bodenbearbeitungstechniken bei Maisanbau untersucht. Erfolgsfaktoren im Projekt waren der enge Austausch zwischen Wissenschaft und Landwirtschaft, eine schnelle Übertragung der Erkenntnisse aus den Beregnungsversuchen in die Anbaupraxis und nicht zuletzt die Bewusstseinsbildung, dass der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit durch verringerte Erosion auch im ökonomischen Interesse der Landwirte liegt. Das Projekt liefert wichtige Anstöße für einen qualitativ hochwertigen Zwischenfruchtanbau sowie ein Beratungsinstrument für erosionsmindernde Anbauverfahren, das auf weitere Regionen übertragbar ist.

Ein intensiver Dialog mit der Landwirtschaft war auch Grundlage des Projektteils am Waginger und Tachinger See. Von 440 Landwirten konnten im Projektzeitraum 150 für eine ausführliche betriebliche Erstberatung zum Seenschutz erreicht werden. Grundlage war der Maßnahmenkatalog aus dem Vorgängerprojekt mit dem Schwerpunkt gewässerschonende Düngung, Teilnahme am Kulturlandschaftsprogramm (KulaP) u.a.m., erweitert um eine Reihe von Beratungsmaßnahmen, etwa gewässerschonender Weidehaltung oder ökologischem Landbau als gesamtbetrieblicher Maßnahme. Der Eintrag von gelöstem Phosphor aus der landwirtschaftlichen Fläche ist die Hauptursache für die Eutrophierung in der Grünlandregion Waginger-Tachinger See und macht auf lange Sicht eine Senkung des Niveaus des Phosphorkreislaufs im Einzugsgebiet notwendig. Dies ist über die gute fachliche Praxis allein kaum zu erreichen und erfordert eine genaue Bilanzierung der Phosphorkreisläufe, eine verstärkte Teilnahme an Extensivierungsprogrammen wie dem KulaP, weitere freiwillige Gewässerschutzmaßnahmen in Zusammenarbeit mit Fachbehörden und Gemeinden und längere Beratungszeiträume.

In beiden Regionen wurde das Projekt von einer intensiven Öffentlichkeitsarbeit begleitet.

Summary

Upper-Austrian and Bavarian scientists and advisers worked out together the INTERREG IV A-Project "Future of Waters" with the aim of reducing the too high phosphorus discharges into their waters. An investigation area in the catchment area of the river Antiesen (Inn district, Upper Austria) and an additional one in the catchment area of a lake, Waginger-Tachinger See (District of Traunstein, Bavaria), were chosen for this project in an exemplary manner.

The phosphorus discharges into the Antiesen primarily come from surface soil erosion (diffuse discharge), above all from areas of arable land. The phosphorus content in the soil was determined and basic information was gathered on, e.g., the problem areas endangered by discharges. In a joint action with the participating farmers a goal was developed which was to prevent soil erosion and surface wash: 100% winter greening, particularly in summer-clearing areas of land with the after-crop maize. In the winter of 2011/2012 a first attempt was made to realize an area-wide greening. By means of several sprinkling-tests different, preserving techniques of soil cultivation were tested with regard to maize cultivation. What made the project successful were the close co-operation of science and agriculture, a rapid transfer of knowledge gained in the sprink-

ling-tests to cultivation practices and, last but not least, the realization that the preservation of soil fertility through reduced erosion lies also in the economic interest of the farmers. The project has furnished important facts that prompt high-quality intercropping, as well as an advisory instrument for erosion-reducing cultivation methods which can also be transferred to other regions.

Equally at Waginger-Tachinger See an intensive dialogue with the farmers was the basis of one part of the project. Out of 440 farmers, 150 could be won during the project period for a detailed initial consultation concerning the protection of lakes. This consultation was based on the measure catalogue of the preceding project concentrating on fertilization that does not pollute waters, on participation in the cultural landscape programme KulaP and so on. A number of consultation measures were added to the catalogue, such as water-friendly pasture management or a complete switch-over to ecological farming.

The discharge of dissolved phosphorus coming from areas under cultivation is the main cause of eutrophication in the meadowland of Waginger-Tachinger See and demands a long-term lowering of the phosphorus level in the catchment area. This can hardly be reached by good professional farming alone, but also demands a precise accounting of the phosphorus cycles, a growing participation in programmes for more extensive farming such as KulaP, further voluntary measures for the protection of waters in co-operation with the responsible authorities and communities as well as longer periods of consultation.

In both regions (Upper Austria and Bavaria) the project was accompanied by intensive PR-activities.

1. Einleitung

Im INTERREG IV A-Projekt "Gewässer-Zukunft" arbeiteten unterschiedliche österreichische und bayerische Akteure von Dezember 2009 bis März 2013 zusammen, um in ausgewählten Regionen in Oberösterreich und Bayern neue Erkenntnisse zur Verbesserung der Gewässerqualität zu erlangen und umzusetzen sowie Fachwissen auszutauschen. In Oberösterreich wurde als Projektgebiet ein Teilbereich des Einzugsgebietes der Antiesen (Innviertel, Bezirk Ried) und in Bayern die Region Waginger-Tachinger See (Seeneinzugsgebiet im Landkreis Traunstein/Berchtesgadener Land im südöstlichen Oberbayern) ausgewählt (vgl. Abb. 1, 4, 7, 8, 27, 31). Projektpartner in Oberösterreich waren die Landwirtschaftskammer Oberösterreich (LK OÖ), das Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ) und das Bundesamt für Wasserwirtschaft/Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen (BAW), auf bayerischer Seite das Wasserwirtschaftsamt Traunstein (WWA) und als Leadpartner das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Traunstein (AELF). Die Oberösterreichische Wasserschutzberatung (OÖ WSB) und die bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising (LfL) wirkten in beratender Funktion mit.



Abb. 1. Lage der Projektgebiete; Quelle: Österreichische Karte 50, herausgegeben vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien/BAW

Das Projekt wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) zu 60% gefördert. Geldgeber für die nationalen öffentlichen Mittel waren das Amt der oberösterreichischen Landesregierung (mit Sitz in Linz), Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Oberflächenwasserwirtschaft sowie die Direktion für Landesplanung, wirtschaftliche und ländliche Entwicklung, Abteilung Land- und Forstwirtschaft, die Bodenschutzberatung der Landwirtschaftskammer Oberösterreich, das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) und das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) (beide mit Sitz in München). Zusätzlich wurden Eigenmittel durch das Wasserwirtschaftsamt Traunstein beigesteuert. Alle Projektpartner und Geldgeber waren in der gemeinsamen Leitungsgruppe vertreten, die sich etwa vierteljährlich traf.

Beide Gewässer, die Antiesen, ein Zubringer des Inns, und der Waginger-Tachinger See, leiden unter einer zu hohen Phosphorfracht, die zum größten Teil aus landwirtschaftlichen Einträgen stammt. Die Ursachen sind jedoch unterschiedlich:

Hauptursache für Phosphoreinträge in die Antiesen ist der Bodenabtrag aus landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen, insbesondere in Hanglagen (vgl. Abb. 2).

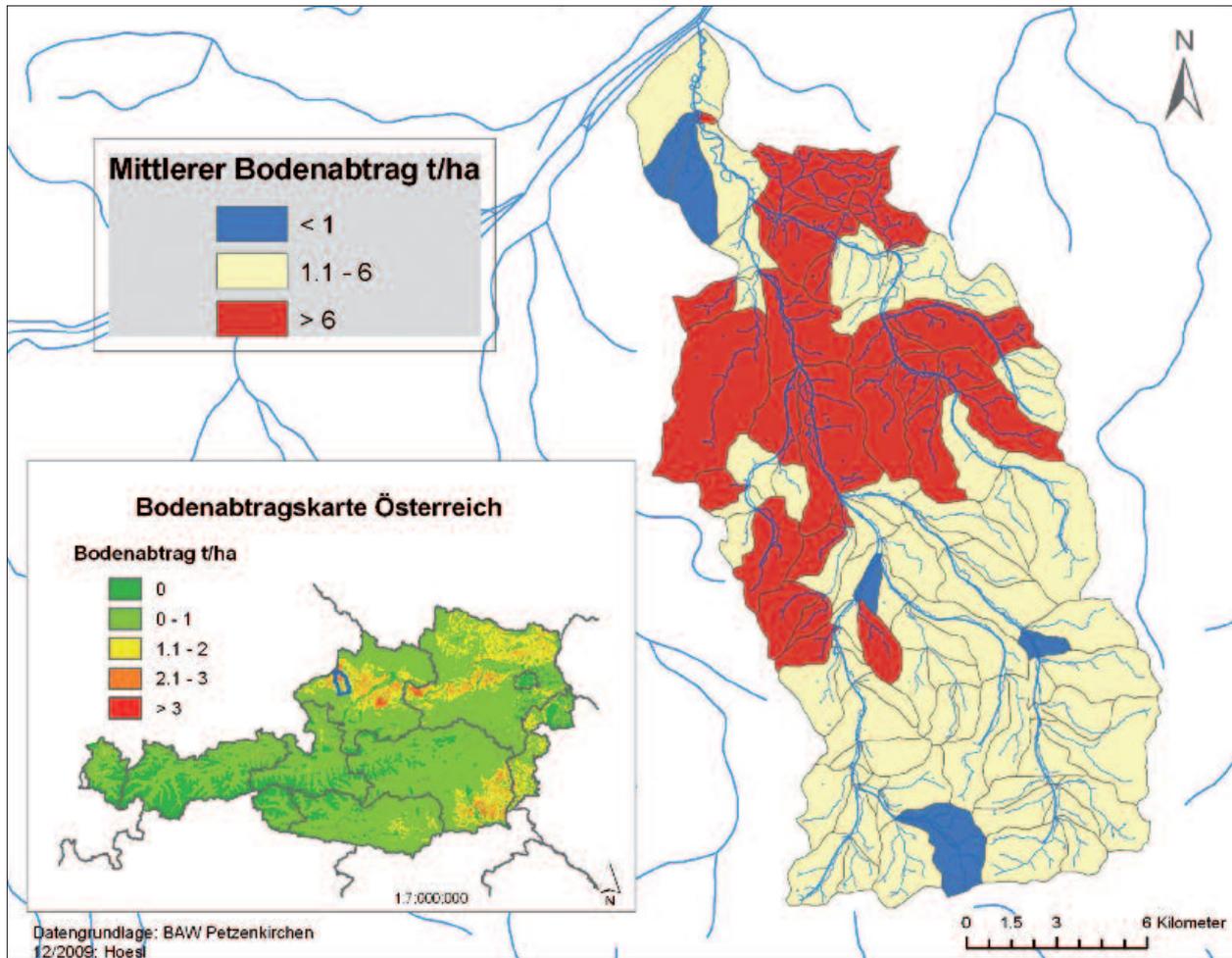


Abb. 2: Bodenabtrag im Flusseinzugsgebiet der Antiesen; Quelle: BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT Petzenkirchen 12/2009

Hauptursache für den Phosphoreintrag in den Waginger-Tachinger See sind Einträge aus Drainagenabfluss (40%) und Sickerwasser (34%) (LOESCHENBRAND et al. 2007). Der Phosphor ist zu 60-80% gelöst, der Rest ist partikulär gebunden. Der Eintrag von gelöstem und partikulärem Phosphor aus Erosion und Oberflächenabfluss sowie Direkteinträge spielen ebenfalls eine Rolle, werden aber vom Eintrag von gelöstem Phosphor aus Drainagenabfluss und Sickerwasser deutlich übertroffen (vgl. Abb. 3)

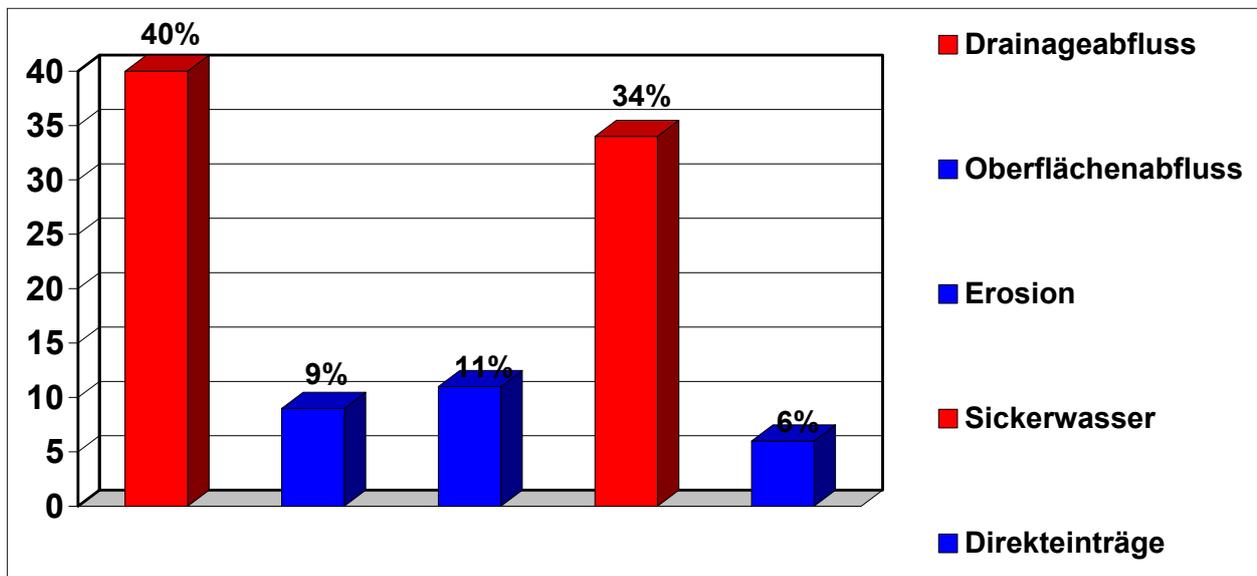


Abb. 3: Prozentuale Phosphoreinträge in den Waginger See; Quelle: Zahlen nach BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2007 S. 89 / LOESCHENBRAND / grafisch verändert

Aus pflanzenbaulicher Sicht erscheint der Verlust von ca. 2 kg/ha und Jahr Reinphosphor, wie für das Einzugsgebiet Waginger See ermittelt (BUCHMEIER 2003), nicht bedeutend. Aus gewässerökologischer Sicht liegt dieser Wert deutlich über dem tolerierbaren Eintrag von ca. 0,4 kg P/ha (= Zielwert für Bayern nach GUTSER und MATTHES 2001, ISERMANN 2008, UBA 2009; vgl. Kongress Nachhaltigkeit in der bayerischen Wasserwirtschaft, GUTSER 2012). Im INTERREG-Projekt „SeenLandWirtschaft“ wurde von Georgia Buchmeier für den Waginger See die mittlere Jahresfracht berechnet, welche in den See gelangen darf, damit die Phosphorkonzentration im Jahresmittel unter 20 mg/m³ fällt, und in den tolerierbaren mittleren jährlichen Flächenaustrag umgerechnet. Daraus ergibt sich für das Einzugsgebiet des Waginger Sees ein Wert von 0,7 – 0,9 kg/ha und Jahr, für den Tachinger See von 0,4 kg/ha und Jahr (BUCHMEIER/BAW 2007, S. 101).

Mit der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) in nationales Recht wurde das zentrale Ziel, die Erreichung und langfristige Absicherung des guten ökologischen Zustandes bzw. des guten ökologischen Potenzials und des guten chemischen Zustandes für Oberflächengewässer und Grundwässer, festgelegt. Die Bewertung des ökologischen Zustands erfolgt anhand verschiedener Qualitätskomponenten, wobei die biologischen Komponenten im Vordergrund stehen. Der Gesamtzustand wird in fünf Zustandsklassen (sehr gut, gut, mäßig, unbefriedigend, schlecht) unterteilt.



Abb. 4: Landschaftseindruck vom ausgewählten Teileinzugsgebiet Nähe Antiesen; Foto: LK Ried

Gemäß Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 weist die Antiesen einen mäßigen Zustand auf. Das Ziel, den guten Zustand zu erreichen, ist gefährdet, wenn es nicht gelingt, Nährstoffeinträge, insbesondere von Phosphor, durch geeignete Maßnahmen zu verringern (GSTOETTNER/LFZ 2013).

Tachinger und Waginger See sind zwar verbunden, der ökologische Zustand beider Wasserkörper wird nach EU-Wasserrahmenrichtlinie aber unterschiedlich eingestuft (vgl. Abb. 5):

Der Tachinger See erreicht inzwischen Güteklasse 2 (nährstoffarm) und wird diesen „guten ökologischen Zustand“ bis 2015 voraussichtlich behalten. Für den Waginger See mit Einstufung in Güteklasse 4 (nährstoffreich) ist unwahrscheinlich, dass dieses Ziel bis 2015 erreicht wird (TRAUTWEIN/LFZ 2013).

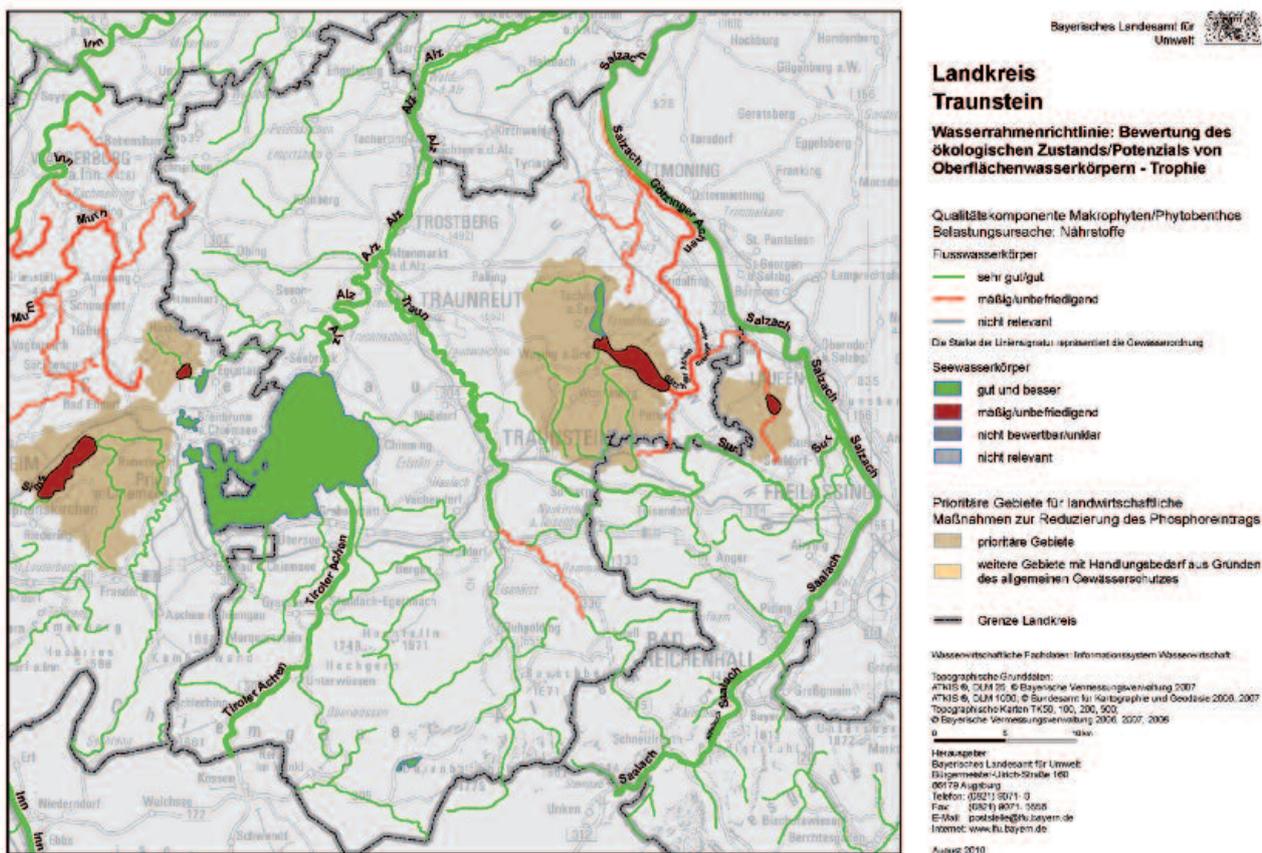


Abb. 5: Bewertung des ökologischen Zustands von Oberflächenwasserkörpern im Landkreis Traunstein; Quelle: Kartendienst des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, 2010

2. Rückblick – Ergebnisse aus vorangegangenen Untersuchungen

Im Rahmen des INTERREG-Projektes „Gewässer-Zukunft“ wurde das Einzugsgebiet der Antiesen erstmalig untersucht. Vorkenntnisse über die Nährstoffsituation lagen aus den österreichischen Monitoringprogrammen vor.

Der Waginger-Tachinger See und seine Zuflüsse Schinderbach, Höllenbach und Tenglinger Bach wurden in den Jahren 2001/2002 vom Wasserwirtschaftsamt Traunstein auf „Nährstoffeinträge und ihre Auswirkungen“ untersucht. Die erhobenen Daten zeigten auf, dass der Anteil der Phosphorfracht aus der Landwirtschaft im Waginger See in den Untersuchungsjahren 2001/2002 bei ca. 85% der Gesamtphosphorfracht lag, am Tachinger See etwa bei 20% (BUCHMEIER 2003). Die übrigen Frachtanteile stammten aus kommunalen Abwässern, Fischteichanlagen, Verkehr, Niederschlag und natürlicher Belastung; diese waren am Tachinger See nur geringfügig niedriger als am Waginger See.

Der ermittelte Phosphoraustrag pro ha LN lag bei 2 kg/ha und Jahr (Waginger See) bzw. 0,35 kg/ha und Jahr (Tachinger See). Die Bilanzierung des Phosphoreintrags ergab eine Jahresfracht von 18 Tonnen für den Waginger See, weniger als 1 Tonne für den Tachinger See. Für das langjährige Jahresmittel am Waginger See wird ein Phosphoreintrag von ca. 14 Tonnen angenommen; tolerierbar wäre ein Eintrag von maximal 7-9 Tonnen (BUCHMEIER 2003).

Von 2004 bis 2007 waren Waginger und Tachinger See gemeinsam mit der oberösterreichischen Partnerregion Mondsee/Irrsee Untersuchungsgebiet im INTERREG III A-Projekt „SeenLandWirtschaft“. Es wurde geklärt, über welche Haupteintragspfade der Phosphor in den See gelangt. Dafür wurden im bayerischen Projektgebiet auf 168 Betrieben Bodenproben gezogen und die Phosphorbilanz ausgewertet (BUNDESAMT FUER WASSERWIRTSCHAFT 2007). Über ein Phosphoraustragsmodell der TUM wurde eine Karte erstellt, in der landwirtschaftlich genutzte Flächen am Waginger und Tachinger See mit einem hohen Austragsrisiko ersichtlich wurden (LOESCHENBRAND/BAW 2007).

In Wirtschaftsweise und Bodenversorgung konnten zwischen den Teileinzugsgebieten Tachingener und Waginger See keine wesentlichen Unterschiede ermittelt werden, sodass als Ursache für den verschiedenen hohen Austrag der unterschiedlich durchlässige Untergrund und damit verbunden das Drainagenetz, das dichtere Gewässernetz und die höheren Niederschläge am Waginger See gesehen werden (BUCHMEIER/BAW 2007). In Zusammenarbeit von Landwirtschaft und wasserwirtschaftlichen Fachstellen wurde ein Maßnahmenkatalog mit dem Ziel erstellt, die Phosphoreinträge an Waginger und Tachinger See zu verringern.

Von Dezember 2009 bis November 2012, verlängert bis März 2013, führten Bayern und Oberösterreich ihre Zusammenarbeit im Gewässerschutz in Partnerregionen im INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ fort. Gemeinsames Ziel war die Reduzierung des Phosphoreintrags in Oberflächengewässer aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. In beiden Regionen lag der Schwerpunkt in der Untersuchung der Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen, in der Absicherung und Evaluierung bisheriger Ergebnisse sowie in der Umsetzung empfohlener Gewässerschutzmaßnahmen im Dialog mit den ansässigen Landwirten.

3. Untersuchungsgebiete im Projekt "Gewässer-Zukunft"

Das Untersuchungsgebiet im oberösterreichischen Innviertel liegt im nordöstlichen Teil des Flusseinzugsgebietes der Antiesen (eines Innzubringers), am Asböckbach. Ausreichende Niederschläge und ein humider Boden begünstigen im leicht hängigen Hügelland an der Antiesen eine intensive ackerbauliche Produktion.



Abb. 6: Monitoringgebiete im Teileinzugsgebiet Antiesen/Asböckbach; Quelle: HOESL/BAW 2010

Das Modellgebiet umfasste etwa 260 ha, davon waren 215 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche (84% Ackerland, 16% Grünland). Insgesamt wurden von den 19 Projektlandwirten rund 740 ha landwirtschaftliche Nutzfläche innerhalb und außerhalb des Projektgebietes bewirtschaftet.

Die Betriebsgrößen bewegen sich zwischen 2 ha und 60 ha. Durchschnittlich werden je Betrieb 38,95 ha landwirtschaftliche Nutzfläche bearbeitet. In Summe werden auf den Betrieben 783 Großvieheinheiten gehalten. Betriebsindividuell werden dort von null bis 1,87 GV je Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche gehalten (Daten der LK Ried 2012). Im Projektgebiet wurden drei Monitoring-Messstellen installiert (vgl. Abb. 6).



Abb. 7: Landschaftseindruck aus dem Teileinzugsgebiet Antiesen; Foto: LK Ried

Das bayerische Projektgebiet umfasste das Einzugsgebiet des Waginger (5.255 ha) und Tachinger Sees (2.006 ha) mit einer Gesamtfläche von ca. 7.200 ha und 440 Betrieben. Durch den hohen Grünlandanteil im Einzugsgebiet (ca. 70%) ist der Hauptbetriebszweig in der Landwirtschaft die Milchviehhaltung. Die ausgewerteten Betriebe bewirtschaften im Durchschnitt 22,5 ha landwirtschaftliche Nutzfläche und halten 1,82 GV/ha. Die Landwirte im Einzugsgebiet beider Seen wirtschaften vergleichbar, aber mit unterschiedlichen geologischen Gegebenheiten. Das Gebiet um den Waginger See ist von einer Grundmoräne mit unterschiedlichen Bodentypen wie z.B. Braunerde-Pseudogley oder Pseudogley-Parabraunerde geprägt, deshalb sind viele Flächen drainiert (nach Schätzungen mehr als die Hälfte, genaue Zahlen sind nicht verfügbar). Das Gebiet um den Tachinger See liegt im Bereich einer Endmoräne, das sich durch einen durchlässigeren Boden mit großem Anteil an Braunerde oder auch Parabraunerde kennzeichnet (Daten: AELF 2012).



Abb. 8: Landschaftseindruck vom Waginger-Tachinger See; Foto: AELF

4. Projektinhalte

Ein Projektschwerpunkt in beiden Regionen war der Dialog mit den Landwirten zum Thema gewässerschonende Landwirtschaft, insbesondere durch einzelbetriebliche Beratungen und Hofbesuche. Ausgewählte Maßnahmen zur Verringerung von Nährstoffeinträgen sollten exemplarisch umgesetzt und auf ihre Wirksamkeit getestet werden, im Gebiet der Antiesen Zwischenfruchtanbau und Winterbegrünung mit Mulchsaat der darauf folgenden Hauptkulturen (v.a. Mais), in Bayern bodennahe Gülletechniken.



Abb. 9: Vorstellung des INTERREG-Projektes „Gewässer-Zukunft“ im Modellgebiet Antiesen; Foto: LK Ried

Über eine breite Öffentlichkeitsarbeit wurde die Region eingebunden und um Akzeptanz für den Gewässerschutz geworben. Vorträge, öffentliche Veranstaltungen und Beratungsunterlagen rückten das Thema ins Blickfeld (vgl. Abb. 9-12).



Abb. 10: Begutachtung einer Zwischenfruchtkultur bei Ort/Innkreis; Foto: LK Ried

Neben der Beratung wurden die naturwissenschaftlichen Grundlagen verbessert. Während für Bayern bereits eine Gefährdungskarte für Flächen mit hohem Austragspotenzial (hot spots) im Seeneinzugsgebiet bestand, wurden diese „Brennpunkte“ für die oberösterreichische Modellregion im Projekt ermittelt. Über detailliert angelegte Bodenuntersuchungen wurden im Projektgebiet im Flusseinzugsgebiet der Antiesen die Unterschiede der Nährstoffversorgung der Böden im Ober-, Mittel- und Unterhang erhoben und Düngungsempfehlungen darauf abgestimmt bzw. das potenziell unterschiedliche Bodenabtragsrisiko ermittelt. Erosionsmindernde Anbauverfahren wurden weiterentwickelt.



Abb. 11: Maisbewertung nach Mulchsaat bei Anning, 2012; Foto: AELF

In beiden Regionen wurde das begleitende Monitoring für ausgewählte Gewässer fortgesetzt (Messung von Schwebstoffkonzentrationen, Phosphorkonzentrationen und Abflüssen).

Am Waginger und Tachinger See wurde die Datenlage zum Phosphoreintrag über die Zuflüsse bei Hochwasser verbessert. Ein besonderes Augenmerk galt der Wirkung verschiedener Güllemanagementmethoden auf den Phosphoraustrag über Drainagen.



Abb. 12: Feldtag zur Grünlandsanierung 2011; Foto: AELF

4.1 Begleitende wissenschaftliche Versuche

Ursprünglich sollten Teileinzugsgebiete vor und nach der Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen miteinander verglichen werden, um die Effektivität einzelner Faktoren für den Gewässerschutz zu ermitteln. Aufgrund einer Vielzahl wirksamer Faktoren lässt sich der Phosphoraustrag unterschiedlicher Teileinzugsgebiete aber nicht ohne weiteres miteinander vergleichen, sodass die Maßnahmentests in Form von Versuchen durchgeführt wurden.

4.1.1 Drei Beregnungsversuche im Gebiet der Antiesen

Im September 2010, Mai 2011 und Mai 2012 wurden im Projektgebiet der Antiesen drei Beregnungsversuche durch das Bundesamt für Wasserwirtschaft durchgeführt (vgl. Abb. 13). Im ersten Beregnungsversuch 2010 wurden nach der Ernte der Hauptkultur verschiedene Anbautechniken für die nachfolgende Zwischenfrucht getestet. Der Zusammenhang zwischen Feinheit der Saatbettbereitung und Bodenabtrag wurde untersucht. Im zweiten Beregnungsversuch im Mai 2011 wurden verschiedene Anbauvarianten zur Maissaat untersucht (Pflugbearbeitung, Mulchsaat und Direktsaat), um den Zusammenhang zwischen der Menge an Mulchmaterial, Bearbeitung und Bodenabtrag näher zu beleuchten. Im dritten Beregnungsversuch im Mai 2012 wurde u.a. der große Einfluss von Fahrspuren auf den Bodenabtrag nachgewiesen.



Abb. 13: Beregnungsversuch im Teileinzugsgebiet Antiesen; Foto: BAW

4.1.2 Versuche im Bayerischen Projektgebiet

Beregnungsversuch in der Gemeinde Petting

Der bayerische Beregnungsversuch wurde unter Leitung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (BAW) im Juni 2011 durchgeführt (vgl. Abb. 14). Untersucht wurde der Einfluss unterschiedlicher Gülleausbringungstechniken (Prallteller, Schleppschlauch, Schleppschuh, Gülledrill) auf den Austrag von Phosphor über die Drainagen.



Abb. 14: Beregnungsversuch in Kirchberg bei Petting/Waginger-Tachinger See 2011; Foto: AELF

Bayerischer Dauerfeldversuch in den Gemeinden Wonneberg und Teisendorf-Rückstetten

Von Mitte 2010 bis Mitte 2012 wurde auf jeweils zwei Betriebsflächen das Austragsverhalten von Phosphor in der Drainage unter natürlichen Bedingungen im Jahresverlauf untersucht (vgl. Abb. 15). Von dem ursprünglich geplanten Wechsel der Gülletechnik musste aus versuchstechnischen Gründen Abstand genommen werden. Zu interessanten Ergebnissen führte das Austragsverhalten auf den verschiedenen Standorten mit zwei unterschiedlichen Bodentypen.



Abb. 15: Wasserprobenahme am Ausgang des Drainagesammlers, Wonneberg 2010; Foto: AELF

4.2 Gewässer-Monitoring

Darüber hinaus wurden weitere Daten zur Gewässergüte erhoben und das Monitoring fortgeführt. Im Modellgebiet Nähe Antiesen wurden vom BAW Erosionsmessstellen eingerichtet, um den Bodenabtrag im Jahresverlauf zu erfassen (vgl. Abb. 16). Am Waginger und Tachinger See wurde die Beprobung bei Hochwasser fortgeführt, um Datenlücken zu schließen.



Abb. 16: Messstelle zur Erosionsermittlung, Teileinzugsgebiet Antiesen/Asböckbach 2011; Foto: AELF

4.3 Beratung und Öffentlichkeitsarbeit

In beiden Regionen lag der Projektschwerpunkt auf einzelbetrieblicher Beratung und der Zusammenarbeit mit den Landwirten. Dafür stand jeweils halbtags ein landwirtschaftlicher Berater zum Thema gewässerschonende Landwirtschaft zur Verfügung. Die Projektthemen und –inhalte wurden im Rahmen einer umfangreichen Öffentlichkeitsarbeit kommuniziert (vgl. Abb. 17 und 18).



Abb. 17: Feldtag „Seenschutz durch Ökolandbau“, Fridolfing 2012; Foto: AELF

Den Schwerpunkt der Fachveranstaltungen, Feldtage und Exkursionen im ausgewählten Modellgebiet an der Antiesen bildete die Vorstellung unterschiedlicher Managementmöglichkeiten zur Erosionsminderung, u.a. für erosionsmindernde Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau. Im Sommer 2012 wurde in Ort im Innkreis dafür ein eigener Schauversuch angelegt (vgl. Abb. 19). Zum Thema Erosion wurde eine Beratungsbroschüre erstellt, die regionsübergreifend eingesetzt werden kann.



Abb. 18: Erfassung von Bodenparametern in der Beratung; Foto: LK Ried



Abb. 19: Schauversuch bei Ort im Innkreis 2012; Foto: LK Ried

Am Waginger und Tachingener See wurden Maßnahmen, die einen Beitrag zur Verringerung des Eintrags an gelöstem Phosphor leisten können, in öffentlichen Veranstaltungen, Feldtagen und mit Hilfe von Beratungsunterlagen zum Thema Seenschutz vorgestellt. Die Maßnahmen reichten von einzelbetrieblichen Themen wie Grünlandpflege bis zu gesamtbetrieblichen Themen wie der Umstellung auf ökologischen Landbau. Die Öffentlichkeitsarbeit wurde auch mit dem neu gegründeten „kommunalen Seebündnis“ aus den sechs beteiligten Gemeinden (Waging, Taching-Tengling, Kirchanschöring, Petting, Wonneberg und Teisendorf), Fachbehörden und Bürgergruppen abgestimmt (vgl. Abb. 20).



Abb. 20: Bürgermeister Karl Lanzinger, Ursula Haas, Hans-Jörg Birner, Herbert Häusl und Josef Mayer aus fünf Anliegergemeinden im Einzugsgebiet Waginger-Tachinger See 2010 (hier ohne Gemeinde Teisendorf)

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1 Ergebnisse des Amtes für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Traunstein (AELF)

Neben den begleitenden wissenschaftlichen Untersuchungen über die Wasserwirtschaft wurde mit der Einstellung eines landwirtschaftlichen Beraters für die Seenberatung in Bayern (halbtags) eine der Kernforderungen im INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ erfüllt.

Beratungsauftrag waren die im Maßnahmenkatalog des Vorgängerprojekts SeenLandWirtschaft erarbeiteten Beratungsvorschläge (DIEPOLDER, WENDLAND, RASCHBACHER/BAW 2007). Die Arbeit des Seenberaters umfasste die fachliche Unterstützung für eine Reihe von Veranstaltungen sowohl für Landwirte als auch für die interessierte Öffentlichkeit, die Zusammenarbeit mit den beteiligten Seekommunen, die Mitwirkung an der Projektseite im Internet www.gewaesser-zukunft.eu und die Erstellung von Beratungsunterlagen. Arbeitsschwerpunkt waren einzelbetriebliche Beratungsgespräche zum Thema Seenschutz. Erreicht wurden ca. 150 von insgesamt 440 Betrieben im Einzugsgebiet. Die Ergebnisse der Beratungen wurden bei ca. 50 Landwirten anhand eines Fragebogens evaluiert (Ergebnisse vgl. PARZINGER et al./LFZ 2013).

Schwerpunkte der Beratung waren Informationen über Fördermöglichkeiten nach dem bayerischen Kulturlandschaftsprogramm (KulaP), die Düngeplanung, insbesondere für die mit Phosphor hoch versorgten Teilflächen, sowie Bestandsbeurteilungen im Grünland (die Düngungsempfehlungen orientieren sich stark an der Ertragserwartung) (vgl. Abb. 21). Positive betriebliche Phosphorsalden und teilweise verbesserungsbedürftige Grünlandbestände (mit Gemeiner Rispe) reduzieren die Effizienz der Phosphordüngung und erhöhen das Phosphoraustragsrisiko.



Abb. 21: Feldtag zum Seenschutz durch Grünlandpflege und –erneuerung 2011; Foto: AELF

Es bleibt eine schwierige Beratungsaufgabe, für Milchviehbetriebe mit knapper Flächenausstattung und hohem Produktionsniveau gangbare Wege zu finden, um die Düngung, insbesondere Gülleausbringung, auf besonders auswaschungsgefährdeten drainierten Grünlandflächen deutlich zu reduzieren. Nur wenige Betriebe sind bereit, sich an einer freiwilligen Extensivierung ohne finanziellen Ausgleich zu beteiligen.

Für rund 21% der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Seeanliegergemeinden werden KulaP-Maßnahmen in Anspruch genommen. Ab 2011 war die Tendenz bei Neuanträgen rückläufig.

Als weiterer Lösungsansatz wurde die Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung kommuniziert. Derzeit wirtschaften knapp 7% der Betriebe im Einzugsgebiet ökologisch. Vor einer Umstellung muss eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden (PARZINGER/LFZ 2013).

Das Problem des Phosphataustrags nach Gülledüngung auf Grünland mit nachfolgenden Starkniederschlägen vor allem auf auswaschungsgefährdeten drainierten Flächen wird sich mit einer Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung nicht drastisch ändern, solange der GV-Besatz vor und nach der Umstellung gleich bleibt. Allerdings liegt der durchschnittliche GV-Besatz im Ökobetrieb tendenziell niedriger. Für Grünlandbetriebe, die vor der Entscheidung über eine Aufstockung stehen, kann die Umstellung auf Ökolandbau im Einzelfall eine Alternative zur Aufstockung sein, wenn die Abnahme der Biomilch zu einem höheren Preis geregelt ist.

Eine Düngung mit mineralischem Phosphor findet bei konventionellen Betrieben im Gebiet außerhalb der Maisackerflächen kaum statt. Der Anbau von Maisflächen wird nach einer Umstellung auf Ökolandbau i.d.R. gesenkt oder aufgegeben, ebenso wird der Futtermittelzukauf reduziert. Dies entlastet die Nährstoffbilanz.

Sollte es durch entsprechende Anreize möglich werden, dass intensiv wirtschaftende Betriebe im Einzugsgebiet auf ökologischen Anbau umstellen, wäre ein positiver Effekt bzw. ein verringerter Phosphoraustrag im Gebiet zu erwarten.

5.2 Ergebnisse des Wasserwirtschaftsamtes Traunstein (WWA)

Das Wasserwirtschaftsamt untersuchte während der Projektlaufzeit den Phosphoraustrag auf drainierten Grünlandstandorten unter natürlichen Verhältnissen in einem sogenannten „Dauerfeldversuch“. Dafür wurden drainierte Flächen auf zwei landwirtschaftlichen Betrieben, im Einzugsgebiet von Schinderbach und Höllenbach, ausgewählt (vgl. Abb. 22). In den Drainagen wurden Abfluss und Phosphorkonzentrationen ganzjährig gemessen. Faktoren wie der Zeitpunkt der Gülleausbringung oder von Niederschlagsereignissen beeinflussen den Phosphoraustrag in Drainagen. Bisherige Düngeempfehlungen orientieren sich am Phosphatgehalt im Oberboden laut Ergebnis der Bodenuntersuchung.



Abb. 22: Probenahme durch WWA und AELF in Wonneberg 2010; Foto: Max Oberwegner

Nach den Ergebnissen des Dauerfeldversuchs wird der Phosphoraustrag aus den Drainagen auch vom Bodentyp und seinen spezifischen Eigenschaften beeinflusst: Je höher der Boden einer landwirtschaftlichen Fläche mit Phosphor versorgt, je geringer die Phosphorspeicherkapazität und je höher der Phosphor-Sättigungsgrad des Bodentyps ist, desto weniger Phosphor kann im Boden gebunden werden und desto höher wird das Austragsrisiko. Dies gilt besonders für staunasse Böden wie z.B. den Bodentyp Gley.

Damit werden frühere Erkenntnisse des LFZ Raumberg-Gumpenstein bestätigt, dass das Phosphor-Auswaschungsrisiko beim Bodentyp hydromorphe (staunasse) Böden mit Grundwassereinfluss unter natürlichen Bedingungen hoch ist und diese Flächen eine besondere Zurückhaltung bei der Düngung erfordern (mündliche Mitteilung Dr. BOHNER, LFZ Raumberg-Gumpenstein 2012). Laut Ergebnissen des LFZ zum P-Austragsverhalten in hydromorphen Böden empfiehlt sich für drainierte Böden im Einzugsgebiet von Seen unter Grundwassereinfluss eine extensive landwirtschaftliche Nutzung, z.B. ein Verzicht auf Düngung oder Nutzung als Streuwiese, um hohe P-Austräge zu verhindern.

Inwieweit es in der Beratungs- und Düngepraxis umsetzbar ist, Flächen mit natürlich hohem Austragspotenzial anhand des Grundwassereinflusses zu identifizieren, kann noch nicht abgeschätzt werden. Die Option, drainierte Böden im Einzugsgebiet auf ihre Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigung zu untersuchen, um darauf aufbauend den Landwirten genaue feldstücksbezogene Düngeempfehlungen geben zu können, sollte diskutiert werden.

Auf den staunassen Versuchsflächen spielte neben dem Bodentyp auch das Aufnahmevermögen des Pflanzenbewuchses zum Zeitpunkt der Gülledüngung eine Rolle: Vor allem nach einzelnen Starkregenereignissen während der Vegetationsruhe, aber auch innerhalb der Vegetation, wenn zeitnah vor den Regenereignissen Gülle gefahren wurde, kam es zu größeren Phosphorausträgen.

Die Ergebnisse des Dauerfeldversuchs weisen darauf hin, dass die Empfehlungen zur fachgerechten Düngung landwirtschaftlicher Flächen, die auf der Standardbodenuntersuchung (Erfassung des löslichen CAL-Phosphors in der obersten Schicht) beruhen, im Einzelfall, insbesondere auf drainierten Flächen und bei Bodentypen mit hohem Austragsrisiko, nicht immer aussagekräftig sind. Wenn tiefere Bodenschichten eine geringe Phosphorspeicherkapazität haben und diese relativ stark mit Phosphor gesättigt sind, kann aus diesen Schichten ein erhöhter P-Austrag über Drainagen stattfinden.

Die Anpassung der Düngung auf hoch mit Phosphor versorgten Böden nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis bleibt ein wichtiger Punkt in der Beratungspraxis.

5.3 Ergebnisse des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Institut Petzenkirchen (BAW)

5.3.1 Ergebnisse aus dem bayerischen Beregnungsversuch in Petting

Der Einfluss unterschiedlicher Ausbringungstechniken auf den Austrag von Phosphor aus Rindergülle wurde im Beregnungsversuch des BAW in Petting/Bayern untersucht (vgl. Abb. 23). Das Ergebnis weist in die bereits vermutete Richtung, dass bodennahe Gülleausbringetechniken die Phosphatauswaschung verringern. Unterschiede zwischen Schlauch, Schuh und Drill waren in diesem Versuch nicht erkennbar. Werden aber die Makroporenflüsse in die Auswertung mit einbezogen, ergibt sich eine gesicherte Differenz zwischen der Ausbringung mit Prallteller und bodennahen Techniken.

Das BAW empfiehlt daher, auf drainierten Grünlandflächen bodennahe Gülleausbringetechniken zu bevorzugen, um die Phosphatauswaschung zu verringern.



Abb. 23: Beregnungsversuch zur Gülleausbringung in Petting; Foto: Hans Eder, Trostberger Tagblatt

5.3.2 Ergebnisse aus den Anbauversuchen im Projektgebiet im Innviertel

Im Untersuchungsgebiet im Flusseinzugsgebiet der Antiesen wurden auf Ackerstandorten in Ort im Innkreis (Oberösterreich) über die Projektlaufzeit mehrere Beregnungsversuche durchgeführt. Der Vergleich unterschiedlicher Anbautechniken für Zwischenfrucht- und Maisanbau zeigte u.a., dass die Saatbettbereitung einen großen Einfluss auf einen effektiven Boden- und Gewässerschutz hat. Ein grobes Saatbett kann Bodenabtrag und Oberflächenabfluss deutlich reduzieren (HOESL/STRAUSS/LFZ 2013; SCHNEIDERBAUER/LFZ 2013).

Beim Vergleich von konservierenden gegenüber herkömmlichen Maisanbautechniken zeigte sich, dass Mulchsaat- und Direktsaatetechniken deutlich weniger Erosion verursachen können als konventionelle Anbautechniken mit Pflug, allerdings nur, wenn genügend Mulchmaterial in ausreichender Qualität im Frühjahr noch vorhanden ist. Wenn die Bodenbedeckung durch Mulch nicht gelingt, kann der Bodenabtrag bei Mulchsaat sogar höher liegen als bei konventionellem Anbau; hierbei spielen Fahrspuren eine große Rolle.



Abb. 24: Erosionsmessstelle im Teileinzugsgebiet Asböckbach (Modellgebiet Antiesen); Foto: BAW

5.3.3 Erosionsberechnung über „BoBB“ - Bodenerosion, Beratung und Berechnung

Ein wichtiges Produkt des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ ist das EDV-Programm „BoBB“, das für „Bodenerosion, Beratung und Berechnung“ steht. BoBB basiert auf der allgemeinen Bodenabtragungsgleichung und wurde anhand der Projektergebnisse durch das BAW weiterentwickelt (vgl. Abb. 24). Es dient den landwirtschaftlichen Beratern künftig als praxisbezogenes Instrument, mit dem das langjährige mittlere Erosionsrisiko für jeden landwirtschaftlichen Schlag (ausgedrückt in Tonnen Bodenabtrag pro Hektar) abgeschätzt werden kann. Das Erosionsprogramm BoBB zeigt, wie mit einzelnen Änderungen in der Bewirtschaftung das Erosionsrisiko auf jedem Schlag gesenkt bzw. minimiert werden kann. Auch der Phosphoreintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in Oberflächengewässer kann damit abgeschätzt werden. BoBB wurde zunächst mit den Daten aus der Region Oberösterreich entwickelt, ist aber durch eine Anpassung der Datensätze (zu Boden, Klima u.a.m.) grundsätzlich auf andere Regionen übertragbar. Eine mögliche Übertragung und Anwendung in Bayern sollte geprüft werden.

5.4 Ergebnisse des Landwirtschaftlichen Forschungszentrums Raumberg-Gumpenstein (LFZ)

Um den Phosphoreintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in den oberösterreichischen Fluss Antiesen verringern zu können, mussten Grundsatzdaten zum Phosphor- und Nährstoffgehalt von Acker- und Grünlandböden im ausgewählten Teileinzugsgebiet am Asböckbach erhoben werden. In Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Ried zog das Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein hierfür 590 Bodenproben aus dem Oberboden (0 – 15 cm Tiefe) und analysierte die Phosphorgehalte mit unterschiedlichen Methoden (vgl. Abb. 25). Bei Schlägen in Hanglage wurden Proben vom Ober-, Mittel- und Unterhang gezogen, um eine mögliche erosionsbedingte Nährstoffverlagerung erfassen zu können.

Im Ergebnis wiesen die meisten Grünlandflächen sehr niedrige und niedrige Gehalte an CAL-löslichem Phosphor auf, während Ackerböden (mit den im Gebiet bevorzugten Kulturarten Getreide, Mais oder Ölpflanzen wie Raps oder Lein) im Durchschnitt im Oberboden etwas höhere Gehalte zeigten. Nur einzelne Flächen wiesen hohe bis sehr hohe CAL-lösliche Phosphorgehalte im Oberboden auf. Allerdings waren die wasserlöslichen P-Gehalte im Oberboden zum Teil sehr hoch, d.h. Phosphor kann bei Oberflächenabfluss leicht gelöst und abgeschwemmt werden. Kommen dazu eine Verdichtung, eine Strukturschädigung und eine entsprechende Hanglänge oder Hangneigung, sind solche Flächen Brennpunkte (hot spots) mit stark erhöhtem Risiko für Phosphoraustrag. Der Austrag kann über die Abschwemmung von gelöstem bodenbürtigem Phosphor oder auch, wegen der niedrigeren Infiltrationsrate, über direkte Abschwemmung von Gülle

erfolgen. Besonders in steilen Hanglagen sollte eine stärkere Anreicherung des Oberbodens mit wasserlöslichem Phosphor vermieden werden.

Überraschend war, dass keine signifikanten Unterschiede in den P-Gehalten im Ober- und Unterhang festgestellt werden konnten (BOHNER 2013).

Lückige Pflanzenbestände im Grünland weisen generell ein höheres Risiko für P-Austräge auf. Die Gefahr einer Bodenerosion ist auf Grünland insgesamt aber deutlich geringer als auf Ackerland. Grund dafür sind die gute Durchwurzelung und der höhere Humusgehalt im Grünland, die zu einer höheren Aggregatstabilität führen. Problematisch ist ein Anbau von erosionsanfälligen Kulturen in Hanglagen, wenn nicht auf bodenschonende Anbauvarianten geachtet wird. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wirkte das LFZ an der Entwicklung erosions- und abflussmindernder Anbauverfahren mit.



Abb. 25: Bodenbeurteilung durch Dr. Andreas Bohner; Foto: LFZ

5.5 Ergebnisse der Landwirtschaftskammer Oberösterreich/Bezirksbauernkammer Ried (LK)

Der Berater der Bezirksbauernkammer Ried arbeitete gemeinsam mit den Projektpartnern und Landwirten im ausgewählten Teileinzugsgebiet im Nordosten der Antiesen an erosionsmindernden Bodenbearbeitungs- und Anbauverfahren. Alle 19 Landwirte im Untersuchungsgebiet brachten ihre betrieblichen Flächenanteile im Teileinzugsgebiet (215 ha) in das Projekt ein. Zu Beginn wurde ein Parameterkatalog erstellt, mit dem die Bewirtschaftung aller Flächen erfasst wurde. Alle Feldstücke wurden über GIS erfasst und konnten bei der Auswertung somit leichter zugeordnet werden. Schwerpunkt war die Auswahl praxistauglicher erosionsmindernder Anbauverfahren und deren Umsetzung in der Beratungsarbeit.

Die Untersuchungsergebnisse der 590 Bodenproben des LFZ Raumberg-Gumpenstein wurden, ausgewertet nach Gehaltsklassen, in Luftbildern verdeutlicht sowie als GIS-Karte mit den Bodenprobenstellen den Landwirten zur Verfügung gestellt. Nach intensiver einzelbetrieblicher Beratung und Auswertung der ersten Beregnungsversuche des BAW beteiligten sich 2011 die Projektlandwirte an einer Winterbegrünungsaktion. 100% der Ackerflächen nach sommerräumenden Früchten, auf denen für das Folgejahr eine Maiskultur geplant war (71 ha), wurden begrünt; dafür wurden ca. 1.500 kg Zwischenfruchtsaatgut übergeben. Die begrünteren Flächen wurden bzgl. Wachstum und Bodenbedeckung bonitiert. Es zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Aussaatzeitpunkt und Bodenbedeckungsgrad. Erkenntnisse aus den Beregnungsversuchen des BAW flossen parallel in die Beratungsarbeit ein.



Abb. 26: Informationstafel am Schauversuch zum Zwischenfruchtanbau bei Ort im Innkreis

2012 wurde ein Schauversuch unter Praxisbedingungen zum Thema Zwischenfruchtmischungen zur Demonstration angelegt, an dem auch die oberösterreichische Wasserschutzberatung und die Universität für Bodenkultur Wien mitwirkten (vgl. Abb. 26). Weiters wurde von allen österreichischen Projektpartnern eine Broschüre zum Thema „Oberflächengewässerschutz in der Landwirtschaft - Stoffeintrag durch Erosion – Phosphor“ erstellt. Diese soll in hoher Auflage in der überregionalen Beratungsarbeit eingesetzt werden. Im Modellgebiet wurde durch intensive Beratung, Sensibilisierung mittels ständiger Information über die Projektergebnisse und Einbindung der Landwirte in die Versuchsdurchführung erfolgreich versucht, eine vollständige Beteiligung am Projekt und hochwertige Umsetzung von Bodenabtrag reduzierenden Maßnahmen zu erreichen.

6. Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

6.1 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick für das Teileinzugsgebiet der Antiesen

Im INTERREG-Projekt konnte im Einzugsgebiet der Antiesen aufgezeigt werden, dass eine Vielzahl an pflanzenbaulichen Maßnahmen für die Bewirtschaftung von Ackerflächen vorhanden ist, um einen Beitrag zur Reduzierung von Phosphoreinträgen in Oberflächengewässer zu leisten. Einerseits ist in der Zukunft danach zu trachten, dass für eine effiziente Pflanzenproduktion die Nährstoffversorgung gesichert ist; andererseits ist dabei unbedingt erforderlich, dass diese Nährstoffe auf der Fläche verbleiben und nicht durch Bodenabträge in gelöster oder ungelöster Form unproduktiv und zum Schaden der Gewässergüte in Oberflächengewässer verloren gehen.

In Oberösterreich werden neben den aktuellen gesetzlichen Regelungen z.B. Wasserrechtsgesetz, Aktionsprogramm-Nitrat, OÖ Bodenschutzgesetz, OÖ Abwasserentsorgungsgesetz zusätzlich auch freiwillige Maßnahmen zum Gewässer- und Grundwasserschutz wirksam umgesetzt, die vor allem im Rahmen des Österreichischen Programms für umweltgerechte Landwirtschaft (ÖPUL) seit 1995 gefördert werden.

Als bestehende sinnvolle und wirksame Maßnahmen im aktuellen ÖPUL können die Begrünung von Ackerflächen, Mulch- und Direktsaat, „Blauflächen“ (gewässerschutzfachlich bedeutsame Flächen), biologische Wirtschaftsweisen sowie die umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen angeführt werden. Eine Fortführung von erosionsschutzwirksamen Maßnahmen ist auch in der Ländlichen Entwicklung 2014 bis 2020 mit ausreichender Dotierung unbedingt anzustreben.

Es ist jedoch von besonderer Bedeutung, dass diese Maßnahmen in einer hohen Qualität umgesetzt werden. So führt zum Beispiel nur ein qualitativ hochwertiger Zwischenfruchtbau mit einer guten Massenentwicklung der Zwischenfrucht, der daraus resultierenden möglichst vollständigen Bodenbedeckung und mit einer möglichst großen Menge an Mulchmaterial beim Anbau der Folgefrucht zum gewünschten Erfolg.

Weitere Maßnahmen wie die trockene Bodenbearbeitung unter Aufrechterhaltung der vertikalen Grobporen zur Erhöhung der Infiltrationsrate, die grobe Saatbettbereitung oder die Vermeidung von Fahrspuren, die Vermeidung von zu einseitigen Fruchtfolgen innerbetrieblich oder durch zwischenbetriebliche Fruchtfolgeabsprachen in zusammenhängenden Einzugsgebieten, die Verkürzung von Schlaglängen durch Schlagteilungen (optimaler Weise durch den abwechselnden Anbau von Sommerungen und Winterungen), die dauerhafte Begrünung von bevorzugten Abflussschnitten, die Kalkung und nachhaltige Humuswirtschaft und die Vermeidung von Verdichtungen können wesentlich zum Erosionsschutz beitragen.



Abb. 27: Gebiet an der Antiesen; Foto: LK Ried

Alle diese Maßnahmen können jedoch nicht nur durch gesetzliche Vorgaben oder durch freiwillige Programme (ÖPUL) umgesetzt werden, da für einen bestimmten Betrieb immer nur ein Teil der Maßnahmen anwendbar ist. Aus diesem Grund hat auch in Zukunft die Beratung und individuelle Betrachtung der jeweiligen Situation, in enger Zusammenarbeit mit der Gewässeraufsicht und der Wissenschaft, eine zentrale Bedeutung für die Verbesserung bzw. Erhaltung der Gewässergüte. Denn die Information und Sensibilisierung der Bäuerinnen und Bauern durch verschiedene Beratungsmethoden, Anreizkomponenten und Schauversuche kann weitgehend konfliktfrei beste Fortschritte und Ergebnisse erzielen.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen des INTERREG-Projektes Gewässer-Zukunft der Erosionsrechner BoBB sowie die Informationsbroschüre „Oberflächengewässerschutz in der Landwirtschaft – Stoffeintrag durch Erosion – Phosphor“ entwickelt. Es liegt an allen Beteiligten, unter Einbindung von vielen unterschiedlichen Multiplikatoren, die in diesem Projekt erarbeiteten wertvollen Grundlagen und Erkenntnisse den Bäuerinnen und Bauern zu vermitteln.

6.2 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick für das Einzugsgebiet Wagingrund Tachinger See

Für eine gezielte Extensivierung im Einzugsgebiet standen insbesondere die KulaP-, aber auch Vertragsnaturschutz-Regelungen (VNP) zur Verfügung.

Bei einem durchschnittlichen Viehbestand von 1,82 GV/ha und klimabedingt zunehmenden jährlichen Starkregenereignissen muss deutlich mehr Augenmerk darauf gelegt werden, dass Gülleausbringung vor Starkregen nicht zu hohen Phosphoreinträgen in den See führt. Eine verstärkte Nutzung verbesserter Wetterdaten könnte zu einer Entschärfung der Situation beitragen.

Im Einzugsgebiet spielt die Milcherzeugung weiterhin die stärkste Rolle. Die Konkurrenz um landwirtschaftliche Flächen unter anderem durch Nutzung von Flächen für erneuerbare Energien nimmt tendenziell zu. Damit und durch den betriebswirtschaftlichen Druck schrumpft der Spielraum für Extensivierungen austragsgefährdeter Flächen. Unter diesen Rahmenbedingungen bleibt die landwirtschaftliche Beratung ein wichtiger Faktor für einen verbesserten Gewässerschutz. Positiv ist die Bereitschaft eines großen Teils der Landwirte, zum Seenschutz einen Beitrag zu leisten.

Die Ergebnisse des Dauerfeldversuchs des Wasserwirtschaftsamtes liefern Hinweise darauf, dass es neben den nach LÖSCHENBRAND 2007 ermittelten austragsgefährdeten Einzelflächen weitere austragsgefährdete Einzelflächen gibt. Bestimmte Bodentypen wie z.B. Gley und Pseudogley können bei geringer Phosphorspeicherkapazität und relativ hohem Phosphorsättigungsgrad in den unteren Schichten hochgradig phosphorauswaschungsgefährdet sein und sollten deshalb extensiviert werden. Die Bestimmung des Phosphorgehaltes im Oberboden reicht für eine Einschätzung des Austragsrisikos bei einzelnen Bodentypen nicht aus. Der Bodentyp als Austragsfaktor konnte bisher nicht berücksichtigt werden. Eine Bestimmung des Bodentyps wäre für Landwirte und Berater zeitaufwändig und teuer. Die weitere Beratungspraxis muss zeigen, ob stark austragsgefährdete, drainierte, hydromorphe Flächen stattdessen anhand des Grundwassereinflusses identifiziert werden können.

Eine erste Konsequenz aus den Ergebnissen des Dauerfeldversuchs könnte es sein, auf den stark austragsgefährdeten Einzelflächen – damit sind sowohl austragsgefährdete Flächen nach LÖSCHENBRAND 2007, als auch austragsgefährdete Bodentypen nach den Ergebnissen von MÜHLBACHER-KREUZER 2013 gemeint – im Winterhalbjahr (1. Oktober bis 31. März) keine Gülledüngung mehr durchzuführen. Das bedeutet, dass auf stark austragsgefährdeten Einzelflächen zum ersten Schnitt im Grünland keine Gülledüngung erfolgt. Dieser Vorschlag wurde bereits im Maßnahmenkatalog des INTERREG III A- Projekts „SeenLand-Wirtschaft“ für bis dahin bekannte austragsgefährdete Einzelflächen empfohlen. Langfristig verspricht eine solche Vorgehensweise nach Erkenntnissen des BAW aber nur Erfolg, wenn das Niveau an Phosphor im Gebiet insgesamt gesenkt wird.

Die Ergebnisse des Beregnungsversuchs verweisen auf die in früheren Versuchen des BAW gewonnene Erkenntnis, dass bodennahe nicht flächige Ausbringetechniken den Phosphataustrag auf drainierten Flächen verringern. Das BAW gibt daher auch in seiner Zusammenfassung die Empfehlung, auf drainierten Flächen nicht flächige bodennahe Gülleausbringung zu bevorzugen (STRAUSS 2013) (vgl. Abb. 28).



Abb. 28: Gülleausbringung mit dem Schleppschlauch; Foto: AELF

Ein Ansatz, der seit 2012 umgesetzt wird, ist das auf Initiative der Gemeinden vom Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziell unterstützte Anlegen von Rückhalteflächen rund um Wanginger und Tachinginger See (vgl. Abb. 29). Das dazu notwendige Flurbereinigerungsverfahren wurde eingeleitet. Ziel ist es, Schwebstoffe, aber auch zum Teil gelösten Phosphor herauszufiltern. Mit der Durchführung ist das Amt für Ländliche Entwicklung Oberbayern beauftragt.



Abb. 29: Absetzbecken in der Gemeinde Wonneberg; Foto: AELF

Damit die Sensibilität aller Betriebsleiter gegenüber dem Thema Gewässerschutz erhalten bleibt, ist längerfristig eine weiterführende Beratung notwendig. Die größten Potenziale dafür liegen in Themen wie einer optimierten Düngeplanung oder Verbesserung von Grünlandbeständen, bei denen der Seenschutz auch betriebswirtschaftliche Einsparpotenziale aufweist.

Ein wichtiges Hilfsmittel dazu ist, eine genaue Nährstoffbilanzierung wie z.B. die Hof-Tor-Bilanz, die derzeit von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft aktualisiert und ab 2013 über eine Internet-Anwendung zur Verfügung stehen wird (vgl. Abb. 30). Die Interpretation einer genauen betriebsindividuellen Nährstoffbilanz durch den Berater bietet gute Chancen für eine Beratung im Einzugsgebiet. Mit diesem wertvollen Beratungsinstrument können auch intensiver wirtschaftende Landwirte an eine gewässerschonende Bewirtschaftung herangeführt werden.

Labor: AGROLAB
Bruckberg
Bruckberg, 03.12.2009
Blatt 1

Untersuchungs-Befund

m/100g Boden, für Moorböden in Milligramm/100 Milliliter Boden. Untersuchung nach der CAL-Methode. Programmversion

chen- (FID)	Boden- nutzung	Bodenart	pH- Wert (CaCl ₂)	freier Kalk	KALK Versor- gung	PHOSPHAT		KALI		MAGNESIUM		Anal num
						P ₂ O ₅ mg	Gehalts- stufe	K ₂ O mg	Gehalts- stufe	Mg mg	Gehalts- stufe	
	A	05	6,7	+	hoch	30	D=hoch	28	D=hoch			322
	A	05	6,8			19	C=optimal	35	E=sehr hoch			322
						18	C=optimal	41	E=sehr hoch			322
						17	C=optimal	25	D=hoch			322
					niedrig	7	B=niedrig	13	C=optimal			322
		15	6,1		hoch	15	C=optimal	15	C=optimal			322
00014/1	G	15	6,0		hoch	20	C=optimal	36	E=sehr hoch			322
00015/1	G	15	6,5		hoch	20	C=optimal	25	D=hoch			322
00147/1	G	15	6,3		hoch	6	B=niedrig	13	C=optimal			322
00012/1	G	15	5,6		optimal	10	C=optimal	18	C=optimal			322
00012/1	G	15	6,9		hoch	15	C=optimal	24	D=hoch			322
00012	G	15	6,2		hoch	12	C=optimal	21	D=hoch			322
00146/1	G	15	6,5		hoch	11	C=optimal	17	C=optimal			322

Abb. 30: Nährstoffbilanzierung als wichtiges Instrument für die Düngelplanung; Foto: AELF

Die Schweiz bietet im Kanton Luzern ein Seenschutzpaket mit phosphorreduzierenden Maßnahmen als freiwilligen „Seenvertrag“ auf Basis finanzieller Ausgleichsmaßnahmen für die Landwirte an. Damit wurden große Erfolge für eine Verbesserung der Wasserqualität am Sempacher See erzielt. Aufgrund eines EU-rechtlichen Verbots von Anreizkomponenten ist dieser Weg förderrechtlich nach Auskunft des StMELF derzeit nicht möglich.

Da der Boden auf lange Sicht nur Zwischenspeicher für die enthaltene Phosphormenge ist, muss es langfristiges Ziel am Waginger See sein, das Niveau des Phosphorkreislaufs auf ein seenverträgliches Maß zu senken. Technische Maßnahmen wie z.B. die Anlage von Rückhalteflächen können, soweit ökologisch verträglich, eine große Hilfe sein, erfordern aber langfristige Investitionen. Eine Reduzierung des Viehbestandes im Gebiet oder eine großflächige Extensivierung würden das Niveau des Phosphorkreislaufs im Einzugsgebiet dauerhaft senken, erscheinen derzeit betriebswirtschaftlich und rechtlich allerdings nicht machbar.

Wichtige Säulen für den Seenschutz bleiben die strikte Einhaltung der guten fachlichen Praxis und eine längerfristige Beratung zum einzelbetrieblichen Gewässerschutz nach dem Maßnahmenkatalog aus INTERREG III A „SeenLandWirtschaft“, die nicht flächige bodennahe Gülleausbringung, die Weidewirtschaft und die offensive Bewerbung von Agrarumweltprogrammen wie dem bayerischen KulaP einschließlich der Umstellung auf Ökolandbau als gesamtbetrieblicher Maßnahme. Es sollte geprüft werden, inwieweit weitere Maßnahmen wie z.B. der Export von Gülle-Phosphor aus dem Einzugsgebiet umsetzbar sind.

Aufgabe des Gesetzgebers bleibt es auch weiterhin, Rahmenbedingungen wie die Düngeverordnung und das Wasserhaushaltsgesetz zu überprüfen und förderrechtliche Möglichkeiten für freiwillige Seenschutzmaßnahmen auszuloten.

Das Problem des zu hohen Phosphoreintrags in Gewässer ist nur lösbar, wenn alle an einem Strang und in die gleiche Richtung ziehen: konventionell und ökologisch wirtschaftende Landwirte, Fachverbände, Gesetzgeber, Ministerien, Gemeinden und Beratung. Mit dem INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ wurden weitere Zusammenhänge geklärt, Lösungswege aufgezeigt und es wurde der wichtige Einstieg in die einzelbetriebliche Seenschutzberatung gemacht.



Abb. 31: Blick auf den Waginger-Tachinger See; Foto: AELF

Danksagungen

Das INTERREG-Projektteam bedankt sich bei allen Geldgebern, dem Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (EFRE), dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, der Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Oberflächengewässerwirtschaft und der Direktion für Landesplanung, wirtschaftliche und ländliche Entwicklung, Abteilung Land- und Forstwirtschaft des Amtes der oberösterreichischen Landesregierung sowie den zuständigen regionalen EFRE-Stellen in München und Linz für die Finanzierung und unterstützende Begleitung des Projekts „Gewässer-Zukunft“.

Der Leadpartner, das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Traunstein, dankt allen Projektpartnern für die sehr engagierte und kollegiale Mitwirkung am Projekt.

Nicht zuletzt bedankt sich das Projektteam ganz besonders bei allen Landwirten, die unser gemeinsames Anliegen für saubere Gewässer fachkundig und tatkräftig in beiden Regionen unterstützen und bereit sind, dafür auch freiwillige Leistungen zu erbringen.

Literatur

- BOHNER, A. et al., 2013: Phosphor in landwirtschaftlich genutzten Böden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen im oberösterreichischen Innviertel. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- BUCHMEIER, G., 2003: Nährstoffeinträge und ihre Auswirkungen auf den Waginger-Tachinger See: Untersuchungsjahre 2001/2002. Wasserwirtschaftsamt Traunstein, 18 S.
- BUCHMEIER, G., 2007: Phosphoreintrag in den Waginger-Tachinger See (Bayern): Phosphorkonzentration und Phosphorfracht in Bächen. Schriftenreihe BAW, Band 26, S. 94-108
- BUNDESAMT FUER WASSERWIRTSCHAFT, Schriftenreihe Band 26, 2007: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG III A-Projektes „SeenLandWirtschaft“, 146 Seiten.
- GSTOETTNER, B. et al., 2013: Entwicklung der Fließgewässerqualität in Oberösterreich in Hinblick auf Nährstoffe/Schwerpunkt Antiesen. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.

- GUTSER, R., 2012: Novellierung der Düngeverordnung – auch der Umwelt zuliebe? In: Die neue Wasserkunst der nachhaltigen Bewirtschaftung, Tagungsband zum Kongress Nachhaltigkeit in der Bayerischen Wasserwirtschaft 2012, TUM/Wissenschaftszentrum Weihenstephan, S. 97 ff.
- HÖESL, R. und P. STRAUSS, 2013: Wirksamkeit konservierender Bodenbearbeitungsverfahren zur Reduktion von Oberflächenabfluss und Bodenerosion. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- LEHR- UND FORSCHUNGSZENTRUM FUER LANDWIRTSCHAFT Raumberg-Gumpenstein 2012: 3. Umweltökologisches Symposium: Wirkung von Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz, Tagungsband, 114 S.
- LEHR- UND FORSCHUNGSZENTRUM FUER LANDWIRTSCHAFT Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- LOESCHENBRAND, F., St. ZIMMERMANN und A. MELZER, 2007: Modellierung der Phosphorgesamtausträge im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees. Schriftenreihe BAW, Band 26, S. 80-93.
- MUEHLBACHER-KREUZER, S. et al., 2013: Untersuchungen zum Phosphor-Austrag aus drainierten Grünlandböden im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- PARZINGER, M. und R. OEHLER, 2013: Methode und Ergebnisse der Seenschutzberatung am Waginger und Tachinger See. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- SCHNEIDERBAUER, C. et al., 2013: Beratungsmaßnahmen und Ergebnisse der Umsetzung im Einzugsgebiet der Antiesen. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- STRAUSS, P., R. HOESL und J. DEVATY, 2013: BoBB – Bodenerosion, Beratung und Berechnung – Ein Werkzeug zur Unterstützung der landwirtschaftlichen Beratungspraxis. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- STRAUSS P., R. HOESL et al., 2013: Wirkung bodennaher Gülleausbringung auf den Phosphoraustrag in Drainagen. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- TRAUTWEIN, S., 2013: Entwicklung der Wasserqualität stehender Gewässer in Bayern in Hinblick auf Nährstoffe/Schwerpunkt Waginger-Tachinger See. Aus: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein 2013: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ 2009 - 2013.
- WENDLAND, M., M. DIEPOLDER und P. CAPRIEL, 2007: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, Gelbes Heft, 8. überarbeitete Auflage 2007. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 98 S.

Autor

Marlene Berger-Stöckl, Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF), Schnepfenluckstraße 10, D-83278 Traunstein, marlene.berger-stoeckl@aelf-ts.bayern.de

Entwicklung der Nährstoffsituation in oberösterreichischen Fließgewässern

Bettina Gstöttner

Zusammenfassung

Im Laufe der Zeit änderten sich nicht nur die Belastungen der Fließgewässer sondern auch die Methoden der Untersuchung und Bewertung. Stand früher vor allem die Verschmutzung mit leicht abbaubaren organischen Stoffen im Vordergrund, sind es heute vor allem hydromorphologische Veränderungen, und in bestimmten Gebieten auch stoffliche Belastungen, die die Qualität der Fließgewässer beeinträchtigen. Hinsichtlich der Untersuchungs- und Bewertungsmethoden war vor allem die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie in nationales Recht von entscheidender Bedeutung. Gewässer müssen seither in ihrer Gesamtheit als Ökosystem betrachtet werden.

In Oberösterreich verfehlt rund ein Drittel der größeren Fließgewässer die Umweltziele auch auf Grund der vorhandenen Nährstoffbelastung, insbesondere in Bereichen des landwirtschaftlich intensiv genutzten bayrisch-österreichischen Alpenvorlandes.

Die Auswertung verschiedener Parameter an der Antiesen im oberösterreichischen Innviertel zeigt, dass vor allem die Qualitätsziele für die Orthophosphatkonzentration überschritten werden.

Schlagwörter: Nährstoffbelastung, punktuelle Einträge, diffuse Einträge, Monitoring, Orthophosphatkonzentration

Summary

Not only has the contamination of running waters changed in the course of time, but also the methods of examination and evaluation. In the past it was essentially the pollution with readily biodegradable substances whereas nowadays hydromorphological changes – and in certain areas high concentration of nutrients - derogate the quality of rivers. With respect to methods of examination and evaluation the implementation of the European Water Framework Directive in national legislation was of decisive importance. Since then surface waterbodies have to be regarded in their entirety as ecosystems.

In Upper Austria about one third of the rivers, particularly in the intensive farming areas of the Bavarian-Austrian alpine foothills does not meet with the environmental requirements also for reason of nutrient contamination.

The evaluation of different parameters along the Antiesen in the Upper Austrian area of the Innviertel shows that particularly the quality goals for orthophosphate concentration are exceeded.

Keywords: nutrient contamination, point sources, non-point sources monitoring, orthophosphate concentration

1. Einleitung

”Seit den Sechzigerjahren des Zwanzigsten Jahrhunderts werden Fließgewässer und Seen regelmäßig untersucht, teils unter Aufsicht des Bundes und teils eigenständig durch die jeweiligen Landesregierungen” (BMLFUW 2008, 9).

Auf Grund von Nährstoffproblemen wurden zu Beginn vor allem Seen untersucht, in späteren Jahren rückten Fließgewässer als Forschungsschwerpunkt in den Vordergrund.

Neben Nährstoffeinträgen als Resultat intensiver Land- und Forstwirtschaft in großen Teilen vieler Flusseinzugsgebiete führen punktuelle Einleitungen kommunaler und/oder industrieller Abwässer, insbesondere in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg, vielfach zu schweren Beeinträchtigungen der Wassergüte (vgl. JUNGWIRTH et al. 2003, 271).

2. Methoden

2.2 Monitoring und Bewertung von Fließgewässern in Österreich

Vor dem Inkrafttreten der Wasserrahmenrichtlinie wurde die Qualität der österreichischen Flüsse bundesweit im Rahmen der Wassergüte-Erhebungsverordnung untersucht.

Die fachliche und administrative Umsetzung des Untersuchungsprogramms erfolgte durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt und den Ämtern der Landesregierungen (vgl. BMLFUW und UMWELTBUNDESAMT 2011, 13).

Die Untersuchungen erfolgten an fixen Messstellen und umfassten einen einheitlichen Parameterumfang bestehend aus physikalischen und chemischen Parametern und der saprobiologischen Gewässergüte.

Die Untersuchungsstellen wurden in Abhängigkeit von der Gefährdung der Gewässerabschnitte, im Sinne eines Belastungsmessnetzes, festgelegt und die Ergebnisse in Gütekarten dargestellt.

Mit der WRG Novelle 2003 werden die Festlegungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie zum Monitoring und zur Zustandsbewertung von Fließgewässern in das österreichische Wasserrecht übernommen.

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie betrachtet Gewässer in ihrer Gesamtheit. Im Rahmen eines vorgegebenen Zeitplans müssen die Gewässer bis 2015 - mit Ausnahmeregelung bis 2027 - in den guten chemischen und ökologischen Zustand gebracht, und die langfristige Erhaltung des guten Zustandes ermöglicht werden.

Die fachliche Konkretisierung der Grundsätze des Monitorings gemäß EU-WRRL erfolgt in Österreich durch die Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.F. BGBl. II Nr. 465/2010), die seit 22.12.2006 die rechtsverbindliche Basis für die Überwachung von Fließgewässern und Seen darstellt.

Diese Verordnung sieht eine überblicksweises sowie eine operative Überwachung vor, mit dem Ziel, österreichweit nach einheitlichen Kriterien einen zusammenhängenden und umfassenden Überblick über den Zustand der Gewässer zu gewinnen.

Auf Grund der Vorgaben der EU-WRRL stehen nun nicht mehr stoffliche Belastungen im Vordergrund, sondern eine gewässertypspezifische Erfassung des Gesamtzustandes der Ökosysteme. Neu ist somit die Erfassung der Organismen sowie der Lebensraumstruktur.

Die fachliche Konkretisierung der Grundsätze der Zustandsbewertung von Gewässern erfolgte in der Qualitätszielverordnung Ökologie (BGBl. II Nr. 99/2010 i.d.g.F.) und in der Qualitätszielverordnung Chemie (BGBl. II Nr. 96/2006 i.d.g.F.).

2.3 Landesmessnetze als Instrumente der Gewässeraufsicht im Bundesland Oberösterreich

Ein grober Raster von Untersuchungsmessstellen, eine ständige Rotation dieser Stellen und der zu untersuchenden Parameter, wie im nationalen Monitoring festgelegt, kann den Anforderungen der Gewässeraufsicht eines einzelnen Bundeslandes nicht gerecht werden. Internationale Berichtspflichten auf europäischem Niveau und umsetzungsorientierte wasserwirtschaftliche Arbeit im Bundesland stellen zwei unterschiedliche Ebenen mit unterschiedlichen Ansprüchen dar. Um einen entsprechend detaillierten Überblick über die Belastung bzw. den qualitativen Zustand der oberösterreichischen Fließgewässer zu erhalten bzw. Grundlagen für Sanierungsmaßnahmen zu schaffen, gibt es spezielle Landesmessprogramme (vgl. AMT DER OÖ LANDESREGIERUNG 2007, 42).

In Oberösterreich wird die Gewässergüte von Fließgewässern durch systematische Gewässeruntersuchungen im Rahmen des Biologischen Untersuchungsprogrammes (BUP) und des Amtlichen Immissionsmessnetzes (AIM) seit Anfang der 1990er Jahre untersucht.

Zur Zeit umfasst das Biologische Untersuchungsprogramm rund 220 Untersuchungsstellen, welche in dreijährigen Abständen untersucht werden. Die chemisch-physikalischen Messungen des Amtlichen Immissionsmessnetzes werden an rund 120 Messstellen monatlich durchgeführt.

Das Biologische Untersuchungsprogramm untersucht die im Gewässer lebenden Organismen, in ihrer Funktion als Langzeit-Indikatoren. Ursprünglich wurde im BUP das Ausmaß der Belastung der Gewässer mit leicht abbaubaren organischen Substanzen auf Basis des Fehlens oder Vorkommens bestimmter Organismen bewertet und die Ergebnisse an Hand von Gewässergütekarten dargestellt. Heute stellt es ein Pflichtelement der ökologischen Zustandsbewertung dar.

Das Amtliche Immissionsmessnetz befasst sich hauptsächlich mit den chemisch-physikalischen Parametern zur Bewertung des ökologischen Zustandes, also im Wesentlichen mit dem Nährstoffhaushalt, den Sauerstoffverhältnissen, dem pH-Wert und der Temperatur.

Die Ergebnisse der beiden Programme fließen letztlich in einer gemeinsamen Zustandsbewertung gemäß den Vorgaben der WRRL zusammen und ermöglichen umfassende, auf die Ursachen von Belastungen zielende Aussagen.

3. Ergebnisse

3.1 Entwicklung der Qualität der Fließgewässer in Oberösterreich

In der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg stellten Belastungen durch Nährstoffe und insbesondere organische Verbindungen in Gewässern ein großes Problem dar.

Aufgrund umfangreicher Sanierungsmaßnahmen, vor allem durch die Behandlung industrieller und kommunaler Abwässer, konnten organisch leicht abbaubare Stoffe in Fließgewässern reduziert und, wie die Karten zeigen, die Gewässergüte (Saprobiologie) im Laufe der Zeit verbessert werden.

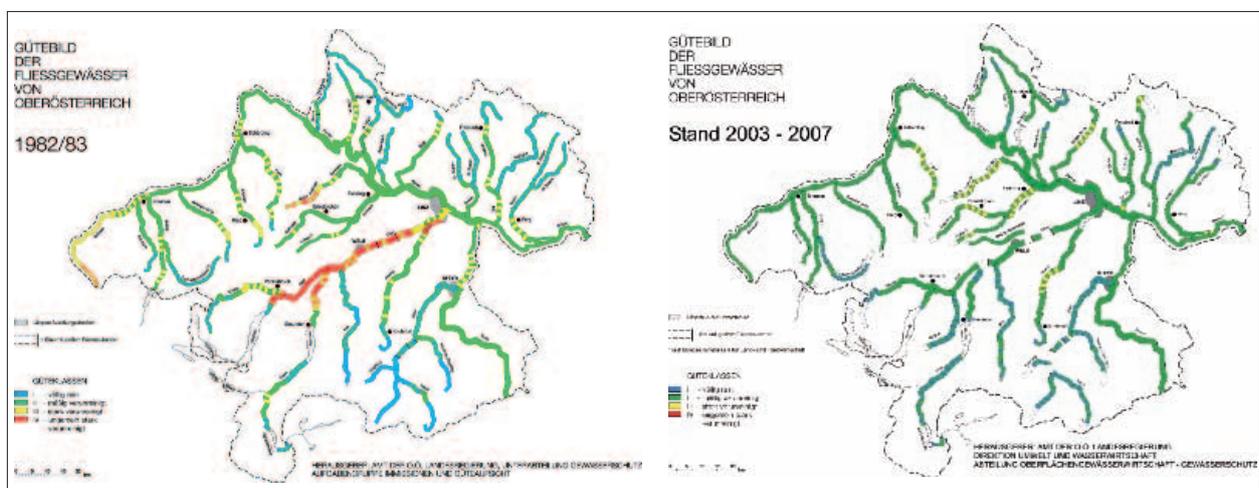


Abb. 1 und 2: Veränderung der Gewässergüte (organisch leicht abbaubare Verschmutzung) der oberösterreichischen Fließgewässer.

In Oberösterreich wurde die positive Entwicklung der Gewässergüte hinsichtlich leicht abbaubarer organischer Stoffe großteils durch eine flächendeckende Sammlung und Reinigung von Abwässern aus Haushalten und Betrieben in modernen Abwasserreinigungsanlagen erreicht. Aktuelle Daten belegen einen Anschlussgrad von rund 87% bezogen auf die Einwohner (vgl. LAND OBERÖSTERREICH 2012, 32).

Durch regelmäßige Eigen- und Fremdüberwachung der Kläranlagen wird sichergestellt, dass die dem Stand der Technik und den wasserrechtlichen Bewilligungen entsprechenden Grenzwerte eingehalten werden.

In peripheren Bereichen garantieren Kleinkläranlagen eine ordnungsgemäße Abwasserentsorgung. Weiters erfolgt zum Teil auch eine Sammlung der Abwässer in Senkgruben und eine anschließende Verbringung zu den Übernahmestellen der Kläranlagen oder eine Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen.

3.2 Aktuelle Situation an oberösterreichischen Fließgewässern

Im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP 2009) wird der Zustand aller Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet über 10 km² dargestellt. Nur rund 14% der Gewässerstrecken in Oberösterreich entsprechen bereits den gesetzlichen Umweltzielen. 86% weisen einen Sanierungsbedarf auf. Hingegen befinden sich nur mehr knapp 4% aller Gewässerstrecken in einem sehr guten bzw. nahezu natürlichen Zustand. An größeren Bächen und Flüssen erreicht keine einzige Strecke in Oberösterreich mehr diesen Zustand.

An rund einem Drittel der Gewässerstrecken werden die Umweltziele aufgrund der vorhandenen Nährstoffbelastung nicht erreicht (vgl. LAND OBERÖSTERREICH 2012, 22). Bezogen auf die 123 Messstellen des amtlichen Immissions-Landesmessnetzes ergibt sich ein noch kritischeres Bild.

Die Auswertung des amtlichen Immissions-Landesmessnetzes (Abb. 3) zeigt, dass die Verfehlung des guten Zielzustandes überwiegend durch Überschreitungen der Grenzwerte der Orthophosphatkonzentrationen verursacht wird.

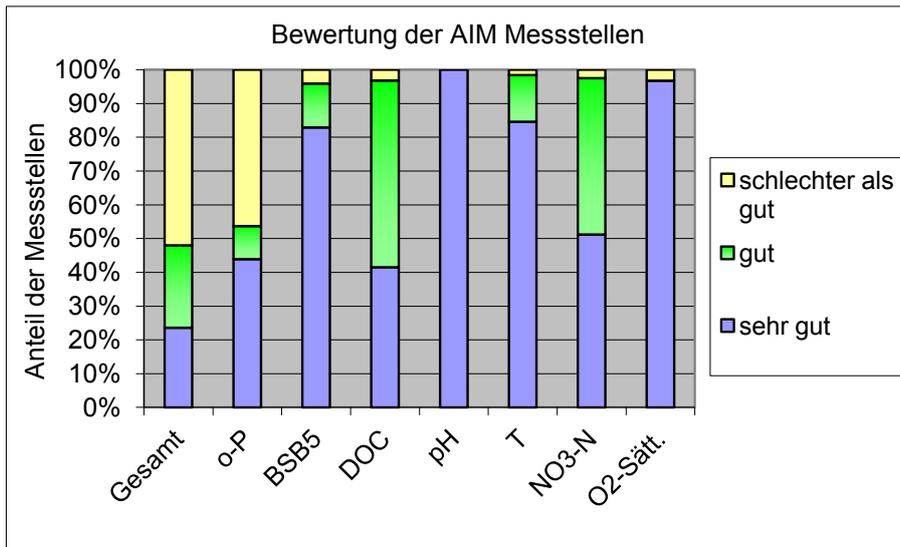


Abb. 3: Bewertung je Parameter und Gesamtbewertung der chemisch-physikalischen Komponenten des ökologischen Zustandes (Amtliches Immissionsmessnetz OÖ, Daten 2011)

Diese Ergebnisse werden durch die für die Gesamtbewertung des ökologischen Zustandes ausschlaggebenden biologischen Untersuchungen weitgehend bestätigt. Untersucht wurde die Nährstoffbelastung anhand der im Gewässer vorkommenden Aufwuchsalgen.

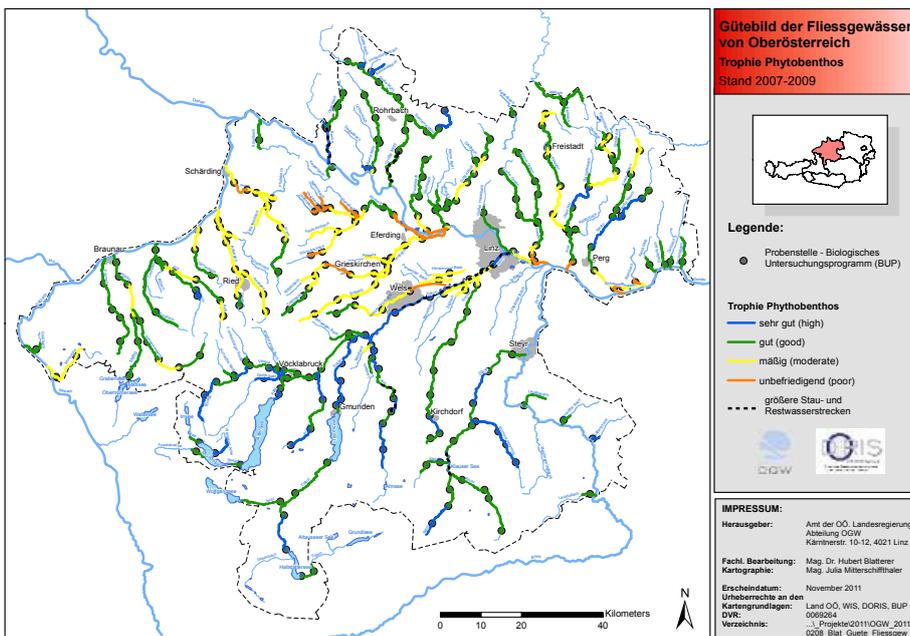


Abb. 4: Trophie/Phytobenthos (Daten 2007-2009)

Wie Abbildung 4 zeigt, treten Überschreitungen (gelb: mäßig, orange: unbefriedigend) vorwiegend im Bereich des landwirtschaftlich intensiv genutzten bayerisch-österreichischen Alpenvorlandes auf.

Phosphor gelangt unter anderem diffus über Oberflächenabfluss, Drainagen, Grundwasser sowie Interflow und insbesondere über Bodenerosion in die Gewässer. Durch den Ausbau der Kläranlagen mit P-Eliminierung konnte die Belastung aus punktuellen Quellen nachhaltig reduziert werden. Dadurch ist die Bedeutung der diffusen Einträge aus landwirtschaftlichen Nutzflächen für die Gesamtbelastung deutlich gestiegen.

3.3 Situation an der Antiesen



Abb. 5: Antiesen; Foto: Hubert Blatterer

Die Antiesen entspringt am nordöstlichen Rand des Hausruckwaldes in der Marktgemeinde Eberschwang und entwässert ein Einzugsgebiet von rund 286 km². Bei Antiesenhofen mündet das Fließgewässer nach etwa 45 km in den Inn. Die wichtigsten Zubringer sind der Riederbach und die Osternach.

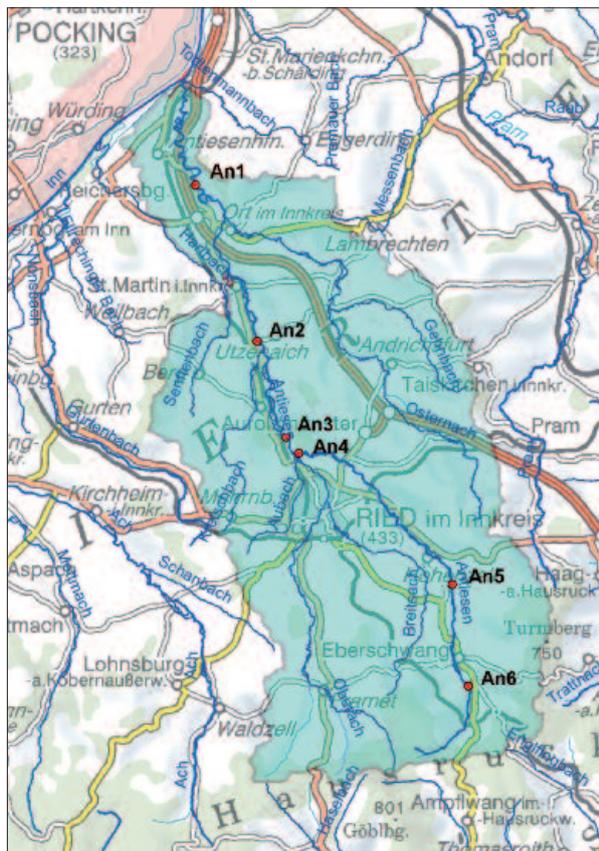


Abb. 6: Einzugsgebiet der Antiesen, AIM Messstellen
Quelle: Land OÖ, BEV ÖK 1:500000

Die aktuelle Auswertung der chemisch-physikalischen Parameter gemäß Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer ergibt an allen sechs Messstellen des Amtlichen Immissionsmessnetzes an der Antiesen einen schlechteren als den guten Gesamtzustand.

Während die Temperatur, der pH-Wert, die Sauerstoffsättigung, der Biochemische Sauerstoffbedarf (BSB₅), der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) und der Nitratstickstoff (NO₃-N) großteils einen zumindest guten Zustand aufweisen, befinden sich alle Messstellen hinsichtlich der Orthophosphatkonzentrationen in einem schlechteren als dem guten Zustand.

Die gewässertypspezifischen Anforderungen werden, wie in Abbildung 7 dargestellt, an jeder Messstelle überschritten (gelb hinterlegt: Zustand schlechter als Qualitätsziel), wobei sich die Messstelle An1 im Oberlauf der Antiesen befindet und die Messstelle An6 bei Antiesenhofen, kurz vor der Mündung in den Inn.

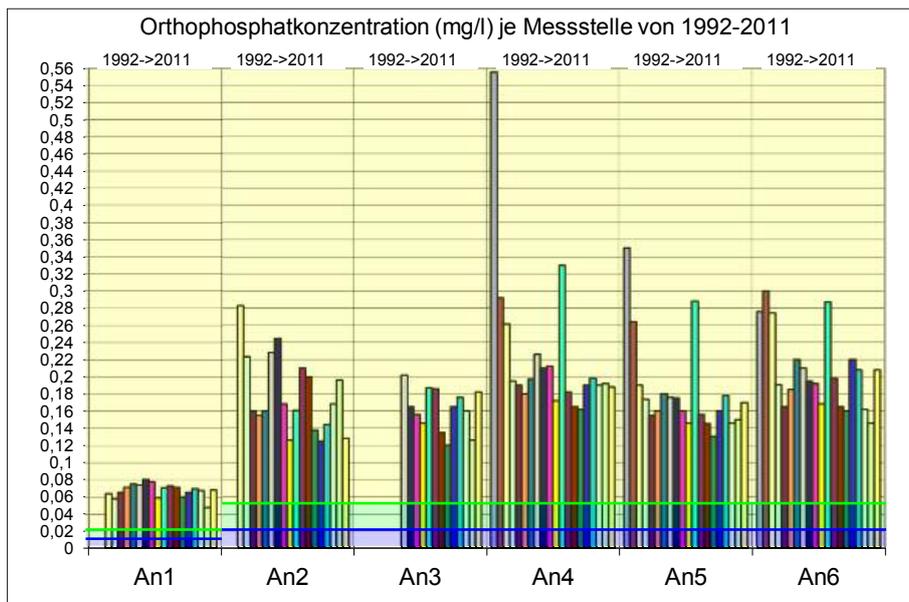


Abb. 7: Überschreitung der Qualitätsziele für die Orthophosphatkonzentration (mg/l, 90%- Perzentil) an den 6 Messstellen An1-An6 für die Jahre 1992 bis 2011 (blau: Grenze sehr guter/guter Zustand; grün: Grenze guter Zustand (Amtliches Immissionsmessnetz OÖ)).

Die Belastung des Fließgewässers mit Orthophosphat ist bereits im Oberlauf der Antiesen (Messstelle An1) so hoch, dass der gute Zustand nicht erreicht wird.

Kläranlagen im Einzugsgebiet unterhalb der Messstelle An1 verursachen eine zusätzliche Aufstockung.

Im Rahmen einer Studie wurden, mit Hilfe des MONERIS-Emissionsmodells, die Haupteintragspfade für Phosphoremissionen für einzelne oberösterreichische Beispielsregionen ermittelt.

In der Region Innviertel stellt die Erosion von landwirtschaftlichen Flächen den dominanten Eintragspfad für Phosphor in die Gewässer dar (vgl. AMT DER OÖ LANDESREGIERUNG 2011, 87).

Hinsichtlich der Abwasserreinigungsanlagen lässt sich anhand der Ablaufwerte einiger ausgewählter Kläranlagen im Einzugsgebiet der Antiesen tendenziell ein Rückgang der Gesamtposphorfrachten feststellen.

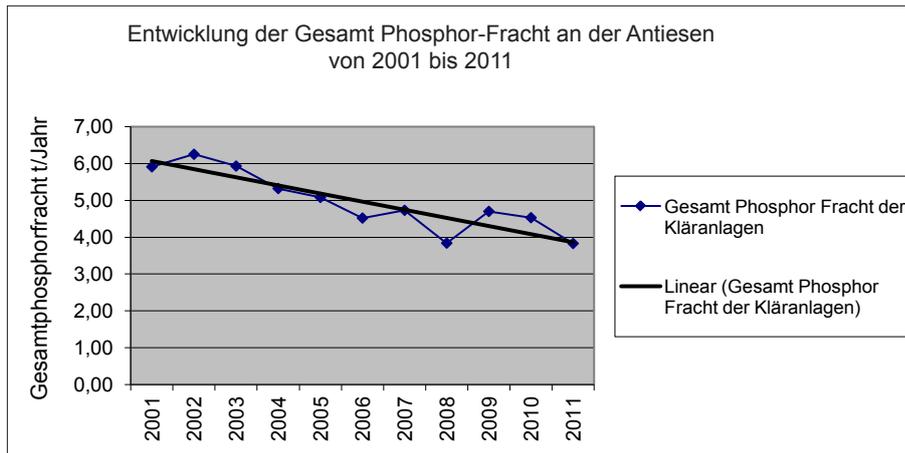


Abb. 8: Entwicklung der Gesamt Phosphorfracht an der Antiesen von 2001 bis 2011 aus den Abläufen der größeren Kläranlagen Antiesenhofen, RV Mittlere Antiesen, RV Ried i.I.u.U., Eberschwang, RV Oberach.

Betrachtet man die Entwicklung der Orthophosphatkonzentrationen an der Antiesen von 1992 bis 2011 anhand des arithmetischen Mittelwertes je Jahr, so nahmen auch die Konzentrationen im Fließgewässer innerhalb der vergangenen 20 Jahre tendenziell ab, wobei bis 1996 der stärkste Rückgang erfolgte. Der hohe Wert 2003 ist auf die extreme Niederwassersituation im Sommer 2003 zurückzuführen.

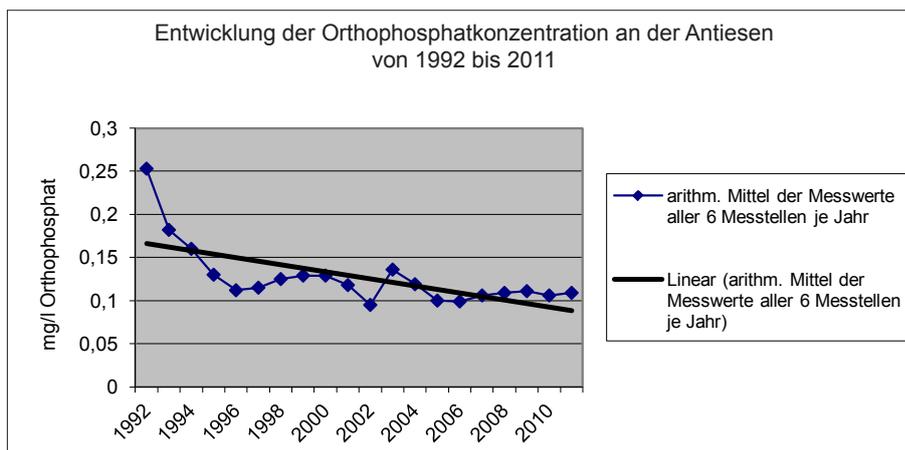


Abb. 9: Entwicklung der Orthophosphatkonzentration (mg/l) an der Antiesen von 1992 bis 2011 im Mittel aller Messstellen (arithmetische Mittelwert).

4. Schlussfolgerungen

Fließgewässer in Oberösterreich weisen neben großen hydromorphologischen Defiziten auch Belastungen auf Grund von Nährstoffen auf. Rund ein Drittel der Fließgewässer in Oberösterreich erreicht die Umweltziele auf Grund stofflicher Belastungen nicht.

Die Auswertungen der Landesmessnetze zeigen vor allem bei den Phosphorkonzentrationen Überschreitungen.

Verschiedene Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer wurden bereits umgesetzt.

Im Bereich der punktuellen Einleitungen wurde durch die systematische Abwasserreinigung ein hoher Erfassungs- und Reinigungsgrad der Abwässer erreicht. Parallel dazu entstanden auch gesetzliche Vorgaben zur Reduktion diffuser Einträge, sowie spezielle Angebote in Förderprogrammen.

Trotz der bisher umgesetzten Maßnahmen konnten in vielen Gebieten die gesetzlich vorgesehenen Umweltziele noch nicht erreicht werden.

Aus diesem Grund wird intensiv an der Weiterentwicklung von Förder- und Beratungsprogrammen gearbeitet, da sich diese im Bereich des Grundwasserschutzes, hinsichtlich Nitratreduktion, bereits gut bewährt haben.

Literatur

- AMT DER OÖ LANDESREGIERUNG, 2007: Tätigkeitsbericht Wasserrechtsabteilung/Wasserwirtschaft 2005/06; Amt der OÖ Landesregierung, Wasserrechtsabteilung und Wasserwirtschaft, Linz.
- AMT DER OÖ LANDEREGIERUNG, 2011: Analyse der Nährstoffströme in oberösterreichischen Einzugsgebieten nach unterschiedlichen Eintragungspfadern für strategische Planungen (Nährstoffströme Oberösterreich), Modul 1, Endbericht, Technische Universität Wien; Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, wpa Beratende Ingenieure, Umweltbundesamt, Wien.
- BMLFUW, 2008: GZÜV-Oberflächengewässer (Gewässerzustandsüberwachungsverordnung) Umsetzung 2007-2009; Bericht über das Überwachungsprogramm für die Oberflächengewässer in Österreich nach den Vorgaben der EU- Wasserrahmenrichtlinie und des Österreichischen Wasserrechtsgesetzes; Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft –Sektion VII, Franz Wagner und Karin Deutsch, Wien.
- BMLFUW und UMWELTBUNDESAMT, 2011: Wassergüte in Österreich, Jahresbericht 2010, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- JUNGWIRTH, M., G. HAIDVOGL, O. MOOG, S. MUHAR und S. SCHMUTZ, 2003: Angewandte Fischökologie an Fließgewässer, Wien.
- LAND OBERÖSTERREICH, 2012: Oberösterreichischer Umweltbericht 2012, Land Oberösterreich, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abt. Umweltschutz, Linz.

Autor

DI Bettina Gstöttner, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Oberflächengewässerwirtschaft, Kärntnerstr. 10-12, A-4021 Linz,
bettina.gstoettner@ooe.gv.at

Entwicklung der Wasserqualität stehender Gewässer in Bayern in Hinblick auf Nährstoffe / Schwerpunkt Waginger-Tachinger See

Susanne Trautwein

Zusammenfassung

Vielfach waren die Seen in Bayern insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch hohe Nährstoffeinträge belastet. Durch die Abwasserreinigung hat sich der Nährstoffgehalt vieler Seen deutlich vermindert. Trotzdem kommt es in manchen bayerischen Seen nach wie vor zu einem erhöhten Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet.

Bis 2006 wurde eine Bewertung der bayerischen Seen anhand der Trophielage und der chemisch-physikalischen Parameter vorgenommen. Mit der Einführung der WRRL im Jahr 2000 wurde die biologische Bewertung auf eine breite Basis gestellt: gemäß WRRL gehören zu den sogenannten biologischen „Qualitätskomponenten“ in den Oberflächengewässern die Gewässerflora mit Wasserpflanzen und Algen, die Kleintiere (Makrozoobenthos) und die Fischfauna.

Von den 10 größten natürlichen Seen in Bayern haben derzeit zwei den guten Zustand verfehlt. Einer davon ist der Waginger See im Landkreis Traunstein, der hohe Phosphoreinträge aus dem überwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet erhält. Der Eintrag wird durch die geologischen Voraussetzungen und durch hohe Niederschläge begünstigt.

Drei Untersuchungsprojekte befassen sich seit 2001 mit der Nährstoffsituation und den möglichen und notwendigen Maßnahmen zur Erreichung des guten Zustands.

Schlagwörter: guter ökologischer Zustand, biologische Bewertung, Europäische Wasserrahmenrichtlinie, Eutrophierung, Phosphoraustrag

Summary

Many Bavarian lakes were influenced by a high input of nutrients especially in the second half of the 20th century. Treating waste water the nutrient content in many lakes decreased markedly. However, in certain Bavarian lakes there is still a high input of nutrients from the catchment area.

Until 2006 Bavarian lakes were evaluated by the trophy state and chemical-physical parameters. Implementing the European Water Framework Directive (WFD) comprehensive biological methods were developed for assessing the ecological status including the quality elements macrophytes / algae / phytoplankton, macroinvertebrates and fish.

Presently two of the 10 largest natural lakes in Bavaria do not reach the good ecological status. One of them is the „Waginger See“ near Traunstein in Upper Bavaria which gets a high load of phosphorus from the catchment area that is primarily agriculturally used. The input is encouraged by geological conditions and high annual precipitation. The nutrient situation and the possible and necessary efforts to reach the good status are researched by three studies since 2001.

Keywords: good ecological status, biological evaluation, European Water Framework Directive, eutrophication, phosphorus discharge

1. Einleitung

In Bayern existieren mehr als 200 natürliche Seen, deren Seeoberfläche größer als drei Hektar ist. Daneben gibt es eine Vielzahl künstlicher Seen wie z.B. Talsperren und Baggerseen. Vor allem in Südbayern prägen die Seen das Landschaftsbild. Hier liegt im Südosten unter anderem auch der Waginger-Tachinger See.

Vielfach waren die Seen in Bayern insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch hohe Nährstoffeinträge belastet (Eutrophierung). Zusätzlich zu den natürlichen Nährstoffeinträgen können auch Nähr- und Schadstoffeinträge z.B. aus Siedlungsgebieten oder der Flächennutzung (z.B. Landwirtschaft) in die Seen gelangen. Intensive Verbesserungen in der Abwasserbehandlung bzw. -fernhaltung führten bereits zu einer deutlichen Reduzierung der Nährstoffeinträge in die bayerischen Seen.

Um eventuellen Gefährdungen entgegen zu wirken und den Zustand der Seen als belastbar beurteilen zu können, ist eine regelmäßige Beobachtung und Bewertung der Wasserqualität (Monitoring) nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) erforderlich. Diese dient zugleich als Grundlage für Maßnahmenprogramme, wenn die Umweltziele verfehlt werden.

2. Seenmonitoring in Bayern

2.1 Bewertung der Trophie

1980 startete das Untersuchungsprogramm „Trophie“ der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung, bei dem an den 19 größten natürlichen Seen Bayerns routinemäßig Proben genommen und u.a. auf ihren Nährstoffgehalt hin untersucht wurden.

2.2 Bewertung des ökologischen Zustands

Mit dem Jahr 2007 wurden die bayerischen Messnetze auf die Erfordernisse der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) angepasst. Seitdem umfasst das „Bayerische Landesnetz Seen“ 53 Gewässer mit einer Oberfläche > 0,5 km². Diese unterteilen sich in 33 natürliche Seen, 15 Wasserspeicher in Fließgewässersystemen und 5 Restseen des Braunkohle Tagebaus.

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sieht die Bewertung des ökologischen und des chemischen Zustandes der Seen vor.

Der ökologische Zustand soll auf der Basis der taxonomischen Zusammensetzung und Abundanz (Häufigkeit) der Biozöosen der vier von der EU vorgegeben biologischen Qualitätskomponenten erfolgen:

- **Phytoplankton** (zusätzlich Biomasse, Massenentwicklungen) – freischwebende Algen und photosynthetisch aktive Bakterien
- **Makrophyten & Phytobenthos** – substrat- und bodengebundene Wasserpflanzen und Algen
- **Makrozoobenthos** – wirbellose Kleintiere des Gewässerbodens
- **Fische** (zusätzlich Altersaufbau)

Hierfür wurden eine Überblicksüberwachung und eine operative Überwachung eingeführt. Die unterschiedlichen Überwachungskategorien unterscheiden sich sowohl durch den Überwachungssturnus als auch die durchzuführenden Untersuchungsprogramme.

Die ökologische Bewertung der Einzelkomponenten wird am Ende zu einer ökologischen Gesamtaussage nach dem Worst Case Verfahren verschnitten, d.h. die schlechteste Einzelbewertung ergibt die Gesamtbewertung.

Für Seen sind bisher Verfahren für die Biokomponenten Phytoplankton und Makrophyten & Phytobenthos etabliert. Die Bewertungsverfahren für die Biokomponenten Fische und Makrozoobenthos sind nahezu abgeschlossen. Die Fischfauna wurde im ersten Monitoringzeitraum auf der Basis von Experteneinschätzung beurteilt.

Da die biologische Bewertung typspezifisch zu erfolgen hat, wurden für die vier biologischen Qualitätselemente ökoregionale sowie naturraum- und gewässerspezifische Typen (= Referenzbedingungen) definiert. Die Referenzen für die Biologie repräsentieren einen naturnahen Status, der gute Zustand eine geringe Abweichung davon. Als Arbeitsgrundlage wurden dazu bundesweit allgemeine Gewässertypen festgelegt. Die ökologische Bewertung der Biokomponenten erfolgt in den fünf Zustandsklassen sehr gut (Referenz), gut, mäßig, unbefriedigend und schlecht.

Unterstützt wird die ökologische Bewertung durch die Erhebung allgemeiner chemisch-physikalischer und hydromorphologischer Kriterien, wie sie bereits seit langem im wasserwirtschaftlichen Seenmonitoring Verwendung finden. Die Bewertung dieser Kriterien ermöglicht Aussagen über die allgemeinen Lebensbedingungen für Organismen in Seen.

Die Bewertung des chemischen Zustands nach WRRL geschieht über die Messung von Konzentrationen organischer Schadstoffe, die in einer Stoffliste vorgegeben sind. Diese Stoffe sind zu untersuchen, wenn sie in die Seewasserkörper eingeleitet werden.

2.3 Zielsetzung

Ziel der WRRL ist die Erreichung des guten oder sehr guten ökologischen und chemischen Zustands an allen Gewässern. Wenn die Zustandsklasse eines Gewässers nach der ersten Bewertung durch die Biokomponenten mäßig, unbefriedigend oder schlecht ist, müssen Verbesserungsmaßnahmen ergriffen werden. Bei allen Gewässern darf sich der Zustand nicht verschlechtern.

3. Entwicklung der Wasserqualität der großen Seen in Bayern

Tab. 1: Kenndaten der 10 größten Seen in Bayern

Name	Oberfläche [km ²]	Max. Tiefe [m]	Volumen [hm ³]
Chiemsee	80	73	2.048
Starnberger See	56	128	2.999
Ammersee	47	81	1.750
Walchensee	16	190	1.300
Tegernsee	9	73	323
Staffelsee	8	39	75
Waginger See	7	27	90
Simssee	6	23	87
Kochelsee	6	66	185
Königssee	5	190	512



Abb. 1: Karte der 10 größten natürlichen Seen in Bayern

Von 1975 bis 2001 wurden von der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung regelmäßig Gewässergütekarten veröffentlicht auf denen die aktuelle Gewässergüte der größeren Fließgewässer und die Trophielage der Seen dargestellt wurden.

1975 zeigten unter den 10 größten Seen Bayerns der Waginger See und der Simssee bereits deutliche Eutrophierungserscheinungen (Einstufung polytroph), ab 1977 folgten Chiemsee, Ammersee und Kochelsee (Einstufung eutroph). Eine Umkehr hin zur Reoligotrophierung setzte 10 Jahre später ein, als der Ammersee wieder mesotroph eingestuft werden konnte und der Simssee eutroph (Gütekarte 1986). 1992 erreichte der Kochelsee den mesotrophen und der Waginger See den eutrophen Status. Nach umfangreichen abwassertechnischen Sanierungen wurde der Chiemsee ab 1995 wieder mesotroph eingestuft. Die letzte Trophiekarte Bayerns wurde 2001 veröffentlicht, ohne Veränderungen bei den genannten Seen.

Ab 2004 wurde die Seenbewertung nach den Vorgaben der WRRL nach den Biokomponenten vorgenommen.

Von den 10 größten natürlichen Seen Bayerns haben die beiden Seen die bereits vorher als eutroph eingestuft waren den guten Zustand verfehlt: der Simssee und der Waginger See.

4. Entwicklung der Wasserqualität des Waginger Sees

Der Waginger See ist mit einer Oberfläche von 661 ha der siebtgrößte natürliche See Bayerns. Er ist geographisch eng verbunden mit dem 236 ha großen Tachinger See, von dem er teilweise gespeist wird und mit dem er auch namentlich verbunden ist. Die gängige Bezeichnung lautet Waginger-Tachinger See.

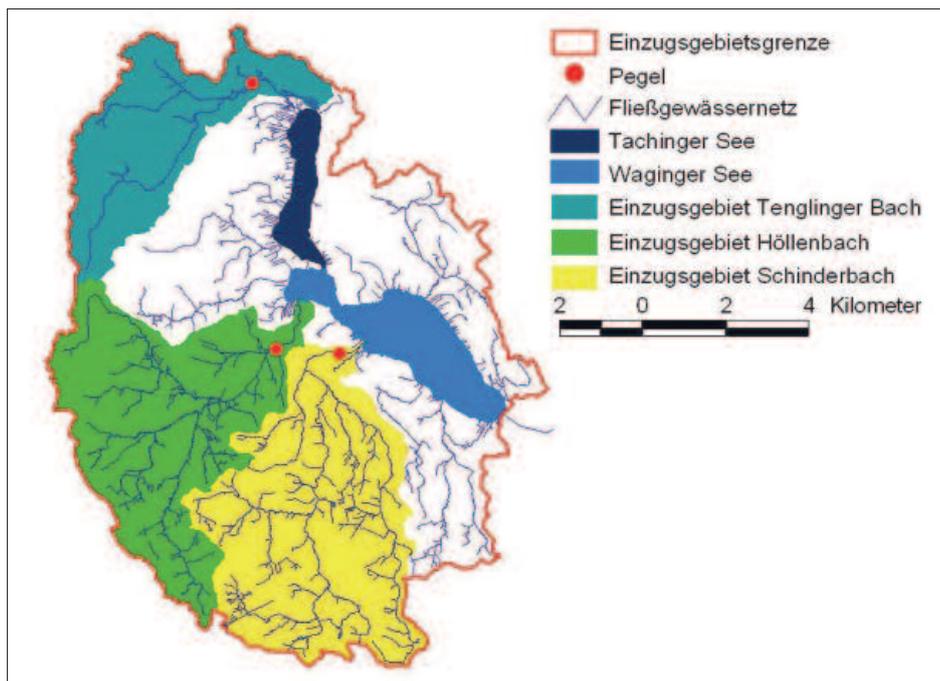


Abb. 2: Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees mit drei Hauptzuflüssen

Limnologisch gesehen handelt es sich um zwei getrennte Seen, die auch unterschiedlich bewertet werden. Trotz der geografischen Nähe zueinander weisen die Einzugsgebiete der beiden Seen deutliche Unterschiede bezüglich der Hydrogeologie auf und infolgedessen unterscheiden sich die Zuflüsse hydrologisch voneinander. Der Abfluss im quellwasserdominierten Tenglinger Bach als Zufluss zum Tachinger See schwankt weit weniger aufgrund von Hochwasserereignissen als Höllen- und Schinderbach, welche stark von Oberflächen- und Zwischenabfluss geprägt sind und in den Waginger See münden.

Die trophische Entwicklung verlief in den beiden Seen in etwa parallel, wobei die Eutrophierung im Waginger See etwas stärker war und früher begann. Die Eutrophierung trat ab den 1950er Jahren auf und erreichte ein Maximum während der 1980er Jahre. Anschließend ging aufgrund von abwassertechnischen Maßnahmen und dem sukzessiven Anschluss zahlreicher Ortsteile im Einzugsgebiet der Nährstoffeintrag deutlich zurück. Ab 1992 wurden die Seen einheitlich als eutroph bewertet. 1995 wurde die Kläranlage Wa-

ginger See in Betrieb genommen, mit einem hohen Anschlussgrad der Seeanliegergemeinden und einer Ableitung des gereinigten Abwassers in den Kanal der Götzinger Achen.

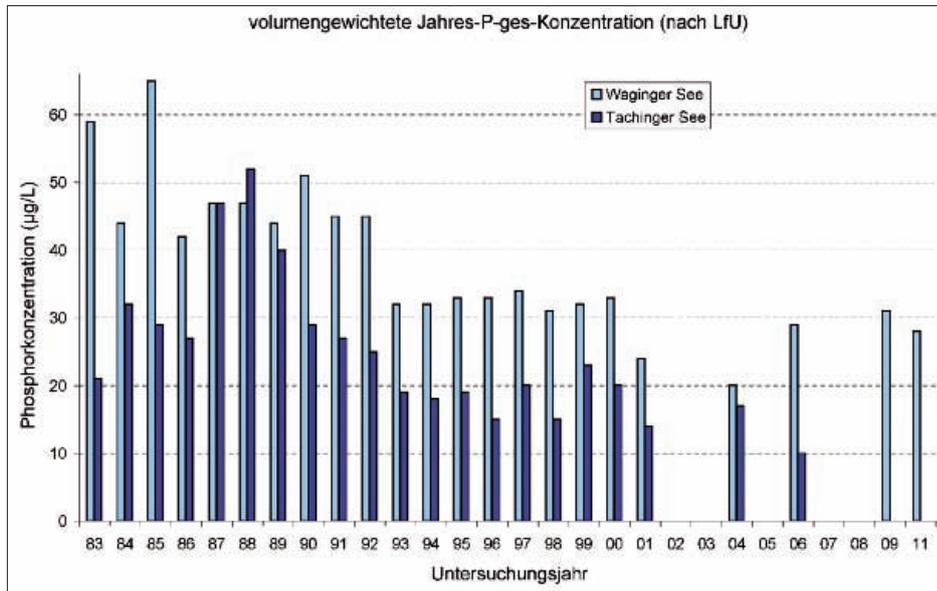


Abb. 3: Jährliche Durchschnittskonzentrationen im Waginger und Tachinger See für Gesamtphosphor, 1983 - 2009

Deutlich erkennbar ist der Rückgang der Phosphorkonzentration zu Beginn der 1990er Jahre in Folge der Abwasserbehandlung im Einzugsgebiet. Obwohl sich die Situation in beiden Seen aufgrund der Abwasserfernhaltung deutlich verbessert hat, ist in beiden Seen seit dieser Zeit kein weiterer Rückgang der Phosphorkonzentrationen mehr erkennbar.

Bei der Bewertung nach der WRRL hat der Tachinger See 2006 den guten Zustand erreicht, während der Waginger See als unbefriedigend (ÖKZ 4) eingestuft ist und damit Verbesserungsmaßnahmen nach WRRL notwendig werden.

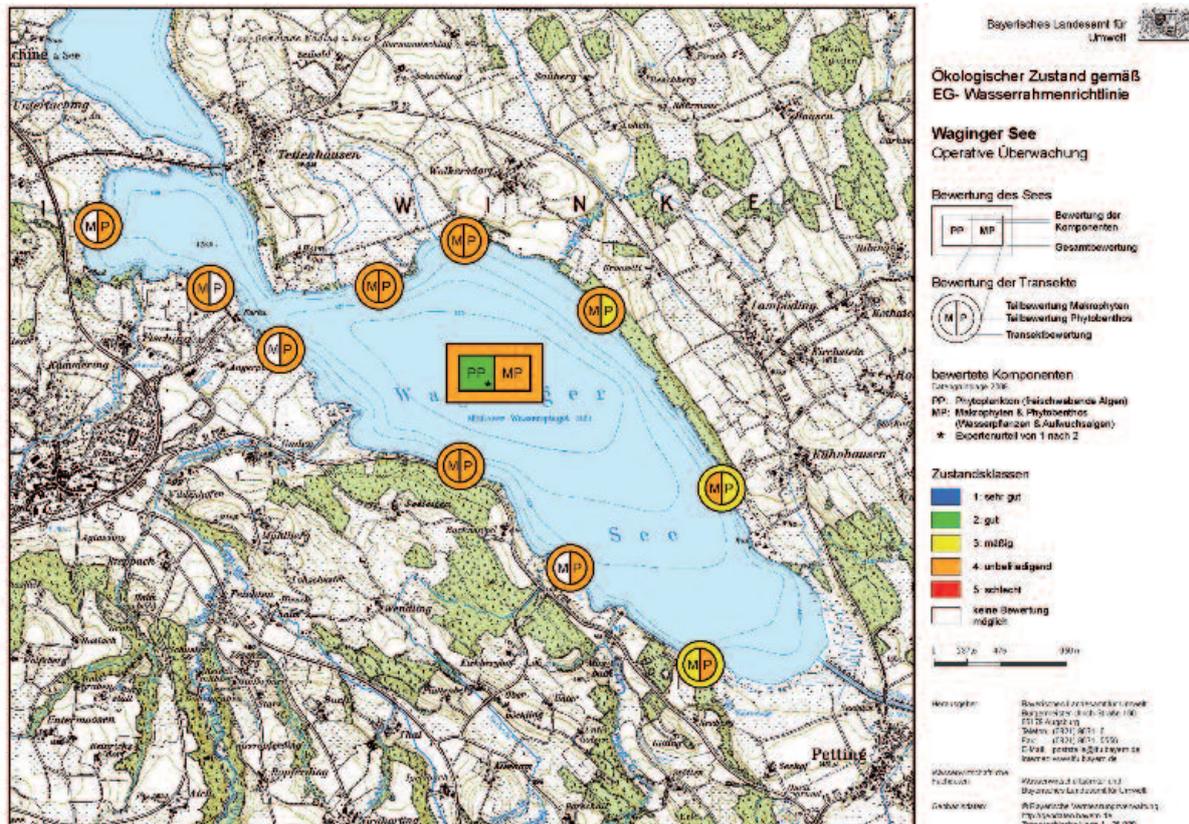


Abb. 4: Bewertungskarte Waginger See für die Biokomponenten Phytoplankton und Makrophyten & Phythobenthos, 2009

Der Nährstoffeintrag über die Zuläufe schlägt sich in den ufernahen, überwiegend mit „unbefriedigend“ bewerteten Bereichen nieder. Die Qualitätskomponente Phytoplankton erreicht hingegen bereits ein „gut“. Hier kann aber neben einem zurückgehenden Nährstoffeintrag auch ein positiver Einfluss des bereits im guten Zustand befindlichen Tachinger Sees, der in den Waginger See entwässert, vermutet werden.

Da die bisherige Nährstoffreduktion aber nicht ausreicht, wurden, um die Ursachen des Nährstoffeintrags weiter zu erforschen, vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) zusätzlich zum Routineprogramm weitere finanzielle Mittel zur Verfügung gestellt. Das Umweltministerium hat die Untersuchungen von 2001 bis 2002 sowie das INTERREG III A-Projekt „SeenLandWirtschaft“ 2004-2007 unterstützt.

Der darin ermittelte Phosphorausstrag lag für das Einzugsgebiet des Waginger Sees bei 2 kg/ha/Jahr (kg Phosphorausstrag pro Hektar und Jahr), für das des Tachinger Sees bei 0,35 kg/ha/Jahr. 1,8 kg/ha/Jahr (ca. 85%) stammten am Waginger See aus der Landwirtschaft. Am Tachinger See waren es 0,06 kg/ha/Jahr (ca. 20%) (siehe Abb. 4, BUCHMEIER 2003).

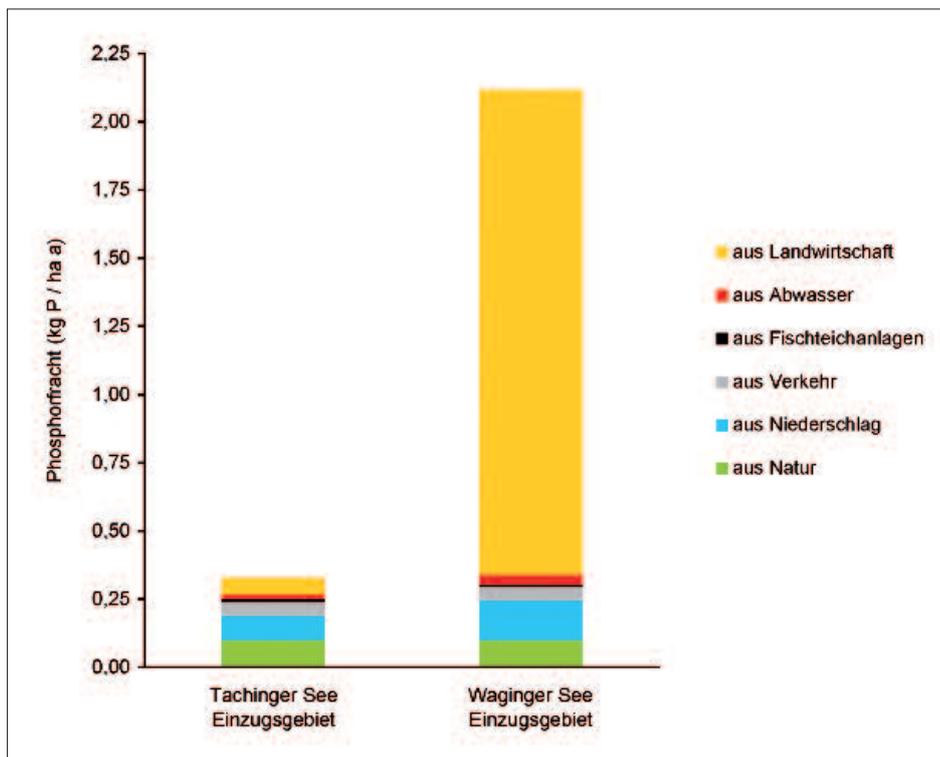


Abb. 5: Phosphorfracht (kg P/ha a) aus dem Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees im Zeitraum von 1.4.2001 bis 31.3.2002 eingeteilt nach der Herkunft

Als Gründe für die wesentlich höheren Austräge aus dem Einzugsgebiet des Waginger Sees sind der undurchlässigere Untergrund, das dichtere Gewässernetz und die höheren Niederschläge in diesem Gebiet zu nennen.

Die Bilanzierung der Phosphoreinträge ergab eine Jahresfracht von 18 Tonnen in den Waginger See und von einer Tonne in den Tachinger See für diesen Zeitraum (BUCHMEIER 2003). Im Waginger See wird vermutlich noch zusätzlich eine Tonne pro Jahr aus dem Seeboden ins Freiwasser rückgelöst. Um den guten Zustand im Waginger See zu erreichen, dürfen jährlich nur etwa sieben bis neun Tonnen pro Jahr eingetragen werden (BUCHMEIER 2007).

In dem INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ (2009-2012) wurde die Untersuchung der Wirksamkeit von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf Einzelflächen vom Umweltministerium gefördert. Diese Untersuchung wird im Bericht „Untersuchungen zum Phosphor-Austrag aus drainierten Grünlandböden im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger See“ von S. Mühlbacher-Kreuzer beschrieben.

Literatur

- BUCHMEIER, G., 2003: Nährstoffeinträge und ihre Auswirkungen auf den Waginger-Tachinger See: Untersuchungsjahre 2001/2002.
- BUCHMEIER, G., 2007: Der Waginger-Tachinger See (Bayern, Deutschland): Einzugsgebiet, trophische Entwicklung und Phosphordynamik.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2012: Internetauftritt „Seen in Bayern“
http://www.lfu.bayern.de/wasser/seen_in_bayern/index.htm
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.), 2002: Flüsse und Seen in Bayern 2001. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.), Gewässergütekarten Bayerns, 1975, 1977, 1982, 1984, 1986, 1992, 1998, 2001.
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT TRAUNSTEIN, 2011: Vorlage für die Infoveranstaltung zum Waginger See mit Staatssekretärin Melanie Huml am 29.06.2010.

Autor

Susanne Trautwein, Wasserwirtschaftsamt Traunstein, Rosenheimer Straße 7, D-83278 Traunstein, susanne.trautwein@wwa-ts.bayern.de

Phosphor in landwirtschaftlich genutzten Böden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen im oberösterreichischen Innviertel

Andreas Bohner, Christa Huemer, Jakob Schaumberger und Peter Liebhard

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 den Jahren 2010 und 2011 in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen der Nährstoffstatus der Acker- und Grünlandböden erhoben. Insgesamt wurden in dem überwiegend ackerbaulich genutzten Untersuchungsgebiet 590 Bodenproben aus dem Oberboden (0-15 cm Bodentiefe) gezogen. Für den Nachweis einer erosions- und abschwemmungsbedingten lateralen 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 in den obersten 15 cm im Durchschnitt besser mit CAL-löslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen sind die wasserlöslichen Phosphor-Gehalte im Oberboden zum Teil sehr hoch. Auf diesen Flächen kann Phosphor bei Oberflächenabfluss leicht gelöst und abgeschwemmt werden. Die untersuchten Böden besitzen eine hohe Phosphor-Speicherkapazität. Der Phosphor-Sättigungsgrad ist sowohl in den Acker- als auch in den Grünlandböden mit wenigen Ausnahmen niedrig. Somit dürfte das Risiko für erhöhte Phosphor-Verluste durch Auswaschung gering sein. Eine erosions- und abschwemmungsbedingte Phosphor-Anreicherung am Unterhang konnte nicht festgestellt werden. Die Untersuchungsergebnisse werden im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Antiesen diskutiert.

Schlagwörter: Ackerböden, Grünlandböden, Eutrophierung, 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 in Upper Austria. 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, in 2010 and 2011 the nutrition status of the arable soils and grassland soils within a subcatchment of river Antiesen was investigated. In the study area, dominated by arable land, a total of 590 soil samples from the topsoil (0-15 cm depth) were collected. To assess the risk of phosphorus losses from agricultural used soils by soil erosion and surface runoff, 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 average higher contents of CAL-soluble phosphorus in the topsoil than grassland. In the agricultural used soils, the levels of water-soluble phosphorus in the uppermost 15 cm are sometimes very high, increasing the risk of greater phosphorus losses in surface runoff in dissolved form on slopes. The soils investigated possess high phosphorus sorption capacities. With few exceptions, both in the arable soils and in the grassland soils the degree of phosphorus saturation is 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 and surface runoff. The findings will be discussed with regard to the risk of eutrophication of river Antiesen.

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

1. Einleitung

Für die Eutrophierung der Oberflächengewässer ist in erster Linie der Phosphor verantwortlich (KUMMERT und STUMM 1989). In den Einzugsgebieten eutrophierter und eutrophierungsgefährdeter Gewässer muss daher versucht werden, die Phosphor-Einträge aus punktuellen und diffusen Quellen zu verringern. Die wichtigsten diffusen Quellen im landwirtschaftlichen Bereich sind Bodenerosion, Abschwemmung und Auswaschung (BRAUN et al. 1991, BRAUN und HURNI 1993, PRASUHN und BRAUN 1994, GÄCHTER et al. 1996, FROSSARD et al. 2004). Auch das Grundwasser und Dränwasser können wichtige Eintragspfade für Phosphor in die Oberflächengewässer sein (HÖLTL und VOGL 1983, SEIFFERT 1990, WERNER et al. 1991, PRASUHN und LAZZAROTTO 2005). Der Phosphor-Eintrag aus der Atmosphäre hingegen stellt in der Regel keine besondere Gefährdungsquelle dar (WERNER und WODSAK 1994). Die Bodenerosion hat im Dauergrünland für die Eutrophierung der Oberflächengewässer im Allgemeinen nur eine geringe Bedeutung (WERNER et al. 1991, VON ALBERTINI et al. 1993). Eine Erosionsgefahr besteht am ehesten im Falle einer Neuansaat oder bei einer nicht an den Standort angepassten, zu intensiven Bewirtschaftung. Auch auf Wechselwiesen ist zeitweise eine nennenswerte Bodenerosion möglich, insbesondere wenn in der Fruchtfolge regelmäßig Mais angebaut wird. Vom Grünland können allerdings erhebliche Mengen an gelöstem Phosphor abgeschwemmt werden (BRAUN und LEUENBERGER 1991, BRAUN und PRASUHN 1997, POMMER et al. 2001, PRASUHN und LAZZAROTTO 2005). Der gelöste Phosphor im Oberflächenabfluss und oberflächennahen Abfluss stammt aus der atmosphärischen Deposition, dem Boden und aus oberflächenappliziertem Dünger. Die Gefahr einer Gewässer-Eutrophierung durch Abschwemmung von gelöstem Phosphor nimmt daher mit steigenden Düngermittelgaben zu (SHARPLEY et al. 1994). Vor allem verdichtete Böden in Hanglagen 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 Abschwemmung der flüssigen Wirtschaftsdünger, insbesondere wenn sie kurz vor einem Starkregenereignis ausgebracht werden (VON ALBERTINI et al. 1993). Die Phosphor-Austräge 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). Beim Ackerland ist die Bodenerosion der wichtigste diffuse Eintragspfad 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). Durch Bodenerosion wird partikulär gebundener Phosphor in die Oberflächengewässer eingetragen (PRASUHN und BRAUN 1994, PRASUHN 2005). Der Bodenabtrag kann durch Stark- oder Dauerregen hervorgerufen werden (FRIELINGHAUS 1990). Für die flächenhafte Bodenerosion und Abschwemmung kann auch die Schneeschmelze eine große Bedeutung haben. Besonders erosions- und abschwemmungsgefährdet sind steile Hanglagen, vor allem wenn die Böden verdichtet sind. Die Eutrophierungs-Gefahr der Oberflächengewässer ist dann sehr hoch, wenn sich Steilhänge mit großer Hanglänge in ihrer unmittelbaren Nähe befinden. Dadurch gelangt bei erosions- und abschwemmungsauslösenden Niederschlägen oder während intensiver Schneeschmelze der gelöste und partikulär gebundene Phosphor sehr häufig direkt in die Oberflächengewässer. Die Bodenerosion führt nicht nur zu einer Gewässer-Eutrophierung („Off-site-Schäden“), sondern sie bewirkt auf Ackerflächen auch nahezu irreversible „On-site-Schäden“ durch Ertragsrückgänge sowie durch eine Abnahme der Ertragsicherheit und Bodenfruchtbarkeit (AUERSWALD 1989, FRIELINGHAUS 1990). Die Bodenerosion durch Wasser verursacht eine laterale Boden- und Nährstoffverlagerung am Hang. Daher weisen die Böden auf erodierten Kuppen und Hängen häufig einen niedrigeren Humus- und Nährstoffgehalt als die Senken auf (FRIELINGHAUS et al. 1983). Nach STROHBACH (1986) nimmt der Phosphor-Gesamtgehalt im Boden von der Kuppe hin zur Senke zu. Der DL-lösliche Phosphor-Gehalt hingegen kann hangabwärts auch abnehmen. Das Grundwasser ist sehr wesentlich an der Nährstoffbefruchtung der Oberflächengewässer beteiligt (WERNER et al. 1991). Die Auswaschung von gelöstem Phosphor mit dem Sickerwasser kann daher sowohl im Ackerland als auch im Grünland unter bestimmten Boden-, Vegetations- und Witterungsverhältnissen für die Nährstoffanreicherung im Grundwasser und in der Folge für die Eutrophierung der Oberflächengewässer von Bedeutung sein (OTTO 1980, BOHNER et al. 2007). Generell begünstigen klima- und/oder reliefbedingt hohe Sickerwassermengen im Boden die Phosphor-Auswaschung. Böden mit ständig sehr hoch anstehendem Grundwasser wie beispielsweise Anmoore und Nassgleye, vor allem aber stark saure, eisenarme Hochmoorböden sind in Bezug auf Phosphor besonders auswaschungsgefährdet (SCHEFFER 1977, NIEDER 2000).

Aus landwirtschaftlich genutzten Flächen (Ackerland und Grünland) nehmen die Phosphor-Einträge in die Oberflächengewässer mit steigenden Phosphor-Gehalten im Boden zu (OTTO 1980, MEISSNER et al. 1992, PRASUHN und BRAUN 1994, RÖMER 1997, FROSSARD et al. 2004). Um die tatsächlichen und möglichen

chen Phosphor-Einträge qualitativ beurteilen zu können, sind daher Kenntnisse über den Phosphor-Gehalt in den verschiedenen Phosphor-Fractionen der landwirtschaftlich genutzten Böden 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:

- Flächendeckende Beurteilung des Phosphor-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich genutzten Böden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen im Hinblick auf die aktuelle und potenzielle 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 den einzelnen Phosphor-Fractionen im Oberboden und
- Schaffung von Grundlagen für die Entwicklung von regionalen Maßnahmen zur nachhaltigen Verbesserung der Wasserqualität der Antiesen.

2. Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen in den Gemeinden Ort im Innkreis, Lambrechten und Eggerding im oberösterreichischen Innviertel durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet liegt in der Molassezone. In dieser geologischen Zone ist der Schlier ein häufiges und weit verbreitetes Sedimentgestein. Es handelt sich dabei vorwiegend um feinsandig-glimmerige Mergel (OBERHAUSER 1980). Glimmerreiche Gesteine begünstigen eine Dichtlagerung und Staunässebildung im Boden (NESTROY et al. 2011) und fördern somit den Oberflächenabfluss und oberflächennahen Abfluss in Hanglagen. Dadurch erhöht sich auch die Erosions- und Abschwemmungsgefahr. Die Landschaft repräsentiert ein flachwelliges Hügelland mit Seehöhen zwischen 380 und 490 m. Im Untersuchungsgebiet dominieren Hanglagen mit einer Hangneigung von 5-15%. Stellenweise kommen allerdings auch Steilhänge mit einer Hangneigung über 35% vor. Die Böden sind überwiegend Braunerden, Pseudogleye, Gleye und Kulturrohböden (eBOD 2012). Die hydromorphen Böden werden zum Großteil drainiert; die drainierte Fläche ist im Untersuchungsgebiet allerdings nicht bekannt. 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 fallen die geringsten Niederschlagsmengen. Potenziell erosionsauslösende 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 Grünland- und Waldflächen erreichen jeweils nur ein Fünftel der Ackerflächen. Die Hauptkulturen sind Körner- und Silomais, Wintergerste, Winterweichweizen und Winterraps. Angebaut werden auch Sommerhafer, Triticale und Sonderkulturen wie beispielsweise Öllein oder Kümmel. 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. Der Viehbesatz beträgt in den Gemeinden Ort im Innkreis, Lambrechten und Eggerding 0,6, 1,0 und 1,2 GVE pro Hektar und ist damit – nach europäischen Maßstäben gemessen – nicht sehr hoch.

3. Material und Methoden

Im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 590 Bodenproben für routinemäßige Bodenanalysen zur Beurteilung 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 Einzelproben mit dem Spaten entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Die Probenahme erfolgte vor der Düngung im Sommer und Herbst 2010 sowie im Frühjahr 2011. Gemäß ÖNORM L 1055 (Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden) und

ÖNORM L 1056 (Probenahme von Dauergrünland) werden in Österreich die Bodenproben auf Ackerflächen aus der Tiefenstufe 0-20 cm und auf Grünlandflächen aus 0-10 cm gezogen. Um die Ackerböden mit den Grünlandböden hinsichtlich ihres Nährstoffgehaltes im Oberboden vergleichen zu können, erfolgte die Probenahme auf allen Flächen einheitlich aus der Tiefenstufe 0-15 cm. Somit können die ermittelten Nährstoffgehalte streng genommen nicht nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) beurteilt werden. Eine qualitative Beurteilung des Nährstoffzustandes der landwirtschaftlich genutzten Böden ist innerhalb des Untersuchungsgebietes aber möglich. Für den Nachweis einer erosions- und abschwemmungsbedingten lateralen Nährstoffverlagerung wurde auf jedem Schlag in Hanglage zumindest am Oberhang (inklusive Kuppe und Rücken), Mittel- und Unterhang (inklusive Hangfuss, Mulde und Wanne) jeweils 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) und sie beeinflusst die Bodenerodierbarkeit (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-Gehalt im Boden erfasst. Dieser 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 (BOHNER 2005). Der Phosphor-Gehalt im Wasserextrakt 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 tatsächlichen und möglichen Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Oberflächengewässer können allein auf Grund der wasserlöslichen und CAL-löslichen Phosphor-Gehalte im Oberboden nicht abgeschätzt werden (PIHL und WERNER 1993). Um das Phosphor-Austragspotenzial einer Fläche beurteilen zu können, sind auch Kenntnisse über die Phosphor-Speicherkapazität und den Phosphor-Sättigungsgrad der Böden erforderlich. Für die Phosphor-Speicherkapazität der Böden sind die Gehalte an amorphen Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxiden (inklusive Hydroxide und Oxihydroxide) hauptverantwortlich (KELLER und VAN DER ZEE 2004). Daher wurden zur Abschätzung der Phosphor-Speicherkapazität die oxalateextrahierbaren Aluminium-, Eisen- und Mangan-Gehalte bestimmt. Sie repräsentieren die in Böden amorph vorliegenden Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxide, an die bei neutraler bis saurer Bodenreaktion Phosphor stark gebunden werden kann (KELLER und VAN DER ZEE 2004). Das Phosphor-Austragspotenzial einer Fläche hängt aber nicht nur von der Phosphor-Speicherkapazität im Boden ab, auch der bereits erreichte Phosphor-Sättigungsgrad der Sorbenten hat eine große Bedeutung. Die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) wurden folgendermaßen berechnet (ECKHARDT und LEINWEBER 1997):

$$PSC \text{ (in mmol kg}^{-1}\text{)} = 0,5 \times (Al_{ox} + Fe_{ox} + Mn_{ox})$$

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

Je höher der Phosphor-Sättigungsgrad im Boden ist, desto höher ist in der Regel die Phosphor-Konzentration in der Bodenlösung und somit die potenzielle Gefahr von Phosphor-Verlusten durch Auswaschung (PIHL und WERNER 1993, FROSSARD et al. 2004, KELLER und VAN DER ZEE 2004). 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 im Boden, und die Gefahr der Eutrophierung von Grundwasser und Oberflächengewässern nimmt zu (LOOKMANN et al. 1996). Deshalb sind die bewirtschaftungsunabhängige Phosphor-Speicherkapazität und der bewirtschaft-

tungsabhängige Phosphor-Sättigungsgrad geeignete Indikatoren für die Abschätzung von Phosphor-Auswaschungsverlusten aus landwirtschaftlich genutzten Böden (LEINWEBER et al. 1999). Im Rahmen der umfassenderen Bodenanalysen wurden oxalatextrahierbares Aluminium, Eisen und Mangan sowie oxalatlöslicher Phosphor nach SCHWERTMANN (1964) analysiert. Der oxalatlösliche Phosphor entspricht der Menge des hauptsächlich an pedogene Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxide adsorbierten Phosphates (LEINWEBER et al. 1997). Der Gesamtelementgehalt an Phosphor wurde nach Mikrowellenaufschluss mit Königswasser bestimmt. Der Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor wurde nach Extraktion mit 0,1 M Schwefelsäure ermittelt. Der Gesamtgehalt an organischem Phosphor wurde als Differenz aus Phosphor-Gesamtgehalt und Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor errechnet.

Das Phosphor-Austragspotenzial kann innerhalb eines Einzugsgebietes aus lithologischen, bodenkundlichen und topografischen Gründen sowie düngungs- und nutzungsbedingt räumlich stark variieren. Außerdem müssen die Bodendaten in Beziehung gesetzt werden zur Entfernung zu Oberflächengewässer. Folglich ist im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Gewässer eine räumlich differenzierte Beurteilung notwendig. Hierfür wurden die punktförmig ermittelten CAL-löslichen und wasserlöslichen Phosphor-Gehalte in den landwirtschaftlich genutzten Böden auf das Teileinzugsgebiet der Antiesen interpoliert. Die Kartenerstellung erfolgte mit dem geostatistischen Interpolationsverfahren Kriging (KRIGE 1951). Als GIS-Software wurde Geostatistical Analyst (ArcGIS der Firma ESRI) verwendet.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die Häufigkeitsverteilung in den Abbildungen 1 und 2 zeigt, dass die Ackerböden (inklusive Böden des Wechselgrünlandes) hinsichtlich des CAL-löslichen Phosphor-Gehaltes im Oberboden überwiegend mittlere Werte und die Grünlandböden größtenteils niedrige Werte aufweisen. Nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) würde dies ausreichende Phosphor-Gehalte in den meisten Ackerböden und niedrige Phosphor-Gehalte beim Großteil der Grünlandböden bedeuten. In den Grünlandböden wurden erhöhte CAL-lösliche Phosphor-Gehalte vor allem in der Nähe von Güllegruben und Mistlagerstätten festgestellt. Diese Flächen besitzen ein größeres Phosphor-Austragspotenzial.

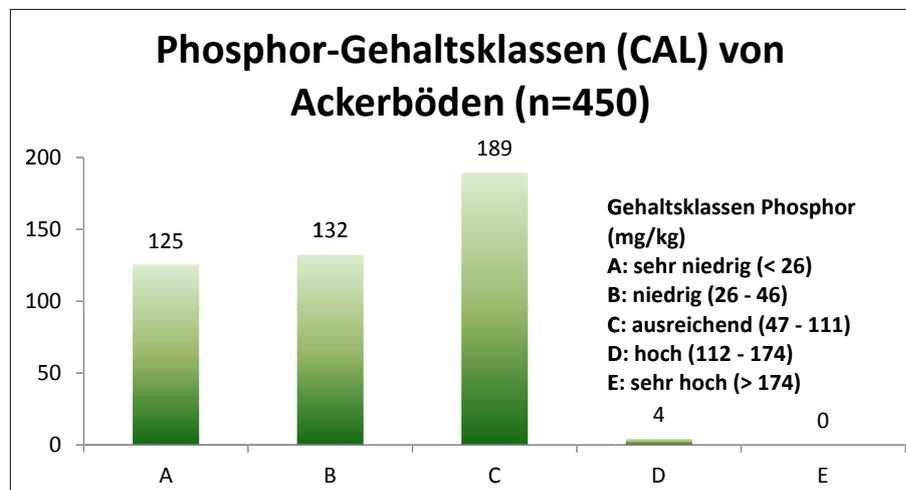


Abb. 1: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der Ackerböden und Böden des Wechselgrünlandes (n = 450)

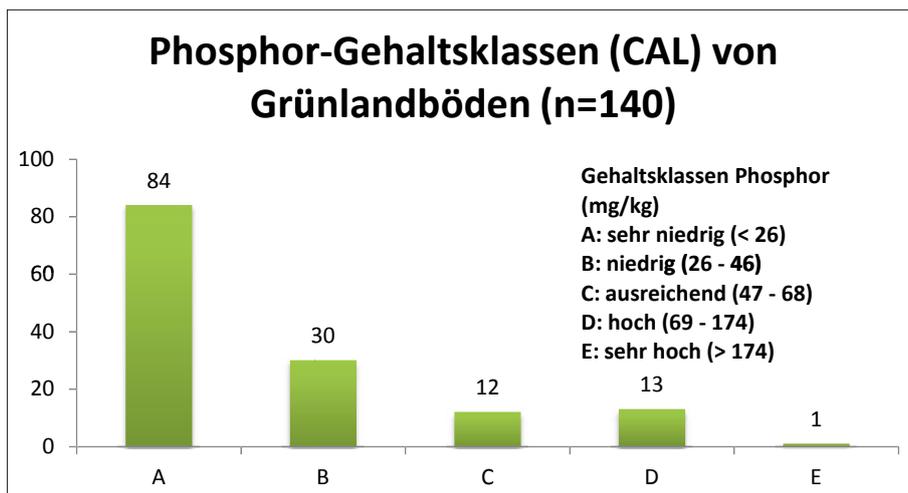


Abb. 2: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der Böden des Dauergrünlandes (n = 140)

In den Abbildungen 3 und 4 sind die Probenahmepunkte sowie die CAL-löslichen und wasserlöslichen Phosphor-Gehalte von den 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-Fraktionen. Die wasserlöslichen Phosphor-Gehalte sind im Oberboden zum Teil sehr hoch. Auf diesen Acker- und Grünlandflächen kann Phosphor bei Oberflächenabfluss leicht gelöst und abgeschwemmt werden. Besonders abschwemmunggefährdet sind steile Hänge mit verdichteten Böden und großer Hanglänge sowie Böden aus glimmerreichem Molassematerial. Vor allem Hangpseudogleye weisen ein höheres Phosphor-Austragsrisiko auf, weil mit dem Hangwasser erhebliche Mengen an gelöstem Phosphor abgeschwemmt werden können. Auf Grünlandflächen mit erhöhten wasserlöslichen Phosphor-Gehalten im Oberboden ist die Phosphor-Abschwemmungsgefahr vor allem dann sehr groß, wenn es durch falsche Bewirtschaftung zu einer Bodenverdichtung, Narbenauflockerung und Lückenbildung im Pflanzenbestand kommt.

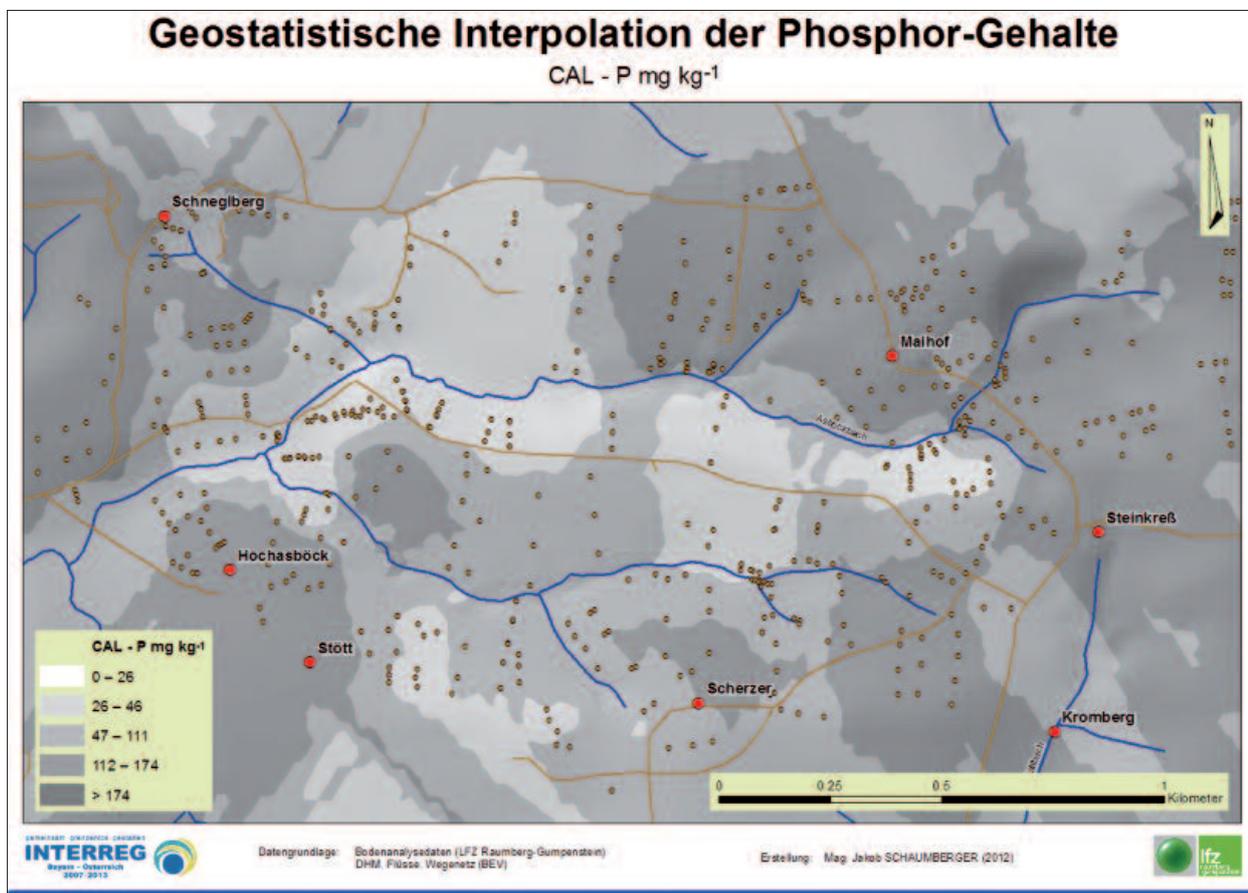


Abb. 3: CAL-lösliche Phosphor-Gehalte in den Acker- und Grünlandböden (n = 590) in der Bodentiefe 0-15 cm

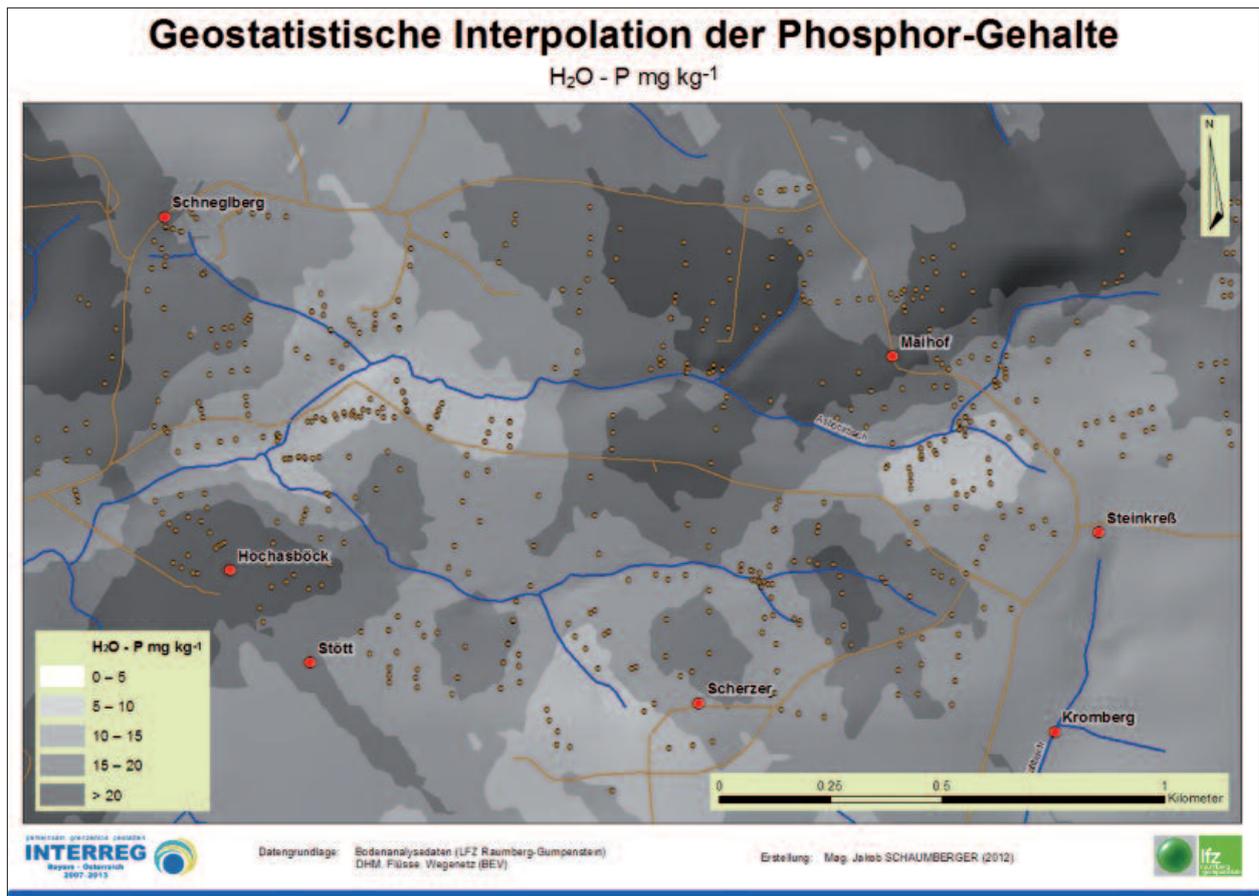


Abb. 4: Wasserlösliche Phosphor-Gehalte in den Acker- und Grünlandböden (n = 590) in der Bodentiefe 0-15 cm

Die Acker- und Grünlandböden weisen im Oberboden in der Regel eine günstige Bodenreaktion auf (BOHNER et al. 2012). Erwartungsgemäß ist in den Böden des Dauergrünlandes der pH-Wert im Durchschnitt niedriger als in den Ackerböden (Tab. 1). Der Humusgehalt, die Humusqualität, die Nährstoffgehalte und Aggregatstabilität im Oberboden sind stark von der Kulturart abhängig (Tab. 1, 2). Der Humusgehalt und somit auch die Gesamtgehalte an Stickstoff und Schwefel sind in den Böden des Dauergrünlandes erwartungsgemäß deutlich höher als in den Ackerböden. Die Ackerböden mit den Kulturarten Mais und Getreide weisen in den obersten 15 cm 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. Ein höheres Düngungsniveau könnte der Grund hierfür sein. Die Böden des Dauergrünlandes sind im Durchschnitt am besten mit CAL-löslichem Kalium versorgt. Die Aggregatstabilität ist in den obersten 15 cm in den Grünlandböden erwartungsgemäß deutlich höher als in den Ackerböden. Die intensivere Durchwurzelung der Grünlandböden und der höhere Humusgehalt dürften dafür hauptverantwortlich sein. Auf Grund der hohen Aggregatstabilität und ganzjährig geschlossenen Vegetationsdecke ist die Gefahr einer Bodenerosion auf Grünlandflächen beträchtlich geringer als auf Ackerflächen. Eine niedrige Aggregatstabilität führt häufig zu einer Verschlammung und Verkrustung der Bodenoberfläche (FRANKEN und LOH 1987). Dies begünstigt den Oberflächenabfluss und somit auch die Abschwemmung und Bodenerosion. Die Ackerböden mit der Kulturart Mais weisen im Durchschnitt die niedrigste Aggregatstabilität und folglich auch die höchste Erosions- und Abschwemmungsgefährdung auf. Mehrere Erosionsrillen auf einigen Ackerflächen zeigen an, dass eine lineare Erosion im Untersuchungsgebiet stattfindet. Auch die Kulturrohböden im Untersuchungsgebiet sind Zeugen einer langandauernden Bodenerosion.

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

Kulturart	n	CaCl ₂	μS cm ⁻¹	%				C:N	S	C:S	N:S
		pH	eL	C _t	t	t	N				
Getreide	174	6,0	65	1,64	0,20	0,02	8,0	94	12		
Mais	132	6,0	69	1,67	0,22	0,02	7,8	107	14		
Ölpflanzen	79	6,6	93	1,97	0,22	0,02	8,7	146	16		
Wechselgrünland	67	5,9	89	2,80	0,30	0,02	9,1	144	16		
Dauergrünland	138	5,6	95	3,15	0,37	0,04	8,4	103	12		

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

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

Kulturart	n	mg kg ⁻¹			%
		CAL-P	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

Der vorhandene Phosphor-Vorrat liegt in den Böden des Untersuchungsgebietes in unterschiedlicher Bindungsform vor. Es besteht ein deutlicher Unterschied zwischen Acker- und Grünlandböden (Tab. 3). Die Ackerböden weisen auf Grund der geringeren Humusgehalte im Durchschnitt einen niedrigeren Gesamtgehalt an Phosphor und einen geringeren Gesamtgehalt an organischem Phosphor als die Grünlandböden auf. Im Gegensatz dazu sind die Gehalte an anorganischem Phosphor und oxalateextrahierbarem Phosphor vergleichsweise höher. Dies sind Indizien für eine düngungsbedingte stärkere Anreicherung anorganischer Phosphor-Fraktionen in den Ackerböden im Vergleich zu den Grünlandböden. Der mittlere Gesamtgehalt an Phosphor beträgt in deutschen Ackerböden 680 mg P pro kg Feinboden (WERNER et al. 1991). Die Ackerböden im Untersuchungsgebiet weisen häufig einen ähnlichen Wert auf (Tab. 3). Die landwirtschaftlich genutzten Flächen enthalten im Oberboden meist weniger als 1000 mg P pro kg Feinboden; der Höchstwert an Gesamt-Phosphor beträgt 1370 mg P pro kg Feinboden. Somit kann im Untersuchungsgebiet eine übermäßige Phosphor-Anreicherung im Oberboden durch Düngung weitgehend ausgeschlossen werden. Der häufig niedrige Viehbesatz dürfte der Hauptgrund hierfür sein. 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 oxalateextrahierbare 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. Die Acker- und Grünlandböden besitzen in den obersten 15 cm auf Grund der hohen Gehalte an amorphen Eisen-Oxiden (Tab. 4) eine große Phosphor-Speicherkapazität (PSC). Sie ist in den Ackerböden im Durchschnitt etwas geringer als in den Grünlandböden. Der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) ist zumindest in den obersten 15 cm sowohl in den Acker- als auch in den Grünlandböden mit durchschnittlich 19 bzw. 16% niedrig. 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, LOOKMANN et al. 1996, LEINWEBER et al. 1997). Dieser Grenzwert wird in den Ackerböden sechsmal und in den Grünlandböden nur einmal überschritten. Auf Grund des überwiegend niedrigen Phosphor-Sättigungsgrades dürfte im Untersuchungsgebiet die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser gering sein.

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

	Ackerböden (n = 67)							Grünlandböden (n = 31)						
	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}
Min	427	114	242	175	29	52	4	476	68	194	205	28	65	6
Max	1269	842	772	911	81	133	36	1370	992	660	930	86	132	30
Median	689	350	351	456	50	81	17	744	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; Pt = Gesamtelementgehalt an Phosphor; Pi = Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor; Po = Gesamtgehalt an organischem Phosphor; Pox = Gesamtgehalt an oxalatextrahierbarem Phosphor; Porg = Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt; PSC = Phosphor-Speicherkapazität; DPS = Phosphor-Sättigungsgrad

Tab.4: Oxalatextrahierbares 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} = oxalatextrahierbares Aluminium, Eisen, Mangan

In den Tabellen 5 und 6 sind die Bodenkennwerte in Abhängigkeit von der Reliefposition dargestellt. Auf Grund einer besseren Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit sind in den Tabellen nur die Bodendaten vom Ober- und Unterhang angeführt. 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. Die C:N- und C:S-Verhältnisse sind ebenfalls vergleichsweise weiter. Dies sind Indizien für eine Anreicherung von stickstoff- und schwefelärmerem Humus am Unterhang der Acker- und Grünlandflächen. Der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt ist sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandböden am Unterhang größer als am Oberhang. Dies ist ein Indiz für eine stärkere Anreicherung von organisch gebundenem Phosphor am Unterhang der landwirtschaftlich genutzten Flächen. Bemerkenswert ist ferner die höhere Aggregatstabilität bei den Ackerböden am Unterhang im Vergleich zum Oberhang. Der höhere Humusgehalt am Unterhang dürfte dafür verantwortlich sein. Der CAL-lösliche Kalium-Gehalt hingegen ist sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandböden am Unterhang deutlich niedriger als am Oberhang. Bei einem Bodenabtrag von 1 Tonne pro Hektar und Jahr können auf den Ackerflächen durch Wassererosion im Durchschnitt etwa 0,8 kg Gesamt-Phosphor verlagert werden. Eine erosionsbedingte Phosphor-Anreicherung am Unterhang der Ackerflächen konnte allerdings nicht festgestellt werden. Bei den Grünlandböden sind die Phosphor-Gehalte der einzelnen Phosphor-Fractionen am Unterhang sogar deutlich niedriger als am Oberhang. Nach FRIELINGHAUS (1990) ist das Bodenmaterial, das durch Erosionsereignisse vorrangig bis in Senken und Vorfluter gelangt, auf Grund des wesentlich höheren Tonanteils nährstoffreicher als das am Hangfuß abgelagerte Material. PRASUHN und BRAUN (1994) weisen darauf hin, dass vor allem bei einer durch Starkregen ausgelösten linearen Erosion das Bodenmaterial sehr häufig direkt in die Oberflächengewässer transportiert wird. Möglicherweise findet auf den Ackerflächen im Untersuchungsgebiet bei erosionsauslösendem Starkregen eine selektive Boden- und Nährstoffverlagerung statt, wobei ton- und phosphorreicherer Bodenmaterial bevorzugt in die Fließgewässer gelangt, während ton- und phosphorärmeres Erosionsmaterial zum Großteil am Unterhang abgelagert wird. Diese selektive Boden- und Nährstoffverlagerung würde gleichzeitig auch die im Vergleich zum Oberhang niedrigeren CAL-löslichen Kalium-Gehalte am Unterhang der Ackerflächen erklären. Die Humusanreicherung, das weitere C:N- und C:S-Verhältnis und der höhere Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt am Unterhang der Acker- und Grünlandflächen dürften weniger die Folge einer Sedi-

mentation von erodiertem humusreichen Bodenmaterial sondern vielmehr das Ergebnis einer reliefabhängigen (staunässebedingten) geringeren Mineralisierung der organischen Substanz in dieser Hangposition sein.

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

Reliefposition	n	CaCl ₂	μS cm ⁻¹	%					
		pH	eL	C _t	N	C:N	C:S	N:S	
Oberhang Acker	132	6,0	69	1,74	0,22	0,02	8,0	107	13
Unterhang Acker	167	6,1	80	2,06	0,24	0,02	8,6	127	15
Oberhang Grünland	39	5,7	104	2,98	0,36	0,04	8,3	98	12
Unterhang Grünland	54	5,6	100	3,27	0,38	0,04	8,5	102	15

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

Tab. 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 Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt (67 Bodenanalysen Acker, 31 Bodenanalysen Grünland); AS = Aggregatstabilität

5. Schlussfolgerung

Die vorliegenden Bodenuntersuchungsergebnisse zeigen, dass im Untersuchungsgebiet der Phosphor-Gehalt in den verschiedenen Phosphor-Fraktionen sehr wesentlich von der Art der landwirtschaftlichen Nutzung abhängt. Die Grünlandböden weisen im Durchschnitt einen höheren Gesamtgehalt an Phosphor, einen höheren Anteil an organisch gebundenem Phosphor und einen niedrigeren Gehalt an CAL-löslichem Phosphor als die Ackerböden auf. Der Phosphor-Gesamtgehalt beträgt in den landwirtschaftlich genutzten Böden des Untersuchungsgebietes meist weniger als 1000 mg P pro kg Feinboden. Eine übermäßige Phosphor-Anreicherung im Oberboden durch Düngung kann weitgehend ausgeschlossen werden. Die Böden des Untersuchungsgebietes besitzen eine hohe Phosphor-Speicherkapazität. Der Phosphor-Sättigungsgrad ist sowohl in den Acker- als auch in den Grünlandböden mit wenigen Ausnahmen niedrig. Somit dürfte die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser bei standortangepasster Bewirtschaftung und durchschnittlichen Witterungsverhältnissen gering sein. Allerdings sind die wasserlöslichen Phosphor-Gehalte im Oberboden zum Teil sehr hoch. Diese Acker- und Grünlandflächen besitzen in Hanglagen ein größeres Phosphor-Abschwemmungspotenzial, insbesondere wenn die Oberböden verdichtet sind oder von Natur aus zur Staunässe neigen (Hangpseudogley). Auch Böden aus glimmerreichem Molassematerial sind besonders abschwemmungs- und erosionsgefährdet. Auf Grünlandflächen mit erhöhten wasserlöslichen Phosphor-Gehalten im Oberboden ist die Gefahr einer Abschwemmung von gelöstem Phosphor vor allem dann sehr hoch, wenn es durch falsche Bewirtschaftung zu einer Bodenverdichtung, Narbenauflockerung und Lückenbildung im Pflanzenbestand kommt. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass größere Phosphor-Mengen von „Problemflächen“ mit erhöhten Phosphor-Gehalten im Oberboden, wie beispielsweise die unmittelbare Umgebung von Güllegruben und Mistlagerstätten, in die Oberflächengewässer des Teileinzugsgebietes gelangen.

Diese Untersuchung kommt zum Ergebnis, dass für die Eutrophierung der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet vor allem die Phosphor-Einträge durch Abschwemmung und Bodenerosion verantwortlich sind. Die Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser hingegen dürfte, von Sonderstandorten abgesehen, keine be-

sondere Gefährdungsquelle darstellen. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass auch nennenswerte Phosphor-Einträge über Drainagen möglich sind. Eine nachhaltige Verbesserung der Wasserqualität der Axtiesen kann erst dann erfolgen, wenn wirksame erosions- und abflussmindernde Maßnahmen im Einzugsgebiet ausgearbeitet und auch umgesetzt werden. Auf Ackerflächen in erosionsgefährdeten steilen Hanglagen beispielsweise sollte kein Mais angebaut werden, wenn die Gefahr sehr hoch ist, dass bei erosiven Starkregen das erodierte Bodenmaterial zum Großteil direkt in die Fließgewässer gelangt. Außerdem müssen auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen die zum Teil hohen wasserlöslichen Phosphor-Gehalte im Oberboden reduziert werden, insbesondere in abschwemmungsgefährdeten steilen Hanglagen und bei unmittelbarer Nähe von Fließgewässern. Weitere präventive Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen sind:

- Vermeidung bzw. Beseitigung von Bodenverdichtungen und Strukturschäden zur Erhöhung der „Regenverdaulichkeit“ des Bodens
- Erhöhung des Humusgehaltes von Ackerböden zur Verbesserung der Aggregatstabilität im Oberboden
- keine Düngergabe in Hanglagen wenn ein Stark- oder Dauerregen zu erwarten ist
- stärkere Berücksichtigung des Bodentyps und Bodenwasserhaushaltes bei Phosphor-Düngeempfehlungen
- wirksame acker- und pflanzenbauliche Erosionsschutzmaßnahmen auf allen erosionsgefährdeten Ackerflächen.

Literatur

- AUERSWALD, K., 1989: Prognose des P-Eintrags durch Bodenerosion in die Oberflächengewässer der BRD. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 59, 661-664.
- BOHNER, A., 2005: Bodenindikatoren für die Bewirtschaftungsintensität und die floristische Artenvielfalt im Wirtschaftsgrünland. Mitt. der Österr. Bodenkundl. Ges. 72, 67-73.
- BOHNER, A., G. EDER und M. SCHINK, 2007: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 91-99.
- BOHNER, A., C. HUEMER, J. SCHAUMBERGER und P. LIEBHARD, 2012: Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und des Reliefs auf den Nährstoffgehalt im Oberboden mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors. LFZ Raumberg-Gumpenstein. 3. Umweltökologisches Symposium, 91-100.
- 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 Liebefeld, 87 S.
- BRAUN, M. und P. HURNI, 1993: Abschwemmung von Phosphor auf Grasland an zwei verschiedenen Standorten im Einzugsgebiet des Sempachersees. Landwirtschaft Schweiz 6, 615-620.
- BRAUN, M. und J. LEUENBERGER, 1991: Abschwemmung von gelöstem Phosphor auf Ackerland und Grasland während den Wintermonaten. Landwirtschaft Schweiz 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.
- 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. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 85, 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.
- FRIELINGHAUS, M., F. FICHTNER und J. FELGENTREU, 1983: Charakterisierung der erodierten Kuppen und Hänge pleistozäner Nordstandorte und Ursachen für Ertragsausfälle. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 27, 35-46.
- FRIELINGHAUS, M., 1990: Boden- und Nährstoffabtrag durch Wassererosion auf Moränenstandorten. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 34, 587-597.

- 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.
- HÖLTL, W. und H. VOGL, 1983: Untersuchungen zur Ermittlung des Nährstoffaustrages durch die Dränung mit Hilfe von Beregnungsversuchen. Berichte über Landwirtschaft 61, 400-415.
- KELLER, A. und S. VAN DER ZEE, 2004: Phosphorverfügbarkeit in intensiv genutzten Grünlandböden. Agrarforschung 11, 396-401.
- 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.
- KUMMERT, R. und W. STUMM, 1989: Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes. Teubner Verlag, 331 S.
- 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.
- 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.
- NESTROY, O. et al., 2011: Systematische Gliederung der Böden Österreichs. Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011. Mitt. der Österr. Bodenkundl. Ges. 79, 96 S.
- NIEDER, R., 2000: Nährstoffanreicherung in Ackerkrumen vor dem Hintergrund des Boden-, Klima- und Gewässerschutzes. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 41, 49-56.
- OBERHAUSER, R. (Red.), 1980: Der geologische Aufbau Österreichs. Springer Verlag, 699 S.
- OTTO, A., 1980: Gewässerbelastung durch Land- und Forstwirtschaft. Wasser und Boden 1, 26-30.
- PIHL, U. und W. WERNER, 1993: Zur Interpretation von Quantitäts-/Intensitäts-Quotienten als Kriterien vertikaler Phosphatverlagerung in Böden. VDLUFA Kongressband 37, 99-102.
- POMMER, G., R. SCHRÖPEL und F. JORDAN, 2001: Austrag von Phosphor durch Oberflächenabfluss auf Grünland. Wasser & Boden 53, 34-38.
- PRASUHN, V. und M. BRAUN, 1994: Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Schriftenreihe der FAC Liebefeld 17, 214 S.
- PRASUHN, V., 2001: Abschätzung der P- und N-Einträge in die Gewässer des Kantons Zürich mittels GIS. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 96, 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, 51-54.
- SCHACHTSCHABEL, P. und K. HARTGE, 1959: Die Verbesserung der Strukturstabilität von Ackerböden durch eine Kalkung. Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 83, 193-202.
- SCHEFFER, B., 1977: Stickstoff- und Phosphorverlagerung in nordwestdeutschen Niederungsböden 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.
- SEIFFERT, P., 1990: Stoff-Einträge aus der Landwirtschaft in ein kleineres Stehgewässer. Ökologie & Naturschutz 3, 127-149.
- 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.
- STROHBACH, B., 1986: Gesetzmäßigkeiten der arealen Verteilung des Gesamtposphorgehaltes auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 30, 573-580.
- VON ALBERTINI, N., M. BRAUN und P. HURNI, 1993: Oberflächenabfluss und Phosphorabschwemmung von Grasland. Landwirtschaft Schweiz 6, 575-582.
- WERNER, W., H.-W. OLFS, K. AUERSWALD und K. ISERMANN, 1991: Stickstoff- und Phosphoreintrag in Oberflächengewässer über „diffuse Quellen“. In: Hamm, A. (ed.): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern. Academia Verlag, Sankt Augustin, 665-764.
- WERNER, W. und H.-P. WODSAK, 1994: Stickstoff- und Phosphateintrag in Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragungsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. Agrarspectrum 22, 243 S.
- 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.

Autoren

Dr. Andreas Bohner und Mag. Jakob Schaumberger, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 Irdning, andreas.bohner@raumberg-gumpenstein.at
Christa Huemer, Hauptstraße 1, A-4552 Wartberg an der Krems
A.o. Univ.Prof. Dr. Peter Liebhard, Universität für Bodenkultur, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien

Wirksamkeit konservierender Bodenbearbeitungsverfahren zur Reduktion von Oberflächenabfluss und Bodenerosion

Rosemarie Hösl und Peter Strauss

Zusammenfassung

Über einen Zeitraum von drei Jahren wurden verschiedene Beregnungsversuchsreihen auf Ackerstandorten im oberösterreichischen Innviertel durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche Anbautechniken für Zwischenfrucht- und Maisanbau hinsichtlich ihres Verhaltens auf Bodenabtrag und Oberflächenabfluss untersucht.

Die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe im Herbst 2010 zeigten, dass für einen effektiven Boden- und Gewässerschutz die Saatbettbereitung von entscheidender Bedeutung ist. Ein grobes Saatbett kann wesentlich zur Reduktion von Bodenabtrag und Oberflächenabfluss beitragen. Die Versuchsreihen im Frühling 2011 und 2012 stellten verschiedene bodenschonende Maisanbautechniken konventionellen Anbautechniken gegenüber. Mulchsaat- und Direktsaattechniken erzeugten deutlich weniger Bodenabtrag und Oberflächenabfluss als konventionelle Anbautechniken mit Pflugeinsatz. Für den Schutzeffekt entscheidend dabei war jedoch die Quantität des Mulchmaterials. Ist die Bodenbedeckung durch Mulchmaterial nicht ausreichend, kann der Bodenabtrag auch bei Mulchsaat deutlich höher liegen als bei konventionellem Anbau. Die Ergebnisse bestätigten auch die kritische Rolle von Fahrspuren bei der Erzeugung von Oberflächenabfluss und Bodenerosion. Daher sind Bodenbearbeitungsverfahren, die zu einer Lockerung der Fahrspuren führen, zu unterstützen.

Schlagwörter: Saatbettbereitung, Mulchsaat, Direktsaat, Zwischenfruchtanbau, Bodenerosion, Bodenschutz, Gewässerschutz, Fahrspuren

Summary

Over a period of three years rainfall simulation experiments on arable land were done in the Upper Austrian region of Innviertel. Different techniques for catch crop and maize cultivation were tested on their effects on soil loss and surface runoff. Results from the first experiments in autumn 2010 showed the importance of a rough seedbed preparation for an effective soil and surface water protection. Cultivating catch crops with a rough seedbed may effectively reduce soil loss and surface runoff. In spring 2011 and 2012 different conservation tillage methods for maize were tested and compared to conventional tillage techniques. Results showed a reduction in soil loss and surface runoff for mulching and no till methods compared to conventional cultivation using mouldboard plough. However, for an effective reduction of soil erosion the quantity of the mulching material seems to be crucial. If soil cover with mulch is insufficient, mulching techniques may reach even higher soil loss rates as compared to conventional cultivation. Our results also confirm the critical role of wheel tracks in generating surface runoff and soil loss. Therefore management activities supporting wheel track loosening should be considered.

Keywords: seedbed preparation, mulching, no till, catch crops, soil erosion, runoff, soil protection, surface water protection, wheel tracks

1. Einleitung

Oberflächengewässer der Kulturlandschaft des Alpenvorlandes in Bayern und Oberösterreich sind oftmals durch Nährstoffeinträge belastet, so dass diese Gewässer den guten ökologischen Zustand beziehungsweise das gute ökologische Potenzial nicht erreichen. Dies ist unter anderem über das Monitoring nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) belegt (LEBENS MINISTERIUM 2012). In Bayern und Oberösterreich ist laut Entwurf des Gewässer-Bewirtschaftungsplanes nach EU-Wasserrahmenrichtlinie für einen erheblichen Anteil der Oberflächenwasserkörper die Verringerung von Nährstoffeinträgen aus der Landwirtschaft notwendig. Erhöhter Nährstoffeintrag führt zu Gewässereutrophierung mit den Folgeproblemen Verkräutung und erhöhtem Algenwachstum. Dies beeinträchtigt wiederum erheblich die Lebensqualität verschiedenster Biozöten. In der Mehrzahl der Fälle liegt dabei eine zu hohe Phosphorkonzentration vor und kann großflächig

als Ursache für das Verfehlen des Qualitätszieles „guter Zustand in Oberflächengewässern“ angesehen werden. Da der Grad der Abwasserreinigung in Bayern und Oberösterreich bereits sehr hoch ist, kommt der überwiegende Teil des Phosphoreintrags aus diffusen Flächeneinträgen. Der Eintrag von Phosphor aus diesen Flächen erfolgt dabei auf unterschiedlichen Pfaden. Einerseits weisen landwirtschaftlich intensiv genutzte Flächen oft eine hohe Versorgung mit Phosphor auf, der oberflächlich oder über schnelle Versickerungsleitbahnen in die Gewässer gelangen kann. Andererseits kann es durch Bodenerosion zur Verlagerung des angereicherten Oberbodens in Richtung der Gewässer und letztendlich ebenfalls zu einem erhöhten Stoffeintrag kommen. Im Einzugsgebiet der Antiesen liegt die Hauptproblematik des Phosphoreintrags im Bereich der oberflächlichen Eintragspfade, der Verlagerung über Bodenabtrag.

Um verschiedene Möglichkeiten eines wirksamen Bodenmanagements zur Verminderung von Bodenerosion und dem damit verbundenen Phosphoreintrag in Gewässer zu testen, wurden im Zeitraum Herbst 2010 bis Frühling 2012 im Einzugsgebiet der Antiesen in Oberösterreich drei Beregnungsversuche mit insgesamt 42 einzelnen Regensimulationen durchgeführt.

Im September 2010 wurden vier verschiedene Saatbettbereitungen für Zwischenfruchtanbau getestet. Im Frühjahr 2011 und 2012 wurden verschiedene konservierende Maisanbautechniken auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag untersucht. Alle Versuche fanden im oberösterreichischen Innviertel in Ort im Innkreis statt. In Absprache mit der Bezirksbauernkammer Ried im Innkreis, der Abteilung für Oberflächengewässerswirtschaft und der Eigentümer der landwirtschaftlichen Flächen wurden praxisnahe Anbauvarianten für Zwischenfrüchte bzw. für Maisanbau festgelegt.

2. Methodik

2.1 Messtechniken

Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau für die durchgeführten Beregnungen. Alle Regensimulationen wurden mit einer konstanten Intensität von 50 mm h^{-1} für mindestens eine Stunde mit entionisiertem Wasser ($<50 \mu\text{S/cm}^{-1}$) beregnet, da die Verwendung von Leitungswasser die Infiltration und das Abtragsgeschehen eines Bodens beeinflussen kann (AZAZOGLU et al. 2002, FLANAGAN et al. 1997). Es wurde jeweils eine Fläche von 2 mal 5 m mit drei Wiederholungen beregnet mit dem Regensimulator des Bundesamt für Wasserwirtschaft Petzenkirchen beregnet (STRAUSS et al., 2000). Der Oberflächenabfluss wurde in regelmäßigen Zeitintervallen mit Kübeln aufgefangen, abgewogen und getrocknet. Somit konnte für jeden Versuch sowohl der zeitliche Verlauf als auch der gesamte Oberflächenabfluss sowie der Gesamtbodenabtrag ermittelt werden. Weiters wurden für jeden der Versuche die Bodenbedeckung sowohl durch lebende als auch abgestorbene organische Substanz ermittelt. Dies erfolgte über die „Rastermethode“ (MORRISON et al., 1993) in einem 60 cm mal 60 cm großen Raster. Die Rauigkeit des Saatbetts wurde mit der „Kettenmethode“ anhand einer 1 m langen feingliedrigen Kette bestimmt (GILLEY and KOTTWITZ 1995).

Für jede Beregnungspartelle wurden außerdem drei Stechzylinder bis zu einer Tiefe von 20 cm entnommen und ihre Rohdichte in 5 cm bzw. 3 cm –Schritten bestimmt.



Abb. 1: Versuchsaufbau für Beregnungsversuche, im Bild die Variante NT1 aus dem Jahr 2011

2.2 Anbauvarianten

2.2.1 Beregnungsversuch 2010

Bei diesem Versuch wurden vier verschiedene Saatbettbereitungen für Zwischenfruchtanbau getestet, als fünfte Technik wurde noch eine konventionelle Variante ohne Zwischenfruchtanbau mit grobem Saatbett (G-ZF) angelegt. Eine Zwischenfruchtmischung bestehend aus Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum*), Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), Ölrettich (*Raphanus sativus*) und Mungobohne (*Vigna radiata*) wurde bei diesem Versuch um den 20.8.2010 auf grobem Saatbett (G), grobem Saatbett mit Saatstriegel (G+S), feinem Saatbett (F) und feinem Saatbett mit Fahrspuren (F+F) angebaut. Dabei wurden die groben Saatbettvarianten jeweils nur einmal gegrubbert und anschließend bepflanzt, die feinen Saatbettvarianten wurden vor dem Anbau einmal gegrubbert und zweimal mit der Kreiselegge bearbeitet. Bei der Variante G+S wurde mittels Kleinsamenstreuer gearbeitet, die Samenkörner wurden durch einen Saatstriegel mit Erde bedeckt, dies schafft bessere Keimbedingungen. Bei der Variante F+F wurden die Beregnungspartellen so eingerichtet, dass jeweils eine Fahrspur durch die Parzelle (hangabwärts) verlief.

2.2.2 Beregnungsversuch 2011

Die abgefrostete Zwischenfruchtmischung vom Herbst 2010 wurde als Mulchauflage für die folgenden Maisanbauvarianten verwendet: 1) Mulchsaat: einmal gegrubbert, einmal mit Kreiselegge bearbeitet (M1); 2) Mulchsaat: einmal gegrubbert, einmal mit Scheibenegge und einmal mit Kreiselegge bearbeitet (M2); 3) Direktsaat: auf grobem Saatbett (NT1, siehe Versuch 2010) und 4) Direktsaat: auf feinem Saatbett (NT2, siehe Versuch 2010). Als Vergleichsvariante wurde eine 5) konventionell bearbeitete Fläche die im Herbst mit Pflug bearbeitet und im Frühjahr zweimal mit der Kreiselegge bearbeitet wurde angelegt (CT11). Der Mais wurde jeweils mit einer Einzelkornsämaschine angebaut.

2.2.3 Beregnungsversuch 2012

Im Fokus dieser Versuchsreihe stand ebenfalls der Maisanbau mit bodenschonenden Anbautechniken. Auf dem Versuchsfeld wurden im August 2011 25 kg Senf (*Sinapis alba*) pro Hektar als Zwischenbegrünung angebaut. Dieser diente nach dem Abfrostern im Frühjahr als Mulchauflage. Getestet wurden in diesem Beregnungsversuch folgende Maisanbautechniken: 1) Kombiniertes Mulchsaatanbau: mit Kreiselegge und angebauter Einzelkornsähmaschine, in einem Anbauschnitt (MC); 2) Mulchsaat: einmal gegrubbert, einmal Kreiselegge, danach Maisanbau mit Einzelkornsähmaschine, Fahrspuren wurden manuell aufgelockert (M-F); 3) Mulchsaat: wie M-F ohne Fahrspurauflockerung (M+F); sowie eine 4) konventionelle Anbautechnik mit Pflugbearbeitung im Herbst, einer Bearbeitung mit Kreiselegge im Frühjahr, danach Anbau mit Einzelkornsähmaschine (CT12).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Versuche 2010

Bodenkennwerte

Die Korngrößenanalyse der einzelnen Messparzellen ergab eine mittlere Textur von 22% Ton, 63% Schluff und 15% Sand (lehmgiger Schluff, bzw. schluffiger Lehm). Der mittlere Gehalt an organischem Kohlenstoff lag zwischen 2,1% und 2,5%. Die Standardabweichungen für diese Mittelwerte waren gering und lagen bei 2,1% (Ton) und 0,2% (organischer Kohlenstoff).

Dichte

Abbildung 2 zeigt die Rohdichte trocken für jede Bearbeitungsvariante. Die feinen Saatbettvarianten (F+F und F) weisen durchwegs höhere Dichten als die groben Saatbettvarianten auf. Auffällig ist der Sprung bei 10 cm, hier lag in etwa die Bearbeitungstiefe. Bei dieser Tiefe stieg die Rohdichte bei allen Bearbeitungsvarianten deutlich an, in dieser Tiefe wurde auch mehrmals Zwischenabfluss beobachtet. Die Bearbeitungsvarianten mit grobem Saatbett wiesen deutlich geringere Dichtewerte auf, da diese Varianten nur einmal bearbeitet wurden. Im Vergleich dazu lagen die Bodendichten bei den feinen Saatbettvarianten F und F+F mit Werten zwischen 1,25-1,30 g·cm⁻³ deutlich höher. Die Fahrspuren wurden bei Variante F+F bei den Dichtemessungen nicht berücksichtigt. Ab einer Tiefe von 10 cm stiegen die Rohdichten bei allen Varianten noch einmal an und lagen in einem Bereich zwischen 1,30 und 1,40 g·cm⁻³, wobei tendenziell auch hier die feinen Saatbettvarianten eine höhere Dichte im Vergleich zu den groben Varianten aufwiesen.

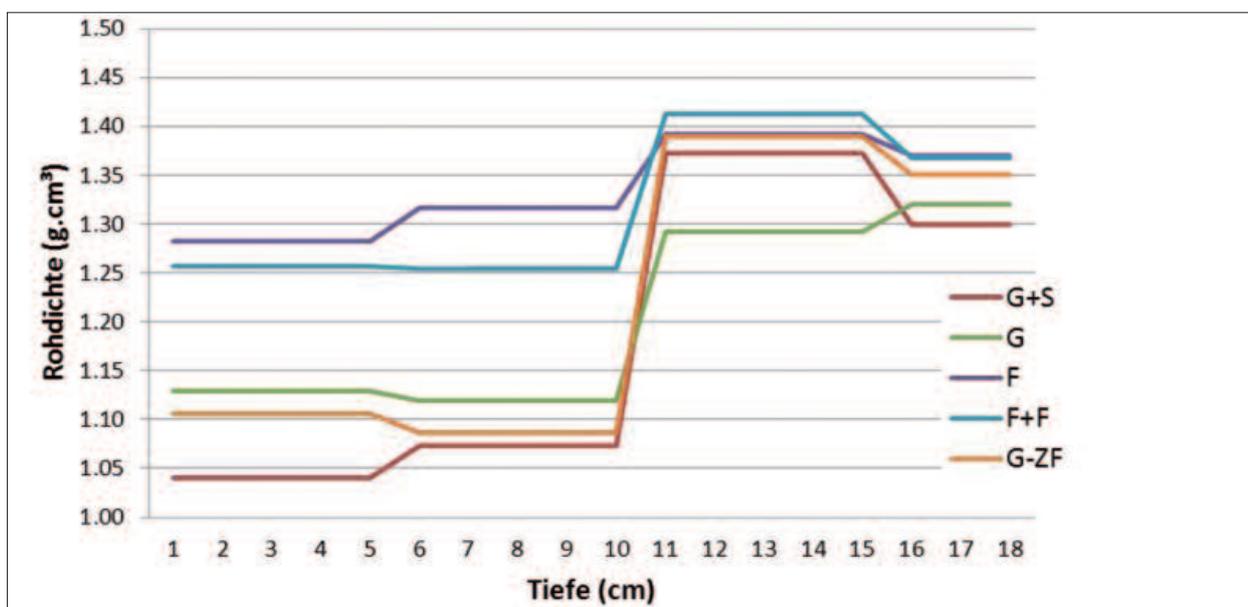


Abb. 2: Gemittelte Dichtewerte nach Tiefenstufen für die Bearbeitungsvarianten G+S (grobes Saatbett mit Saatsriegel), G (grobes Saatbett), F (feines Saatbett), F+F (feines Saatbett mit Fahrspuren) und G-ZF (grobes Saatbett ohne Zwischenfruchtanbau) für 2010

Berechnungsergebnisse

Abbildung 5 gibt den mittleren Oberflächenabfluss, Bodenabtrag, sowie die Bodenbedeckung für jede Bearbeitungsvariante wieder. Im Gegensatz zu den groben Bearbeitungsvarianten wiesen die feinen Saatbettvarianten einen deutlich höheren Bodenabtrag und Oberflächenabfluss auf. Beachtlich ist dabei, dass die Bodenbedeckung bei den Varianten F und F+F deutlich höher war (über 50%), als bei den groben Saatbettvarianten (zwischen 17% und 29%). Vor allem die feine Saatbettvariante mit den Fahrspuren (F+F) hatte bei diesem Versuch sehr hohe Bodenverluste zu verzeichnen, die Fahrspuren wirkten als bevorzugte Abflussbahnen.



Abb. 3: Bodenbedeckung der Variante G+S, Woche 37, 2010



Abb. 4: Bodenbedeckung der Variante F, Woche 37, 2010

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Bodenbedeckung der Varianten G+S und F. Einerseits hatte also die feine Saatbettbereitung einen positiven Einfluss auf den Wachstumsverlauf der Begrünung, andererseits war in diesem Versuch der Einfluss der Saatbettbereitung auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag offensichtlich wesentlich größer als die vielfach nachgewiesene erosionsreduzierende Wirkung der Bodenbedeckung (HOLLAND 2004).

Die Dichtewerte aus Abbildung 2 lassen bei den groben Saatbettvarianten auch auf höhere Infiltrationsraten schließen als bei den feinen Varianten, was die Ergebnisse zusätzlich stützt.

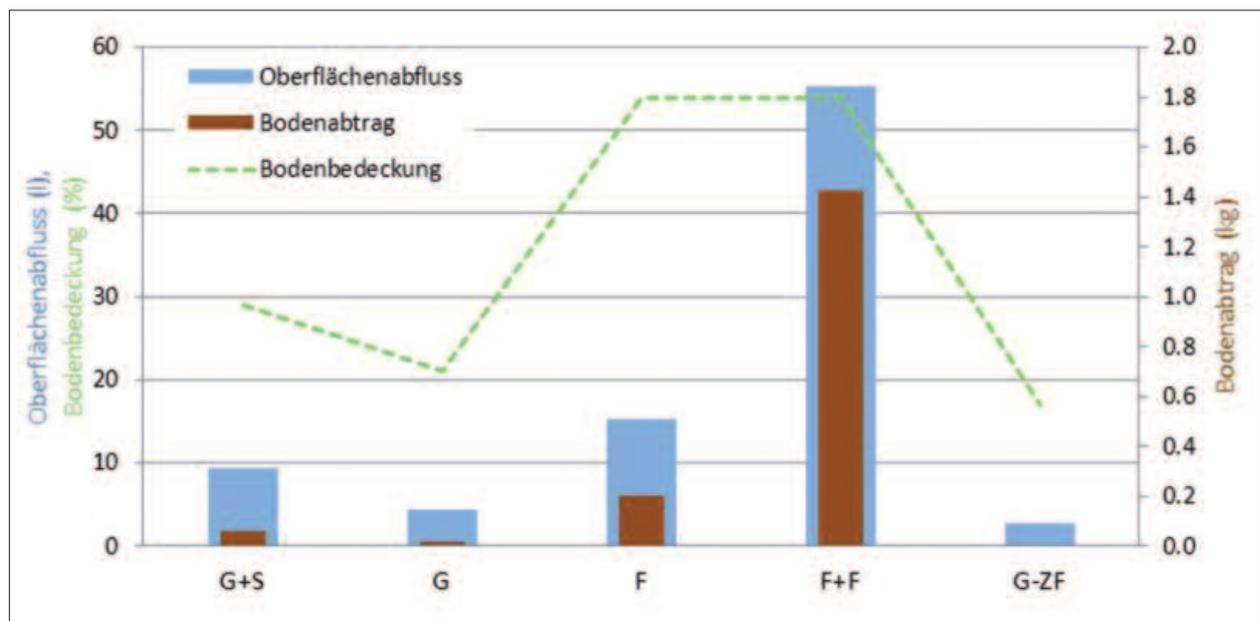


Abb. 5: Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Bodenbedeckung für die Bearbeitungsvarianten G+S (grobes Saatbett mit Saatstriegel), G (grobes Saatbett), F+F (feines Saatbett mit Fahrspuren) und G-ZF (grobes Saatbett ohne Zwischenfruchtanbau) im Versuchsjahr 2010

3.2 Versuche 2011

Bodenkennwerte

Die Korngrößenanalyse der einzelnen Messparzellen ergab eine mittlere Textur von 21% Ton, 64% Schluff und 14% Sand (lehmiger Schluff, bzw. schluffiger Lehm). Der Gehalt an organischem Kohlenstoff lag zwischen 2,1% und 2,4%.

Dichte

Abbildung 6 stellt die gemessene Tiefenverteilung der Rohdichte der verschiedenen Anbauvarianten dar. In den ersten 5 cm wiesen die Mulchsaatvarianten (M1 und M2) die geringsten Dichten auf, wobei schon hier die größere Dichte der Variante M2 auffällt, die sich weiter nach unten auch fortsetzt. Im Gegensatz zu Variante M1 wurde diese Variante zusätzlich zur Kreiselegge mit Scheibenegge bearbeitet.

Die Tiefenlockerung (Pflugbearbeitung) resultierte bei der konventionellen Bearbeitung (CT11) in einer geringeren Zunahme der Dichte mit zunehmender Tiefe. Im Bereich von 10 bis 20 cm wies diese Variante die geringsten Dichten auf. Aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung wiesen die beiden Direktsaatvarianten (NT1 und NT2) die höchsten Dichten in den ersten 5 cm auf.

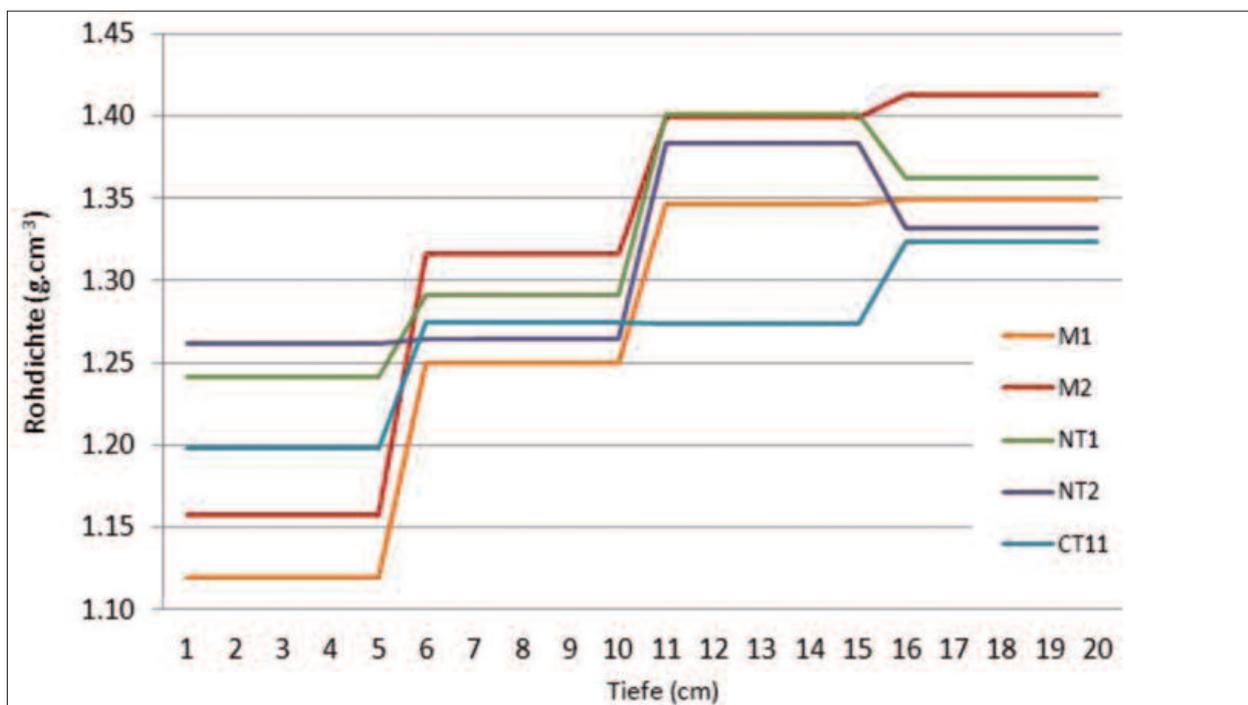


Abb. 6: Gemittelte Dichtewerte nach Tiefenstufen für die Bearbeitungsvarianten M1 (Mulchsaat, Kreiselegge), M2 (Mulchsaat, Kreiselegge und Scheibenegge), NT1 (Direktsaat auf grobem Saatbett), NT2 (Direktsaat auf feinem Saatbett) und einer konventionellen Anbautechnik mit Pflug (CT11) für 2011

Berechnungsergebnisse

Abbildung 9 zeigt den mittleren Oberflächenabfluss und Bodenabtrag der verschiedenen Bearbeitungsvarianten. Die Mulchsaatvarianten M1 und M2 wiesen den höchsten Bodenabtrag und Oberflächenabfluss auf. Wir erklären uns dieses überraschende Ergebnis mit der geringen Bodenbedeckung durch Mulch. Die Zwischenfruchtmischung hatte im Herbst 2010 lediglich eine Wuchshöhe von rund 25 cm erreicht. Die Bodenbedeckung durch Mulch erreichte deshalb im Frühjahr 2011 nur zwischen 6% und 11% (siehe auch Abb. 7 und Abb. 8).

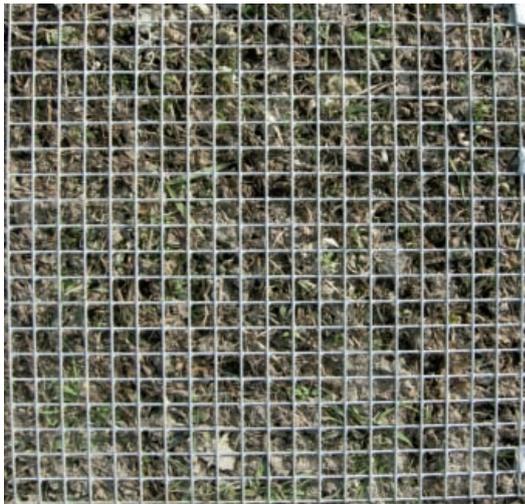


Abb. 7: Bodenbedeckung der Parzelle M2 im Februar 2011 vor Bodenbearbeitung



Abb. 8: Bodenbedeckung der Parzelle M2 im Mai 2011 nach Anbau

Die beiden Direktsaatvarianten NT1 und NT2 wiesen erwartungsgemäß die geringsten Werte bei Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auf (STRAUSS et al. 2003), beide Varianten hatten in etwa 70% Bodenbedeckung vorzuweisen. Die konventionelle Bearbeitung CT11 hatte keine Bodenbedeckung durch Mulch, die auftreffende Niederschläge hätte abbremesen können, dennoch wurden bei dieser Variante ungefähr 1/3 weniger Oberflächenabfluss und ungefähr die Hälfte geringerer Bodenabtrag im Vergleich zur Mulchsaatvariante M2 gemessen. Eine Erklärung für dieses Verhalten wäre, dass durch die Tiefenlockerung des Bodens durch Pflügen mehr Beregnungswasser infiltrieren konnte, als bei den seicht bearbeiteten Mulchsaatvarianten, wobei ja auch die Variante M2 ab einer Tiefe von 5 cm die höchsten Rohdichten aufwies. Im Vergleich dazu waren die Rohdichten der Varianten NT1 und NT2 zwar fast durchwegs höher als die anderen Varianten, allerdings hatte sich aufgrund der geringen Bearbeitungsintensität offensichtlich ein effektives Porensystem über das Winterhalbjahr herausgebildet, das zu wesentlich geringeren Abflussmengen führte. Im Zusammenwirken mit der oberflächlichen Schutzwirkung durch die abgestorbene Biomasse führte dies zu wesentlich geringeren Bodenabträgen.

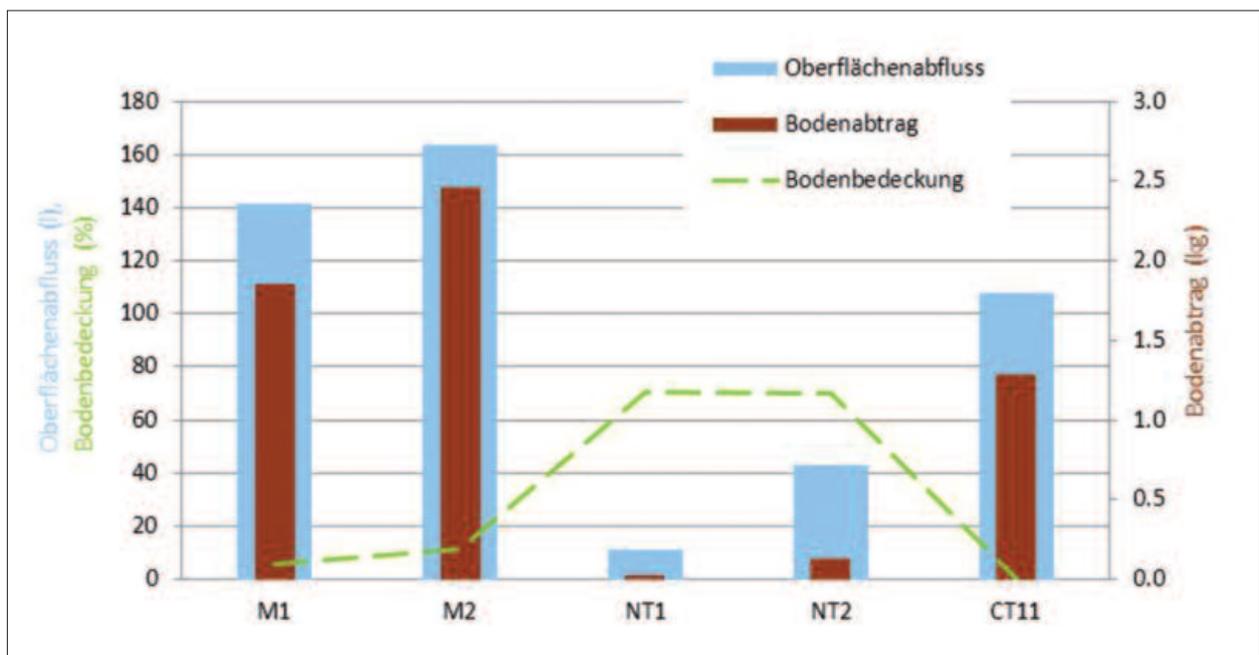


Abb. 9: Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Bodenbedeckung für die Bearbeitungsvarianten M1 (Mulchsaat, Kreiselegge), M2 (Mulchsaat, Kreiselegge und Scheibenegge), NT1 (Direktsaat auf grobem Saatbett), NT2 (Direktsaat auf feinem Saatbett) und CT11 (konventionelle Anbautechnik mit Pflug) im Versuchsjahr 2011

3.3 Versuche 2012

Auch im Jahr 2012 standen konservierende Maisanbautechniken im Mittelpunkt der Untersuchungen, wobei als Mulchmaterial abgefrosteter Senf verwendet wurde, der wesentlich mehr Biomasse produzierte als die Zwischenfruchtmischung von 2010 bzw. 2011. Im November 2011 hatte der Senf eine Höhe von rund 100 bis 120 cm erreicht.

Bodenkennwerte

Die Korngrößenanalyse der einzelnen Messparzellen ergab eine mittlere Textur von 23% Ton, 69% Schluff und 9% Sand (lehmiger Schluff, bzw. schluffiger Lehm). Der Gehalt an organischem Kohlenstoff lag zwischen 2,0% und 2,5%.

Dichte

Die konventionelle Variante CT12 wies im Bereich von 0 bis 8 cm die höchsten Rohdichten auf (Abbildung 11). Wie bei den Versuchen der Jahre 2010 und 2011 zeigte sich auch hier die Wirkung der mehrmaligen Bearbeitung. Von etwa 14 bis 20 cm Tiefe änderte sich das Bild und die konventionelle Variante CT12 wies vergleichsweise die niedrigsten Dichtewerte auf. Diese Variante wurde im Gegensatz zu den konservierenden Bearbeitungsverfahren im vorhergehenden Herbst durch Pflügen tiefengelockert. Aufgrund der sehr ähnlichen Bodenbearbeitung bei den konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren wiesen diese einen sehr ähnlichen Dichteverlauf im Bodenprofil auf. Im Gegensatz zur Variante mit den gelockerten Fahrspuren wiesen die Fahrspuren bereits in den ersten 5 cm deutlich höhere Rohdichten auf (Abb. 11), was sich auch bei der Abflussbildung zeigte. Die Fahrspuren waren jene Bereiche, in denen sich der Oberflächenabfluss als erstes bildete (Abb. 10).



Abb. 10: Bildung von Oberflächenabfluss in der Fahrspur der Variante M+F, Beregnung Mai 2012

Abbildung 12 gibt die gemittelten Ergebnisse für Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Bodenbedeckung wieder. Die kombinierte Variante (MC) mit nur einem Bearbeitungsschritt wies den geringsten Bodenabtrag und Oberflächenabfluss auf. Durch die vergleichsweise hohe Bodenbedeckung wurde der Boden vor Abschwemmungen am Besten geschützt. Auch die Mulchsaatvariante mit aufgelockerten Fahrspuren (M-F) weist gute Ergebnisse auf. Durch die aufgelockerten Fahrspuren wurde die Bildung von linearen Abflusswegen verhindert. Im Gegensatz dazu wurde bei der Mulchsaatvariante mit Fahrspuren (M+F) der höchste Oberflächenabfluss und Bodenabtrag gemessen, mehr als bei der konventionellen Bearbeitungsvariante (CT12). Die Variante M+F war auch jene Variante, bei der die Abflussbildung nach Beginn der Beregnung am schnellsten einsetzte. Mittlerer Abflussbeginn bei dieser Variante war nach 6 Minuten, wohingegen die mittlere Dauer bis zum Beginn des Oberflächenabflusses bei den anderen Varianten bei 18 Minuten (CT12) und 32 Minuten (M-F und MC) lag. Dieses Ergebnis kann einerseits durch die Tiefenlockerung des Pflugs im vergangenen Herbst erklärt werden, die noch immer geringere Rohdichten in den Bodentiefen ab 12 cm

zur Folge hatte. Andererseits wirkten die verdichteten Fahrspuren der Variante M+F als „hot spots“ der Abflussbildung. Im Gegensatz dazu wurde durch die Auflockerung der Fahrspuren (M-F) eine wesentliche Verbesserung der Abfluss- und Abtragsituation erreicht.

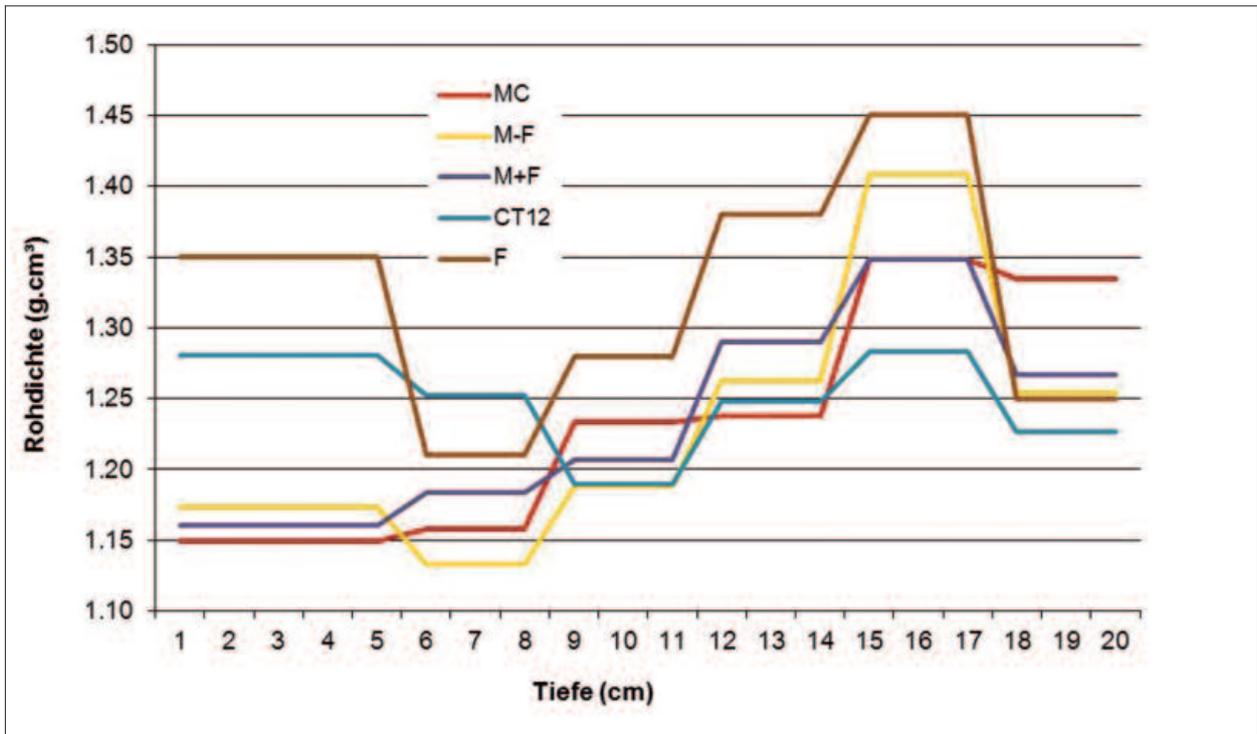


Abb. 11: Gemittelte Dichtewerte nach Tiefenstufen für die Bearbeitungsvarianten MC (Mulchsaat, kombinierter Anbau, eine Überfahrt), M-F (Mulchsaat mit Spurenlockerung), M+F (Mulchsaat ohne Spurenlockerung) CT12 (konventionelle Anbautechnik mit Pflug) und F (Fahrspur) im Versuchsjahr 2012

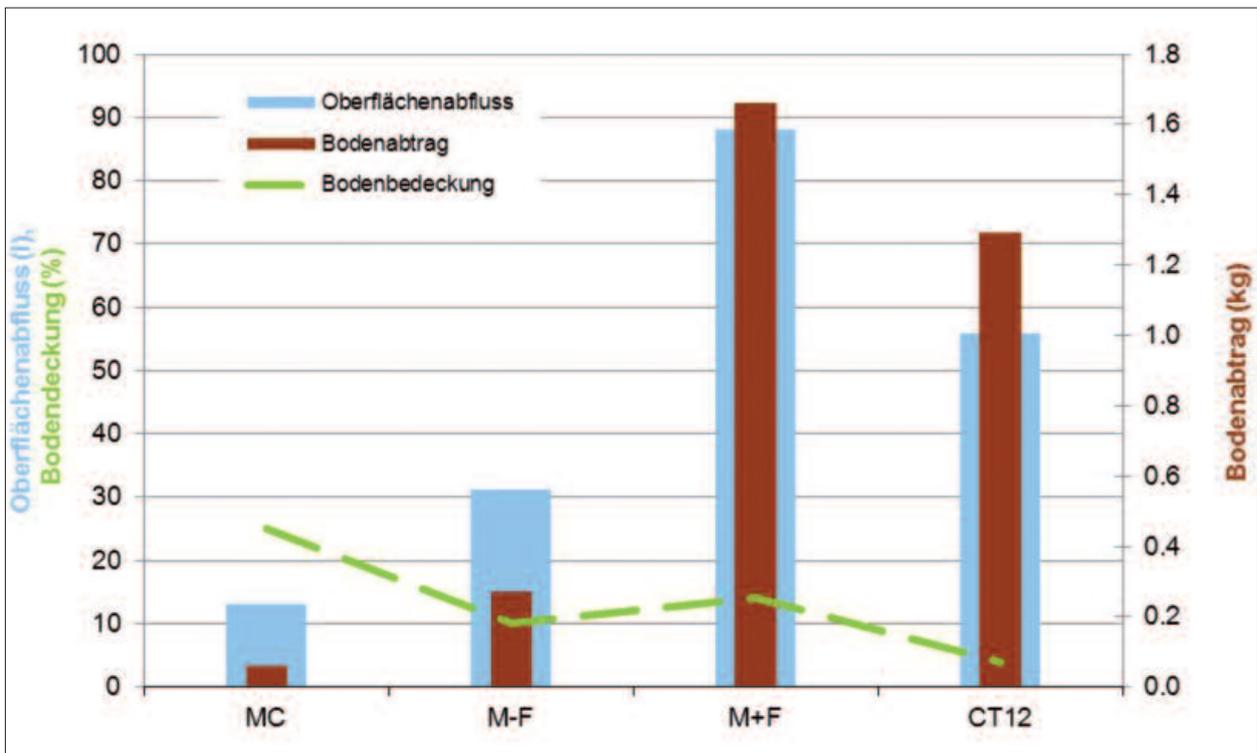


Abb. 12: Oberflächeabfluss, Bodenabtrag und Bodenbedeckung für die Bearbeitungsvarianten MC (Mulchsaat, kombinierter Anbau, eine Überfahrt), M-F (Mulchsaat mit Spurenlockerung), M+F (Mulchsaat ohne Spurenlockerung) und CT12 (konventionelle Anbautechnik mit Pflug) im Versuchsjahr 2012

4. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe 2010 zeigen, dass ein grobes Saatbett zu einer besseren Infiltrationsleistung und geringeren Bodenabträgen führt. Obwohl durch die feine Saatbettbereitung die Zwischenfrucht schneller anwuchs, ergaben sich hier deutlich höhere Bodenverluste. Die höhere Bodenbedeckung der feinen Saatbettvarianten zum Zeitpunkt der Beregnung hatte also eine geringere bodenschützende Wirkung als die Rauigkeit des Saatbetts beim Anbau, die letztendlich das Ergebnis unterschiedlicher Bearbeitungsintensität war. Beim Anbau von Zwischenfrüchten muss demnach nicht nur auf die Art und Menge des Saatguts geachtet werden. Um einen effektiven Erosionsschutz zu erreichen, spielt vor allem auch die Intensität der Saatbettbereitung eine wesentliche Rolle.

Bei den Untersuchungen über die Wirksamkeit verschiedener Mulchsaatvarianten war die Quantität des Mulchmaterials der abgefrosteten Zwischenfrüchte von entscheidender Bedeutung für die Reduktion von Bodenabtrag und Oberflächenabfluss. Die Mulchsaatvarianten der Versuche des Jahres 2011 lieferten die schlechtesten Ergebnisse hinsichtlich Bodenerosion. Hauptgrund dafür war die geringe Bedeckung des Bodens mit Mulchmaterial (zwischen 6 und 11%). Als Reaktion auf die geringe Bodenschutzwirkung der Mulchsaatvarianten des Jahres 2011 wurde für 2012 Senf als Winterbegrünung verwendet, um im Frühling eine bessere Mulchbedeckung zu erhalten. Die Mulchsaatvarianten – wenn auch etwas anders ausgeführt als 2011 – erwiesen sich unter den Bedingungen der verbesserten Mulchbedeckung des Bodens als wesentlich effektiver (= geringerer Bodenabtrag und Oberflächenabfluss) im Vergleich zur konventionellen Anbauvariante. Einerseits war im Jahr 2012 eine höhere Bodenbedeckung durch Mulchmaterial gegeben, andererseits konnten auch die positiven Effekte kombinierter Anbauverfahren – und damit einer geringeren Anzahl von Überfahrten – nachgewiesen werden, wobei die Lockerung von Fahrspuren als wichtige Maßnahme für den Boden- und Gewässerschutz identifiziert wurde.

Da Mais unter ungünstigen Bedingungen (Hanglagen) eine starke Erosionsgefährdung aufweist, sollte er mit bodenschonenden Anbautechniken wie Mulch- oder Direktsaat kultiviert werden. Für einen Erfolg im Sinne des Erosionsschutzes entscheidend sind allerdings die Details des jeweiligen Bodenmanagements, also das Ausmaß der Bodenbedeckung nach dem Anbau und die Vermeidung von Fahrspuren.

5. Literatur

- AZAZOGLU, E., P. STRAUSS, I. SISAK und W.E.H. BLUM, 2002: Einfluss der Wasserqualität auf Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Infiltration – ein Beregnungsversuch in Ungarn. *Mitt. der Österr. Bodenkundl. Ges.*, 65, 25-33.
- FLANAGAN, D.C., L.D. NORTON and I. SHAINBERG, 1997: Effect of water chemistry and soil amendmends on a silt loam soil – Part 1: Infiltration and runoff Part 2: Soil erosion. *Trans. ASAE*, 40(6), 1549-1561.
- GILLEY, J. E. and E.R. KOTTWITZ, 1995: Random Roughness Assessment by the Pin and Chain Method. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*. Paper 60, 39-43.
- MORRISON, J.E., C. HUANG, D.T. LIGHT and C.S.T. DAUGHTRY, 1993: Residue measurement techniques. *J. Soil and Water Cons.*, 6, 479-484.
- STRAUSS, P., J. PITY, M. PFEFFER and A. MENTLER, 2000: Rainfall simulation for outdoor experiments. In: Jamet, P., Cornejo, J., (eds.): *Current research methods to assess the environmental fate of pesticides*, 329-333, INRA Editions.
- LEBENSMINISTERIUM 2012: Gewässerzustandsverordnung. Unter www.lebensministerium.at (Zugriff: Oktober 2012).
- HOLLAND, J.M., 2004: The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103, 1-25.
- STRAUSS, P., D. SWOBODA and W.E.H. BLUM, 2003: How effective is mulching and minimum tillage to control runoff and soil loss? – A literature review. In: Gabriels, D. and W. Cornelis (Eds.): *Proceedings „25 Years of Assessment of Erosion“*, Ghent, Belgium, 22.-26.9.2003, 545-550.

Autoren

Mag. Rosemarie Hösl und Dr. Peter Strauss, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 Petzenkirchen, rosemarie.hoesl@baw.at

Wirkung bodennaher Gülleausbringung auf den Phosphoraustrag in Drainagen

Peter Strauss, Rosemarie Hösl, Alexander Eder, Mira Forster,
Hanna Ulrich und Erwin Murer

Zusammenfassung

Auf einem Grünlandstandort im Einzugsgebiet des Waginger/Tachinger Sees in Oberbayern wurden vier verschiedene Gülleausbringungstechniken (Prallteller, Schleppschuh, Schleppschlauch, Gülledrill) hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Phosphoraustrag in Drainagen getestet. Zusätzlich wurde noch eine Kontrollvariante ohne Gülleausbringung untersucht. Dafür wurde Gülle direkt über Dränsträngen aufgebracht und anschließend eine künstliche Beregnung durchgeführt. Der in den jeweiligen Dränsträngen aufgefangene Dränabfluss wurde auf die Inhaltsstoffe Phosphor (Gesamt P und gelöstes P) und Schwebstoff untersucht. Der Anteil des bei der Beregnung direkt von der Bodenoberfläche in die Dränstränge gelangenden Wassers wurde quantifiziert, indem das Beregnungswasser mit NaCl als Tracer versetzt wurde. Es zeigte sich, dass die Anteile von direkt in die Dräne abfließendem Beregnungswasser in einer Größenordnung von 20-50% des Gesamtabflusses lagen.

Die Beziehung zwischen Schwebstoffkonzentration und P-Konzentrationen (sowohl Gesamt P als auch gelöstes P) verlief bei allen begüllten Varianten annähernd linear. Ein direkter Vergleich der getesteten Varianten ergab, dass sich die Konzentrationen an gelöstem Phosphor einzelner Wiederholungen signifikant unterschieden, eine Bewertung der mittleren Konzentrationen an gelöstem Phosphor über alle Wiederholungen allerdings zu einer knappen Ablehnung einer statistischen Signifikanz ($p = 0.06$) führte. Hintergrund dafür war die hohe Heterogenität der einzelnen Wiederholungen aufgrund unterschiedlicher Gesamtabflüsse und Makroporenflüsse. Eine weitergehende Auswertung sollte diese Heterogenitäten durch geeignete Verfahren daher einbeziehen.

Schlagwörter: Bodennahe Gülleausbringung, Phosphor, drainiertes Grünland, Regensimulation

Summary

Four different slurry application techniques (deflector plate = PT, drag shoe = SH, drag hose = SC, chisel injector = D) were tested on grassland within the catchment of lake Waging/Taching in order to investigate phosphorus loss into tile drains. Slurry ($20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) was applied directly onto grassland over tile drains. Then rainfall simulation was applied and discharge from the tile drains was collected and analysed for phosphorus concentrations (total P and dissolved P) and sediment concentration. The share of direct flow from surface to tile drains was quantified using added NaCl in the rain water as tracer. Results revealed that between 20-50% of the total flow were to be attributed to direct flow from surface.

The relation between sediment concentration and P concentration was almost linear for all tested slurry applications variants whereas for the control plot sediment concentration did not increase with higher sediment concentrations.

A direct comparison of the tested variants showed that concentrations of dissolved P varied significantly between PT and the near ground application techniques when looking at particular repetitions. However, an evaluation of mean concentrations of dissolved P over all repetitions did not result in a significant difference, although the significance level was quite close to be accepted ($p = 0.06$). This may be due to the high heterogeneity of the single repetitions with respect to total flow and direct flow rates. An additional analysis of this data set should therefore take the different flow rates into account.

Keywords: Shallow slurry application, phosphorus, drained grassland, rainfall simulation, direct flow

1. Einleitung

Das Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees wird intensiv landwirtschaftlich genutzt, fast ausschließlich als Grünland, nur rund 15% des Einzugsgebietes werden ackerbaulich genutzt. Der Waginger-Tachinger See weist seit Jahren Phosphorkonzentrationen auf, die jenseits der zugelassenen Grenzwerte für einen guten ökologischen Zustand von Oberflächengewässer sind (WWA TRAUNSTEIN 2002). Da kommunale Ab-

wassereinleitungen als punktuelle Phosphoreintragsquellen kaum mehr in Frage kommen, liegt der Fokus auf der Ursachenbekämpfung in einer Reduktion diffuser Stoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Bodennahe Gülleausbringungsverfahren werden vor allem aufgrund ihrer positiven Wirkung auf gasförmige Stickstoffverluste direkt bei der Ausbringung von Gülle gefördert (ROTZ et al. 2011, PERÄLÄ et al. 2006). Es gibt allerdings Hinweise, dass durch eine Gülleausbringung mit bodennahen Verfahren (Schleppschauch, Schleppschuh, Gülledrill) auch eine geringere Belastung von Drainagen mit Phosphor erreicht wird (DIEPOLDER 2005, EDER 2007).

Beregnungsversuche sind eine Möglichkeit, um in kurzer Zeit die relative Wirksamkeit verschiedener landwirtschaftlicher Optimierungsverfahren zu überprüfen. Die Wirkung unterschiedlicher Gülleausbringungsmethoden kann dabei im Hinblick auf eine schnelle Reaktion des Versickerungswassers über Makroporen unter annähernd konstanten Bedingungen getestet werden. Die Versuchsannahme für welche Beregnungsversuche besonders geeignet sind, ist ein „worst case“ Szenario, also das Eintreten eines Starkregens direkt nach der Gülleausbringung.

Auf einem durch ein Drainsystem entwässerten Grünlandstandort in Petting am See (Oberbayern) wurden daher Beregnungsversuche durchgeführt mit dem Ziel, die Wirkung verschiedener bodennaher Gülleausbringungsverfahren im Hinblick auf die Verlagerung von Phosphor in Drainagen zu untersuchen. Neben einer Nullvariante (N) ohne Gülleausbringung wurden folgende Methoden getestet: Gülleausbringung mit Schleppschauch (SC), Schleppschuh (SH), Gülledrill (D) und Prallteller (PT).

2. Methodik

Standort

Die Versuche wurden in Kirchberg, bei Petting am Waginger See durchgeführt. Der mittlere Jahresniederschlag der Region beträgt rund 1200 mm (WWA TRAUNSTEIN 2002). Der Standort liegt im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees auf etwa 450 m Seehöhe und wird als Grünland genutzt. Die Wiese fällt leicht in Richtung Ost-Nordost Richtung Waginger See ab, mit einer mittleren Neigung von etwa 2%. Beim Bodentyp handelt es sich um einen verbrauchten Pseudogley, der wasserlösliche Gehalt an Phosphor liegt im Oberboden (0-10 cm) bei $7,5 \text{ mg P kg}^{-1}$ Feinboden. Das Grünland wurde 1962 drainiert und wird drei bis viermal im Jahr gemäht, ebenso verläuft die Düngung mit etwa 20 m^3 Gülle pro Hektar aus Rinderhaltung.

Drainagefreilegung

Zur Beprobung des Drainabflusses wurden fünf Drainstränge unterhalb der Beregnungsfläche mittels Bagger freigelegt. Auf den fünf Strängen wurden alle fünf getesteten Varianten (N, SC, SH, D und PT) mit vier Wiederholungen beregnet. Abbildung 1 zeigt die Versuchsfläche nach der erfolgten Drainfreilegung, der Abstand zwischen den einzelnen Drainsträngen betrug etwa 12 m. Die aus Ton gefertigten Drainrohre (ohne Filter) befinden sich in etwa 80 bis 90 cm Tiefe und waren teilweise bis zur halben Querschnittshöhe, zum Teil auch zu zwei Drittel mit Sediment gefüllt (siehe Abb. 2). Die Drainstränge münden unmittelbar in den Bach, der sich im Ufergehölzstreifen befindet (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Versuchsfläche nach Freilegung der Drainagestränge, Kirchberg, Petting am See, Oberbayern



Abb. 2: Mit Sediment gefülltes Drainagerohr

Gülleausbringung

Die verwendete Rindergülle wurde jeweils vor dem Befüllen der Gülletanks durchmischt. Die Abbildungen 3 bis 6 zeigen die landwirtschaftlichen Fahrzeuge bei ihrem Einsatz, sowie jeweils die Wiese unmittelbar nach Ausbringung der Gülle mit den verschiedenen Ausbringungsvarianten. Durch Einstellungen an den Geräten sowie der Fahrgeschwindigkeiten ergaben sich für den Versuchsaufbau gleiche Aufbringungsmengen an Gülle für die unterschiedlichen Versuche. Die Erfahrung der Fahrzeuglenker wurde hier herangezogen um in etwa gleiche Aufbringungsmengen von $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ zu erreichen. Dies entspricht der praxisüblichen Menge an Gülle, die bei normalen Düngegaben ausgebracht wird. Die aufgebrauchte Gülle wurde hinsichtlich ihrer Phosphorkonzentration untersucht.



Abb. 3: Gülleausbringung mittels Prallteller (PT) und das Spritzbild nach Ausbringung



Abb. 4: Gülleausbringung mittels Schleppschuh (SH) und das Spritzbild nach Ausbringung



Abb. 5: Gülleausbringung mittels Schleppschlauch (SC) und das Spritzbild nach Ausbringung



Abb. 6: Gülleausbringung mittels Gölledrill (D) und das Spritzbild nach Ausbringung

Beregnung

Die Beregnung erfolgte mit dem Regensimulator des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Petzenkirchen (STRAUSS et al. 2000), mit einer Intensität von $40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Insgesamt dauerten die einzelnen Beregnungen zwischen 1,5 bis 2,5 Stunden. Die Beregnungen wurden jeweils unmittelbar nach der jeweiligen Gülleapplikation begonnen. Das Beregnungswasser für die Versuche wurde in einem 1000-l Tank gespeichert und mit NaCl als Tracer versetzt, um das bei den Beregnungen direkt in die Drainagen infiltrierende Wasser zu identifizieren. Das Beregnungswasser wurde der örtlichen Wasserversorgung entnommen. Die Phosphorkonzentration des Beregnungswassers lag im Durchschnitt aller Analysen ($n = 20$) bei $0,01 \text{ mg P l}^{-1}$, mit sehr geringen Schwankungen (Standardabweichung = $0,002$). Die Phosphorkonzentration des Beregnungswassers wurde für die Auswertungen berücksichtigt. Alle Beregnungen wurden in vierfacher Wiederholung durchgeführt.

Abflussbestimmung und Probenahme

Die Bestimmung des Gesamtabflusses erfolgte an den geöffneten Drainagen mittels Kübeln, die nach konstanten Zeitintervallen ausgetauscht und zur Bestimmung der Wassermenge gewogen wurden. Da die Drainagen geringfügigen Abfluss aufwiesen, wurde dieser jeweils vor Beregnungsbeginn gemessen und die Gesamtposphorkonzentration des Basisabflusses ermittelt. In weiterer Folge wurde der Basisabfluss von den später ermittelten Gesamtabflussmengen abgezogen. Zur Bestimmung des Gehaltes an Gesamtposphor wurden aus den Kübeln Wasserproben entnommen, die gekühlt ins Labor transportiert wurden. Zusätzlich wurden pro Beregnung vier Proben genommen, die noch am selben Tag filtriert wurden. Aus diesen Proben wurden die abfiltrierbaren Stoffe sowie die Gehalte an gelöstem Phosphor ermittelt. Gesamtposphor sowie gelöster Phosphor wurden photometrisch nach ÖNORM EN ISO 6878 (2004) bestimmt. Der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen (= Schwebstoff) wurde nach Membranfiltration ($0,45 \mu\text{m}$) gravimetrisch bestimmt. Abbildung 7 zeigt eine geöffnete Drainage mit einem Ableitstutzen und einem Kübel zum Auffangen des Abflusses.



Abb. 7: Drainage mit Ableitstutzen für Probenahme und Beregnung

Trennung in Beregnungswasser und Bodenwasser

Für den Eintrag von Phosphor in das Drainagesystem ist der Fluss über bevorzugte Fließwege maßgeblich verantwortlich. Dies sind schnell dränende Makroporen ($>50 \mu\text{m}$, Schrumpfrisse, Tiergänge, usw.), welche bei Wasseranteilen unterhalb der Feldkapazität nicht mit Wasser gefüllt sind (ROWELL 1994). Bei starken Niederschlägen wird das Eindringen des Wassers in den Boden im Wesentlichen von zwei Vorgängen beeinflusst. Erstens wird das Regenwasser von der Bodenmatrix aufgenommen und entsprechend den hydraulischen Eigenschaften mehr oder weniger schnell in tiefere Lagen transportiert. Während der Versuchsdauer (1,5 bis 2,5 h) kann das Wasser aber nicht schnell genug in den Mikroporen bis zur Drainagetiefe (80-90 cm) vordringen. Dieses in den oberen Mikroporen zusätzliche Wasser drückt auf das tiefer unten gespeicherte Bodenwasser. Dadurch kommt es zum Abfluss von „älterem“ Bodenwasser. Zweitens dringt Wasser von der Oberfläche in die Makroporen ein und fließt ab. Ein Großteil dieses Wassers wird durch Interaktion mit der Bodenmatrix von dieser aufgenommen, ein Teil gelangt in die Drainage. Somit kann die Abflusskurve der Drainagen als Kombination aus Matrixfluss und Fluss in bevorzugten Fließwegen betrachtet werden. In weiterer Folge wird zur Vereinfachung die Abflussmenge aus der Bodenmatrix als Bodenwasser und die Abflussmenge über bevorzugte Fließwege als Beregnungswasser bezeichnet. Aufgrund der Markierung des Beregnungswassers mit Kochsalz (NaCl) können die Anteile von Bodenwasser und Beregnungswasser berechnet werden. Dazu wird auf folgenden Ansatz zurückgegriffen. Die Gesamtfracht eines transportierten Stoffes setzt sich aus der Fracht aus dem Matrixabfluss und der Fracht aus den bevorzugten Fließwegen zusammen (BUTTLE 2006).

$$q_t C_t = q_m C_m + q_p C_p$$

wobei

q_t	Gesamtabflussrate, l min^{-1}
C_t	Konzentration im Gesamtabfluss, mg l^{-1}
q_m	Abflussrate des Bodenwassers, l min^{-1}
C_m	Konzentration des Bodenwassers, mg l^{-1}
q_p	Abflussrate des Beregnungswassers, l min^{-1}
C_p	Konzentration des Beregnungswassers, mg l^{-1}

3. Ausgewählte Ergebnisse

Phosphorkonzentrationen der Rindergülle

Tabelle 1 stellt die Phosphorkonzentrationen der verwendeten Rindergülle dar. Diese wies nur geringe Unterschiede bei den verschiedenen Ausbringungsvarianten auf.

Tab. 1: Phosphorkonzentration der verwendeten Rindergülle in Masse-%

	P gesamt	P gelöst
Schleppschuh	0,039	0,019
Schleppschlauch	0,037	0,019
Prallteller	0,037	0,018
Drill	0,039	0,022
Mittelwert	0,038	0,020

Abfluss aus den Drainagen

Abbildung 8 zeigt den Verlauf der Abflüsse aller Versuchspartellen. Kurven die in der gleichen Farbe abgebildet wurden, kennzeichnen den Abflussverlauf bei gleicher Gülleausbringungstechnik. Da die Abflussbildung unabhängig von der Gülleausbringungstechnik ist, geben die Ergebnisse die Heterogenität des Standortes bezüglich Bodenwassergehalt, Anteil bevorzugter Fließwege und Bodenaufbau, aber auch der Versuchsbedingungen wieder (TROJAN und LINDEN 1992).

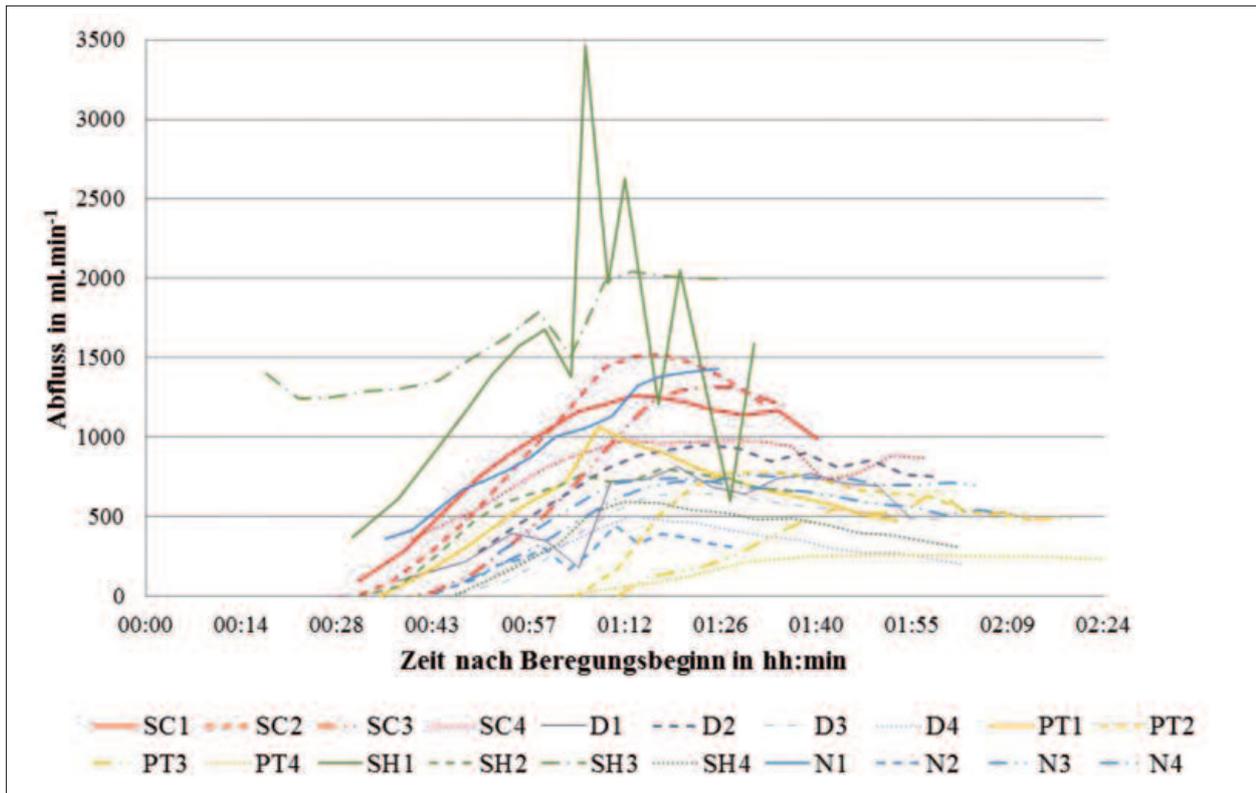


Abb. 8: Verlauf der Abflussbildung für alle Beregnungsvarianten und Wiederholungen (SC1-4 = Schleppschlauch, D1-4 = Gülleddrill, PT1-4 = Prallteller, SH1-4 = Schleppschlauch, N1-4 = Nullvariante)

Abbildung 9 zeigt den gemittelten Gesamtabfluss und die Anteile des Beregnungswassers am Gesamtabfluss. Einerseits zeigte sich, dass für einzelne Varianten mit bis zu 50% Anteil des Beregnungswassers am Gesamtabfluss gerechnet werden muss. Dies bedeutet, dass im Falle eines Starkregenereignisses eine nicht zu vernachlässigende Menge an Niederschlagswasser und darin enthaltene Stoffe sehr schnell in die Vorfluter gelangt. Andererseits wurde auch für diese Berechnung die Heterogenität des Versuchsstandortes deutlich. Die Mengen an Beregnungswasser schwankten nämlich zwischen ca. 20% und ca. 50% des Gesamtabflusses.

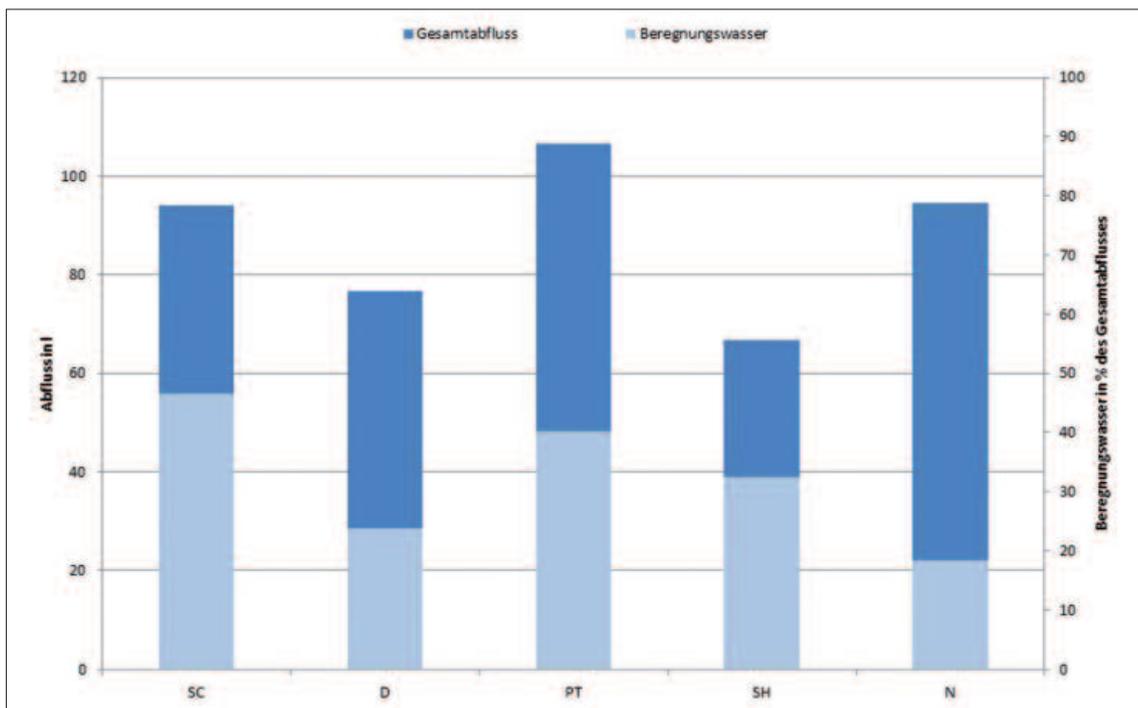


Abb. 9: Mittlerer Gesamtabfluss und Anteil des Beregnungswassers für die einzelnen Ausbringungsvarianten (SC = Schleppschlauch, D = Gülleddrill, PT = Prallteller, SH = Schleppschlauch, N = Nullvariante)

Schwebstoffgehalt

Der Zusammenhang zwischen der Konzentration an Gesamt P und dem Schwebstoffgehalt der Abflüsse ist in Abbildung 10 dargestellt. Es zeigt sich, dass mit steigender Schwebstoffkonzentration bei allen Gülleausbringungsvarianten auch die Gesamt P Gehalte stiegen. Das gelöste Phosphat war ebenfalls in gleicher Weise mit dem Schwebstoffgehalt korreliert (nicht dargestellt). Zwischen den Varianten konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Auch bei der Nullvariante stieg die Schwebstoffkonzentration, allerdings ohne gleichzeitige Erhöhung der Phosphorkonzentration. Dies wird als weiterer Hinweis auf die direkte Verbindung von Bodenoberfläche zu Drainage gewertet. Ob der gemessene Schwebstoff direkt aus Makroporen stammt, oder aus den Ablagerungen in den jeweiligen Drainagen (siehe Abb. 2) durch Resuspension mobilisiert worden war, kann nicht ermittelt werden. Fest steht allerdings, dass auch der in den Drainagen abgelagerte Schwebstoff aus dem umgebenden Boden stammt.

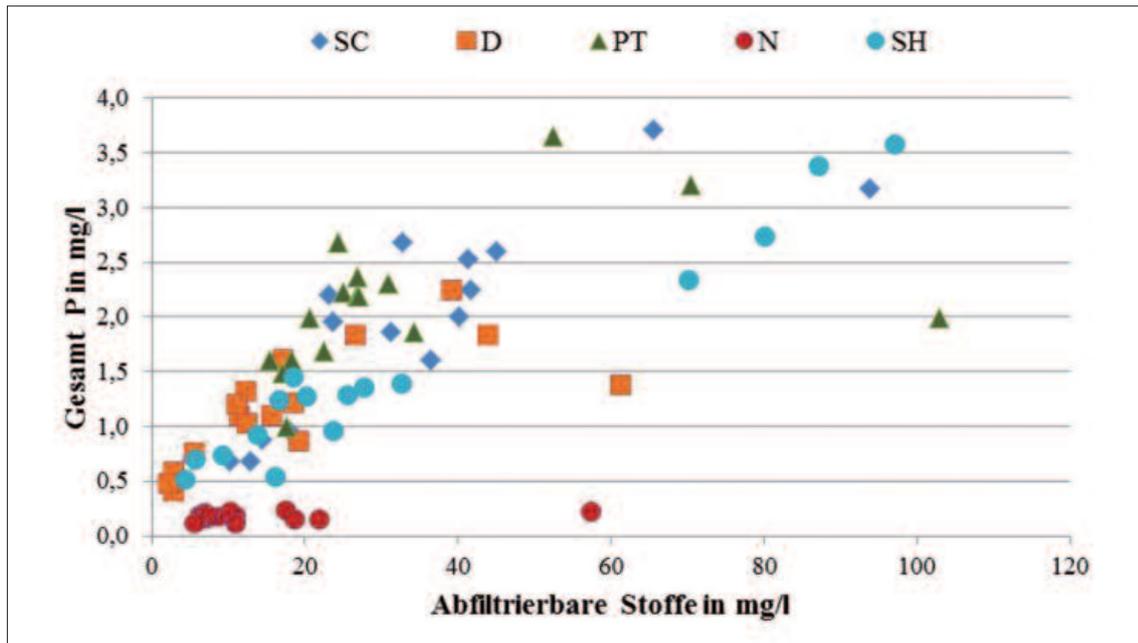


Abb. 10: Beziehung zwischen P gesamt und abfiltrierten Stoffen für die untersuchten Varianten (SC = Schleppschlauch, D = Gülledrill, PT = Prallteller, SH = Schleppschuh, N = Nullvariante,)

Variantenvergleich

Abbildung 11 zeigt den Verlauf des gelösten Phosphors für jeweils die erste Beregnung jeder Gülleausbringungstechnik. Es zeigt sich, dass die Ausbringung mittels Prallteller (PT) durchwegs die höchsten P Konzentrationen aufwies. Die Varianten SC, SH und D wiesen geringere P Konzentrationen im Verlauf der Beregnung auf. Dieser Unterschied zwischen PT und den bodennahen Ausbringungsvarianten war auch signifikant ($p = 0.02$, Newman-Keuls). Die Unterschiede zwischen den einzelnen bodennahen Ausbringungsvarianten ließen sich allerdings statistisch nicht unterscheiden. Abbildung 12 stellt die mittleren Konzentrationen von gelöstem Phosphat aller Wiederholungen dar. Auch hier weist die Variante Prallteller die tendenziell höchsten Konzentrationen an gelöstem Phosphat auf. Allerdings zeigt Abbildung 12 auch, dass die Heterogenitäten der Wiederholungen sehr groß waren. Daher ist hier kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Varianten (mit Ausnahme der Nullvariante) feststellbar.

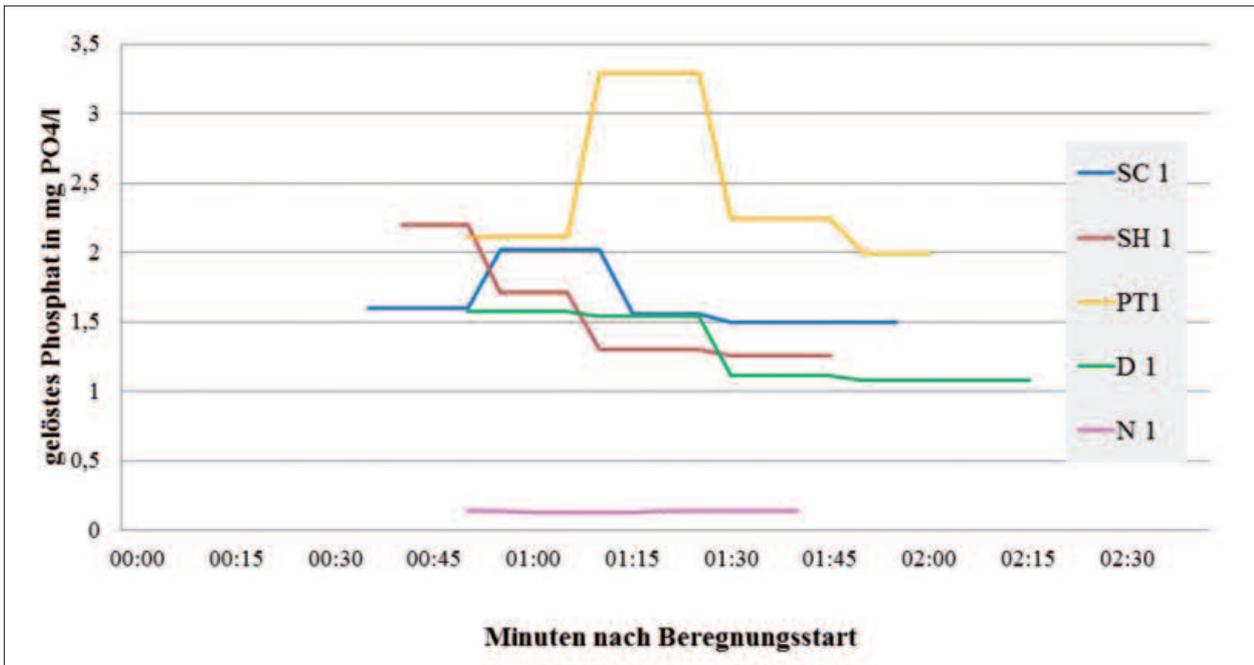


Abb. 11: Konzentrationsverlauf des gelösten Phosphats (als PO₄ in mg l⁻¹) der jeweils ersten Beregnung der untersuchten Varianten (SC1 = Schleppschauch, SH1 = Schleppschuh, PT1 = Prallteller, D1 = Gölledrill, N1 = Nullvariante)

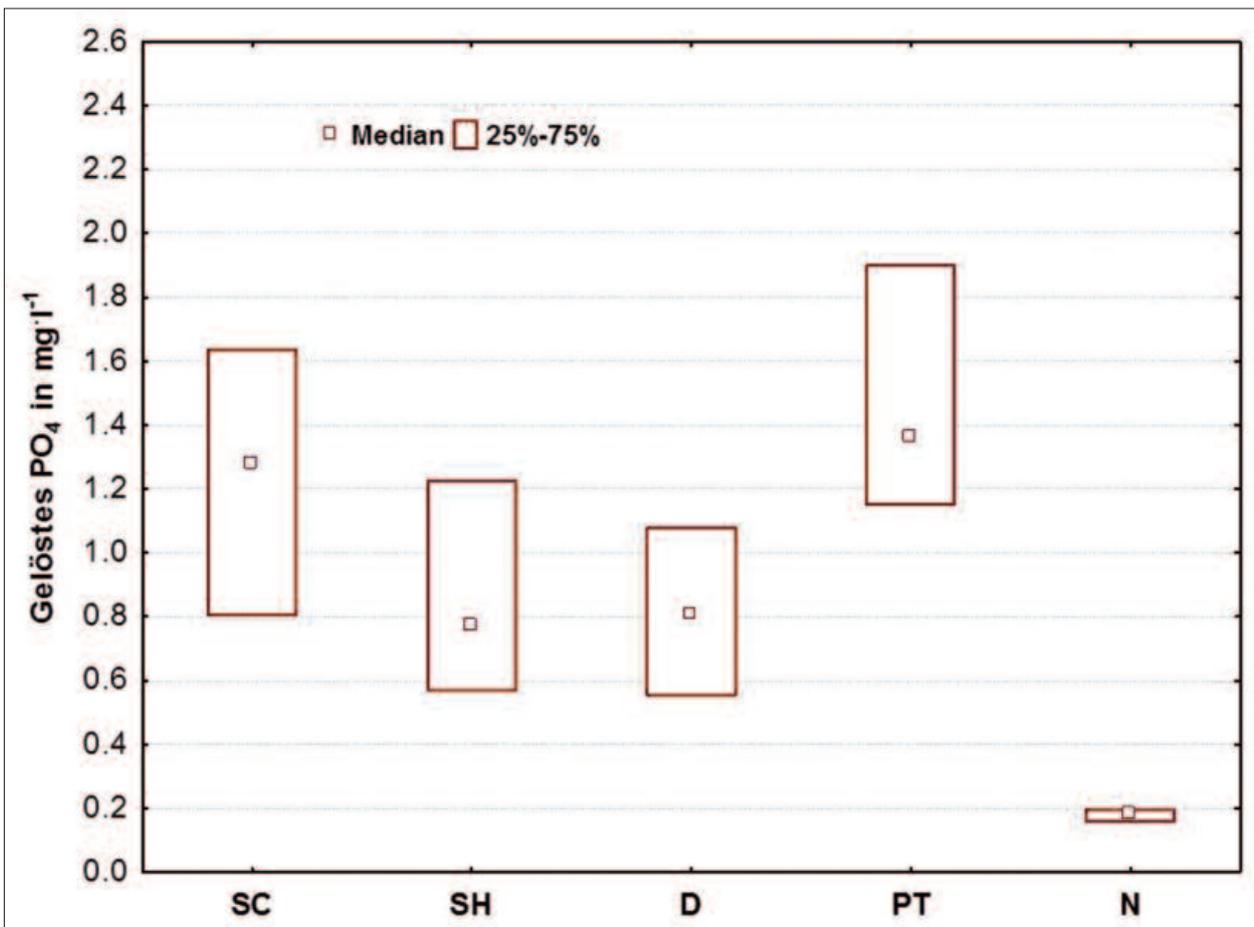


Abb. 12: Mittlere Konzentration des gelösten Phosphors (als PO₄ in mg l⁻¹) aller Wiederholungen der untersuchten Varianten (SC = Schleppschauch, SH = Schleppschuh, D = Drill, PT = Prallteller, N = Nullvariante,)

Da aus Abbildung 11 folgt, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den bodennahen Ausbringungsvarianten besteht, wurden in einem weiteren Auswertungsschritt die Ergebnisse der bodennahen Ausbringungsvarianten gepoolt und der Variante „Prallteller“, sowie der Nullvariante gegenübergestellt (Abb. 13).

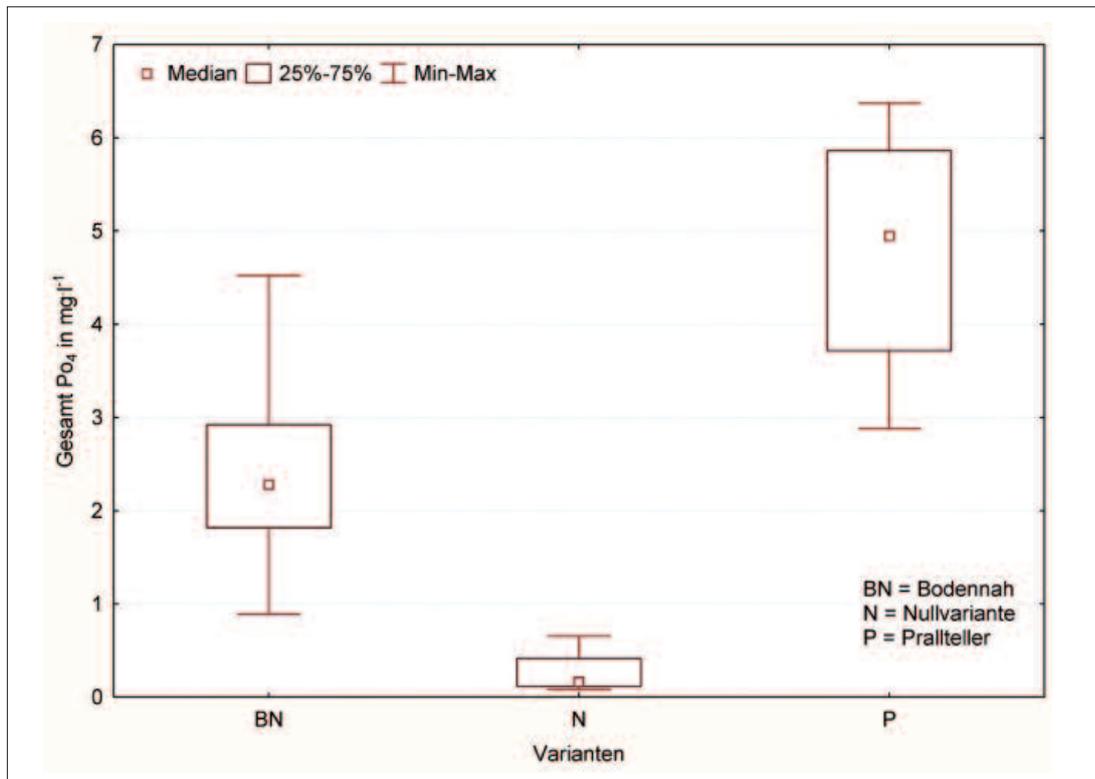


Abb. 13: Mittlere Konzentration des Gesamtphosphors (als PO_4 in mg l^{-1}) aller Wiederholungen der untersuchten Varianten (BN = SH+SC+D, N = Nullvariante, PT = Prallteller)

Durch das Poolen der bodennahen Varianten (= Erhöhung der Anzahl der Wiederholungen) wurde eine Wahrscheinlichkeit von $p = 0,06$ (Newman-Keuls) für einen Unterschied zwischen Prallteller und bodennahen Varianten ausgewiesen, was bei der Annahme einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ ebenfalls zu einer – wenn auch knappen – Ablehnung eines Unterschiedes zwischen bodennaher Ausbringung und Pralltellererausbringung führt.

4. Schlussfolgerungen

Die dargestellten Ergebnisse bestätigen, dass am Versuchsstandort eine direkte Verbindung von der Grasoberfläche zu den Drainagerohren durch Makroporen vorhanden war. Dies wird nicht zuletzt auch durch die Ergebnisse der Nullvariante belegt (siehe Abb. 9). Ähnliche Ergebnisse wurden bereits bei einem Vorversuch auf einem Grünlandstandort im österreichischen Alpenvorland erhalten (EDER 2007). Die Beziehung zwischen abfiltrierten Stoffen und der PO_4 -Konzentration verlief bei allen begüllten Varianten (Schleppschlauch SC, Schleppschuh SH, Gölledrill D und Prallteller P) annähernd linear. Davon ausgenommen muss die Nullvariante werden, hier wurden ebenfalls Schwebstoffe im Abfluss gemessen, jedoch ohne angelagerten Phosphor, was wiederum auf die direkte Verbindung des Beregnungswassers mit dem Drainageauslass schließen lässt. Die Variabilität des Makroporenflusses beeinflusst die Ergebnisse wesentlich.

Alle Untersuchungsergebnisse belegen zumindest den Trend eines Unterschiedes zwischen bodennaher Gütleausbringung und Applikation mit dem Prallteller. Eine gemeinsame Auswertung aller bodennahen Varianten verbesserte die Aussageschärfe (höhere Anzahl von Wiederholungen). Statistisch wird ein Unterschied zwischen den bodennahen Ausbringungsvarianten und der Pralltellerapplikation zwar noch immer abgelehnt, allerdings denkbar knapp ($p = 0,06$). Eine weitere Möglichkeit einer vertiefenden Auswertung der erhaltenen Daten besteht in einer Einbeziehung der Makroporenflüsse in die Auswertung. Diese Möglichkeit besteht,

da ja über den Verlauf der Salzkonzentration im Abfluss eine Quantifizierung des direkt von der Oberfläche abfließenden Wassers möglich ist. Da der Anteil des Beregnungswassers als auch der Gesamtabflüsse sehr heterogen war, könnte durch Einbeziehung der unterschiedlichen Abflussraten ein noch weiter differenzierendes Ergebnis möglich sein und wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Die Gründe für das ähnliche Verhalten der bodennahen Gülleausbringungstechniken können unter den gegebenen Umständen kaum gesichert dargestellt werden. Äußere Einflüsse der Grünlandfläche, der Drainagestränge sowie der Bodenverhältnisse mussten für alle durchgeführten Berechnungen als homogen angenommen werden. Mögliche Einflüsse durch den Versuchsaufbau und der zugrunde liegenden Methodik wurden bestmöglich durch vier Wiederholungen pro Gülletechnik ausgeschaltet.

Ein für uns plausibler Grund für das ähnliche Verhalten von SC, SH und D wird in der begüllten Fläche der Güllevarianten gesehen. Unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung von präferentiellen Fließwegen auf der Versuchsfläche ergibt sich durch die nicht-flächige Aufbringung von Gülle eine wesentlich geringere begüllte Fläche und damit eine geringere Wahrscheinlichkeit eines Zusammentreffens von Gülle und präferentiellen Fließweg, durch den Phosphor der Schwerkraft entsprechend verlagert werden kann. Da sich jedoch die begüllte Fläche bei allen bodennahen Gülleausbringungstechniken (siehe Abb. 4-6) flächenmäßig kaum voneinander unterscheidet, sind auch ähnliche Verlagerungswahrscheinlichkeiten zu erwarten.

Literatur

- BUTTLE J. M., 2006: Fundamentals of small catchment hydrology. In: C. Kendall and J.J. McDonnell (eds.) *Isotope Tracers in Catchment Hydrology* Elsevier, p. 41.
- DIEPOLDER, M., S. RASCHBACHER und TH. EBERTSEDER, 2005: P-Austrag aus Drainagen unter Wirtschaftsgrünland. In: *Beratung und Bildung, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.*
- EDER., A., 2007: Untersuchungen zum Austragsverhalten von Phosphor nach Gülleapplikation. Endbericht, Projekt „Gewässerschonende Grünlanddüngung“, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.
- ÖNORM EN ISO 6878, 2004: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Phosphor – Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat. Austrian Standards Institute, Wien.
- PERÄLÄ, P., P. KAPUINEN, M. ESALA, S. TYYNELÄ and K. REGINA, 2006: Influence of slurry and mineral fertiliser application techniques on N₂O and CH₄ fluxes from a barley field in southern Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117, 71-78.
- ROTZ, C.A., P.J.A. KLEINMAN, C.J. DELL, T.L. VEITH and D.B. BEEGLE, 2011: Environmental and Economic Comparisons of Manure Application Methods in Farming Systems. *J. Environ. Qual.* 40, 438-448.
- ROWELL, D.L., 1994: *Soil Science: Methods and Applications*. Deutsche Übersetzung (1997): *Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendung*. Springer-Verlag, 103 S.
- STRAUSS, P., J. PITY, M. PFEFFER and A. MENTLER, 2000: Rainfall simulation for outdoor experiments. In: *Jamet, P., Cornejo, J., (eds.): Current research methods to assess the environmental fate of pesticides*, 329-333, INRA Editions.
- TROJAN, M.D. and D.R. LINDEN, 1992: Microrelief and rainfall effects on water and solute Movement in earthworm burrows. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 727-733.
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT (WWA) TRAUNSTEIN, 2002: Nährstoffeinträge und trophische Situation im Waginger-Tachinger See 2001/2002, Traunstein.

Autoren

Dr. Peter Strauss, Mag. Rosemarie Hösl, DI Alexander Eder und DI Erwin Murer, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 Petzenkirchen, peter.strauss@baw.at
Mira Forster und Hanna Ulrich, Wasserwirtschaftsamt Traunstein, Rosenheimer Straße 7, D-83278 Traunstein

BoBB – Bodenerosion, Beratung und Berechnung – Ein Werkzeug zur Unterstützung der landwirtschaftlichen Beratungspraxis

Peter Strauss, Rosemarie Hösl und Jan Devaty

Zusammenfassung

Die Ermittlung der Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen ist eine notwendige Grundlage zur Bewertung von Alternativen im landwirtschaftlichen Management. Dazu ist die Bereitstellung von Werkzeugen, die eine Abschätzung der Auswirkung verschiedener landwirtschaftlicher Aktivitäten vor Ort ermöglichen, notwendig. Um der landwirtschaftlichen Beratung aber auch dem interessierten Landwirt diese Werkzeuge zur Verfügung stellen zu können, wurde BoBB – Bodenerosion, Beratung und Berechnung geschaffen.

BoBB ist ein Computerprogramm, das nach Eingabe wesentlicher erosionsbestimmender und transportbestimmender Faktoren eine Berechnung des Erosionsrisikos und des Eintrages von Phosphor in ein Oberflächengewässer durchführt. Damit kann einerseits das potentielle Erosionsrisiko – also die naturräumlichen Gegebenheiten, die sich aus der Wechselwirkung von Boden, Niederschlag, Hanglänge und Hangneigung ergeben – berechnet werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, unterschiedlichste Kombinationen aus Feldfrüchten, Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Möglichkeit gelegt, Zwischenfruchtanbau zu berücksichtigen. Um die Berechnungen unter verschiedenen praxisnahen Szenarien zu vereinfachen, wurde BoBB mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche ausgestattet. Das Programm kann kostenlos unter www.baw-ikt.at bezogen werden.

Schlagwörter: Erosion, RUSLE, Software, Landwirtschaftsberatung, Phosphoreintrag in Oberflächengewässer

Summary

The estimation of erosion risk is an important basis for the development of alternatives in the management of agriculturally used areas. Therefore, tools to locally estimate changes in erosion risk with respect to changes in agricultural management are necessary. To supply agricultural extension services but also interested farmers with such a tool, we developed BoBB – Bodenerosion, Beratung und Berechnung.

BoBB is a piece of software which allows estimating risk of soil and phosphorus loss into surface water. It enables to calculate potential soil loss, which is a result of the different environmental base factors soil, climate, slope and slope length. Additionally, it offers the possibility to calculate the effects of various management options consisting of different crops, crop rotations, and tillage options. Special consideration has been taken to support catch crop management. To simplify these calculations, BoBB has been given a user friendly interface. The software may be downloaded free of charge via www.baw-ikt.at.

Keywords: Erosion, RUSLE, software, agricultural extension support, phosphorus transport to surface water

1. Einleitung

Die Ermittlung der Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen ist eine notwendige Grundlage zur Bewertung von Alternativen im landwirtschaftlichen Management. Leider ist eine direkte Messung des Erosionsgeschehens sehr kostenaufwändig und langwierig. Deshalb wurde bereits vor einigen Jahrzehnten mit der Entwicklung von Modellen begonnen, die geeignet sein sollen, das Ausmaß der Bodenerosion unter verschiedenen Umwelt- und Managementbedingungen zu ermitteln. In der Zwischenzeit gibt es eine Reihe von Erosionsmodellen, die sich im Wesentlichen in ihren Fähigkeiten, das Erosionsgeschehen räumlich und zeitlich aufzulösen, unterscheiden. Einige Zusammenstellungen über vorhandene Modellansätze dazu gibt es von AUERSWALD und SCHWERTMANN (1987), MORGAN (1999) oder AKSOY und KAVVAS (2005).

In landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten besteht in Österreich und Bayern ein enger Zusammenhang zwischen Ausmaß der Erosionsgefährdung und dem Belastungsrisiko von Gewässern mit Phosphor, wobei die tatsächliche Belastung eines Gewässers anhand der Wechselwirkungen des Wirkungsgefüges rund um drei Fragenkomplexe zu beantworten ist:

- Wie groß ist der Bodenabtrag eines Schlages?
- Wie hoch ist der Phosphorgehalt des erodierten Bodens?
- Wie lang ist der Transportweg des erodierten Bodens bis zum Gewässer?

Auch zur Verknüpfung dieser Fragen hin zu einer quantitativen Bewertung eines Belastungsrisikos von Gewässern durch bodenbürtigen Phosphor gibt es eine Reihe von Modellvorstellungen. Die Komplexität der in diesen Modellen enthaltenen Prozesse schwankt sehr stark und ist im Wesentlichen vom Grad der räumlichen und zeitlichen Auflösung abhängig, mit dem die verschiedenen Modelle arbeiten.

Eine der vielen Herausforderungen, die es in der Modellierung von Bodenerosion und Stoffbelastung von Oberflächengewässern noch anzunehmen gilt, ist die Bereitstellung von Werkzeugen, die eine Abschätzung der Auswirkung verschiedener landwirtschaftlicher Aktivitäten vor Ort ermöglichen. Um hier der landwirtschaftlichen Beratung, aber auch dem interessierten Landwirt, Möglichkeiten zu eröffnen, wurde BoBB – Bodenerosion, Beratung und Berechnung geschaffen.

Was ist BoBB?

BoBB ist ein Computerprogramm, das nach Eingabe wesentlicher erosionsbestimmender und transportbestimmender Faktoren eine Bewertung des Erosionsrisikos und des Eintrages von Phosphor in ein Oberflächengewässer errechnet. Damit kann einerseits das potentielle Erosionsrisiko – also die naturräumlichen Gegebenheiten, die sich aus der Wechselwirkung von Boden, Niederschlag, Hanglänge und Hangneigung ergeben – berechnet werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, unterschiedlichste Kombinationen aus Feldfrüchten, Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Möglichkeit gelegt, Zwischenfruchtanbau zu berücksichtigen. Um die Berechnungen unter verschiedenen praxisnahen Szenarien zu vereinfachen, wurde BoBB mit einer – so hoffen wir – benutzerfreundlichen Oberfläche ausgestattet.

2. Modelltheorie

BoBB liefert im Wesentlichen zwei Ergebnisse, die Ermittlung des Bodenabtrags und die Berechnung des Phosphoreintrags in das nächstgelegene Oberflächengewässer. Die Anforderung eines einfach zu handhabenden Modellwerkzeugs mit verfügbaren Datensätzen im Hintergrund hatte natürlich Auswirkungen auf die Wahl der verwendeten Modellansätze.

2.1 Bodenabtrag

Die Berechnung des Bodenabtrags in BoBB basiert auf einer leicht veränderten Version der sogenannten „Revised Universal Soil Loss Equation“ (RUSLE), von RENARD et al. (1997). Dieses Modell zur Berechnung von Bodenabtrag durch Wasser basiert wiederum auf der Arbeit von WISCHMEIER und SMITH, die die weit verbreitete Universal Soil Loss Equation bereits 1978 publizierten. In einigen Bereichen, vor allem den Faktor Management betreffend, weist die RUSLE im Vergleich zur ursprünglichen USLE (WISCHMEIER und SMITH 1978) wesentliche Änderungen auf.

Sowohl die USLE als auch die RUSLE liefern als Berechnungsergebnis den langjährigen durchschnittlichen Bodenabtrag eines bestimmten Schlages. Dies deshalb, weil als Eingangsgrößen der Berechnungen „typische“ oder „durchschnittliche“ Werte für bestimmte Faktoren verwendet werden. Im Falle der Niederschlags-eigenschaften sind das z.B. langjährige mittlere Niederschläge und Niederschlagsverteilungen. Durch Multiplikation verschiedener Eingangsfaktoren erhält man einen jährlichen durchschnittlichen Bodenabtrag (Formel 1). Aufgrund der Einfachheit dieser empirischen Formel ist es nicht möglich Transport oder Ablagerung innerhalb der betrachteten Fläche zu ermitteln.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C$$

Formel 1: Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

A – durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag	$\left[\frac{t}{ha \cdot Jahr} \right]$
R – Niederschlagsfaktor	$\left[\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot Stunde \cdot Jahr} \right]$
K – Bodenfaktor	$\left[\frac{t \cdot ha \cdot Stunde}{ha \cdot MJ \cdot mm} \right]$
L – Hanglänge	[-]
S – Hangneigung	[-]
C – Management	[-]

Im Gegensatz zur RUSLE verwendet BoBB Tagesschritte für die einzelnen Berechnungsschritte. Hauptgrund dafür liegt in der Automatisierung des Berechnungsalgorithmus, der auf Tagesbasis eine einfachere Berechnung ermöglichte. Dadurch können bei BoBB Bearbeitungsschritte an jedem beliebigen Tag des Jahres eingegeben werden, was die Bedienung vereinfacht und intuitiver gestaltet. Im Gegensatz dazu führt die RUSLE sämtliche Berechnungsschritte in 15-Tagen-Intervallen durch. Da die RUSLE ein nordamerikanisches Modell ist, mussten für BoBB außerdem alle verwendeten Einheiten in das metrische dezimale SI – Einheitensystem umgerechnet werden.

Im Folgenden wird grundlegende Information über die einzelnen Faktoren dargestellt, für eine detaillierte Darstellung wird auf das USDA – Handbuch 703 (RENARD et al. 1997) verwiesen, auf dem BoBB basiert.

2.1.1 R-Faktor - Klima

Als Basisinformation zur Berechnung des Faktors Klima wird einerseits der jährliche R-Faktor eines Standortes benötigt, andererseits eine jahreszeitliche Verteilung der R-Faktor-Anteile. Um bestimmte Algorithmen zur Berechnung des C-Faktors abzudecken, werden zusätzlich noch langjährige mittlere tägliche Niederschlagssummen bzw. mittlere Tagestemperaturen benötigt. Diese Datensätze sind für ausgewählte Stationen vorhanden und werden von der im Programm enthaltenen Datenbank zur Verfügung gestellt. Diese Datenbank kann natürlich jederzeit erweitert werden. Zur Ermittlung dieser Daten war eine Reihe von Umsetzungsschritten und Algorithmen notwendig. Diese können dem Benutzerhandbuch für BoBB (STRAUSS et al. 2012) entnommen werden.

2.1.2 K-Faktor - Boden

Zur Berechnung der Erosionsempfindlichkeit des Bodens wurden im Originalmodell USLE (WISCHMEIER and SMITH 1978) Regensimulationen und Abtragsmessungen mit natürlichen Niederschlägen durchgeführt. Aus diesen Messungen wurde letztendlich ein Berechnungsmodus entwickelt, der die Bodenerodibilität als Funktion der Bodeneigenschaften Feinstsand, Schluff, organischer Kohlenstoff, Bodenstruktur und Bodenpermeabilität darstellt. Da diese Bodeneigenschaften aber in den seltensten Fällen vollständig vorhanden sind, wurden schon frühzeitig Wege gesucht, um diese Berechnung zu vereinfachen. BoBB bietet drei dieser Möglichkeiten zur Eingabe des K-Faktors an.

- **Finanzbodenschätzung**

Der Benutzer wählt eine aus der Auswertung der Finanzbodenschätzung vorhandenen Bodentexturklassen (WAGNER 2001). Die Beziehung zwischen den Texturklassen der Finanzbodenschätzung und den K-Faktoren wurde unter anderem von VOGEL und BECHER (1985) hergestellt.

Tab. 1: Bodenklassen und dazugehörige K-Werte aus der Finanzbodenschätzung

Bodenart	T	sT	S	tS	IT	uT	sL	IS	stL	suL	utL	uS	uS	uL	tU	suL	U
K-Faktor	0,09	0,1	0,1	0,11	0,13	0,18	0,23	0,26	0,28	0,35	0,37	0,39	0,43	0,49	0,62	0,65	0,72

- **Korngrößenanteile Schluff und Grobstoffe**

Ist der Schluffgehalt und der Steingehalt (= Bodenteile > 2 mm) des Bodens bekannt, kann der K-Faktor auch über diese ermittelt werden. Diese Daten können aus den Informationen der Österreichischen Bodenkartierung (SCHNEIDER et al. 2001) entnommen werden. Die Grundlagen der Berechnung finden sich bei STRAUSS and WOLKERSTORFER (2005). Dabei muss der Schluffgehalt niedriger als 100%, der Steingehalt niedriger als 83% sein. Die Summe beider Werte darf nicht höher als 100% sein.

- **Manuelle Eingabe des K-Faktor**

Ist aus verschiedenen Gründen eine bessere Schätzung des K-Faktors möglich, kann dieser auch direkt eingegeben werden.

2.1.3 S-Faktor - Hangneigung

Für die Berechnung des S-Faktors fanden die in RENARD et al. (1997) verwendeten Ansätze Verwendung.

$S_i = 10,8 \cdot \sin\theta_i + 0,03$	Neigung eines Hangsegmentes < 9%
$S_i = 16,8 \cdot \sin\theta_i + 0,5$	Neigung eines Hangsegmentes $\geq 9\%$
$S_i = 3,0 \cdot (\sin\theta_i)^{0,8} + 0,56$	Hanglänge eines Hangsegments < 4,57m

Formel 2: S-Faktor einzelner Hangsegmente

S_i – Faktor S eines Hangsegmentes i
 θ_i – Neigung eines Hangsegmentes i [Grad]

Damit kann der Benutzer einen Schlag in verschiedene Hangsegmente mit unterschiedlichen Hangneigungen unterteilen. BoBB hat keine Begrenzung bei der Anzahl der Hangsegmente, es liegt daher beim Nutzer, auf ein sinnvoll gewähltes Profil des Schlages zu achten.

2.1.4 L-Faktor - Hanglänge

Der L-Faktor für ein Hangsegment wird mittels folgender Formel berechnet:

$$L_i = \frac{(x_i^{m_i+1} - x_{i-1}^{m_i+1})}{(x_i - x_{i-1}) \cdot 22,13}$$

Formel 3: L-Faktor einzelner Hangsegmente

L_i – L-Faktor des i -ten Hangsegments
 x_i – Distanz vom Beginn des Hanges bis zum Ende des i -ten Hangsegments [m]
 x_{i-1} – Distanz vom Beginn des Hanges bis zum Beginn des i -ten Hangsegments [m]
 m_i – empirisch ermittelter Exponent, abhängig von der Hangneigung (McCOOL et al. 1989)

Um den L-Faktor des gesamten Hangprofils zu erhalten, wird ein durchschnittlicher L-Faktor aller Hangsegmente gewichtet durch die Hanglänge ermittelt.

$$L = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \cdot \sum_{i=1}^n (L_i \cdot \lambda_i)$$

Formel 4: L-Faktor des gesamten Schlages

L – L-Faktor des gesamten Schlages

L_i – L-Faktor von Hangsegment i

λ_i – Länge von Hangsegment i

n – Anzahl der Hangsegmente des gesamte Hangprofiles

Der Benutzer kann eine unbegrenzte Anzahl an Hangsegmenten mit unterschiedlichen Längen aneinanderreihen. BoBB hat zwar keine Limitierung bei der Eingabe der einzelnen Hangsegmente, der Nutzer sollte aber auf ein sinnvoll gewähltes Profil des Schlages achten.

2.1.5 C-Faktor - Management

Der C-Faktor von BoBB beinhaltet sämtliche Effekte, die im Rahmen der Bodenbearbeitung und des Pflanzenwachstums auftreten. Er wird gemäß RUSLE wie folgt berechnet:

$$C = \frac{1}{\sum_{d=0}^l EI_d} \cdot \sum_{d=0}^l SLR_d \cdot EI_d$$

Formel 5: C-Faktor

EI_d – Erosivität des Niederschlags, Summe am Tag d

SLR_d – Anteil Bodenabtrag am Tag d

l – gesamte Dauer der Fruchtfolge in Tagen

Der Bodenabtrag eines bestimmten Tages (soil loss ratio = SLR) wird durch Multiplikation von Subfaktoren, die den Einfluss verschiedener relevanter Managementeffekte wiedergeben, erhalten. Alle Subfaktoren haben einen Wertebereich von 0 (absoluter Schutzeffekt gegeben) bis 1 (kein Schutzeffekt gegeben).

$$SLR_d = PLU_d \cdot CC_d \cdot SC_d \cdot SR_d$$

Formel 6: Subfaktoren zur Bestimmung von SLR

PLU_d – Subfaktor frühere Landnutzung am Tag d

CC_d – Subfaktor Bodenbedeckung durch Pflanzenbewuchs am Tag d

SC_d – Subfaktor Bodenbedeckung an der Bodenoberfläche am Tag d

SR_d – Subfaktor Oberflächenrauigkeit am Tag d

Im Gegensatz zum Original RUSLE Modell wurde auf den Subfaktor Bodenfeuchte verzichtet, weil die derzeit zur Verfügung stehenden Daten des Handbuchs keine zielführende Bewertung dieses Faktors möglich machen. Die Berechnung der einzelnen Subfaktoren im Detail kann dem USDA Handbuch 703 (RENARD et al. 1997) entnommen werden.

2.2. Phosphoreintrag

Die Berechnung des Eintrags von Phosphor in ein Gewässer wird in BoBB über folgende Berechnungen realisiert:

$$P - \text{Eintrag} = \text{Bodenabtrag} \cdot (1 - \text{Retention}) \cdot P \cdot ER \cdot 10^{-6}$$

Formel 7: P-Eintrag in Gewässer

$$\text{Retention} = a \cdot e^{b \cdot \frac{\text{Bodenabtrag}}{\text{Austrittsbreite}}}$$

$$a = 1,022 - 0,0325 \cdot e^{-0,04 \cdot \text{Filterlänge}}$$

$$b = -0,00022 - 0,00285 \cdot e^{-0,08 \cdot \text{Filterlänge}}$$

$$ER = e^{(2-0,2 \cdot \ln(\text{Bodenabtrag}))}$$

Dabei sind

<i>P-Eintrag</i> -	Eintrag Phosphor in Gewässer in kg Pa ⁻¹
<i>Bodenabtrag</i> -	Bodenabtrag des betrachteten Schlags in kg a ⁻¹
<i>Retention</i> -	Rückhalt des Bodenabtrags auf dem Weg zum Gewässer, dimensionslos zwischen 0 - 1
<i>P</i> -	Gesamtphosphorgehalt des Bodens auf dem betrachteten Schlag in mg kg ⁻¹ Boden
<i>ER</i> -	Anreicherung des Bodenabtrags mit Phosphor, dimensionslos
<i>Austrittsbreite</i> -	Breite des Übergangs, in dem der Bodenabtrag den Schlag verlässt in m
<i>Filterlänge</i> -	Länge der Strecke zwischen Austritt des Bodenabtrags und Eintritt des Sediments in einen Fließpfad mit konzentriertem Abfluss (offener Entwässerungsgraben, Drainage, Straßengraben, Gewässer) in m
<i>a, b</i> -	Parameter

Dabei stellen die Gleichungen zur Retention des Bodens Verallgemeinerungen von Ergebnissen des Projektes „Effektivität von Gewässerrandstreifen“ dar (Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt und WPA 2010) dar. Dabei waren mit Hilfe des Simulationsmodells VFSSMOD (MUNOZ-CARPENA et al. 1999) die Effektivitäten von Gewässerrandstreifen unter verschiedensten Eingangsbedingungen simuliert worden. Im Zuge des Transports von erodiertem Bodenmaterial kommt es zu einer selektiven Anreicherung des Sediments mit feinem Bodenmaterial. Da Phosphor vor allem an feine Bodenpartikel (Ton, Schluff) gebunden ist, findet während des Transports in das Gewässer eine Anreicherung mit Phosphor statt. Die hier verwendete Gleichung von MENZEL (1980) drückt diese Anreicherung aus. Dabei wird die Anreicherung als Funktion der Höhe des Bodenabtrags gesehen. Aufgrund der geringeren Transportkapazität ist die Fähigkeit eines Bodens gröbere Partikel (= Partikel mit geringerem P-Gehalt) zu transportieren umso geringer, je geringer der Bodenabtrag ist. Abbildung 1 zeigt, dass der Rückhalt von erodiertem Boden an einem Standort wesentlich vom Abstand zwischen Schlag und dem Beginn eines konzentrierten Fließweges (offener Graben, Dränrohr, Oberflächengewässer u.ä.) und natürlich der Größe des Bodenabtrags abhängt. Bei geringen Abständen und hohen Bodenabträgen kann die Filterwirkung eines bewachsenen Retentionsstreifens sehr gering sein. Abbildung 2 zeigt die im Modell angenommene Wirkung der Übertrittsbreite des Oberflächenabflusses vom Schlag in den Filterweg. Dabei entspricht 1 eher einem konzentrierten Abfluss aus dem Schlag, 50 eher einem flächenhaften Abfluss.

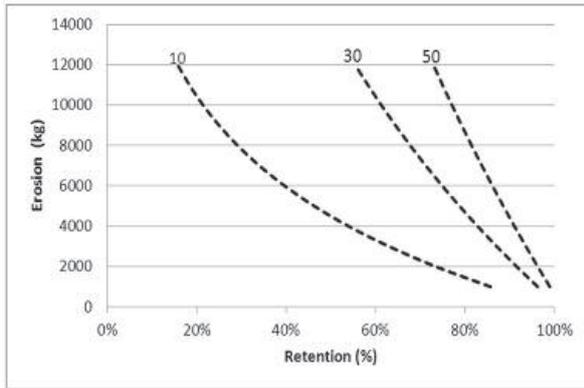


Abb. 1: Retention der Bodenerosion bei verschiedenen langen Filterwegen (10 = 10 m, 30 = 30 m, 50 = 50 m) und verschiedenen Erosionsmengen

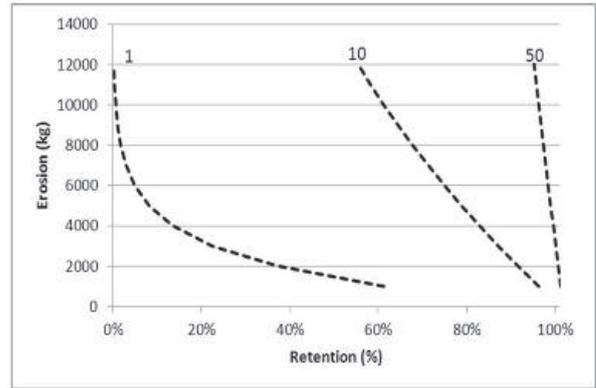


Abb. 2: Retention der Bodenerosion bei unterschiedlich ausgeformten Übertrittsbreiten des Oberflächenabflusses in den Filterweg (1 = 1 m, 10 = 10 m, 50 = 50 m).

3. Benutzeroberfläche

Die Programmierung von BoBB wurde in der Programmiersprache JAVA ausgeführt. Voraussetzung für eine funktionsfähige Version von BoBB ist die Installation von Java Runtime Environment (JRE). Dieses Programm kann kostenlos z.B. von: <http://java.com/en/download/index.jsp> geladen werden.

3.1 Hauptmenü von BoBB

Über das Hauptmenü von BoBB (Abb. 3) kann man auf alle Eingangsfaktoren zur Berechnung des Bodenabtrags und des Phosphoreintrags zugreifen. Es besteht aus:

- Menübalken mit den drei Reitern „Datei“, „Export“ und „Programm“. Hier kann man Bearbeitungen durchführen sowie Ergebnisse exportieren. Unter „Programm“ findet man generelle Informationen über BoBB.
- Unter Projektidentifikation können generelle Informationen über Landwirt und Schlag eingegeben werden.
- Über die Balken „Klima“, „Boden“, „Hangneigung“ und „Management“ gelangt man in die jeweiligen Untermenüs in denen die für eine Berechnung notwendigen Eingangsdaten ausgewählt werden können. Nach korrekter Eingabe der jeweiligen Untermenüs (rote Kreise werden durch grünes Häkchen ersetzt) erfolgt mittels Balken „Bodenerosion“ die tatsächliche Berechnung. Eine optionale Eingabe ist die „Bearbeitung des Phosphor-Eintrages“. Darunter befindet sich der Balken „Ergebnistabelle exportieren“, um die Ergebnisse in Tabellenform zu erhalten. Rechts daneben befindet sich eine Info-Box mit hilfreichen Texten, die durch das ganze Programm begleiten. Im rechten unteren Teil des Hauptmenüs werden die wesentlichen Ergebnisse nach drücken des Balkens „Bodenerosion“ angezeigt.
- In der Fußzeile werden der Status des Rechenvorganges bzw. etwaig auftretende Fehlermeldungen angezeigt.



Abb. 3: Hauptmenü von BoBB direkt nach Programmstart



Abb. 4: Hauptmenü von BoBB nach erfolgreicher Berechnung

Die Schaltflächen zeigen durch ihren Status an, ob die Berechnung durchgeführt werden kann oder ob die Eingaben noch nicht vollständig sind: Eingaben nicht vollständig, Eingaben vollständig, Berechnung kann durchgeführt werden, Eingaben noch nicht vollständig, werden aber zur Berechnung des Bodenabtrages nicht benötigt (optionale Eingabe).

Die Schaltfläche „Bodenerosion“ wird erst aktiv, wenn alle erforderlichen Eingaben korrekt durchgeführt wurden. Die Schaltfläche „Ergebnistabelle exportieren“ wird aktiv, wenn die Berechnung erfolgreich durchgeführt wurde (Abb. 4).

Jede Berechnung kann als Projekt abgespeichert werden, unter Datei – Speichern oder der Tastenkombination Strg+S öffnet sich ein herkömmliches Fenster zum Speichern des aktuellen Projektes (siehe Abb. 5). Name und Speicherort sind frei wählbar, die Dateierendung lautet .upf (USLE Parameter File). Bereits gespeicherte Projekte können unter Datei – Öffnen aufgerufen werden. Unter Datei – Neu werden alle bereits getätigten Eingaben gelöscht und es erscheint erneut das Hauptmenü. Das Menü Export erlaubt den detaillierten Export aller Modellberechnungen. Diese Funktion sollte nur von erfahrenen Benutzern verwendet werden.



Abb. 5: Detail des Hauptmenüs von BoBB zur Speicherung von Parameterdateien und Ergebnisexport

3.2 Faktor Klima

Hier kann der Benutzer die gewünschte Region oder den nächstgelegenen Ort wählen in dem sich der betroffene Schlag befindet.

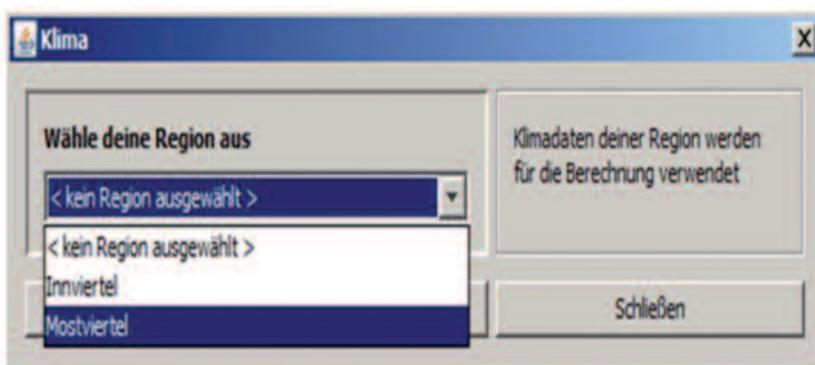


Abb. 6: Eingabemasken Faktor Klima

3.3 Faktor Boden

Abbildung 7 zeigt die Möglichkeiten der Eingabe des K-Faktors.

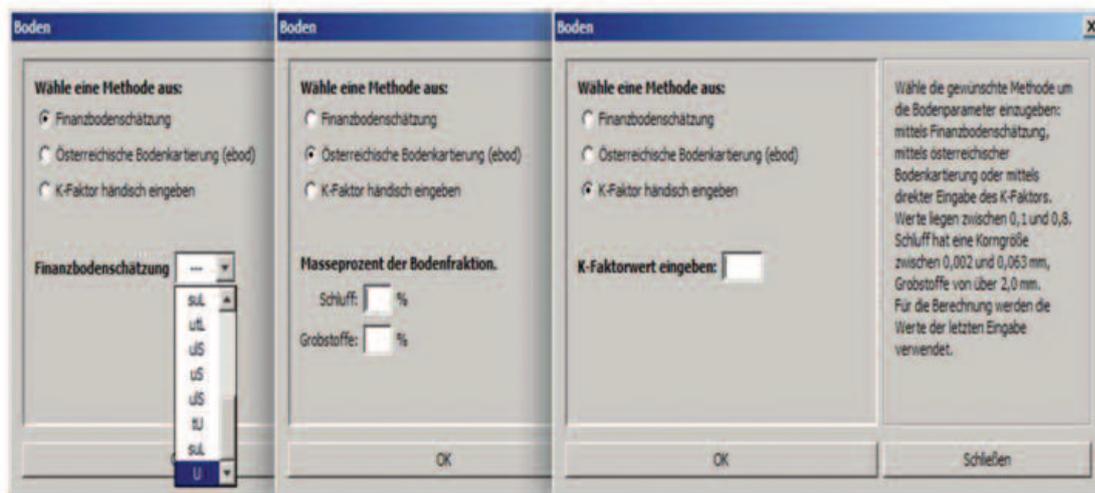


Abb. 7: Eingabemasken Faktor Boden

3.4 Hangneigung und Hanglänge

Die Teilung eines Schlages in charakteristische Einheiten und die Bestimmung der sogenannten „Erosiven Hanglänge“ ist die schwierigste Aufgabe bei der Ermittlung von durchschnittlichen Bodenabträgen eines Schlages. Deshalb soll sie hier an 3 Beispielen beschrieben werden.

Ein charakteristisches Hangprofil ist eine künstlich gedachte Linie, die typisch für einen Schlag ist, auf der flächenhafter Abfluss stattfindet. Normalerweise beginnt ein Hangprofil am Feldrand oder an einer Feldkuppe. Das Hangprofil endet entweder am Feldrand, innerhalb eines Schlages dort, wo üblicherweise Sedimentation von erodiertem Bodenmaterial auftritt, oder dann, wenn ein konzentrierter Oberflächenabfluss erwartet werden kann, also ein Talweg oder eine andere Konzentration von Oberflächenabfluss (Straßengraben...) auftritt. Das charakteristische Hangprofil verläuft immer normal zu den Höhenschichtlinien und soll das typische durchschnittliche Abflussverhalten des Schlages oder Schlagbereichs repräsentieren, für den es ausgewählt wurde. Ein Schlag kann dabei aus mehreren Profilen bestehen, wobei ein Profil eine Fläche gleicher bzw. ähnlicher morphologischer Eigenschaften wiedergibt.

Der erste Schritt der Auswahl charakteristischer Hangprofile besteht in der Analyse der Feldgrenzen und der Identifikation von Hangkuppen und Talwegen. Diese Merkmale führen zu einer ersten groben Unterteilung eines Schlages. Die dann ausgewählten Profile sollen durchschnittliche Hangneigungen und Hanglängen wiedergeben, daher dürfen sie nicht auf den steilsten und/oder längsten Fließwegen innerhalb eines Schlages zu liegen kommen. Es gibt für diese Auswahl auch nicht die eine korrekte Lösung, sondern die Auswahl der Hangprofile hängt immer auch von der Erfahrung des Anwenders ab. Eine praktikable Möglichkeit der Auswahl besteht darin, sich gedanklich mehrere Hangprofile auszusuchen und dann diejenige auszuwählen, die mittlere Längen und Neigungen aufweist.

Nach Festlegung des Hangprofils erfolgt eine Unterteilung des Profils in Teilbereiche mit annähernd gleicher Hangneigung. Diese und die dazugehörige Hanglänge werden bestimmt. Abbildung 8 zeigt am Beispiel von 3 Schlägen die Identifikation von typischen Profilen. Schlag 1 ist dabei mit einem typischen Profil recht einfach zu charakterisieren, während Schlag 2 und 3 jeweils mehrere Unterteilungen mit typischen Hangprofilen aufweisen.

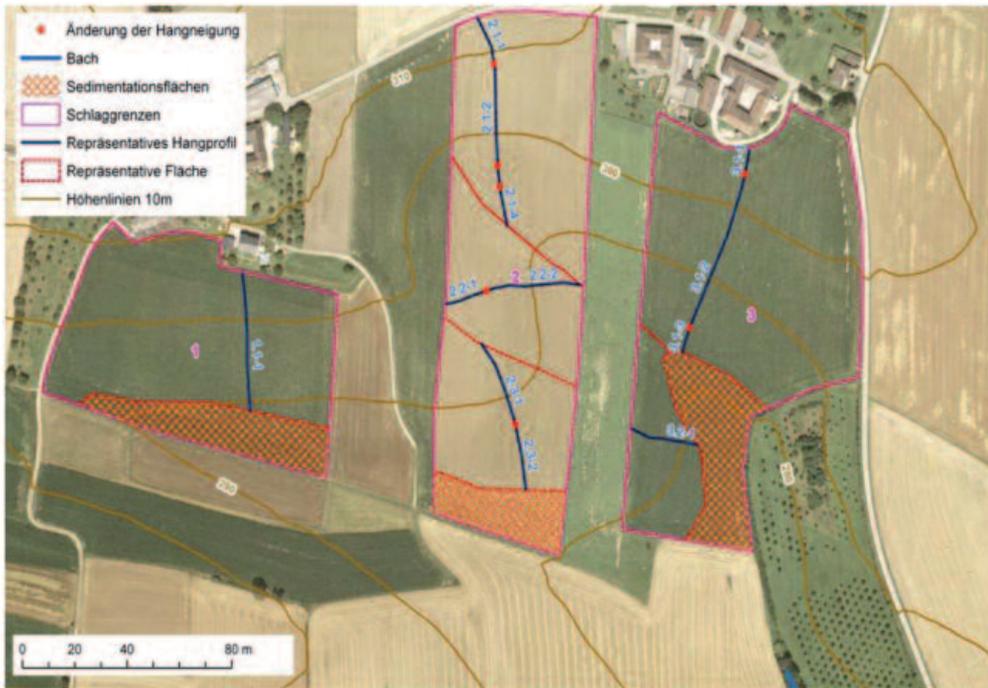


Abb. 8: Identifikation typischer Hangprofile auf 3 verschiedenen Schlägen

Sobald die Auswahl und Messung der Profile abgeschlossen ist, können diese in das Untermenü „Hangneigung“ von BoBB eingegeben werden. Ein neues Profil wird durch Anklicken der Leiste „Neues Hangprofil erstellen“ angelegt. Das Profil kann durch Anklicken des Knopfes wieder entfernt werden. Die Profileigenschaften können nach Anklicken des Knopfes editiert werden.

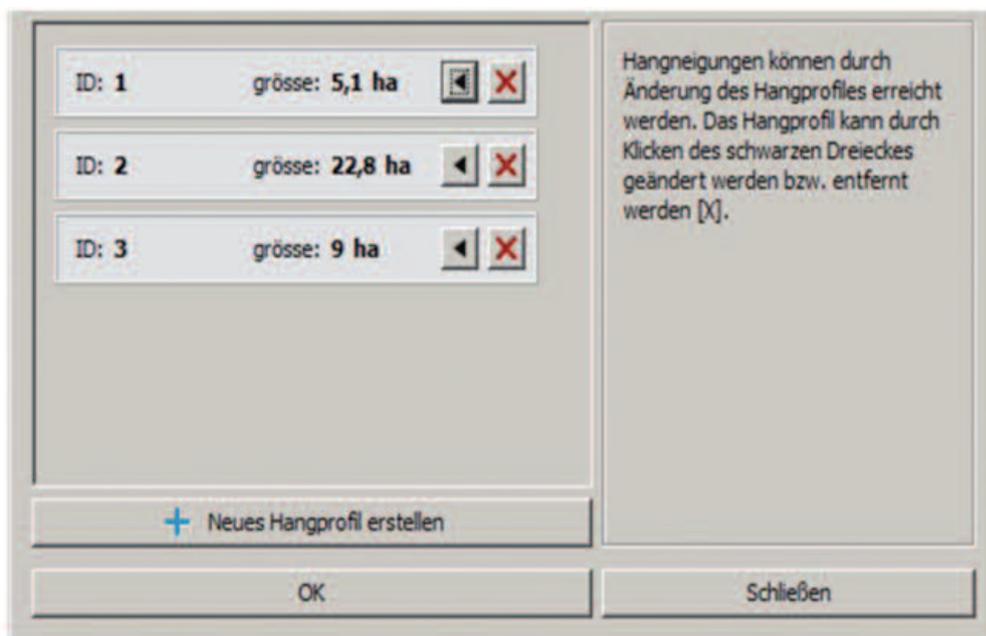


Abb. 9: Dialog zur Bearbeitung der einzelnen Hangprofile

Für jedes Hangprofil können dabei Hangprofilsegmente mit Länge und Hangneigung eingegeben werden (Abb. 10). Die Mindestlänge eines Segments beträgt 10 m, die Hangneigungen müssen zwischen 1% und 25% liegen (Modellbeschränkung).

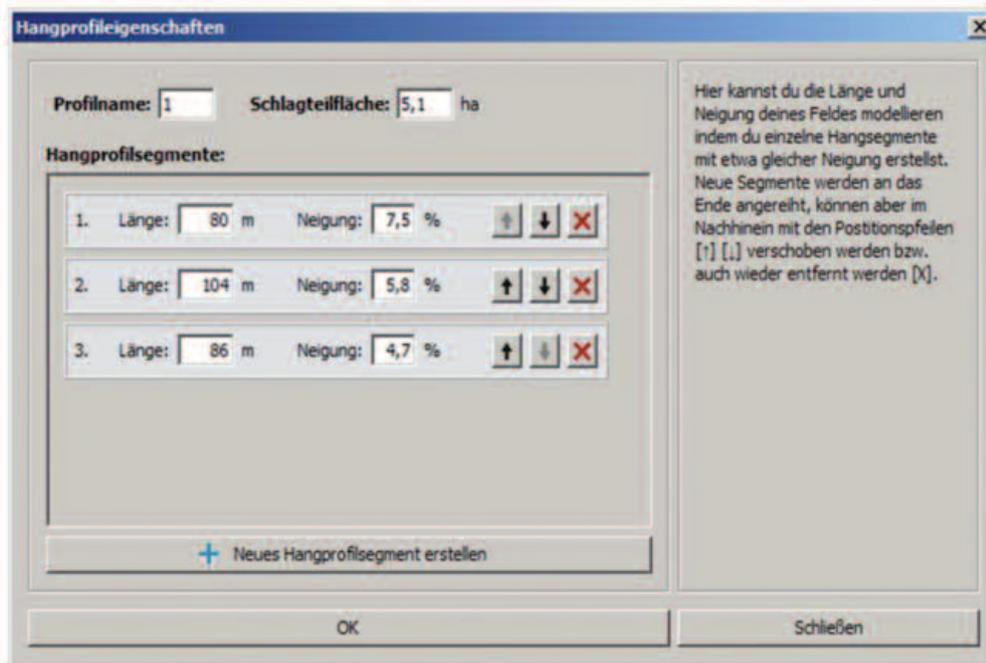


Abb. 10: Dialog zur Bearbeitung der einzelnen Hangprofilsegmente

3.5 Management

Hinter der Leiste „Management“ können die Eingaben zur Wahl von Feldfrüchten, Fruchtfolgen und Managementmaßnahmen vorgenommen werden. Mit der Schaltfläche „Fruchtfolgeglied hinzufügen“ erscheint ein Eingabefeld mit Drop-Down Menü, hier kann eine vordefinierte Frucht ausgewählt oder eine neue erstellt werden. Um den Bodenabtrag über einen längeren Zeitraum zu berechnen, kann eine beliebig lange Fruchtfolge eingegeben werden. Wählt man zum Beispiel als Feldfrucht „Winterweizen Grubber“ (siehe Abb. 11), werden automatisch alle erforderlichen Bearbeitungsschritte geladen, diese können durch klicken auf eingesehen werden. Das Datum 16.10. - 30.7.* gibt jeweils die erste und letzte Bodenbearbeitung dieser Feldfrucht an. Darunter befindet sich eine kurze Beschreibung auf welche Art Winterweizen bearbeitet wurde. Das Sternchen * zeigt an, dass diese Bearbeitung im Folgejahr nach der ersten Bearbeitung stattfand (Ernte).

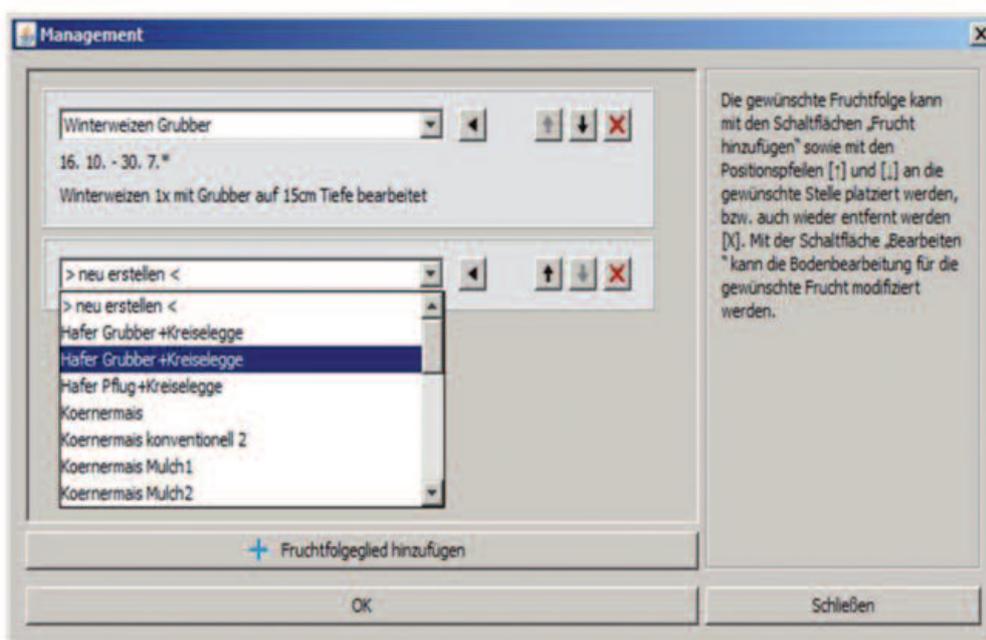


Abb. 11: Fruchtfolge eingeben im Management

Will man eine neue Feldfrucht beziehungsweise eine neue Bearbeitungsvariante erstellen, klickt man im Drop Down Menü >neu erstellen<, es erscheint ein neues Untermenü – siehe Abbildung 12. Neu angelegte Feldfrüchte können selbstverständlich für weitere Auswertungen zu einem späteren Zeitpunkt gespeichert werden, aber auch bereits vorhandene Fruchtfolge-Bearbeitungskombinationen können geändert und gespeichert werden.

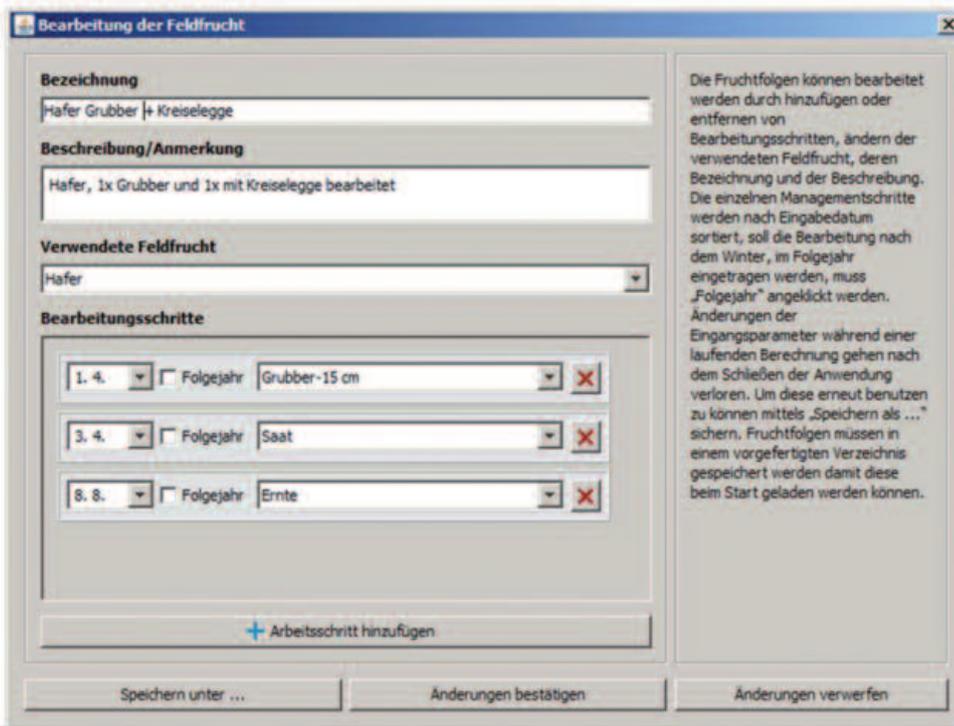


Abb. 12: Erstellen der erforderlichen Parameter einer neuen Feldfrucht

Folgende Voraussetzungen müssen gegeben sein, um eine zur Berechnung gültige Fruchtfolge eingeben zu können:

- Für jede Feldfrucht muss ein Saatzeitpunkt eingegeben werden.
- Für jede Feldfrucht muss ein Erntezeitpunkt angegeben werden, der nach dem Saatzeitpunkt stattfinden muss.
- Es darf keine Bodenbearbeitung zwischen Saat- und Erntezeitpunkt stattfinden.

Eine Ausnahme hiervon bilden die Zwischenfrüchte. Diese können ohne Erntezeitpunkt definiert werden. Die Lebensdauer von Zwischenfrüchten endet mit der ersten Bearbeitung durch eine Hauptkultur.

3.6 Phosphor Eintrag Gewässer

Mit Hilfe dieses Submenüs kann der Eintrag von Gesamtphosphor in das zum jeweilig betrachteten Schlag nächstgelegene Gewässer abgeschätzt werden. Diese Eingabe ist optional und kann im Anschluss an die Berechnung des Bodenabtrages durchgeführt werden.

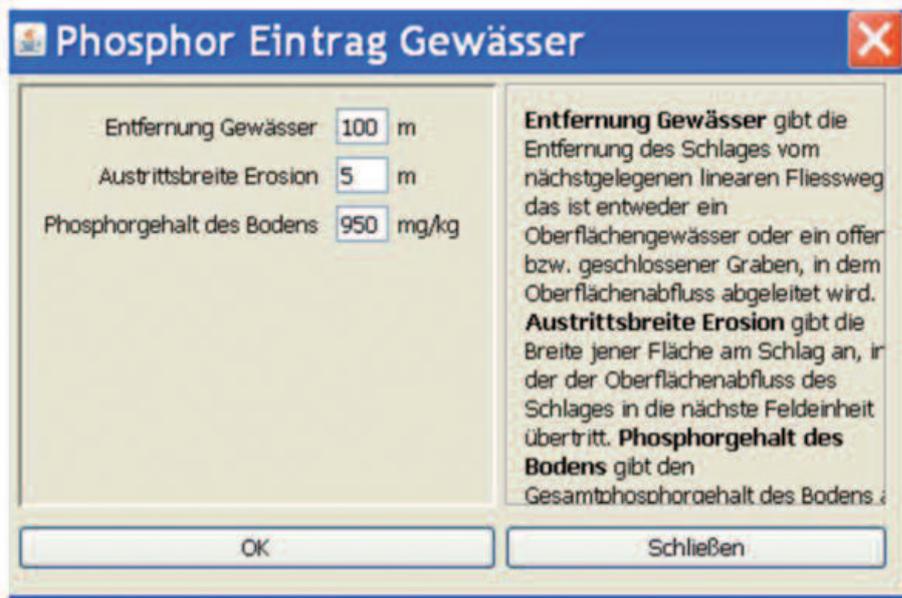


Abb. 13: Untermenü Phosphor Eintrag Gewässer mit den notwendigen Eingaben und Hilfetext

Der genaue Gesamtposphorgehalt des Bodens ist nur in seltenen Fällen bekannt. Als konservativer Richtwert kann ein Wert von $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Boden angenommen werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das hier vorgestellte Werkzeug „BoBB“ soll vor allem eine Unterstützung in der praktischen Abschätzung von Bodenerosion und dem Eintragsrisiko von partikulär gebundenem Phosphor in Gewässer sein. Daher wurde versucht, die Eingabemasken möglichst einfach zu gestalten. Für den enthusiastischen Anwender besteht aber auch die Möglichkeit, einzelne Modellparameter sehr tiefgehend zu verändern. Die hier eingesetzten wissenschaftlichen Grundlagen sind im Falle der Erosionsabschätzung mit dem RUSLE Modell schon langjährig weit verbreitet im Einsatz. Daher kennt man inzwischen die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von RUSLE basierten Modellen recht gut (STRAUSS et al. 2012). Bei der Berechnung des Eintragsrisikos von partikulär gebundenem Phosphor in Gewässer wurde für die einzelnen Modellteile ebenfalls auf geprüfte Modellgrundlagen zurückgegriffen. Das „Gesamtpaket“ dieses Modellansatzes wurde allerdings noch nicht validiert.

In weiterer Zukunft soll „BoBB“ auch noch um Interpretationshilfen für die erhaltenen Ergebnisse erweitert werden, um die Einschätzung der erhaltenen Ergebnisse zu erleichtern.

Literatur

- AKSOY, H. and M.L. KAVVAS, 2005: A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, 64, 2-3, 247-271.
- AUERSWALD, K. und U. SCHWERTMANN, 1988: Modelle zur Erosionsvorhersage als Entscheidungsgrundlage des Bodenschutzes. In: Rosenkranz, D.; Bachmann, G.; König, W.; Einsele, G.; Giese, E. (Hrsg.): *Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser*. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co/Rademann, Berlin, ISSN 0935-2171, 4085, 1-20.
- McCOOL, D.K., G.R. FOSTER, C.K. MUTCHLER and L.D. MEYER, 1989: Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE*, 32, 1571-1576.
- MENZEL, R.G., 1980: CREAMS: A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. *Conservation Research Report No. 26*, 486-492.
- MORGAN, R.P.C., 1999: *Bodenerosion und Bodenerhaltung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, ISBN 3-13-118321-7.

- MUNOZ-CARPENA, R., J.E. PARSONS and J.W. GILLIAN, 1999: Modelling hydrology and sediment transport in vegetative filter strips. *Journal of Hydrology* 214, p. 111-129.
- RENARD, K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, D.K. McCOOL and D.C. YODER, et al., 1997: Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 404 pages. ISBN 0-16-048938-5.
- SCHNEIDER, W., P. NELHIEBL, G. AUST, M. WANDL und O.H. DANNEBERG, 2001: Die landwirtschaftliche Bodenkartierung in Österreich. *Mitt. Österr. Bodenk. Ges.*, 62, 39-68.
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL und M. KAINZ, 1987: Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Ulmer Verlag, Stuttgart, ISBN 3-8001-3081-5.
- STRAUSS, P. and G. WOLKERSTORFER, 2005: Key factors of soil erosion. Deliverable 2.2 – daNUbs project (EVK1-CT-2000-00051).
- STRAUSS, P., J. DEVATY und R. HÖSL, 2012: BoBB - Bodenerosion, Beratung, Berechnung - Ein Werkzeug zur Unterstützung der Beratungspraxis zum Schutz vor Bodenerosion durch Wasser. Benutzerhandbuch. Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.
- VOGEL und BECHER, 1985: Schätzung der Erodibilität des Bodens (K-Faktor) aus der Körnungsansprache nach der Reichsbodenschätzung. *Z.f. Kulturtechnik und Flurbereinigung*, 26, 179-183.
- WAGNER, J., 2001: Bodenschätzung in Österreich. *Mitt. Österr. Bodenk. Ges.*, 62, 69-103.
- WISCHMEIER, W. H., and D.D. SMITH, 1978: Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 58 pages.

Autoren

Dr. Peter Strauss, Mag. Rosemarie Hösl und Jan Devaty, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 Petzenkirchen, peter.strauss@baw.at
Jan Devaty, Technical University Prag, Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering, Thákurova 7, 166 29, Praha 6

Beratungsmaßnahmen und Ergebnisse der Umsetzung im Einzugsgebiet der Antiesen

Schneiderbauer Christoph und Franz-Xaver Hölzl

Zusammenfassung

Die sorgfältige Auswahl von möglichen Projektgebieten durch das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ Antiesen hat schon die Komplexität der Oberflächenabflüsse aufgezeigt. Die im Projektgebiet situierten Landwirte ergreifen bereits aus Eigenerfahrungen verschiedene Maßnahmen zur Hintanhaltung des Bodenabtrags. Potential für eine Verbesserung bei der Durchführung von bestehenden Maßnahmen auf den Ackerflächen ist dennoch vorhanden. Mit handfesten, nachvollziehbaren Zielen, die über entsprechend dotierten Maßnahmen unbürokratisch erreichbar sind, werden entsprechend positive Ergebnisse zu erzielen sein. Dazu bedarf es aber vor allem der Bewusstseinsbildung auf allen mitwirkenden Ebenen.

Schlagwörter: Bodenabtrag, Beratung, Winterbegrünung, Mulchsaat, Fruchtfolge, landwirtschaftliche Produktion, Boden-Wasserschutzberatung

Einleitung

Die im Frühjahr 2012 im Bezirk Ried im Innkreis aufgetretenen Starkregenereignisse verdeutlichen allen Bewohnern ländlich geprägter Gemeinden die Brisanz von funktionierendem Erosionsschutz auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Projektlandwirte stellten sich gemeinsam mit der Beratung und den Projektpartnern vorausschauend der Herausforderung, praxisorientierte Lösungsansätze zur Verringerung bzw. Verhinderung von Bodenabtrag zu erarbeiten und vorhandene Maßnahmen weiter zu entwickeln.

Die Bezirksbauernkammer Ried ist gemeinsam mit der Bodenschutzberatung der Landwirtschaftskammer für Oberösterreich im INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ Antiesen die Schnittstelle zwischen den einzelnen Projektpartnern und den Landwirten (Abb. 1).

Zur erfolgreichen Umsetzung der angestrebten Ziele fungiert die Beratungsstelle quasi als „Dolmetscher“ zwischen Wissenschaft und Praxis.

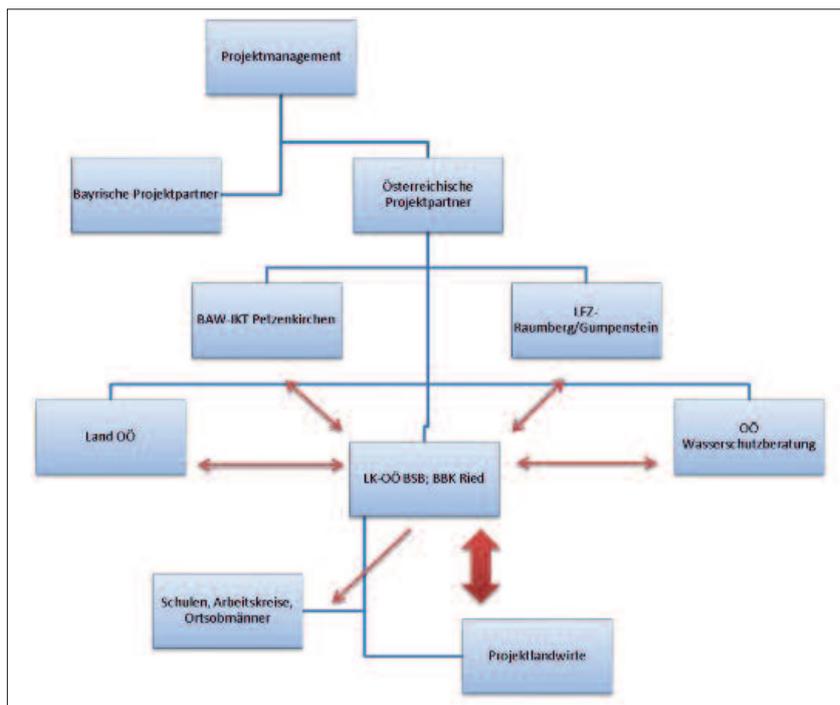


Abb. 1: Organigramm der Projektstruktur INTERREG IV A „Gewässer-Zukunft“ Teil Antiesen

Der politische Bezirk Ried im Innkreis umfasst eine Gesamtfläche von ca. 585 km². Davon sind ca. 398 km² landwirtschaftlich und ca. 123 km² forstwirtschaftlich genutzt. Die landwirtschaftliche Nutzfläche wird zu zwei Drittel als Ackerland und einem Drittel als Grünland bewirtschaftet. Die ausreichenden Niederschläge und der humide Boden lassen eine nachhaltige, intensiv produktive ackerbauliche Nutzung zu. Eine entsprechende Viehdichte mit rund 48.000 Rindern und 75.000 Schweinen unterstreicht die guten Produktionsvoraussetzungen. Das Einzugsgebiet der Antiesen beläuft sich auf ca. 286 km².



Abb. 2: Bezirk Ried im Innkreis –Projektgewässer Antiesen und Projektgebiet; Quellen: DORIS, BEV

Struktur der Beratungsarbeit im zeitlichen Ablauf des Projektes

Die vielschichtigen Arbeiten im Rahmen des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ Antiesen lassen sich in vier große, teils ineinanderfließende Blöcke einteilen:

1. Start-, Initialphase:

In der ersten Phase standen neben der Auswahl des Projektgebietes hauptsächlich die Information und Gewinnung der betroffenen Landwirte und Grundeigentümer im Vordergrund. Für die 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 überzeugt werden, die im Projekt liegenden Flächen einzubringen.

Für die durchgeführten Kartierungen, Untersuchungen, Messungen, ... standen somit 100% der Fläche im ausgewählten Gebiet zur Verfügung.

2. Erhebung der Ausgangssituation:

In der zweiten Phase des Projektes stand die Datenerhebung der bisherigen Bewirtschaftungspraxis im Vordergrund, dazu wurde ein Parameterkatalog erstellt. Die GIS-Codierung der Feldstücke und Schläge ermöglichte eine eindeutige Zuweisung der Daten. Dies war auch für die Datenaufbereitung und Dokumentation der Bodenproben und deren Ergebnisse sehr hilfreich.

3. Maßnahmen und Kleinflächenversuche:

In diesem dritten Block wurden mittels verschiedener Ansatzpunkte Maßnahmen zur Verbesserung der Situation untersucht und auf Praxistauglichkeit geprüft.

4. Ergebnispräsentation und Berichtslegung:

Den Projektlandwirten wurden Ergebnisse und Diskussionspunkte aus dem INTERREG IV A-Projekt zeitnah vorgelegt bzw. bei Veranstaltungen erörtert. Nach Abschluss und Auswertung der wissenschaftlichen Daten werden die Ergebnisse noch innerhalb der Projektlaufzeit einem breiteren Zielpublikum näher gebracht.

Überblick über den zeitlichen Ablauf der Beratungstätigkeiten

- 23. Juni und 21. Juli 2010 – Info-Veranstaltung für die Landwirte und Liegenschaftseigentümer im und um das Projektgebiet
- 28. Juli 2010 – Beginn Bodenprobenahme im Projektgebiet – Verortung mittels GPS-Gerät
- Erhebungen – Einzelbetriebliche Vorort-Ort Besuche mit intensiven Gesprächen über Projektziele;
- 7. September 2010 – Besichtigung der vom Bundesamt für Wasserwirtschaft eingerichteten Messstellen
- 10. November 2010 – Informationsveranstaltung „Erosionsschutz – Bodenschutz im Jahresverlauf“
- 14. März 2011 – Vortrag „Erosionsschutz in maisstarken Fruchtfolgen“
- 17. März 2011 – Teilnahme beim „Flussdialog Antiesen“
- 28. März 2011 – Vortrag und Diskussionsveranstaltung „Klima und Landwirtschaft – Ein Widerspruch?“
- 10. Mai 2011 – Exkursion zum „8. Triesdorfer-Tag der konservierenden Bodenbearbeitung“
- 16. Juni 2011 – Vortrag zum Start der „Winterbegrünungsaktion 2011“
- August 2011 bis Mai 2012 – Fotodokumentation und Bonituren der Begrünungskulturen
- Besuch bei den Beregnungsversuchen Herbst 2010, Frühjahr 2011 und Frühjahr 2012
- 14. November 2011 – Vortrag DI Hölzl und Feldtag in Bayern
- 6.-7. März 2012 – Vortrag im Rahmen des „Umweltökologischen Symposiums“ in Raumberg-Gumpenstein
- 20. März 2012 – Informations- und Diskussionsveranstaltung „Ergebnisse zu Boden-Gewässerschutz durch INTERREG Antiesen, Neuerungen in der Nitratrictlinie“
- 22. Mai 2012 – Feldbegehung in der HLS Rothalmünster
- Juli-August 2012 Anlage von Begrünungsversuchen in Zusammenarbeit mit BOKU-Wien
- 30. Oktober 2012 Besichtigung der Begrünungsversuche 2012
- Beratungsbroschüre „Oberflächengewässerschutz in der Landwirtschaft – Stoffeintrag durch Erosion – Phosphor“
- Laufende Information über den Projektfortschritt in den Projektteamsitzungen
- Laufende Information von Landwirten im Einzugsgebiet der Antiesen im Rahmen der Antragsstellungen
- Mitentwicklung einer EDV-Bodenabtragsanwendung
- Informationskampagne für Ortsbauernschaften im Bezirk Ried im Innkreis – Einzugsgebiet der Antiesen in der Bildungssaison 2012-2013

Start-, Initialphase

Um alle Projektlandwirte in der Startphase zu erreichen, wurden zwei Informationsveranstaltungen durchgeführt. Weiters wurden in intensiven Gesprächen bei Betriebsbesuchen 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 19 Projektlandwirte bewirtschaften insgesamt rund 755 Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche, davon sind 28% durch das Projektgebiet erfasst. Die Viehdichte bewegt sich zwischen null und zwei Großvieheinheiten je Hektar. Die Aufteilung der Projektgebietsfläche ist in Tabelle 1 und Abbildung 3 ersichtlich.

Tab. 1: Aufteilung der Projektgebietsfläche

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%
Σ LN	215,04 ha	754,96 ha	28%
Wald, Uferrandzonen, Bachläufe, Baumschule	35,66 ha		
Gebäude-Hofflächen, Straßen, ...	11,83 ha		

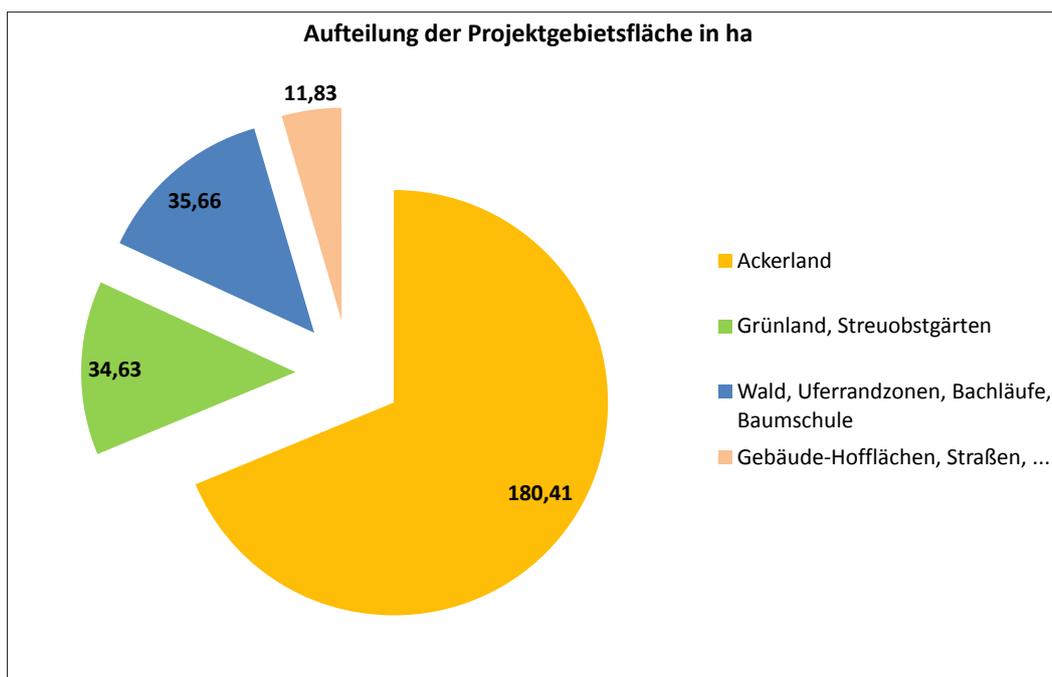


Abb. 3: Übersicht Projektgebietsflächennutzung

Erhebung der Ausgangssituation

Für eine effektive Weiterverarbeitung und Auswertung der Daten durch wissenschaftliche Partner wurde auf Excel-Basis ein Parameterkatalog erstellt (Abb. 4). Dieser ermöglichte eine aufwandseffektive Erhebung der Ausgangslage der Bewirtschaftung im Projektgebiet mit allen benötigten teilschlagspezifischen Daten.

Dateneingabe						
Schlag ID	LFBIS	FS NR	FeldStkName	A-G	Schlag Nr	
01A03		1	SCHERZERFELD	A	3	
Speichern						
Frucht11			WINTERRAPS			
	ha11		5,77			
Frucht10			WINTERWEICHWEIZEN			
	ha10		5,8			
Frucht09			KÖRNERMAIS			
Frucht08			WINTERGERSTE			
Frucht07			WINTERRAPS			
Anm-Anbau			0			
11Bodenbearbeitung			Scheibenegge			
11Düngung			Gülle10m ³ , Klärschlamm 10m ³ -beide im Okt			
11AussaatDat			0			
11Aussaatkg			0			
11Pflanzenschutz			0			
11ZW-Kultur			Alexandrinerklee, Phacelia, Ölrettich, Ausfallraps			
11ZW-AussaatDat			14/8/11	TTMMJJ		
11ZW-AussaatKg			7;7;1kg	je ha		
11ZW-AussaatMeth			Kleinsamenstreuer mit Hackstriegel			
11ZW-Dünger			nein			
11ZW-DüngerKg			0	kg		
11ZW-HöheAug			0-3	cm		
11ZW-BoniAug			5	1-5		
11ZW-BodenAug			20	% Bedeckung		
11ZW-AnmAug			0			
11ZW-HöheSept			5-10	cm		
11ZW-BoniSept			5	1-5		
11ZW-BodenSept			30	% Bedeckung		
11ZW-AnmSept			0			

Abb. 4: Auszug aus Eingabeformular des EDV-Parameterkataloges

Über den gesamten Verlauf des Projekts wurden bei den Projektlandwirten die aktuellen Fruchtfolgen abgefragt, wobei besonderes Augenmerk auf die Begrünungskulturen und deren Entwicklung über die Vegetationsperiode hinaus bis zur Aussaat der nächsten Hauptkultur gelegt wurde. Mit dieser umfassenden Datensammlung konnten die Abfolgen der Fruchtfolgen mit den Messergebnissen in den Bachläufen in Verbindung gestellt werden.

Bei den Einzelbetriebsbesuchen wurden auch die betriebsspezifischen Möglichkeiten zum Erosionsschutz und die Einschätzung der Betriebsleiter über das allgemeine Verbesserungspotential diskutiert. Angesprochen wurden auch der Wille zur Umsetzung von qualitativ hochwertigen Maßnahmen im Falle geänderter Rahmenbedingungen in einem nächsten Umweltprogramm und sich daraus ergebende förderliche und hinderliche Faktoren.

Aufgrund der betriebsindividuellen Fruchtfolgen schwanken die Anteile der einzelnen Früchte im Projektgebiet beträchtlich. Auf die gesamte von den Betrieben bewirtschaftete Fläche gesehen, bleiben die Anteile der Sommerungen im Schnitt der Jahre sehr konstant (Abb. 5).

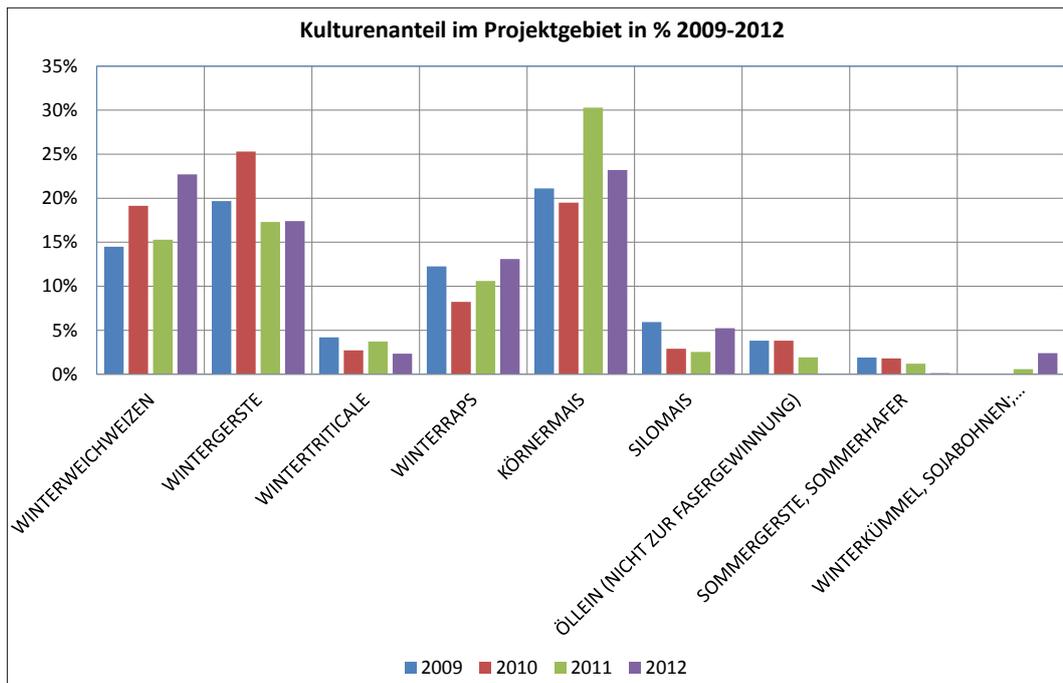


Abb. 5: Verteilung der wichtigsten Ackerfrüchte im Projektgebiet

Parallel zur Erhebung der vorhandenen IST-Situation wurden 590 Bodenproben gezogen und durch das LFZ-Raumberg-Gumpenstein ausgewertet. Die somit zur Verfügung stehende Fülle an Bodendaten wurde für die Projektlandwirte aufbereitet und in das bekannte Gehaltsklassensystem transferiert. Den Landwirten konnten damit als ein Projektnutzen die Bodenprobenergebnisse in tabellarischer Form und in grafisch aufbereiteten Luftbildkarten ausgehändigt werden (Tab. 2, Abb. 6).

Tab. 2: Auszug aus Ergebnistabelle der Bodenuntersuchungen

Datum	Probe	Feld	Kultur	Hang-gruppe	Pcal mg/kg	K mg/kg	PH2O mg/kg	pH-Wert	C	Humus-gehalt	P-stufe	K-stufe
25.08.	140	13	Winterraps	Oberhang	36,57	145,50	16,54	6,20	1,53	2,64	B	C
25.08.	141	13	Winterraps	Mittelhang	38,19	141,50	15,71	5,95	1,54	2,65	B	C
25.08.	142	13	Winterraps	Unterhang	50,62	156,20	15,58	6,21	1,55	2,67	C	C
25.08.	163	15	Sommergerste	Oberhang	50,23	180,70	20,99	5,51	1,98	3,41	C	C
25.08.	164	15	Sommergerste	Mittelhang	47,57	128,50	21,03	5,66	1,58	2,72	C	C
25.08.	165	15	Sommergerste	Unterhang	39,15	86,10	17,33	5,97	1,45	2,50	B	B
22.09.	349	14	Körnermais	Unterhang	46,96	139,60	16,63	5,47	1,47	2,53	B	C
22.09.	350	14	Körnermais	Mittelhang	42,13	137,65	14,14	5,64	1,55	2,67	B	C
22.09.	352	14	Körnermais	Oberhang	69,47	234,10	23,70	5,86	1,70	2,93	C	D
29.10.	393	16	Winterweizen	Unterhang	30,37	77,30	9,34	5,85	1,41	2,43	B	B
29.10.	395	16	Winterweizen	Mittelhang	63,28	170,10	9,38	5,83	1,79	3,09	C	C
29.10.	397	16	Winterweizen	Mittelhang	51,23	146,70	13,14	6,31	1,35	2,33	C	C
29.10.	399	16	Winterweizen	Unterhang	32,42	54,70	11,43	6,21	4,05	6,98	B	A
29.10.	400	16	Winterweizen	Mittelhang	21,14	34,40	8,16	4,56	3,50	6,03	A	A
29.10.	402	16	Winterweizen	Oberhang	19,03	35,50	8,29	5,48	2,31	3,98	A	A
29.10.	404	16	Winterweizen	Oberhang	25,14	74,40	7,33	5,73	1,46	2,52	A	B

Für die lückenlose Nachvollziehbarkeit wurden alle Probenstellen mittels GPS verortet und in einem GIS-Programm dargestellt.



Abb. 6: Bodenprobenpunkte im Projektgebiet

Diese Bodenprobenergebnisse dienen weiterführend als Grundlage für die Düngeplanung, -berechnung wie sie die LK OÖ anbietet.

Maßnahmen – Versuche

Aufbauend auf die intensiven Beratungsgespräche mit den Landwirten im Rahmen der IST-Zustands-Erhebung und ersten Ergebnisse aus den Beregnungsversuchen im Frühjahr 2011 bot sich die Möglichkeit, eine flächendeckende Begrünung im Winterhalbjahr 2011-12 zu generieren.

Durch die Winterbegrünungsaktion 2011 konnten 100% der Flächen mit sommerräumenden Früchten, auf denen in der kommenden Vegetationsperiode eine Maisaussaat geplant war, mit abfrostdenden Kulturen begrünt werden.

Wie wurde dies möglich?

Franz Xaver Hölzl, Bodenschutzberatung der LK OÖ, hat bei einem Gruppentreffen die Landwirte zu den Aussaatkriterien für die jeweiligen Begrünungsmischungen informiert und geschult. Anhand der in Tabelle 3 dargestellten Empfehlungen zu den verschiedenen Begrünungskomponenten in punkto Menge und Saatzeitpunkt wurde der betriebsindividuelle Bedarf erhoben. Den Projektlandwirten konnte dann für die 2012 geplante Maisaussaatfläche Begrünungssaatgut zur Verfügung gestellt werden.

Tab. 3: Aussaatempfehlungen der verschiedenen Begrünungskulturen; Quelle: Boden-Wasserschutzberatung LK-OÖ

Begrünungskulturen - Anbauzeitspannen - Anbaumengen/ha				
	Juli	August	September	Oktober
Begrünungskulturen				
Sommerwicke			abfrostend, 120 - 140 kg/ha	
Alexandrinerklee			abfrostend, 25 kg/ha	
Phacelia			abfrostend, 10 kg/ha	
Ölrettich			abfrostend, 20 kg/ha	
Buchweizen	Samenbildung		abfrostend, 40 kg/ha, als Reinsaat nicht empfehlenswert	
Senf	dünne holzige Bestände		geringe Bestandesentwicklung	abfrostend, 15 kg/ha
Rübsen (z.B. Perko PVH)				winterhart, 15 kg/ha
Grünroggen				winterhart, 120 kg/ha
Gemenge				
Phacelia - Alexandrinerklee			zB. 7 kg + 7 kg/ha	
Phacelia - Ölrettich			zB. 7 kg + 7 kg/ha	
Senf - Ölrettich			zB. 10 kg + 10 kg/ha	
Phacelia - Senf			zB. 10 kg + 1 kg/ha	
Senf - Buchweizen			zB. 10 kg + 30 kg/ha	
Wassergüte rau (Phacelia, Buchweizen, Ölrettich, Senf)			abfrostend	
Wassergüte fein (Phacelia, Alexandrinerklee, Ölrettich)			abfrostend	
Wassergüte früh (Mungo, Alexandrinerklee, Phacelia)			abfrostend	

Von den Projektlandwirten wurde auf ca. 71 ha der Projektschläge eine Maisaussaat geplant und dementsprechend begrünt. Die Aufteilung der verschiedenen ausgegebenen Begrünungssaatgutmischungen ist in Abbildung 7 ersichtlich.

Tab. 4: Saatgut-Mischung

Saatgut-Mischung	Anteil an Begrünungsfläche
Senf	11%
Senf, Ölrettich	32%
Senf, Phacelia	10%
Alexandrinere Klee, Phacelia	11%
Alexandrinere Klee	5%
Ölrettich, Alexandrinere Klee	4%
Senf, Buchweizen	21%
Wassergüte früh	7%

Insgesamt wurden an die Landwirte rund 1500 kg Begrünungssaatgut der verschiedensten Sorten ausgehändigt.

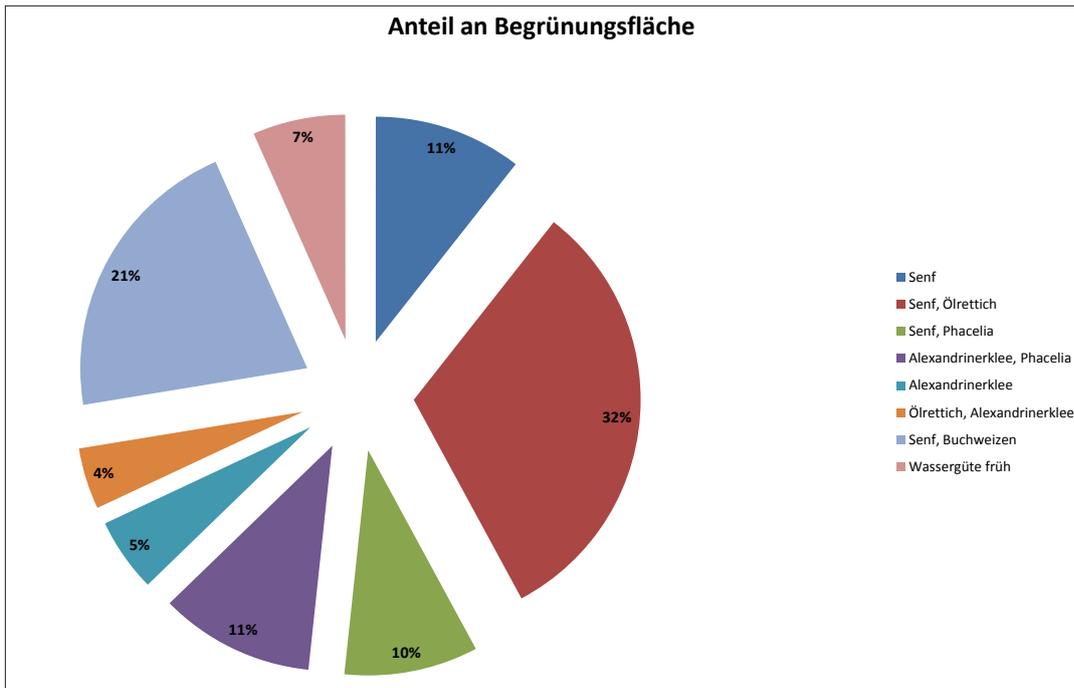


Abb. 7: Verteilung der Begrünungsaatgutmischungen der Winterbegrünungsaktion 2011

Sehr gefragt waren aufgrund der einfachen Handhabung und des weiten Aussaatfensters Mischungen mit Kreuzblütler wie Senf und Ölrettich. Aufgrund der Viehhaltung im Gebiet können bevorzugt mit diesen Mischungspartnern Nährstoffauswaschungen über die Wintermonate verhindert werden.

Gleichzeitig konnte mit der Winterbegrünungsaktion 2011 eine signifikante Steigerung der begrünten Fläche im Projektgebiet erreicht werden (Tab. 5, Abb. 8). Als Zusatznutzen wurden auch die Schwarzbracheflächen stark reduziert. Leider wurden wegen 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 gewesen.

Tab. 5: Vergleich der Kulturzustände in den Winterhalbjahren auf den Projektgebietsflächen

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%
	<u>180,25</u>	<u>180,25</u>	

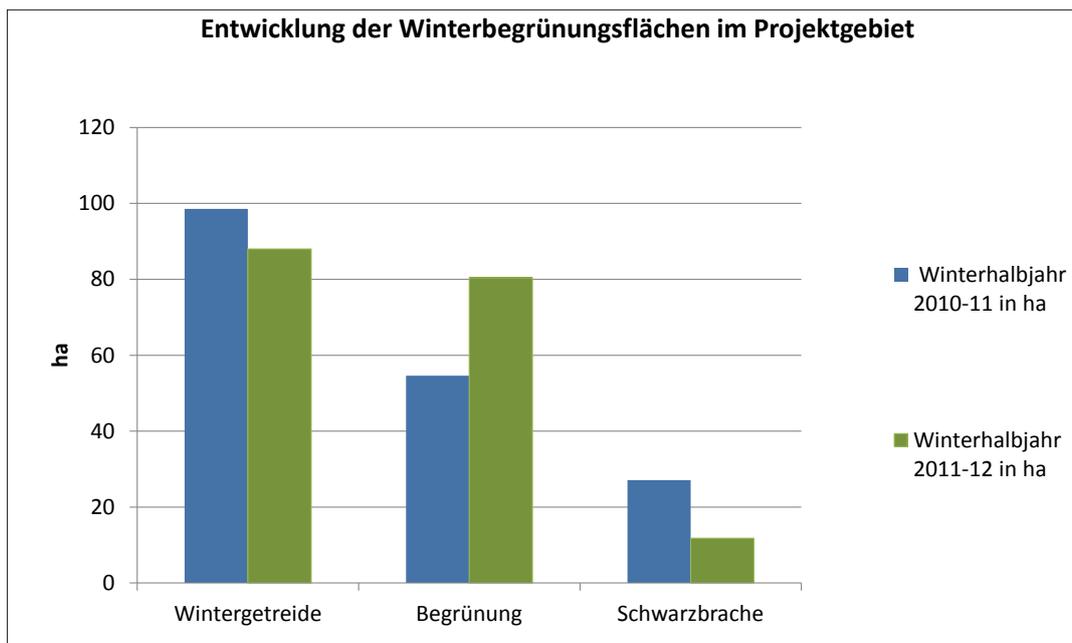


Abb. 8: Entwicklung der Begrünungsfaktoren der im Projektgebiet liegenden Ackerflächen

Im weiteren Projektverlauf wurden die Begrünungsflächen intensiv über die Vegetationsperiode hinaus bis zur Aussaat der Folgekultur begleitet und hinsichtlich des allgemeinen Wachstumszustandes, der Wachstumshöhe und des Bodenbedeckungsgrades bonitiert.

Es kristallisierte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Aussaatzeitpunkt und der dafür richtigen Begrünungskultur heraus. Weiters konnte eine verbesserte Wachstumsrate nach einer angemessenen Wirtschaftsdüngergabe beobachtet werden.

Die unterschiedlichen Entwicklungen der Begrünungskulturen auf einem Schlag sind auf verschiedene Faktoren zurückzuführen. In der Darstellung der Auswertungsergebnisse wird beispielhaft die jeweils optimal entwickelte Fläche herangezogen (Abb. 9 und 10).

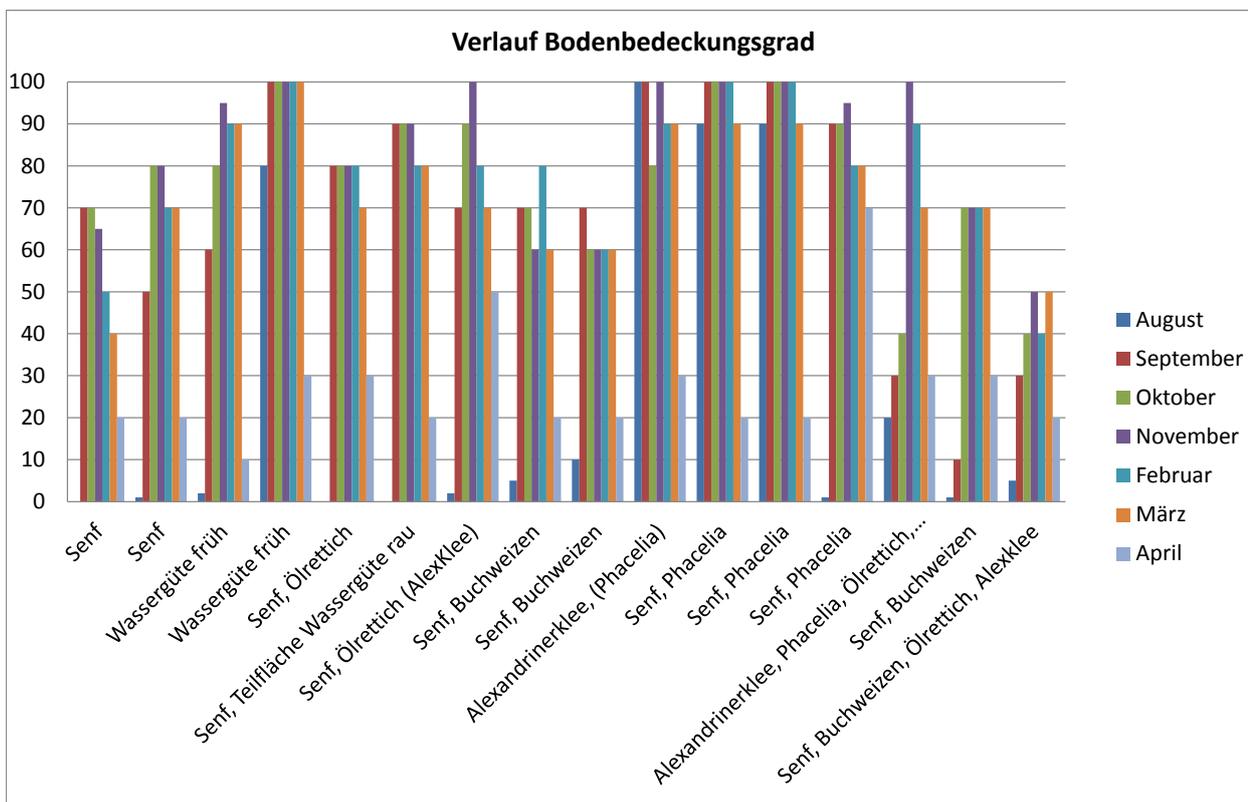


Abb. 9: Bodenbedeckungsgrad in Prozent der verschiedenen Zwischenfrüchte im zeitlichen Ablauf

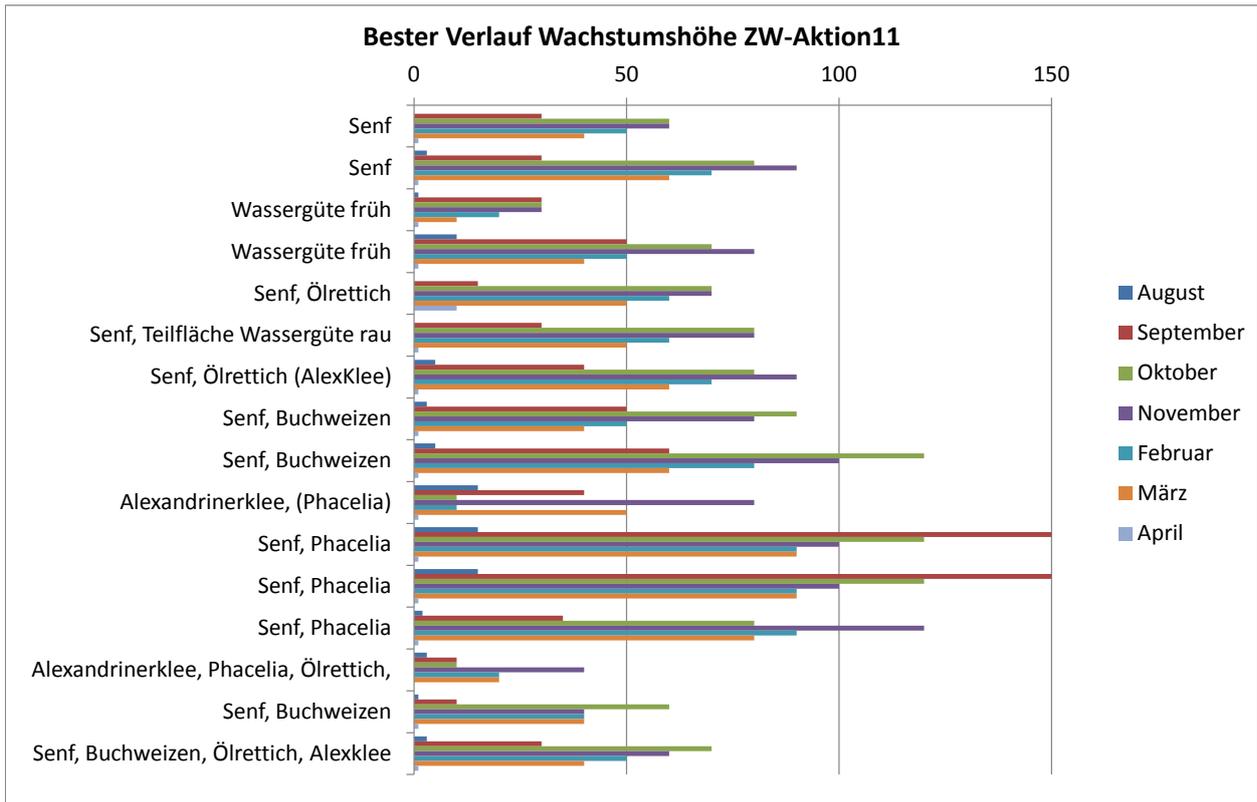


Abb. 10: Ø Wachstumshöhe des Zwischenfruchtbestandes in cm im zeitlichen Ablauf

Zur besseren Veranschaulichung der sich verschieden entwickelten Begrünungskulturen wurden die Einzelschläge fotodokumentarisch festgehalten. Die Aussaatzeitpunkte reichten von 25. Juli bis zum 20. September. Nachfolgend wird exemplarisch ein Schlag in zeitlicher Abfolge dargestellt. Aussaattermin war der 26. Juli, Vorfrucht war Wintergerste. Nach einer Wirtschaftsdüngergabe von ca. 20 Kubikmeter Rindermist je Hektar wurden zwei Grubberstriche in einer zeitlichen Distanz von ca. zwei Wochen durchgeführt. Das Ausfallgetreide konnte ankeimen und wurde durch den zweiten Grubberstrich bereinigt. Die Aussaat erfolgte kombiniert mit Kreiselegge und Sämaschine. Die Aussaatmenge betrug 13 kg/ha. Der Aufgang konnte als gut und zügig beschrieben werden, sodass sich am 30. August schon eine fast flächendeckend etablierte Kultur darstellte (siehe Abb. 11).



Abb. 11: Feld 1, 30. August 2011 Wassergüte früh

Der weitere Wachstumsverlauf kann als rasch und massereich beschrieben werden. Bis zum Frosteinbruch um den 6. Oktober waren keine wachstumseinschränkende Bedingungen. Nach diesem Kälteeinbruch zeigte der Mischungspartner „Mungo“ oder „Ramtilkraut“ durch sein Absterben die geringe Frostresistenz. Den Mischungspartnern Alexandriner Klee und Phacelia machte dieser kurze Kältestress keine Probleme (siehe Abb. 12).



Abb. 12: Feld 1, 25. Oktober 2011

Erst die längere und extrem kalte Frostperiode Ende Jänner brachte die Kultur zum vollständigen Absterben (siehe Abb. 13).



Abb. 13: Feld 1, 28. Februar 2012

Nach einer einmaligen Überfahrt mit der Kreiselegge zur Saatbettbereitung für den Silomaisanbau blieb ausreichend Material an der Oberfläche bzw. in der oberen Bodenschicht, um einen effektiven Erosionsschutz zu gewährleisten (Abb. 14).



Abb. 14: Feld 1, 30. Mai 2012

Während der gesamten Projektlaufzeit wurde den Landwirten über regelmäßig angebotene Informationsveranstaltungen die Möglichkeit gegeben, sich intensiv mit dem Thema Erosions-Wasserschutz auseinanderzusetzen. Zusätzlich wurden die Messergebnisse der im Projektgebiet aufgebauten Wetterstation an die Landwirte kommuniziert. Die Daten wurden hierbei vom BAW-IKT Petzenkirchen grafisch aufbereitet (Abb. 15 und 16).

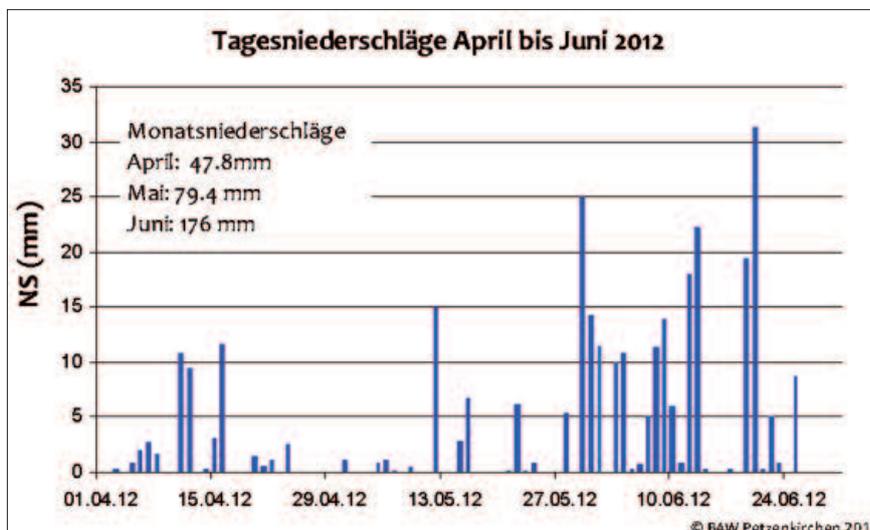


Abb. 15: Grafische Darstellung über Menge und Zeitpunkt der Niederschläge im Projektgebiet; Quelle: BAW Petzenkirchen 2012

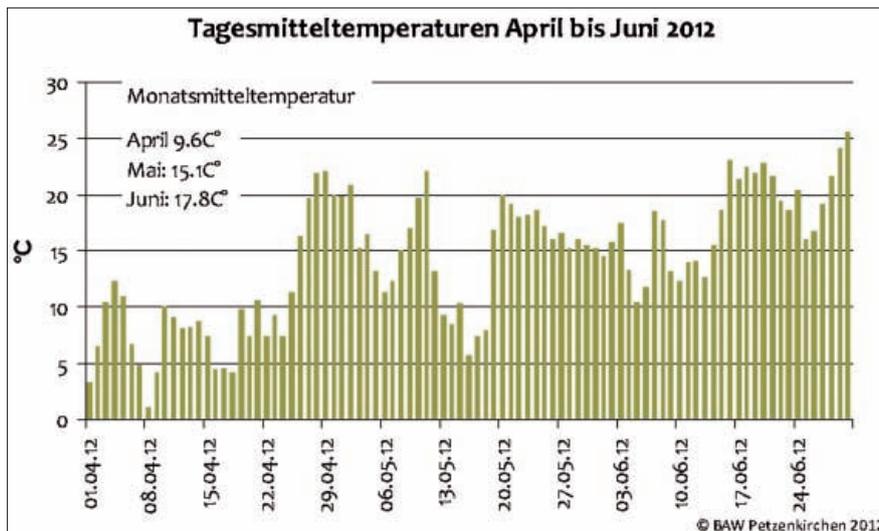


Abb. 16: Grafische Darstellung der Tagesmitteltemperatur im Projektgebiet; Quelle: BAW Petzenkirchen 2012

Das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ Antiesen lieferte einen positiven Anstoß zu einer verbesserten Umsetzung von funktionierenden Erosionsschutzmaßnahmen mit dem qualitativ hochwertigen Zwischenfruchtanbau. Als weiterführende Initiative wurde im Sommer ein Zwischenfruchtversuch gemeinsam mit der Oberösterreichischen Wasserschutzberatung und der Universität für Bodenkultur Wien zur Demonstration und Veranschaulichung von gut funktionierenden Zwischenfruchtmischungen angelegt (Abb.17).



Abb. 17: Begrünungsschauversuch im Projektgebiet

Die gesammelten Ergebnisse und Erkenntnisse aus diesem Projekt wurden in einer Beratungsbroschüre gesammelt und in Zusammenarbeit mit dem BAW-IKT Petzenkirchen für die Erstellung einer EDV-Anwendung zur Berechnung des Bodenabtragsrisikos verarbeitet.

In der letzten Projektphase werden die Landwirte im Einzugsgebiet der Antiesen durch eine Informations- und Vortragskampagne in Zusammenarbeit mit den Ortsbauernobmännern für das Thema Erosionsschutz sensibilisiert.

Ergebnisse

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Landwirtschaft für praxisorientierte Projekte offen ist. Zur Erreichung einer 100%igen Teilnahme bedarf es jedoch einer intensiven Informations- und Lobbying-Arbeit. 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 ist notwendig, um praxiserprobte, zeitnah kommunizierbare Ergebnisse zu erzielen. Zur erfolgreichen Umsetzung der so erarbeiteten Maßnahmen ist eine Bewusstseinsbildung auf allen mitwirkenden Ebenen unumgänglich.

Autoren

Ing. Christoph Schneiderbauer, Bezirksbauernkammer Ried im Innkreis, Volksfestplatz 1, A-4910 Ried im Innkreis, christoph.schneiderbauer@lk-ooe.at
DI Franz Xaver Hölzl, Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Auf der Gugl 3, A-4021 Linz

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

Susanne Mühlbacher-Kreuzer, Hanna Ulrich, Beate Glatzenberger und Mira Forster

Zusammenfassung

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

Im Zuge des INTERREG IV A-Projekts „Gewässer-Zukunft“ wurde auf drei drainierten Grünlandstandorten der Phosphor-Austrag unter natürlichen Verhältnissen untersucht. In einem zeitlich hoch aufgelösten Probenahmeintervall wurde das Drainagewasser beprobt, die darin enthaltenen Phosphor-Konzentrationen bestimmt und der Abfluss in den Drainagen gemessen. Ziel der Untersuchung war es, weitere Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Phosphor-Austrag aus den Drainagen, Güllezeitpunkt, Niederschlagsereignissen und Phosphor-Versorgung des Bodens zu gewinnen. Für einfache Erklärungsmodelle ist das System viel zu komplex. Jedoch konnte mit diesem Feldversuch nachgewiesen werden, dass die Bodeneigenschaften entscheidend für die Menge an Phosphor sind, die über die Drainagen ausgetragen wird. Eine hohe Phosphor-Versorgung des Bodens, eine geringe Phosphor-Speicherkapazität und eine hohe Phosphor-Sättigung führen dazu, dass mehr Phosphor über die Drainagen ausgetragen wird. Vor allem hydromorphe Böden haben in unserem Untersuchungsgebiet ein höheres Phosphor-Austragsrisiko.

Schlagwörter: Nährstoffeintrag, Drainage, Gülle, Phosphor, Phosphor-Speicherkapazität, Phosphor-Sättigungsgrad

Summary

Most of the nutrient input into the lake Waginger-Tachinger See originates from agricultural landuse. 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 three agricultural fields under natural conditions during the INTERREG IV A-project „Gewässer-Zukunft“. The phosphorus concentration of the runoff was quantified at a high temporal resolution and the flow rates were measured at all sampling areas. Aim of the project was to gain more insight into the correlations between phosphorus discharge from the drainage systems, time of cattle slurry application, precipitation and supply of the soil with phosphorus. The system is far too complex for simple explanation models. However, we could demonstrate that the soil properties are absolutely critical for the amount of phosphorus discharge from the drainage system. The amount of phosphorus in the drainage water was higher in case of soil with high phosphorus content and in case of a high degree of phosphorus saturation and low phosphorus sorption capacity. Especially hydromorphous soils have a higher risk of phosphorus discharge in our investigation area.

Keywords: nutrient input, drainage systems, liquid manure, phosphorus, phosphorus sorption capacity, degree of phosphorus saturation

1. Einleitung

Erhöhte Nährstoffeinträge und die damit einhergehende Gefahr einer Eutrophierung stellen für viele Seen 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 wird der Großteil der Phosphor-Jahresfracht in den Waginger See eingetragen (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 Phosphor-Auswaschung statt (STAMM 1998, PRASUHN 2003). Um diesen Eintragspfad genauer zu untersuchen, wurde auf drei drainierten, intensiv genutzten Grünlandflächen im Einzugsgebiet des Waginger Sees über einen Zeitraum von eineinhalb bzw. zwei Jahren der Abfluss und die Phosphor-Konzentration des Drainagewassers bestimmt. Ziel der Untersuchung war es, weitere Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Phosphor-Austrag aus den Drainagen, Phosphor-Versorgung des Bodens, Güllezeitpunkt und Niederschlagsereignissen zu gewinnen.

2. Methodik

a) Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungen wurden in zwei Teileinzugsgebieten des Waginger Sees in den Gemeinden Wonneberg und Teisendorf von Mitte 2010 bis Mitte 2012 durchgeführt. Alle Versuchsflächen sind Dauergrünland, die ca. fünfmal pro Jahr gemäht und regelmäßig mit Gülle aus Rinderhaltung gedüngt werden.

Die Versuchsfläche A liegt im Einzugsgebiet des Schinderbachs (siehe Abb. 1) auf einem pseudovergleyten Braunerde-Standort mit schwach wechselfeuchtem Bodenwasserhaushalt. Das Drainagesystem besteht aus Tonrohren aus den 60er Jahren, die in einer Tiefe von knapp einem Meter liegen. Die Fläche, die durch das Drainagesystem entwässert wird, hat auf der Fläche A eine Größe von 1,1 ha. Hier liegt die Annahme zu Grunde, dass ein Pufferstreifen von jeweils 10 m, wie in Abbildung 2 zu sehen ist, von der Drainage entwässert wird (nach LÖSCHENBRAND 2007). Die Fläche A wird ökologisch bewirtschaftet und ca. sechsmal im Jahr mit etwa 13 m³ Gülle pro Hektar gedüngt.

Bei den Versuchsflächen E handelt es sich um einen feuchten (hydromorphen) Gley-Standort im Einzugsgebiet des Höllenbachs (siehe Abb. 1). Der Bodenwasserhaushalt ist feucht. Das Drainagesystem besteht bei E1 aus Kunststoffrohren, die in einer Tiefe von etwa 60 cm bis 70 cm liegen und ist ca. 4 Jahre alt. Bei E2 bestehen die Drainagen aus Tonrohren mit einem Alter von ca. 15 Jahren und befinden sich in einer Tiefe von ca. 80 cm bis 90 cm. Die Fläche, die von den Drainagen entwässert wird, hat bei E1 eine Größe von 0,4 ha, bei E2 von 0,5 ha. Die Berechnung erfolgte wie oben beschrieben. Die E-Flächen werden von einem konventionellen Betrieb bewirtschaftet. Dieser düngt seine Flächen etwa viermal pro Jahr mit 15 m³ Gülle pro Hektar.

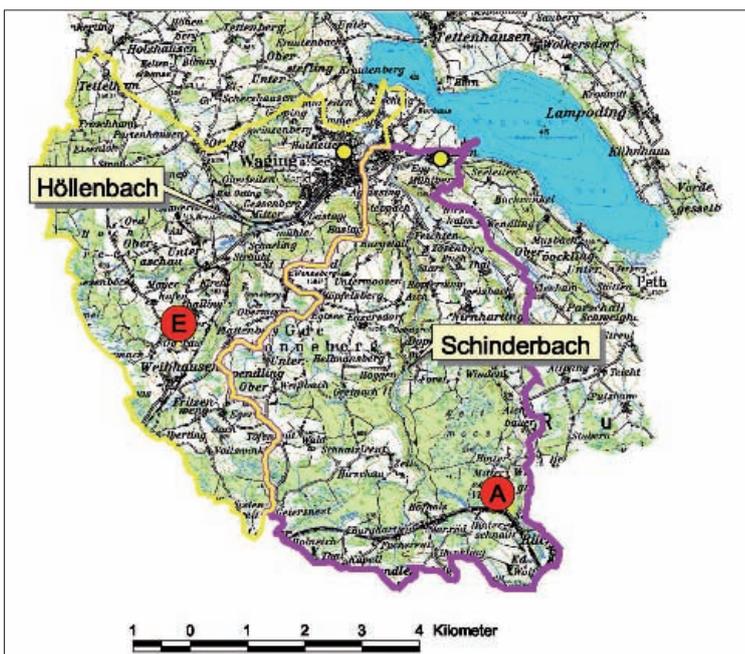


Abb. 1: Lage der Versuchsflächen A und E (markiert durch rote Kreise) im Einzugsgebiet des Schinder- und des Höllenbachs, die beide in den Waginger See entwässern. Die Umrandung stellt die Größe des Einzugsgebietes dar.

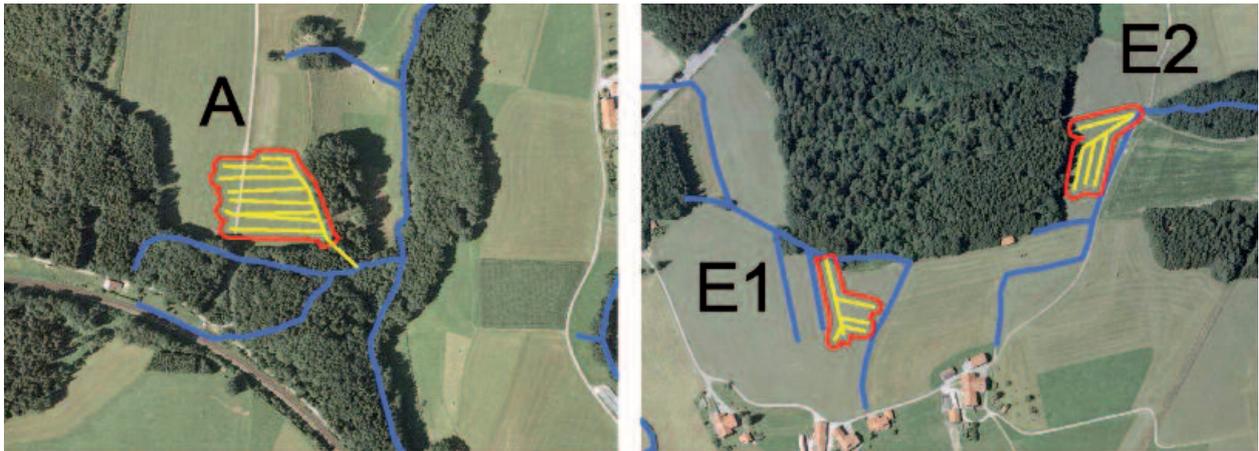


Abb. 2: Drainierte Flächen. Die Drainagen sind gelb eingezeichnet. Die rote Umrandung stellt den zur Berechnung verwendeten Pufferstreifen rund um das Drainagesystem dar (nach LÖSCHENBRAND 2007). Die blauen Linien entsprechen den vorhandenen Gräben im jeweiligen Gebiet.

b) Material und Methoden

Zur Beprobung des Drainagewassers wurden an den Drainageausläufen Messwehreinsätze angebracht und mit den automatischen Probennehmern des Typs ISCO 6700 verbunden. An den Versuchsflächen erfolgte eine volumenproportionale Probenahme mittels dieser Probennehmer. 16 Teilproben mit einem Volumen von jeweils 30 ml wurden zu einer Mischprobe zusammengefasst. Mit einem im Probennehmer integrierten Luft-einperlmodul wurde kontinuierlich der Wasserstand in den Drainagen bestimmt, um daraus den Abfluss zu berechnen.

In den Drainagen der Flächen E fällt Eisenocker aus. Dieser setzt sich bei niedrigen Abflüssen am Boden der Drainagen ab und kann bei der automatischen Probenahme nicht abgetrennt werden. Es zeigte sich, dass die Wasserproben mit Eisenocker eine sehr viel höhere Phosphorkonzentration enthielten als die Proben ohne Eisenocker. Deshalb wurden an den Drainagen der Flächen E die Proben erst bei Erreichen eines vorgegebenen Wasserstandes genommen, damit der Eisenocker nicht angesaugt wird und die Proben so wenig wie möglich durch den an den Eisenocker gebundenen Phosphor beeinflusst werden.

Die Probennehmer wurden mindestens einmal wöchentlich entleert. Im Labor des Wasserwirtschaftsamtes Traunstein wurden die Wasserproben homogenisiert und 100 ml der Probe zunächst tief gefroren. Die Analytik auf Gesamtphosphor erfolgte durch unseren Projektpartner, dem Österreichischen Bundesamt für Wasserwirtschaft (BAW) in Petzenkirchen nach ÖNORM EN ISO 6878.

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

Die Probenahme für die Standardbodenuntersuchung führte das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) in Traunstein mittels Grünlandbohrstock bis in eine Tiefe von 10 cm im Februar 2011 durch. Zusätzlich wurden für detailliertere Bodenanalysen zur Bestimmung der Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigung auf einer Fläche von rund 1 m² und bis in eine Tiefe von knapp einem Meter mit einem Spatel horizontweise Proben entnommen. Die Probenahme erfolgte im Mai 2012, nach der ersten Mahd mit maximalem Abstand zur letzten Düngung.

Die horizontweise entnommenen Bodenproben wurden von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein mittels der landwirtschaftlichen Referenzmethode zur Bestimmung des „pflanzenverfügbaren“ Phosphor-Gehaltes im Boden, der Calcium-Acetat-Lactat-Methode (CAL-Methode) analysiert. Dieses Ergebnis dient sowohl in Österreich als auch in Deutschland der Landwirtschaft als Grundlage für die Erstellung einer Phosphor-Düngeempfehlung (BOHNER et al. 2012, 2008).

Zusätzlich wurde die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) bestimmt und daraus der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) des Bodens errechnet, wie bei BOHNER et al. (2012) detailliert beschrieben. Die Phosphor-Speicherkapazität setzt sich aus der Summe der amorphen Aluminium-, Eisen- und Manganoxide zusammen, an die der Phosphor adsorbiert ist. Je höher der Wert, desto mehr Phosphor-Speicherkapazität hat der Boden. Hohe Phosphor-Sättigungswerte bedeuten hingegen, dass der Boden kaum mehr in der Lage ist Phosphor zu speichern, die Gefahr einer Auswaschung des Phosphors steigt und erhöht die Gefahr einer Eutrophierung von Grundwasser und Oberflächengewässern (LOOKMANN et al. 1996). Daher kann für die Abschätzung

von Phosphor-Auswaschungsverlusten aus landwirtschaftlich genutzten Flächen die Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigung verwendet werden (LEINWEBER et al. 1999).

Um kleinräumige Wetterereignisse genauer zu erfassen, wurden an beiden Versuchsstandorten Regenwippen installiert. Da die Regenwippen nicht beheizbar sind, wurden für die Auswertung der Wintermonate die Niederschlagsdaten von der DWD-Wetterstation Waginger See am Standort Schnöbling verwendet, die sich in einer Entfernung von 8 bzw. 8,5 km zu den Versuchsflächen befindet. Der mittlere Jahresniederschlag am Waginger See beträgt 1200 mm.

Die Karten wurden mit der GIS-Software ArcView der Firma ESRI erstellt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die über das Jahr automatisiert genommenen Wasserproben aus den Drainagen wurden verschiedenen Auswertungen unterzogen, um Erkenntnisse über einzelne Zusammenhänge zwischen Phosphor-Austrag, Niederschlagsereignissen, Güllezeitpunkt und Phosphor-Versorgung des Bodens zu gewinnen.

In der Wachstumsperiode von März bis Oktober wurde der Phosphor (P)-Austrag für alle drei Flächen untersucht und in Zusammenhang mit den Niederschlagswerten gebracht.

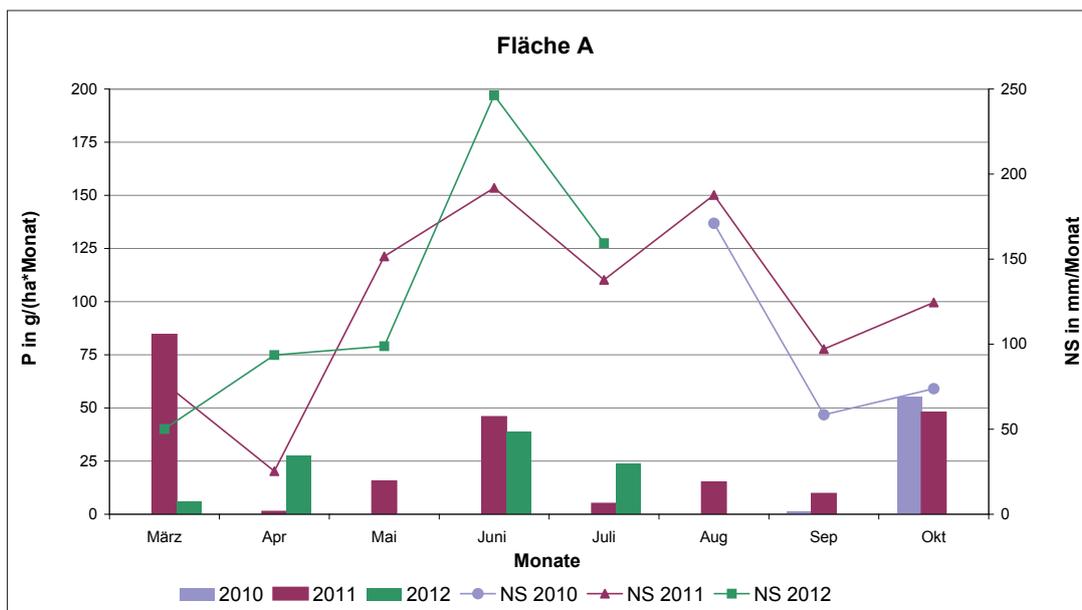


Abb. 3: Monatliche Summen der Phosphor (P)-Fracht, die von März bis Oktober aus Drainage A ausgetragen werden, verknüpft mit den monatlichen Niederschlagssummen (NS) im gleichen Zeitraum. Datenlücke im Mai 2012. Die Messungen endeten im Juli 2012.

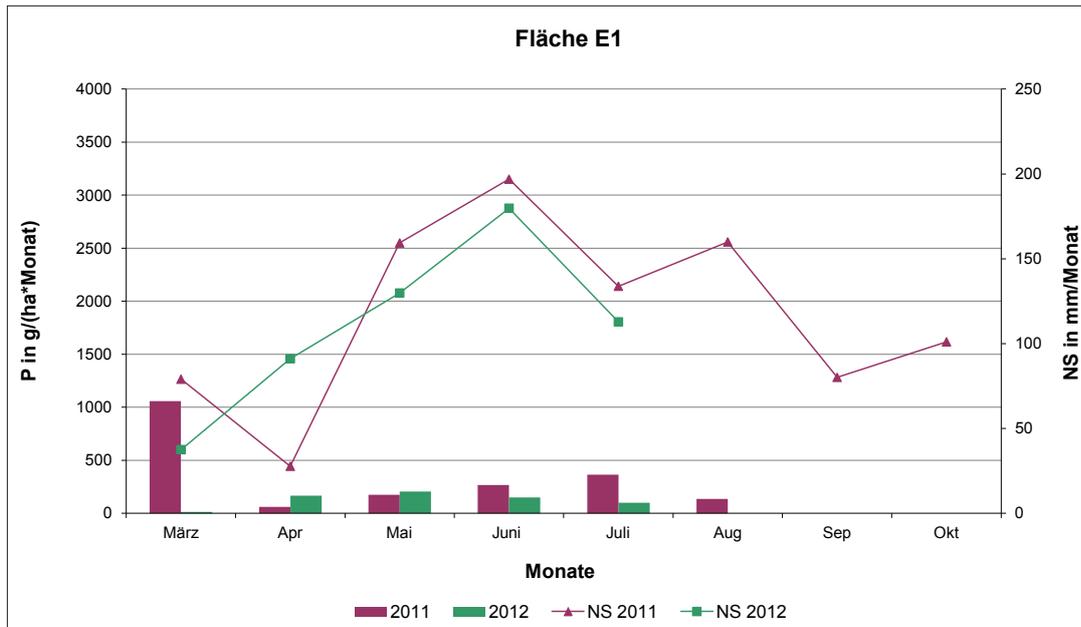


Abb. 4: Monatliche Summen der Phosphor-Fracht, die von März bis Oktober aus Drainage E1 ausgetragen werden, verknüpft mit den monatlichen Niederschlagssummen (NS) im gleichen Zeitraum. Datenlücke im September und Oktober 2011. Die Messungen endeten im Juli 2012.

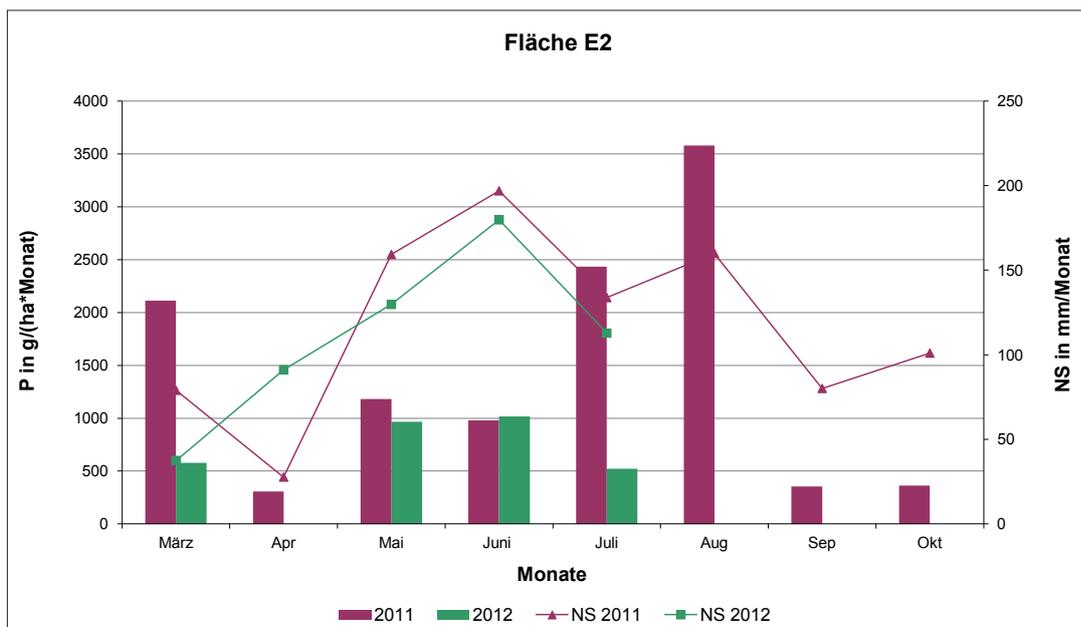


Abb. 5: Monatliche Summen der Phosphor-Fracht, die von März bis Oktober aus Drainage E2 ausgetragen werden, verknüpft mit den monatlichen Niederschlagssummen (NS) im gleichen Zeitraum. Datenlücke im April 2012. Die Messungen endeten im Juli 2012.

In den Abbildungen 3 bis 5 sind die monatlichen Summen der Phosphor-Fracht bezogen auf einen Hektar und die dazugehörigen monatlichen Niederschlagssummen für alle drei Versuchsflächen dargestellt. Die Flächen A, E1 und E2 unterscheiden sich deutlich in der Menge an Phosphor, die über die Drainagen ausgetragen wird. Bei Fläche A wurden von März bis Oktober 2011 0,2 kg/ha Phosphor, bei E1 2 kg/ha Phosphor und bei E2 11 kg/ha über die Drainagen ausgetragen. Die Phosphor-Frachten sind eher unterschätzt, da teilweise Datenlücken aufgrund von Geräteausfällen vorliegen. Bei den Drainagen der Flächen E werden außerdem Niedrigwasserproben nicht genommen, damit die Proben so wenig wie möglich durch Eisenocker, der sich in diesen Drainagen bildet, beeinflusst werden.

Ein bestimmter Monat, der für einen Großteil des Phosphor-Austrages verantwortlich ist, konnte nicht identifiziert werden. Je nach Jahr war dies unterschiedlich. 2011 erreichte der Phosphor-Austrag im März Spitzenwerte von bis zu 2,1 kg/ha auf der Fläche E2, 2012 ließ sich dies nicht bestätigen. Verantwortlich für die

hohen Werte im März 2011 bei allen Drainagen war ein sehr starkes Niederschlagsereignis. 2012 war der März eher trocken.

Betrachtet man die monatlichen Niederschlagssummen, so kann man keinen direkten Zusammenhang zwischen Niederschlag und Phosphor-Austrag feststellen.

Beispielsweise war der Phosphor-Austrag im März 2011 bei allen drei Flächen deutlich höher als im Juni 2011, obwohl die Niederschlagsmenge im Juni höher war.

Andere Einflussgrößen wie z.B. die Vegetation spielen unter Umständen eine wesentlichere Rolle als der Niederschlag. Im Juni haben die Pflanzen auf Grund des starken Wachstums einen hohen Bedarf an Phosphor. Dies führt zu einem geringeren Phosphor-Austrag als in Zeiten mit wenig Pflanzenwachstum, wie z.B. im März.

In Tabelle 1 sind die Phosphor-Frachten für einzelne beispielhaft ausgewählte Niederschlagsereignisse dargestellt.

Tab. 1: Phosphor-Austrag bezogen auf ein einzelnes Niederschlagsereignis und den Güllezeitpunkt der Flächen A, E1 und E2.

Fläche	Niederschlagsereignisse von - bis	Zeitdifferenz zur Güllegabe Tage	Niederschlag mm	Abfluss mm	P-Fracht g/ha
A	17. - 22.03.11	13	57,2	19,4	82,1
	27. - 30.05.11	14	50,5	6,9	9,4
	18. - 21.06.11	36	40,0	12,8	24,6
	30.06.- 04.07.11	5	37,5	6,6	8,8
E1	17. - 22.03.11	8	59,6	39,1	964,2
	27. - 30.05.11	14	69,0	17,2	109,3
	18. - 21.06.11	36	37,1	19,7	64,3
	30.06.- 04.07.11	48	36,7	10,5	61,4
E2	17. - 22.03.11	8	59,6	95,7	1.855,3
	27. - 30.05.11	14	69,0	49,9	250,6
	18. - 21.06.11	36	37,1	54,0	243,1
	30.06.- 04.07.11	48	36,7	40,1	196,5

Aus den dargestellten Werten geht hervor, dass einzelne Niederschlagsereignisse einen großen Anteil am jährlichen Phosphoraustrag haben. Im Untersuchungsjahr 2011 war dies das Märzhochwasser, das ca. 1/3 zur jährlichen Phosphor-Fracht aus der Fläche A bzw. E1 beitrug. Bei E2 war der Anteil mit ca. 1/8 der jährlichen Phosphor-Fracht etwas geringer.

Vergleicht man die Frachtausträge aus der Fläche A vom 17.03.11 und 27.05.11 miteinander, fällt auf, dass obwohl bei beiden Niederschlagsereignissen die letzte Güllegabe bereits 13 bzw. 14 Tage her ist, im März wesentlich mehr Phosphor ausgetragen wird (ca. zehnmal so viel) als im Mai, weil die Pflanzen vermutlich noch keinen Phosphor aufnehmen. Bei beiden Ereignissen fiel in etwa gleich viel Niederschlag. Bei einem Vergleich der beiden starken Niederschlagsereignisse im Juni wird deutlich, dass der Zeitpunkt der Güllegabe während der Vegetationsperiode den Phosphoraustrag aus den Drainagen nicht direkt beeinflusst. Bei Fläche A wurde mit dem Hochwasser vom 18.-21.06.11 mehr Phosphor ausgetragen, obwohl der Güllezeitpunkt weiter zurücklag als mit dem Hochwasser Ende Juni 2011.

Zu beachten ist jedoch, dass bei einer Güllegabe außerhalb der Vegetationsperiode der Phosphor-Austrag vermutlich stark ansteigen würde, da die Pflanzen wegen geringen Wachstums noch wenig Phosphor aufnehmen.

Bei den E-Flächen ist ein Zusammenhang zwischen Güllezeitpunkt und Phosphor-Fracht sichtbar. Acht Tage nach Güllegabe war die Phosphor-Fracht am höchsten und 48 Tage nach Güllegabe am niedrigsten.

Zur weiteren Auswertung des unterschiedlichen Verhaltens der drei Versuchsflächen wurden die über das Jahr erfolgten Güllegaben in Bezug zur jährlichen Phosphor-Fracht gestellt, die über die Drainagen ausgetragen wird. Dazu wurde der Phosphor-Gehalt der Gülle bei jeder Düngung analysiert und die ausgebrachte Menge an Phosphor pro Hektar über das gesamte Jahr 2011 bzw. über das halbe Jahr 2012 berechnet (siehe Abb. 6 bis 8). Die aus den Phosphor-Konzentrationen in den Wasserproben und den Abflüssen berechneten Phosphor-Frachten wurden über das Jahr aufsummiert.

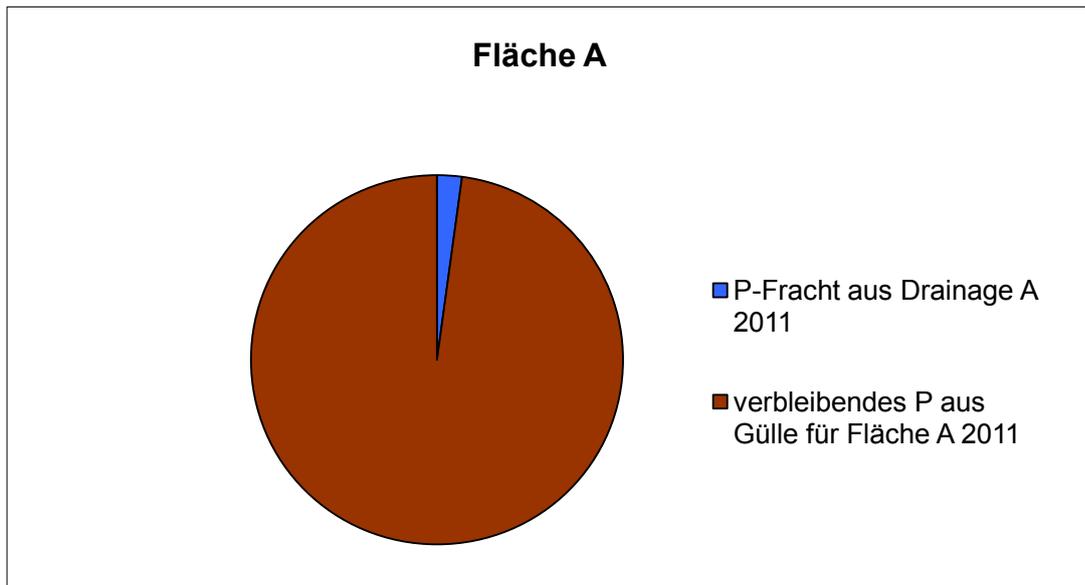


Abb. 6: Bezogen auf die Gesamtmenge des über die Gülle ausgebrachten Phosphors im Jahr 2011 wurden 2% über das Drainagesystem A ausgetragen.

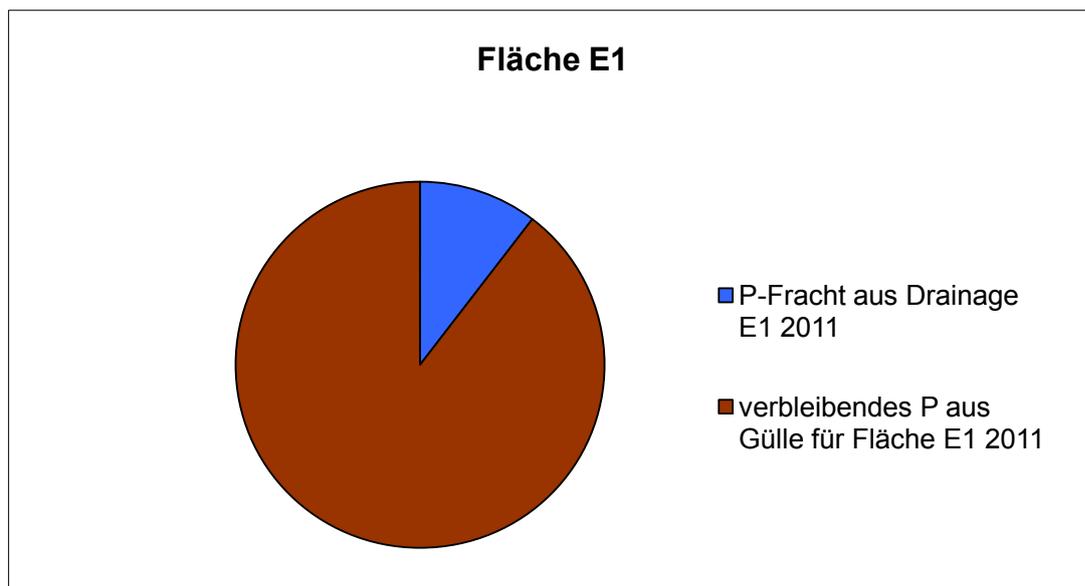


Abb. 7: Bezogen auf die Gesamtmenge des über die Gülle ausgebrachten Phosphors im Jahr 2011 wurden 10% über das Drainagesystem E1 ausgetragen.

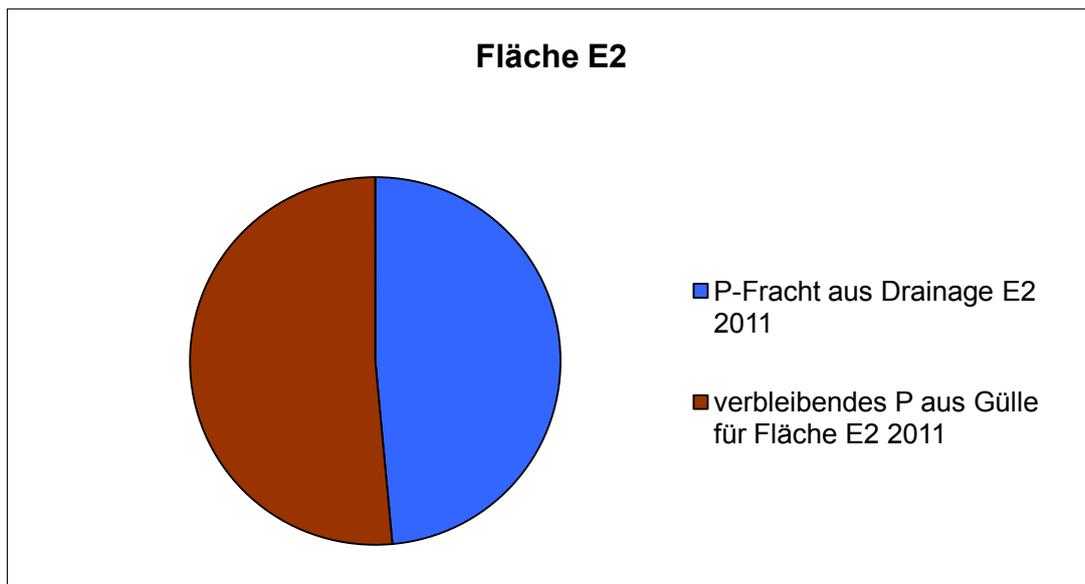


Abb. 8: Bezogen auf die Gesamtmenge des über die Gülle ausgebrachten Phosphors im Jahr 2011 wurden 48% über das Drainagesystem E2 ausgetragen.

Abbildungen 6 bis 8 stellen den prozentualen Anteil des Verlustes an Phosphor dar, der über die Drainagen ausgetragen wird. Der Vollkreis entspricht der Menge an Phosphor, die über die Düngung mit Gülle über das Jahr 2011 pro Hektar ausgebracht wurde. Blau dargestellt ist die Menge an Phosphor, die über die Drainage im Jahr 2011 pro Hektar ausgetragen wurde. Der ausgewaschene Phosphor stammt unter Umständen nicht ausschließlich aus der Gülle, die 2011 auf die Versuchsflächen ausgebracht wurde. Ein Teil des Phosphors ist vermutlich alter Phosphor, der sich im Boden über die Jahre angereichert hat und jetzt ausgewaschen wurde. D.h. für das Pflanzenwachstum steht wahrscheinlich mehr Phosphor als das in der Abbildung braun dargestellte verbleibende P aus Gülle zur Verfügung. Eine genauere Beschreibung der Phosphorspeicherkapazität und des Phosphorgehaltes des Bodens folgt später.

Über das ganze Jahr 2011 wurden bezogen auf den durch Gülle ausgebrachten Phosphor bei Drainage A 2% (oder 0,3 kg/ha) Phosphor ausgewaschen. Bei Drainage E1 war dies 10% (3 kg/ha) und bei Drainage E2 48% (14 kg/ha). Die Zahlen sind wie bereits erwähnt eher unterschätzt, da Geräteausfälle dazu führten, dass Wasserproben nicht genommen wurden, bzw. in den Wintermonaten durch Einfrieren des Wassers am Drainageausgang keine automatische Probenahme stattfand.

Die Messergebnisse für das Halbjahr 2012 zeigten eine ähnliche Tendenz, wobei die absoluten Mengen an ausgetragenem Phosphor geringer ausfielen als für das Jahr 2011.

Zu beachten ist, dass für das Jahr 2011 auf die Flächen E jeweils 30 kg/ha Phosphor über die Gülle ausgebracht wurden. Hingegen waren es bei Fläche A im gleichen Zeitraum nur 13 kg/ha Phosphor aus Gülle. Der Unterschied ist dadurch zu erklären, dass der Boden von Fläche A niedriger mit Phosphor versorgt ist als die Böden der E-Flächen, wie im Folgenden beschrieben. Weniger Phosphor im Boden kann zu weniger Phosphor in den Futterpflanzen und damit zu weniger Phosphor in der Gülle führen.

Zur Überprüfung, ob ein Zusammenhang zwischen dem Phosphor-Austrag aus den Drainagen und der Phosphor-Versorgung des Bodens besteht, wurde zuerst der Phosphor-Gehalt des Bodens mit der Standardbodenuntersuchung ermittelt. Die Fläche A weist einen niedrigen Gehalt (P_2O_5 : 5 mg/100g Boden) an Phosphor im Oberboden (10 cm) auf; die Fläche E1 einen sehr hohen (P_2O_5 : 31 mg/100g Boden), die Fläche E2 einen hohen (P_2O_5 : 27 mg/100g Boden) Gehalt an Phosphor im Oberboden (10 cm).

Zusätzlich zu den Standardbodenuntersuchungen wurden zur Ermittlung der Phosphor-Speicherkapazität horizontale Bodenuntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und Phosphor-Sättigung (DPS) der verschiedenen Bodenhorizonte auf den Flächen A, E1 und E2.

Fläche	Bodenhorizonte	cm	P_{cal}	pH-Wert	P_{total}	Fe_{ox}	PSC	DPS
			P_2O_5 mg/100g	($CaCl_2$)	mg/kg	mg/kg	mmol/kg	%
A	AP	0 - 13	1,92	5,9	616	5681	92,7	11,6
	BS1	13 - 65	1,15	5,9	315	3069	66,8	7,8
	BS2	65 - 90	0,97	5,9	197	2230	68,6	2,2
E1	A	0 - 16	8,65	5,7	1877	8877	161,9	25,1
	Go1	16 - 52	2,25	6,1	260	440	51,1	6,2
	Go2	52 - 95	1,27	7,6	250	441	17,4	26,9
E2	A	0 - 19	7,16	6,5	1508	6391	119,7	24
	Go1	19 - 50	2,24	6,8	187	688	33,6	8,5
	Go2	50 - 95	2,32	7,1	266	294	12,8	32,9

Die Standardbodenuntersuchung und die horizontweise Beprobung sind nicht direkt vergleichbar. Die Probenahmetiefe ist zum Teil unterschiedlich. Bei der Standardbodenuntersuchung ist die Probenahmetiefe 0-10 cm, bei der horizontweisen Bodenuntersuchung richtet sich die Probenahmetiefe nach der tatsächlichen Verteilung der Bodenhorizonte. Bei den E-Flächen war die Probenahmetiefe im ersten Horizont 0 bis ca. 20 cm und dies führt zu niedrigeren Phosphor-Werten als bei der Standardbodenuntersuchung. Bei der horizontweisen Beprobung war die Fläche A sehr niedrig mit Phosphor (P_{cal}) versorgt, beide E-Flächen waren niedrig mit Phosphor versorgt. Die Tendenz ist jedoch die gleiche wie bei der Standardbodenuntersuchung; die E-Flächen sind höher mit Phosphor versorgt als die A-Fläche. Dies spiegelt sich nicht nur in P_{cal} , sondern auch in dem viel niedrigeren Gesamt-Phosphor (P_{total}) der A-Fläche wieder.

Einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis hat der Zeitpunkt der Bodenprobenahme, ebenso wie die Witterungsverhältnisse und der Abstand zur letzten Güllegabe (BOHNER 2008). Erfolgt die Bodenprobenahme im Mai, mit deutlichem Abstand zur letzten Güllegabe und nach dem ersten Schnitt, nehmen die Pflanzen eine sehr hohe Menge an Phosphor aus dem Boden auf. Dadurch sind die Phosphor-Werte im Oberboden am niedrigsten (Zeitpunkt der horizontweisen Beprobung). Die Wintermonate hingegen liefern deutlich höhere Phosphor-Werte im Oberboden, da die Pflanzen in dieser Zeit wenig Phosphor aus dem Boden aufnehmen (Zeitpunkt der Standardbodenuntersuchung).

Werden die Werte aus der Standardbodenuntersuchung bzw. aus der horizontweisen Beprobung in Zusammenhang mit der Menge an Phosphor gesetzt, die bei den Drainagen im Jahr 2011 ausgetragen wurde, wie in den Abbildungen 6 bis 8 dargestellt, wird folgendes Ergebnis erzielt: Die höher mit Phosphor versorgten Böden zeigten einen höheren Phosphor-Austrag aus den Drainagen.

Um dieses Ergebnis genauer zu untersuchen, wurden die Phosphor-Speicherkapazität und die Phosphor-Sättigung des Bodens bestimmt (siehe Tab. 2). Als Orientierungswert nach internationaler Literatur wird eine Phosphor-Sättigung von 30% als Grenzwert für den Phosphor-Austrag angesehen.

Die Fläche A, ein pseudovergleyter Braunerde-Standort, weist eine gute Phosphor-Speicherkapazität (PSC) über alle Horizonte auf und zugleich einen niedrigen Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) vor allem im Unterboden. Dies deckt sich mit dem Austrag des Phosphors aus dem Drainagesystem, der auf Fläche A verglichen mit den anderen Flächen am geringsten ausgefallen ist.

Die Flächen E befinden sich auf einem feuchten Gley-Standort. E1 und E2 weisen eine gute Speicherkapazität für Phosphor nur im obersten Horizont auf, jedoch sind die tiefer liegenden Horizonte kaum in der Lage Phosphor zu speichern, E2 noch weniger als E1. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei diesen Flächen häufig reduzierende Verhältnisse im Go-Horizont herrschen, wie man an dem geringen Anteil von Fe_{ox} in diesem Horizont sehen kann.

Zudem weist die Phosphor-Sättigung beider Standorte hohe Werte auf. Die Sättigungswerte sind im Go2-Horizont bei Fläche E2 über dem Grenzwert von 30%, bei E1 mit 27% knapp darunter. Dies deckt sich mit dem Austrag des Phosphors aus den Drainagen wie in den Abbildungen 6 bis 8 dargestellt. Bei Drainage E1 wurde im Jahr 2011 3 kg/ha und bei Drainage E2 14 kg/ha Phosphor ausgewaschen. Der Boden kann nur noch zu einem geringen Grad bzw. kaum noch Phosphor speichern, wie aus Tabelle 2 hervorgeht.

Schlussfolgerung

Ein einfacher Zusammenhang zwischen Niederschlag, Güllezeitpunkt und Phosphor-Austrag aus den Drainagen ließ sich nicht nachweisen. Wichtig für den Phosphor-Austrag ist auch noch die Phosphor-Aufnahme der Vegetation. Jedoch konnte mit diesem Feldversuch nachgewiesen werden, dass die Bodeneigenschaften eine entscheidende Rolle bei der Menge an Phosphor haben, die über die Drainagen ausgetragen werden. Eine hohe Phosphor-Versorgung des Bodens, eine geringe Phosphor-Speicherkapazität und eine hohe Phosphor-Sättigung führen dazu, dass mehr Phosphor über die Drainagen ausgetragen wird. Der Bodentyp ist von entscheidender Bedeutung. Hydromorphe Böden wie beispielsweise Gleye haben in unserem Untersuchungsgebiet ein deutlich erhöhtes Phosphor-Austragsrisiko.

Dieses Ergebnis zeigt auch, dass die auf der Standardbodenuntersuchung basierende Düngeempfehlung für landwirtschaftliche Flächen in Bezug auf das Phosphor-Austragsrisiko nochmals überdacht werden muss. Denn hierbei werden tiefere Bodenschichten, die stark mit Phosphor gesättigt sein können, wie bei Fläche E2, nicht berücksichtigt. Genau diese Schichten führen zu einem erhöhten Austrag an Phosphor aus den Drainagen und stellen damit eine Gefahr hinsichtlich der Eutrophierung von Oberflächengewässern dar.

Wünschenswert wäre es, im Seeneinzugsgebiet eine Vielzahl der drainierten Böden hinsichtlich Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigung zu untersuchen, um eine gute Datengrundlage für weitreichende Entscheidungen in der Zukunft zu haben und eine optimale Beratung der Landwirte, vor allem hinsichtlich der Düngung der Flächen, gewährleisten zu können.

Danksagung

Wir bedanken uns sehr herzlich bei unseren österreichischen Projektpartnern, Herrn Dr. Bohner von der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (HBLFA) für die fachliche Unterstützung, sowie für die Analytik der Boden- und Gülleproben. Herrn Dr. Strauss vom Bundesamt für Wasserwirtschaft (BAW) danken wir für die Analytik der Wasserproben und die konstruktive Beratung.

Literatur

- BOHNER, A., C. HUEMER, J. SCHAUMBERGER, und P. LIEBHARD, 2012: Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und des Reliefs auf den Nährstoffgehalt im Oberboden mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors. 3. Umweltökologisches Symposium 2012, 91-100.
- BOHNER, A., 2008: Phosphor-Pools und Phosphor-Verfügbarkeit in Grünlandböden als Basis für Phosphor-Düngeempfehlungen. Umweltökologisches Symposium, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 59-66.
- 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. WENGLAND und S. RASCHBACHER, 2007: Ergebnisse von Erhebungen zur Phosphorbilanz landwirtschaftlicher Betriebe in den Einzugsgebieten des Waginger-Tachinger-Sees und des Mondsee-Irrsees. Schriftenreihe BAW, 26, 109-131.
- GÄCHTER, R. und B. MÜLLER, 1999: Die bodenbürtige P-Belastung des Sempacher Sees. GWA Gas Wasser Abwasser 6, 460-466.
- 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.
- LÖSCHENBRAND, F., S. ZIMMERMANN und A. MELZER, 2007: Modellierung der Phosphorgesamtausträge im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees. Schriftenreihe BAW, 26, 80-93.
- 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.

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. Umweltökologisches Symposium, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 73-78.

STAMM, C., H. FLÜHLER, R. GÄCHTER, J. LEUENBERGER and H. WUNDERLI, 1998: Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. *J. Environm. Quality* 27(3), 515-522.

Autoren

Susanne Mühlbacher-Kreuzer, Beate Glatzenberger und Mira Forster, Wasserwirtschaftsamt Traunstein, Rosenheimer Straße 7, D-83278 Traunstein, susanne.muehlbacher-kreuzer@wwa-ts.bayern.de
Hanna Ulrich, Landesamt für Umwelt, Demollstraße 31, D-82407 Wielenbach

Methoden und Ergebnisse der Seenschutzberatung am Waginger und Tachinger See

Mathias Parzinger und Rolf Oehler

Zusammenfassung

Die einzelbetriebliche Beratung der landwirtschaftlichen Betriebe mit dem Ziel der Reduzierung des Phosphoreintrags in Gewässer war ein Schwerpunkt im INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“.

Im Dialog mit den Landwirten am Waginger und Tachinger See wurden Maßnahmen für eine Verringerung diffuser und punktueller Eintragsquellen für Phosphor erarbeitet. Die Beratung umfasste freiwillige Gewässerschutzmaßnahmen und die Einhaltung der guten fachlichen Praxis. Als finanzielle Ausgleichsmöglichkeiten für eine gezielte Extensivierung im Einzugsgebiet standen die Regelungen des Bayerischen Kulturlandschaftsprogrammes und des Bayerischen Vertragsnaturschutzprogrammes zur Verfügung.

Die Gewässerschutzberatung setzte auf ein Bündel auf den Betrieb zugeschnittener Maßnahmen. Diese wurden in öffentlichen Veranstaltungen und einzelbetrieblicher Beratung im Dialog mit den Landwirten erörtert. Etwa jeder zweite Betriebsleiter zeigte sich aufgeschlossen, durch Änderungen im Management und einfache bauliche Lösungen einen Beitrag zum Gewässerschutz zu leisten. Die Zusammenarbeit mit den österreichischen Projektpartnern, Landwirten, Obmännern des Bayerischen Bauernverbandes und den Seeanliegergemeinden entwickelte sich über die Beratung positiv.

Schlüsselwörter: Nährstoffeintrag, Phosphatauswaschung, Gülle, extensive Bewirtschaftung

Summary

The individual consultations taking place in farms, with the aim of reducing phosphorus discharges into waters, were a main point in the INTERREG IV A-Project "Future of Waters".

In a dialogue with the farmers at Waginger-Tachinger See measures were worked out for the reduction of sources of phosphorus discharge whether diffuse or discharged at certain spots. The consultations included voluntary measures to protect waters and the keeping-up of good professional procedures. The regulations of the Bavarian programmes for a cultural landscape and for nature protection make possible a financial compensation in favour of those who switch to a more extensive cultivation in the catchment area.

The consultations for the protection of waters supported a bundle of measures geared to individual farms. These measures were discussed in a dialogue with the farmers in both public meetings and individual consultations. Roughly one out of two farmers was open-minded about contributing to the protection of waters by changes in management and by simple structural solutions. The co-operation with the Austrian project partners, with farmers, representatives of the Bavarian farmers' organization and the communities bordering on the lakes has developed positively due to the consultations.

Keywords: nutrient discharge, washed-away phosphorus, liquid manure, extensive cultivation

1. Einleitung/Zielsetzung

Eine hohe Wasserqualität ist Grundvoraussetzung für die Lebensqualität der Bewohner und für die touristische Attraktivität der Region des Waginger und des Tachinger Sees im bayerischen Voralpenland. Diese Wasserqualität wird von der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT 2000) in Form des „guten ökologischen Zustandes“ grundsätzlich bis 2015 gefordert, aber am Waginger See sehr wahrscheinlich nicht erreicht. Die ökologische Funktionsfähigkeit der Seen wird vom Algenwachstum beeinträchtigt und hängt damit entscheidend vom Phosphorgehalt im See ab. Um die Phosphorbelastung möglichst gering zu halten, müssen Anstrengungen unternommen werden, vor allem diffuse Eintragspfade zu verringern (DIEPOLDER et al. 2007).

Das INTERREG IV A Projekt „Gewässer-Zukunft“ baut auf den Vorgängerprojekten auf, den Untersuchungen des Wasserwirtschaftsamtes Traunstein aus den Jahren 2001/2002 sowie dem Vorgängerprojekt INTERREG III A „SeenLandWirtschaft“. Danach gelangen jährlich im Schnitt ca. 14 t Phosphor in den Waginger See (2 kg/ha LF). Bis zu 85% davon stammen aus der landwirtschaftlich genutzten Fläche (BUCHMEIER 2003). Ziel wäre eine Halbierung der Einträge.

Für den Teilbereich Landwirtschaft wurde ein Seenschutzberater eingestellt, der den Landwirten für einzelbetriebliche Beratungen zur Verfügung stand. Im Dialog mit den Betriebsleitern sollte es gelingen, Maßnahmen für eine Verringerung der Nährstoffverluste und -einträge in die Gewässer praktisch umzusetzen, mit dem Augenmerk insbesondere auf Teilflächen mit erhöhtem Austragspotential für Phosphat.



Abb. 1: Landzunge zwischen Waginger See und Tachinger See

Das Beratungsgebiet umfasst die Landbewirtschaftung im Einzugsgebiet des Waginger Sees, der sich derzeit in Stufe 4 (ungenügend) befindet, und Tachinger Sees, der aktuell den Vorgaben (Stufe 2, gut) der Wasserrahmenrichtlinie standhält. Die Landwirte beider Seen wurden in gleicher Weise beraten, da der Zustand des Tachinger Sees an der Grenze zum befriedigenden Zustand liegt und die Wasserrahmenrichtlinie fordert, dass sich der ökologische Zustand nicht verschlechtern darf.

Das Einzugsgebiet um den Waginger See umfasst 5.255 ha LF, das des Tachinger Sees 2.006 ha LF. Durch den hohen Grünlandanteil im Einzugsgebiet (ca. 70%) ist die Landwirtschaft überwiegend auf Milchviehhaltung eingestellt. Die ausgewerteten Betriebe bewirtschaften im Durchschnitt 22,5 ha landwirtschaftliche Nutzfläche und halten 1,82 GV/ha. Die Landwirte beider Seen wirtschaften vergleichbar. Das Gebiet um den Waginger See ist von einer Grundmoräne mit unterschiedlichen Bodentypen wie z.B. Braunerde-Pseudogley oder Pseudogley-Parabraunerde geprägt und stärker verdichtet, deshalb wurden viele Flächen drainiert. Das Gebiet um den Tachinger See liegt im Bereich einer Endmoräne, das sich durch einen durchlässigeren Boden mit großem Anteil an Braunerde oder zum Teil auch Parabraunerde kennzeichnet.

Tab. 1: Unterschied zwischen Phosphor und Phosphat mit Umrechnungsfaktor

Phosphor (P) Reinnährstoff	X	2,29	=	Phosphat (P ₂ O ₅) Oxidform (im Düngemittel angegeben)
Phosphat	X	0,436	=	Phosphor (gewässerrelevant; wissenschaftliche Einheit)

2. Material und Methodik der Beratung

Die Beratung gliederte sich in einen öffentlichen Teil mit Veranstaltungen und in die einzelbetriebliche Beratung auf dem Betrieb.

2.1 Öffentlichkeitsarbeit am Waginger und Tachinger See

In der ersten Jahreshälfte 2010 fanden mehrere kommunale und regionale INTERREG -Informationsveranstaltungen für die Ortsobmänner, Landwirte, Gemeinden und die interessierte Öffentlichkeit am Waginger und Tachinger See statt. Themen waren die Vorstellung des neuen INTERREG IV A Projektes und Informationen zur aktuellen Förderkulisse für den Seenschutz (Bayerisches Kulturlandschaftsprogramm, Bayerisches Vertragsnaturschutzprogramm).

Auf Bestreben der Seeanliegergemeinden am Waginger und Tachinger See wurde gemeinsam mit den Fachbehörden und Bürgergruppen ein „kommunales Seebündnis“ gegründet, mit dem Ziel beim Gewässerschutz fachlich und organisatorisch zusammen zu arbeiten und sich über neue Entwicklungen gegenseitig zu informieren.

Mitte 2010 folgte eine Fachveranstaltung zur Frage der Wirksamkeit von Rückhaltebecken unter Leitung des Wasserwirtschaftsamtes Traunstein. 2011 wurde das Konzept von dem Amt für Ländliche Entwicklung und der bbv-Landsiedlung (Tochterunternehmen des Bayerischen Bauernverbandes) zur Umsetzung von Rückhalteflächen im Rottal mit dem neu gegründeten „kommunalen Seebündnis“ besichtigt. Planung und Umsetzung eines kommunalen Konzepts für Rückhalteflächen erfolgen seit Oktober 2012 auf Initiative der Gemeinden unter Regie von dem Amt für Ländliche Entwicklung und der bbv-Landsiedlung im Rahmen eines offiziellen Flurneuerungsverfahrens „Waginger-Tachinger See“, in Zusammenarbeit mit den Ministerien und unter Einbindung der Fachbehörden.

In Zusammenarbeit mit den Gemeinden wurde ein Vortrag zum Aufbau einer regionalen Weidefleischmarke als Impuls für eine gewässerschonende Beweidung am See unterstützt. Das Projekt „Pinzgauer Weiderind“ wird seit 2010 durch eine Waginger Metzgerei aktiv vorangetrieben. Alle Landwirte aus dem Einzugsgebiet wurden zum Seminar „Kurzasenweide“ des Fachzentrums Milchvieh eingeladen und konnten sich nochmals beim Ökofeldtag im Juni 2012 zum Thema Kurzasenweide informieren.

Im ökologischen Landbau besteht eine Tendenz zu einem niedrigeren Niveau der Phosphatkreisläufe im Betrieb, u.a. durch einen im Schnitt niedrigeren GV-Besatz pro Hektar, weniger Zukauf phosphorreicher Futtermittel, den Wegfall leicht löslicher mineralischer Phosphatdünger und weniger Maisanbau (mit hohem Phosphatbedarf) auf Ackerflächen. Der ökologische Landbau ist deshalb unter dem Aspekt des Seenschutzes zu begrüßen. In Gebietsnähe sind Molkereien als Abnehmer für Biomilch verfügbar. Zwei Veranstaltungen zum ökologischen Landbau und zum Biomilchmarkt sowie ein praxisnaher Feldtag informierten deshalb die Landwirte im Einzugsgebiet zum Aspekt „Seenschutz durch Ökolandbau“. Die Maßnahmen wurden durch einen Arbeitskreis „Seenschutz durch Ökolandbau“ am Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Traunstein, in den auch die Landesanstalt für Landwirtschaft eingebunden war, unterstützt.

Einer der Höhepunkte war der Bericht zweier Referenten vom Sempacher See aus dem Kanton Luzern (Schweiz), einem landwirtschaftlich sehr intensiv bewirtschafteten Gebiet mit einem Schnitt von 2,7 GV/ha, die deutliche Fortschritte bei der Verringerung des Phosphateintrags in einem Zeitraum von 8-10 Jahren erzielen konnten. Basis dafür ist die Teilnahme von inzwischen ca. 70% der Landwirte im Einzugsgebiet des Sempacher Sees an einem freiwilligen regionalen Seenprogramm, das auf einer negativen Hof-Tor-Bilanz für Phosphat und einzelbetrieblich angepassten Extensivierungsmaßnahmen beruht.

Zur Unterstützung der guten landwirtschaftlichen Praxis und einer abgestimmten Düngeplanung, veranstaltete „Gewässer-Zukunft“ einen Informationstag zum Thema „Grünlandsanierung und Grünlanderneuerung“. Dabei wurde deutlich, dass es durch Fehleinschätzungen bei der eigenen Ertragssituation auf dem Grünland zu deutlichen Abweichungen vom empfohlenen Düngenniveau kommen kann, die zu einem erhöhten Phosphateintrag in Drainagen beitragen können. An einem Feldtag mit dem Schwerpunkt „Bodenfruchtbarkeit und bodenschonende Anbauverfahren“ informierten sich die teilnehmenden Landwirte über erosionsmindernde Mulchsaattechniken und die Pflege des Bodenlebens, insbesondere über die Regenwurmaktivitäten.

An alle Landwirte im Einzugsgebiet wurden Fachinformationen verschickt, darunter das Beratungsblatt zur „guten fachlichen Praxis“ beim Seenschutz, Informationen zur ordnungsgemäßen Lagerung von Wirtschaftsdünger und Silage u.a.m., die auch auf der Internetseite zur Verfügung gestellt wurden. Das INTERREG-Team stimmte sich in mehreren Gesprächen und Treffen mit den Obmännern des Bayerischen Bauernverbandes inhaltlich ab. Die Broschüre „Seenschutzmaßnahmen am Waginger und Tachinger See“ wird bis Projektende ins Internet gestellt.

Die Öffentlichkeit wurde zum Stand des Projektes über Internet, Presse, am Weltwassertag und in Fachveranstaltungen u.a. am Heffterhof in Salzburg informiert. Höhepunkt war das „Umweltökologische Symposium“ zum Thema Gewässerschutz am Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein gemeinsam mit den österreichischen Projektpartnern und Fachpublikum im März 2012. Die Verwaltung und Einpflege aktueller Themen auf der Internetseite wurde vom Projektteam übernommen. Die Internetseite steht nach Projektende noch eine begrenzte Zeit unter www.gewaesser-zukunft.eu zur Verfügung.

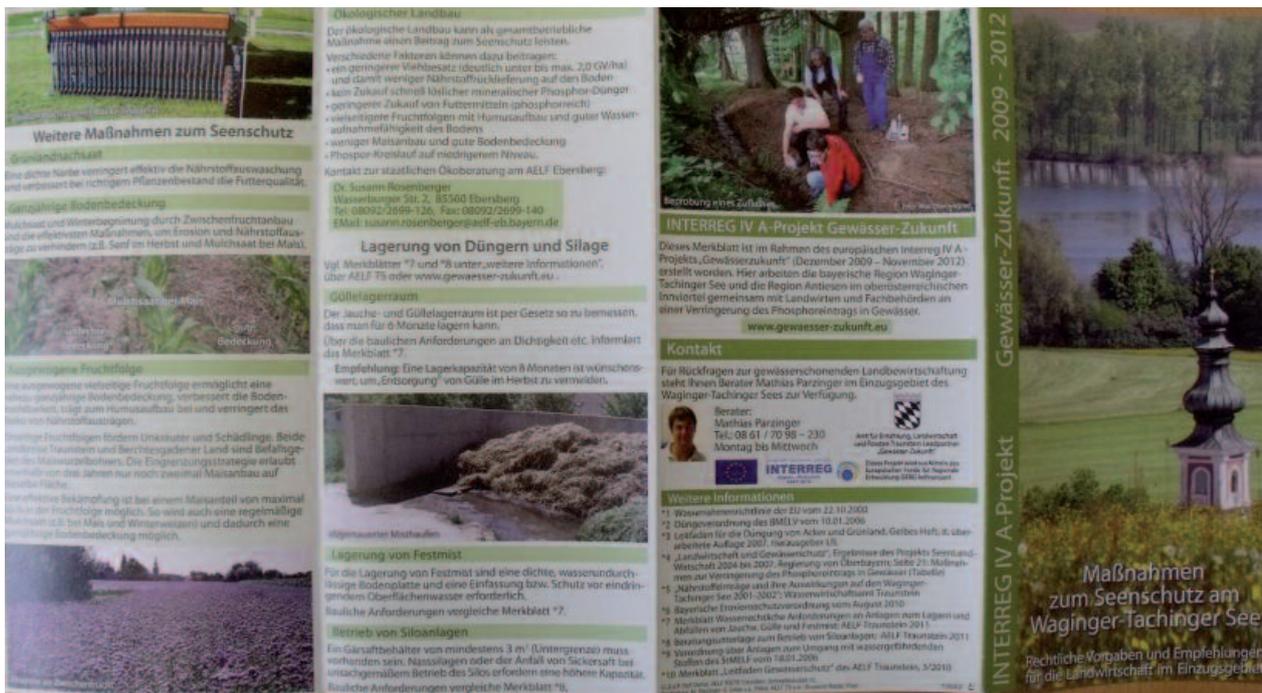


Abb. 2: Beraterbroschüre: Maßnahmen zum Seenschutz

2.2 Einzelbetriebliche Beratung

Mittels Betriebslisten und dem Landwirtschaftlichen Flächen Informations System (EDV-Programm LaFIS) wurden die landwirtschaftlichen Betriebe in den fünf Anliegergemeinden (Kirchanschöring, Petting, Taching, Waging und Wonneberg) ermittelt, die im Einzugsgebiet des Waginger oder Tachinger Sees liegen. In Summe waren das rund 400 Betriebe. Erst im Laufe des Projektes wurden zusätzlich die Gemeinden bzw. Gemeindeteile Fridolfing, Surberg und Rückstetten im Einzugsgebiet erfasst und zur Beratung mit aufgenommen. Somit erhöhte sich die Anzahl der Betriebe mit Flächen im Einzugsgebiet auf insgesamt 440.

Nach den öffentlichen Auftaktveranstaltungen wurden Landwirte im Einzugsgebiet schrittweise angeschrieben und auf das persönliche Beratungsangebot durch den landwirtschaftlichen Berater aufmerksam gemacht. In der Summe wurden 303 Betriebe angeschrieben, wobei sich bis Mitte August 2012 142 (47%) für eine persönliche Beratung entschieden haben (Abb. 1).

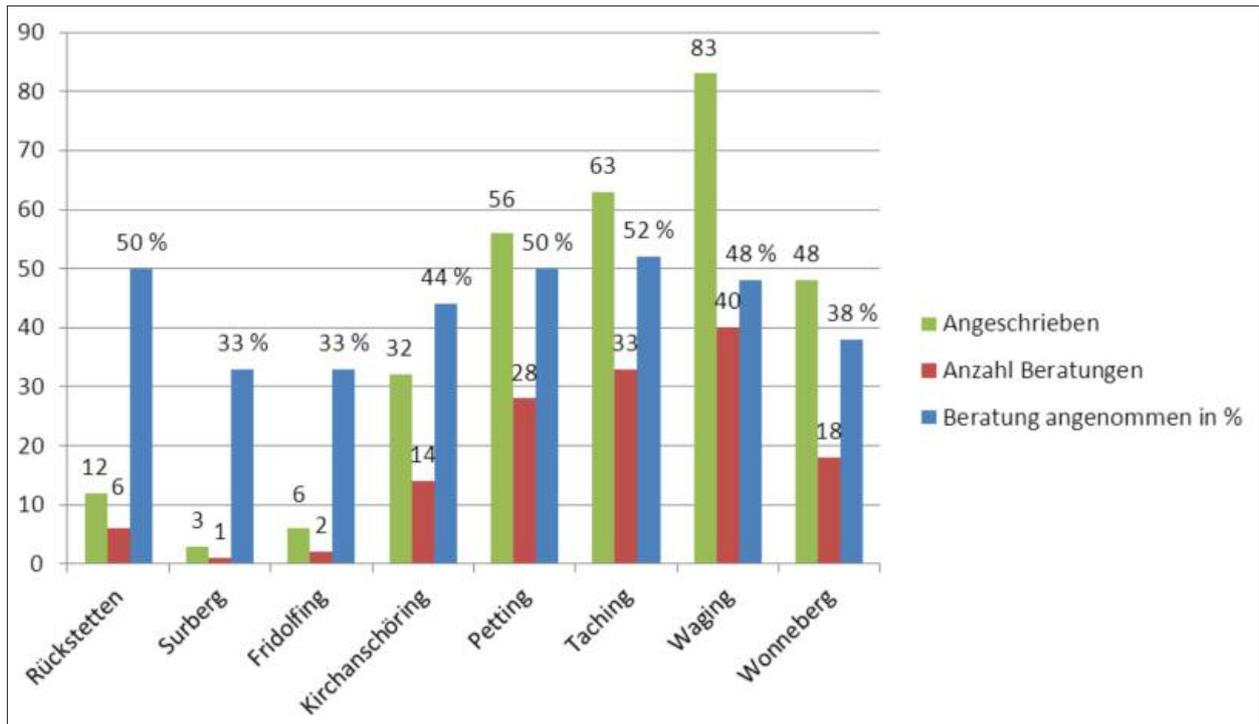


Abb. 1: Beratungsangebot und die Annahme einer Beratung im Einzugsgebiet der beiden Seen, gegliedert nach den Gemeinden bzw. Gemeindeteile

Als Vorbereitung für die betriebsindividuelle Beratung dienten eine Checkliste für Beratungsschwerpunkte, die Anbaustatistik und ein Flächenausdruck des Betriebes.

Wesentliche Beratungsinhalte auf dem Betrieb waren:

- Fördermöglichkeiten über das bayerische Kulturlandschaftsprogramm (KulaP) zum Gewässerschutz
- Hinweise zur Düngeverordnung/Cross Compliance
- Durchsicht der Nährstoffbilanz und der Bodenuntersuchung
- Düngeplanung basierend auf der Nährstoffbilanz und den Bodenuntersuchungsergebnissen
- Richtiger Umgang mit der Gülle und Berechnung von Güllelagerraum
- Erosionsschutz und Fruchtfolgeanbau
- Grünlandbewertung und Kurzrasenweide
- Gefährdungskarte zum Phosphoraustrag (aus Vorgängerprojekt INTERREG III A)
- Informationen zur Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung
- Betriebsrundgang mit Ansicht von Mistlagerstätte und Silagesickersaftbehälter

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Bayerisches Kulturlandschaftsprogramm

Über das bayerische Kulturlandschaftsprogramm „KulaP“ kann jeder Landwirt einen wesentlichen Beitrag zum Gewässerschutz leisten und wird für einzelne Umweltleistungen finanziell entschädigt.

Die folgende Tabelle 2 gibt wieder, für wie viele Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche der fünf Anliegergemeinden das KulaP beantragt wurde. Die Zahlen beziehen sich nicht auf das Einzugsgebiet (~ 7.200 ha LN), sondern auf die gesamte Gemeindeflächen (~ 8.640 ha LN). In Petting beträgt der Anteil der Fläche des Einzugsgebiets ca. 33% der LN der Gemeindefläche, in Kirchanschörling ca. 25%; in den drei übrigen Gemeinden stimmen LN pro Gemeindefläche und Einzugsgebiet weitgehend überein.

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, wurden für ca. 1.800 ha und damit für ca. 21% der LN aller fünf Gemeinden eine Extensivierung nach KulaP im Jahr 2012 ausbezahlt:

Tab. 2: KulaP-Fläche im Auszahlungsjahr 2012 der fünf Anliegergemeinden im Einzugsgebiet der beiden Seen mit insgesamt 1794,50 ha.

	Bezeichnung	Fläche
A11	Ökologischer Landbau im Gesamtbetrieb	704,35 ha
A21	Umweltorientierte Dauergrünlandnutzung	182,98 ha
A22	Grünland extensivieren, Mineraldünger Verzicht, 1,76 GV/ha HFF	359,89 ha
A23	Grünland extensivieren, Mineraldünger Verzicht, 1,40 GV/ha HFF	318,64 ha
A24	Verzicht auf jegl. Düngung und Pflanzenschutz auf einzelnen Grünlandflächen	63,87 ha
A29	Agrarökologische Grünlandnutzung auf einzelnen Grünlandflächen	2,50 ha
A32	Winterbegrünung	123,05 ha
A33	Mulchsaat	0,00 ha
A34	Umwandlung von Acker in Grünland	15,34 ha
A35	Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz	8,23 ha
A36	Agrarökologische Ackernutzung	15,65 ha

Wurde im Jahr 2010 noch mehr Fläche beantragt als im Schnitt der Jahre 2007 bis 2012, so ist die Bereitschaft für Neuabschlüsse in den Jahren 2011 und 2012 gesunken. Hauptgründe dafür sind unter anderem der Wegfall einiger Programmpunkte und die Senkung der Vergütung.

Wie in der Tabelle 3 zu erkennen ist, wurden im Schnitt der Jahre 2007 bis 2012 299 ha pro Jahr im KulaP neu beantragt. Das Jahr 2010 war mit 370 ha Neuanträgen (Tab. 4) ein Jahr mit überdurchschnittlich hoher Beantragung des Kulturlandschaftsprogrammes.

Tab. 3: Neu beantragte KuLaP-Fläche im Schnitt der Jahre 2007 bis 2012 in Hektar

Maßnahme	A11	A21	A22	A23	A24	A29	A32	A34	A35	A36	Gesamt
Fläche Auszahlungsjahr 2012	704,35	182,98	359,89	318,64	63,87	2,50	123,05	15,34	8,23	15,65	1794,50
Schnitt pro Jahr	117,39	30,50	59,98	53,11	10,65	0,42	20,51	2,56	1,37	2,61	299,08

Nach der Tabelle 4 sind die Neuabschlüsse im Jahr 2011 um 78% der Fläche gegenüber dem Jahr 2010 gesunken.

Tab. 4: Rückgang der KulaP-Neuabschlüsse im Jahr 2011 zu 2010

Maßnahme	A11	A21	A22	A23	A24	A29	A32	A34	A35	A36	Gesamt
Fläche 2010 in ha	159,40	46,60	31,50	52,03	4,24	1,81	47,60	16,31	0,52	10,65	370,66
▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Fläche 2011 in ha	8,27	0,00	46,83	4,37	1,27	0,00	18,62	3,14	0,18	0,00	82,68
▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Veränderung zu 2010	-151,13	-46,60	15,33	-47,66	-2,97	-1,81	-28,98	-13,17	-0,34	-10,65	-287,98
Veränderung in %	-94,8	-100,0	48,7	-91,6	-70,0	-100,0	-60,9	-80,7	-65,4	-100,0	-77,7

Im Jahr 2012 mussten bis auf

- „Ökologischer Landbau“ im Gesamtbetrieb
- „Winterbegrünung“
- „Mulchsaatverfahren“
- „Umwandlung von Ackerland in Grünland“ und
- „Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz“

die restlichen Förderprogrammpunkte ausgesetzt werden. Dadurch reduzierte sich die Antragsfläche um weitere 11% zum Jahr 2011 (um 76% gegenüber dem Schnitt der Jahre 2007 bis 2012) im Einzugsgebiet.

Tab. 5: Rückgang der KulaP-Neuabschlüsse im Jahr 2012 zu 2011

Maßnahme	A11	A21	A22	A23	A24	A29	A32	A34	A35	A36	Gesamt
Fläche 2011 in ha	8,27	0,00	46,83	4,37	1,27	0,00	18,62	3,14	0,18	0,00	82,68
▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Fläche 2012 in ha	69,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,17	0,25	0,00	73,26
▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Veränderung zu 2011	61,57	0,00	-46,83	-4,37	-1,27	0,00	-18,62	0,03	0,07	0,00	-9,42
Veränderung in %	744,5		-100,0	-100,0	-100,0		-100,0	1,0	38,9		-11,39

Tab. 6: Rückgang der KulaP-Neuabschlüsse im Jahr 2012 zum Schnitt

Maßnahme	A11	A21	A22	A23	A24	A29	A32	A34	A35	A36	Gesamt
Fläche Auszahlung 2012	704,35	182,98	359,89	318,64	63,87	2,50	123,05	15,34	8,23	15,65	1794,50
Schnitt pro Jahr in ha	117,39	30,50	59,98	53,11	10,65	0,42	20,51	2,56	1,37	2,61	299,08
Fläche 2012 in ha	69,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,17	0,25	0,00	73,26
	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Veränderung zum Schnitt	-47,55	-30,5	-59,98	-53,11	-10,65	-0,42	-20,51	0,61	-1,12	-2,61	-225,82
Veränderung in % zum Ø	-40,5	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	24,0	-81,8	-100,0	-75,5

Eine schriftliche Umfrage bei den beratenen Betrieben ergab, dass sieben von 58 Betriebsleiter (12%) aufgrund der Beratung eine KulaP-Maßnahme beantragt haben.

Diskussion:

Im Einzugsgebiet der beiden Seen sollte das Ziel sein, 100% der Ackerfläche in die beiden Maßnahmen Winterbegrünung oder Mulchsaat zu bekommen, da die Erosion mit 12% (LÖSCHENBRAND et al. 2007) einen nicht unerheblichen Anteil am Eintrag in die beiden Seen leistet. Mit einer ganzjährigen Bodenbedeckung kann man dieser Erosion gut entgegenwirken. Außerdem werden die Bodenfruchtbarkeit, der Humusaufbau und die Wasseraufnahmefähigkeit durch die Ansaat von Zwischenfrüchten gefördert. Bei geneigten Flächen mit Anschluss an einen Bach oder Graben ist eine Umwandlung von Ackerland in Grünland empfehlenswert, um Erosionen bei frisch gesäten Kulturen zu verhindern. Wird nicht in Grünland umgewandelt, sollte wenigstens ein ungedüngter Gewässerrandstreifen von 10 – 30 m angestrebt werden, um eine mögliche Erosion abzubremsen.

Es muss das Ziel sein, trotz steigendem Flächendruck für freiwillige gewässerrelevante Maßnahmen wie eingeschränkte Düngung, Winterbegrünung, Mulchsaat oder Umwandlung von Ackerland in Grünland an besonders gefährdeten Flächen, die Betriebsleiter weiterhin für das KulaP als Extensivierungsprogramm zu gewinnen.

Im Einzugsgebiet des Waginger und Tachinger Sees wurde im Jahr 2012 mit 704 ha insgesamt 9,8% der Fläche im Einzugsgebiet über KulaP beantragt und ökologisch bewirtschaftet. Der ökologische Landbau wird zum Vergleich im Landkreis Traunstein mit 11,9% der beantragten Fläche und im Landkreis Berchtesgadener Land mit 10,6% der beantragten Fläche über KulaP gefördert.

3.2 Düngeverordnung

Einen wesentlichen Anteil der Beratung nahmen die Hinweise zur Düngeverordnung (DüVO) ein. Die Einhaltung der Bestimmungen in der Düngeverordnung wie z.B. zu den Themen:

- „Düngesperrfristen“
- „Bodenuntersuchung“
- „Aufnahmefähigkeit des Bodens“
- „Einarbeitung flüssiger Wirtschaftsdünger auf Ackerland“ und
- „Düngungsabstand zu Oberflächengewässern“

ist Voraussetzung für einen erfolgreichen Gewässerschutz.

Die Düngesperrfrist dient dazu, in der vegetationslosen Zeit keine Nährstoffe auf landwirtschaftliche Flächen auszubringen, da diese von den Pflanzen nicht aufgenommen werden können.

Anhand der Bodenuntersuchung wird die Düngung an die entsprechende Bodenversorgung im Oberboden angepasst.

Die Aufnahmefähigkeit des Bodens erfordert, dass bei wassergesättigten, gefrorenen oder mehr als 5 cm schneebedeckten Böden keine Dünger mit wesentlichen Nährstoffgehalten an Stickstoff oder Phosphat ausgebracht werden, um Abschwemmung zu vermeiden.

Flüssiger Wirtschaftsdünger auf unbestelltem Ackerland muss unverzüglich, in der Regel spätestens aber 4 Stunden nach der Ausbringung eingearbeitet werden.

Der Düngungsabstand zu Oberflächengewässern soll verhindern, dass Nährstoffe direkt in ein Gewässer

geraten. Bei hängigen Flächen besteht die Gefahr, dass ein Pufferstreifen von 3 m Breite nicht ausreicht, um bei möglichen Regenereignissen nach der Ausbringung, Abschwemmungen in das Gewässer zu verhindern.

Zum Großteil wird die Düngeverordnung auf den Betrieben eingehalten, jedoch gibt es immer wieder gerechtfertigte Anzeigen wegen Verstößen gegen die Verordnung. Vor allem im Frühjahr nach Ende der Güllesperrfrist kommt es häufig zu Verstößen bei der Gülleausbringung auf wassergesättigten, gefrorenen oder mit mehr als 5 cm schneebedeckten Böden. Verstöße gibt es auch gegen die Einarbeitungspflicht von flüssigem Wirtschaftsdünger nach der Ausbringung auf unbestelltem Acker.

Diskussion:

Sind die gesetzlichen Maßnahmen ausreichend?

Die höchsten Phosphat-Abflüsse sind in den Wintermonaten und im März wegen der Schneeschmelze (BUCHMEIER 2007). Demzufolge sollten in diesen Monaten (Oktober bis März) keine Düngemittel mit wesentlichen Gehalten an Stickstoff und Phosphat ausgebracht werden. Die Sperrfrist ist auf Acker aber nur bis 31. Januar und auf Grünland, bei Verschiebung, bis 15. Februar gültig. Daher ist zu empfehlen, bei gewässernahen oder besonders gefährdeten Einzelflächen nach der Karte von LÖSCHENBRAND et al. (2007) die Düngung bis Ende März auszusetzen. Eine Ernteeinbuße beim Grünlandaufwuchs kann bei optimalem Düngemanagement und sehr guter Bestandsführung vermieden werden.

Jeder einzelne Betriebsleiter kann einen freiwilligen Beitrag zum Seenschutz leisten, zum Beispiel mit der Einhaltung eines größeren Abstandes zu Gewässern bei der Gülleausbringung oder mit der Einrichtung von Pufferstreifen. Ein von den Gemeinden angestoßenes Projekt im Rahmen der Gewässerentwicklungspläne, das den Landwirten eine Entschädigung für größere Pufferstreifen zu Gewässern ermöglichen könnte, wurde aus verschiedenen Gründen noch nicht umgesetzt.

Bodennahe Gülleausbringungstechnik kann eine Phosphatauswaschung und -abschwemmung vermindern. Der Einsatz des Schleppschlauchs im Gebiet ist nach Wegfall der früheren Förderung eher rückläufig. Der Einsatz bodennaher Techniken zur Gülleausbringung, auch über Maschinengemeinschaften, bleibt ein wichtiges Beratungsthema für die Zukunft.

3.3 Nährstoffbilanz und Bodenuntersuchung

Ziel der Nährstoffbilanz ist es, einen Überblick über die dem Betrieb zugeführten bzw. abgeführten Nährstoffe zu gewinnen. Bewegt sich die Bilanz innerhalb bestimmter Grenzen, sind gravierende Fehler bei der Düngung in der Regel nicht zu erwarten, sofern bei Phosphat und Kali die Nährstoffversorgung der Böden im optimalen Bereich liegt. Hohe Bilanzüberschüsse weisen auf eine Nährstoffanreicherung oder vermeidbare Nährstoffverluste der Böden hin. Nach der Düngeverordnung sind die Nährstoffvergleiche als Flächenbilanz zu einem mehrjährigen Nährstoffvergleich auf Feld-Stall-Basis jedes Jahr, spätestens bis 31. März, zusammenzuführen (WENDLAND et al. 2007).

Die Feld-Stall-Bilanz im Futterbaubetrieb lässt weniger belastbare Rückschlüsse auf die Bewirtschaftung zu als die frühere Hof-Tor-Bilanz. Hauptgrund dafür ist, dass der Nährstoffinput über phosphorreiches Kraft- und Mineralfutter nicht berücksichtigt wird. Vorgeschriebene Grenzwerte in der Feld-Stall-Bilanz:

Im Schnitt der letzten **drei Düngerjahre** darf der Stickstoffüberhang **60 kg/ha** nicht überschreiten.

Im Schnitt der letzten **sechs Düngerjahre** darf der Phosphatüberhang **20 kg/ha** nicht überschreiten.

Bei 72% der befragten Landwirte befand sich der Phosphat-Saldo im Minus, d.h. es wird den Kulturen weniger an Phosphatnährstoffen zugeführt, als sie brauchen. Die Bodenversorgung von pflanzenverfügbarem Phosphat wird bei der Bilanzierung jedoch nicht berücksichtigt.

Um die Nährstoffbilanz richtig bewerten zu können, muss die Bodenuntersuchung mit einbezogen werden. Die Bodenuntersuchung gibt Aufschluss über pflanzenverfügbare Nährstoffmengen, sowie den pH-Wert des Bodens im Hauptwurzelbereich. Sie stellt eine wesentliche Grundlage der Düngebedarfsermittlung dar. Die Phosphatgehalte im Boden sind kurzfristig nur wenig veränderbare Größen mit geringer jahreszeitlicher Variation. Auf sehr nährstoffreichen Böden können, durch Verringerung bzw. zeitweiliges Aussetzen der Düngung, die Nährstoffvorräte genutzt und gleichzeitig Kosten gespart werden (WENDLAND et al. 2007). In der Bodenuntersuchung wird mit Hilfe der Calcium-Azetat-Lactat- (CAL-) Methode das pflanzenverfügbare Phosphat extrahiert.

Entscheidend beim Phosphat-Vorrat im Boden ist die Löslichkeit des Nährstoffes. Im Boden kommt Phosphat vorrangig als Calcium-, Eisen- oder Aluminiumphosphat sowie in organischen Verbindungen (Humus) vor. Diese spielen für die Pflanzenernährung eine große Rolle. Die Bindungskraft für Phosphate im Boden hängt stark vom gelösten Anteil an Eisen-, Aluminium- sowie Calciumoxiden ab, damit hängt die Phosphatlöslichkeit vom pH-Wert des Bodens ab. Auf sauren Böden bilden sich stabile und schwer lösliche Eisen- und Aluminiumphosphate, auf alkalischen Böden hingegen stabile Calciumphosphate. Auf sauren Böden sollte eine Kalkung erfolgen, um die Phosphat-Verfügbarkeit der Eisen- und Aluminiumphosphate zu erhöhen. Auf alkalischen Böden wird, mit Einsatz von sauer wirkenden Düngemitteln, die Verfügbarkeit von Calciumphosphaten erhöht.

Bei einer hohen Bodenversorgung mit Phosphat sollte im Einzugsgebiet unbedingt eine negative Phosphatbilanz angestrebt werden. Bei den untersuchten Flächen, die hoch mit Phosphat versorgt sind, weisen nur 20% eine negative Phosphatbilanz auf. Parallel dazu darf in der Bilanz ein positiver Phosphatwert stehen, wenn eine niedrige Bodenversorgung gegenübersteht, um auf einen optimal versorgten Boden zu kommen, dies geschieht bei 3% der Fläche.

Der Düngbedarf mit empfohlenen Zu- und Abschlägen auf der Basis der ermittelten Gehaltsstufe des Ackerbodens und des Grünlandes ist im Gelben Heft auf Seite 36 (Acker) und Seite 69 (Grünland) (WENDLAND et al. 2007) nachzulesen.

Die Bodenuntersuchungsergebnisse einiger zufällig ausgewählter Teileinzugsgebiete zeigten auf, dass bei Ackerland 49% der Fläche im „optimalen“ Bereich liegt, aber zusammen über 40% im „hohen“ bis „sehr hohen“ Bereich angesiedelt ist. In diesen Fällen sollte man bei der Düngplanung besonders darauf achten, die hohe Bodenversorgung langfristig zu senken.

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der BU-Ergebnisse ausgewählter Flächen einiger Teileinzugsgebiete auf. Diese decken sich tendenziell mit den Ergebnissen aus dem Vorgängerprojekt INTERREG III A „SeenLand-Wirtschaft“. In beiden Projekten wurden zufällig ausgewählte Betriebe befragt. Es wurden im Jahr 2012 95 Betriebe mit insgesamt 689 Feldstücken ausgewertet. Das ergab eine Gesamtfläche von 1.859 ha (rund 26% des Einzugsgebiets). Die Ergebnisse aus dem jetzigen und dem Vorgängerprojekt liegen bei dieser Methode im natürlichen Schwankungsbereich (die Stichprobe war nicht repräsentativ). Es kann nicht gefolgert werden, dass die Bodenversorgung in den letzten fünf Jahren zurückgegangen ist. Die Daten zeigen, dass nach wie vor ein erheblicher Anteil der Böden zu hoch mit Phosphat versorgt ist.

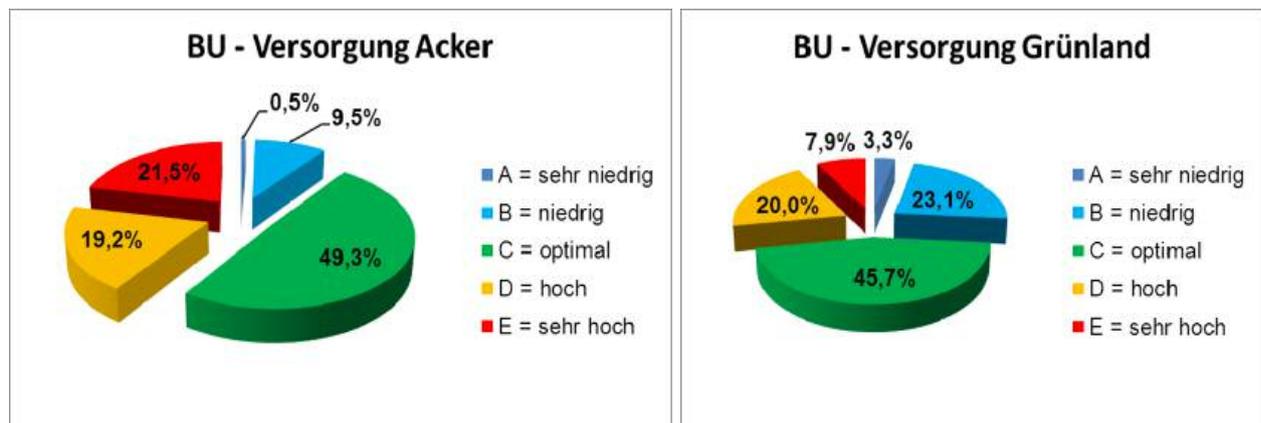


Abb. 2: Verteilung der P_2O_5 Bodenversorgung. In die eigene Auswertung flossen 689 Feldstücke von 95 verschiedenen Betrieben im Einzugsgebiet des Waginger und Tachinger Sees mit einer Gesamtfläche von 1.859 ha (586 ha bei Ackerland, 1.273 ha bei Grünland)

Diskussion:

Eine genaue Aussage zum Phosphatkreislauf im Betrieb kann nur mit einer Hof-Tor-Bilanz getroffen werden. Diese Bilanz muss mit dem Ergebnis der Bodenuntersuchung abgestimmt werden. Ziel muss es sein, „hohe“ und „sehr hohe“ Phosphatversorgungen in der Bodenuntersuchung auf „optimal“ zu senken.

Ein ausgeglichener Phosphatkreislauf, ohne Berücksichtigung der Bodenuntersuchung, ist in einem Betrieb theoretisch bei einem Viehbesatz von ca. 2 GV/ha gegeben. Dennoch haben wir hohe P-Austräge, weil dabei die hohe Bodenversorgung, die ungleiche Verteilung von Güllemengen im Gebiet (Betriebe von 0-3 GV/ha), austragsgefährdete Standorte und weitere Einflussfaktoren (Futtermittelzukauf, fehlende Hof-Tor-Bilanz,

Biomassezukauf ins Gebiet) nicht berücksichtigt sind. Sofern keine Gülleabnahmeverträge vorhanden sind, kommt es dadurch bei viehstarken Betrieben verstärkt zu Überschüssen bei der Phosphatausbringung, unter Berücksichtigung der Bodenversorgung. Durch die Flächenknappheit im Gebiet besteht eine enorme Nachfrage nach Pachtflächen, die zupachtende Betriebe mit sehr hohen Pachtpreisen belastet. Weitere Aufstockungen des Viehbesatzes und damit eine Erhöhung des Phosphatkreislaufes im Gebiet erschweren die Möglichkeiten, substantielle Verbesserungen für den See zu erreichen.

3.4 Düngeplanung

Ziel der Düngeplanung ist es, unter Berücksichtigung der Bodenuntersuchung und der jeweiligen Kultur die Düngung genau auf den Bedarf der Pflanzen abzustimmen. Nimmt man einen Durchschnittsbetrieb mit 22,5 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche und 1,82 GV/ha, teilt sich die Fläche wie folgt auf:

Tab. 7: Durchschnittlicher Betrieb im Einzugsgebiet des Waginger Sees laut Beratungsaufzeichnungen und Anbaustatistik

Ø Betrieb im Einzugsgebiet	Gesamt:	22,50 ha	
Grünland:	70 % von 22,50 ha	15,70 ha	
Ackerland:	30 % von 22,50 ha	6,80 ha	
davon Getreide:	29 % von 6,75 ha	2,00 ha	
davon Mais:	53 % von 6,75 ha	3,60 ha	
davon Ackerfutter (Klee, Weidelgras):	18 % von 6,75 ha	1,20 ha	

Viehbestand der größten Gemeinden im Einzugsgebiet:

Tab. 8: Viehbestand im Jahr 2011 der fünf Anliegergemeinden und die Anzahl der Betriebe bei bestimmten GV-Grenzen

	Kirchanschöring	Petting	Taching	Waging	Wonneberg	Gesamt
Ø GV/ha	2,03	1,96	1,69	1,74	1,55	1,80
Betriebe mit						
>2,0 GV/ha	17	26	26	40	18	127 (32%)
>2,5 GV/ha						20 (5%)

Im Einzugsgebiet befinden sich 20 Betriebe, die einen Viehbestand von über 2,5 GV/ha aufweisen und im Schnitt bei 3,06 GV/ha liegen. Dadurch scheiden diese Tiere bei 28 m³ Gülleanfall mit 1,25 kg/m³ Phosphat insgesamt 2.410 kg Phosphat pro Betrieb und Jahr aus. Rechnet man bei den Früchten mit durchschnittlichen Erträgen, benötigen diese 2113 kg Phosphat. Das ergibt einen Überhang von 297 kg Phosphat, bzw. 129 kg rein Phosphor, pro Betrieb. Bei 20 Betrieben sind das 2.589 kg Phosphor. Bezieht man den Nährstoffbedarf der Früchte auf die durchschnittliche Bodenuntersuchung im Gebiet und der Düngeempfehlung aus dem Gelben Heft (WENDLAND et al. 2007), beläuft sich der Überschuss auf 282 kg Phosphor pro Betrieb, bzw. 5.648 kg bei 20 Betrieben pro Jahr.

Das hohe Nährstoffaufkommen stellt die Betriebe vor hohe Herausforderungen, z.B. können solche Betriebe über Gülleabnahmeverträge diesem hohen Nährstoffanfall entgegenreten. Es gibt aber auch Betriebe mit hohem Viehbesatz, die niedrige Bodenversorgungen bei Phosphat aufweisen.

Wie in der Tabelle 8 zu erkennen ist, liegen 32% der Betriebe über einem GV-Besatz von 2,0 GV/ha. Diese Betriebe müssen sehr vorsichtig mit ihrer anfallenden Gülle auf der Fläche umgehen, damit keine Phosphatanreicherung bzw. Phosphatauswaschung und -abschwemmung erfolgt.

In der einzelbetrieblichen Beratung wurde, aufbauend auf den beiden Instrumenten Bilanz und Bodenuntersuchung, eine optimale Düngeplanung für jede Kultur erstellt. Besonders bei Silomais fiel auf, dass die Düngung von Phosphat oft zu hoch angesiedelt war. Gründe dafür waren hohe Bodenversorgungen (Abb. 2) und eine ungünstige Wahl des Düngemittels, wie z.B. bei Einsatz von NP-Dünger 18/46 mit 46 kg Phosphatanteil pro dt Mineraldünger.

Eine durchschnittliche Maisdüngung geschieht in diesem Gebiet meist mit einer Güllegabe von 30 m³/ha mit 1,25 kg/m³ Phosphat vor der Saat und mit 3 dt NP 20/20 Unterfußdüngung zur Saat. Das ergibt eine Gesamtdüngung von 98 kg/ha Phosphat pro ha. Bezogen auf die durchschnittlichen Versorgungsstufen im Ein-

zugsgebiet, ist das ein Überschuss von 23 kg/ha Phosphat. Das entspricht, bei einem Maisanbau von 1.348 ha in den fünf Anliegergemeinden, 31 t Phosphat oder knapp 14 t rein Phosphor. Wobei das Einzugsgebiet der beiden Seen etwas kleiner ist als die gesamte Gemeindegemeindebaufläche.

Die Zahlen zur Düngung beruhen auf Erfahrung und können einzelbetrieblich stark schwanken.

Diskussion:

Jeder Betriebsleiter sollte für jede Frucht und die gesamte Betriebsfläche vor der Vegetationszeit eine Düngungsplanung, unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodenuntersuchung und Güllegabe, erstellen. Dies bringt Planungssicherheit, Kosteneinsparung und einen Beitrag zum Gewässerschutz.

Nach neueren Erkenntnissen sind der Sättigungsgrad und die Speicherkapazität an Phosphat im Boden stark vom Bodentyp abhängig. Staunasse oder wechselfeuchte Böden wie Gleye weisen zum Teil einen erhöhten Sättigungsgrad auf und sind durch eine niedrige Speicherkapazität stark von Auswaschungen betroffen (vgl. Bericht Wasserwirtschaftsamt Traunstein). Vor allem auf drainierten Flächen ist daher auf diesen Böden eine besondere Vorsicht bei der Düngung zu empfehlen, bis hin zur Herausnahme aus der Produktion.

3.5 Gülle und Lagerraum

Der wichtigste und wertvollste Dünger in diesem Gebiet ist die Gülle. Bei einem durchschnittlichen Betrieb mit 22,5 ha und einem Bestand von 1,82 GV/ha ergibt das bei einem Güllewert von 8,01 €/m³ einen Gesamtwert von knapp 9.200 €/Jahr. Der Güllewert errechnet sich aus den verfügbaren Inhaltsstoffen der Gülle bezogen auf die Mineraldüngerpreise (Preise April 2012).

Die in den organischen Düngern enthaltenen Phosphat- und Kaliummengen sind in ihrer Wirkung langfristig denen der mineralischen Dünger gleichwertig und somit bei der Düngungsplanung voll anzurechnen. Viehstarke Betriebe mit hohem Futtermittelzukauf weisen in der Regel einen Phosphat Überhang auf, langfristig ist in diesen Betrieben ohne Abgang organischer Dünger mit einer Phosphat Überdüngung zu rechnen. Diese Betriebe sollten völlig auf die mineralische Phosphat Düngung verzichten. Ähnliches gilt für Biogasbetriebe mit hohem Zukauf an Produkten zur Biogasvergärung (WENDLAND et al. 2007).

Um das Risiko von Abschwemmung von Gülle zu minimieren, soll diese

- gut verdünnt und homogenisiert sein, damit die Pflanzen die Nährstoffe besser aufnehmen können
- nicht auf stark geneigten Flächen eingesetzt werden
- allgemein in kleinen Gaben ausgebracht werden
- nicht vor (Stark-)Regenereignissen ausgebracht werden
- mind. 3 m, besser 5-10 m entfernt von der Böschungsoberkante der Bäche und Gräben ausgebracht werden, unterhalb geneigter Flächen in noch größerem Abstand
- innerhalb der Vegetationszeit eingesetzt werden
- auf blanken Ackerflächen unverzüglich eingearbeitet werden.

Diskussion:

Eine optimale Verwertung der Gülle-Nährstoffe hängt wesentlich vom richtigen Ausbringzeitpunkt und damit von ausreichendem Lagerraum ab. In der Regel ist eine Gülleausbringung von Oktober bis Februar (Sperrfrist!) mit hohen Auswaschungs- und Abschwemmungsverlusten verbunden. Um in diesem Zeitraum keine Gülle ausbringen zu müssen, ist grundsätzlich eine Lagerkapazität für mindestens 6 Monate nötig, die durch die Anlagenverordnung – VawS - vorgeschrieben ist.

In 142 Beratungen wurden 28 (→20%) Gülleberechnungen nach LfL-Vorlage erstellt. Insgesamt haben 87% der befragten Landwirte eine Lagermöglichkeit über die 6 Monate hinaus.

Wie in Abschnitt 3.2 bereits erläutert, sollte bei gewässernahen oder gefährdeten Flächen nach der Karte von LÖSCHENBRAND et al. (2007) die Düngung vom Ende der Vegetationsperiode im Oktober bis Ende März ausgesetzt werden. Durch ein optimales Düngemanagement kann auf austragsgefährdeten Flächen bis Ende März ohne Ertragseinbußen auf Gölledüngung verzichtet werden. Auf Grünland und auf Ackerflächen mit Maisanbau ist bei einem optimalen Düngemanagement ab Anfang April nicht zwingend mit einer Ertragsminderung zu rechnen. Bei Anbau von Wintergetreide lässt der Verzicht auf die erste Düngegabe allerdings eine Ertragsminderung erwarten. Nur wenige Landwirte sind bereit, diese Ertragsminderung im Getreide ohne Ausgleichszahlung als freiwillige Leistung für den Gewässerschutz zu erbringen.

3.6 Erosion und Fruchtfolge

Die Erosion übernimmt mit 12% des Phosphateintrags (LÖSCHENBRAND et al. 2007) einen nicht unerheblichen Anteil an der Eutrophierung der beiden Seen. Eine ausgewogene Fruchtfolge ist eine unverzichtbare Voraussetzung für einen langfristig erfolgreichen Ackerbau. Fehler in der Fruchtfolgegestaltung können nur zum Teil durch einen Mehraufwand an Betriebsmitteln ausgeglichen werden.

Mit möglichst vielseitigen Fruchtfolgen:

- wird die Bodenfruchtbarkeit und dadurch die Wasseraufnahmefähigkeit erhöht,
- wird gegen Unkräuter, Krankheiten und Schädlinge verstärkt vorgebeugt,
- werden die Kosten durch verminderten Betriebsmitteleinsatz verringert,
- wird die Umwelt geschont.

Im gesamten Landkreis Traunstein wurden 3.422 ha (11%) in die Erosionsstufe CC-Wasser-1 und 537 ha (1,7%) in die Erosionsstufe CC-Wasser-2 laut Erosionsschutzverordnung (ESchV) eingeteilt. Davon fielen 99 ha (1,4% vom Einzugsgebiet) auf die fünf Anliegergemeinden um den Waginger und Tachinger See.

Bei den Beratungen wurde besprochen, wie die Einteilung der Flächen zustande kam, welche Auflagen bei welcher Einstufung einzuhalten sind und wie man diese Auflagen bestmöglich in die individuelle Betriebsstruktur des landwirtschaftlichen Betriebes einfließen lassen kann.

Erosionsfördernde Faktoren im Einzugsgebiet sind:

- Ackerkultur mit später Bodenbedeckung (Mais)
- Kein Zwischenfruchtanbau
- Ackerschläge in Hanglage
- Strukturschäden und Verdichtungen
- Keine Pufferstreifen zu Gewässern.



Abb. 3: Freiwilliger Randstreifen von ca. 20 m zwischen Graben und Maisfläche

Um die Auflagen der Erosionsschutzverordnung einzuhalten, war bei über 60% der Fälle eine freiwillige oder über KulaP geförderte Winterbegrünung mit folgender Mulchsaat bei Mais die beste Lösung für die Landwirte. In diesem Fall entfällt zwar die Frostgare, aber der Boden ist fast ganzjährig bedeckt und das abgestorbene Material im Frühjahr dient den Bodenlebewesen (bevorzugt Regenwürmer) als Nahrungsquelle. Diese lockern dann gegebenenfalls Verdichtungen und Strukturschäden auf. Bei 36% der betroffenen Landwirte wurde eine direkte Änderung der Fruchtfolge (Anbau von Wintergetreide) bevorzugt, um gleichzeitig der Allgemeinverfügung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zur Bekämpfung des Westlichen Maiswurzelbohrers gerecht zu werden. Das Anbauverhältnis änderte sich in den fünf Anliegergemeinden positiv. Wie in der Tabelle 9 zu erkennen ist, ging der Maisanbau um 11% zurück, wobei die Ackergräser und der Getreideanbau davon profitierten.

Tab. 9: Veränderung der Anbauflächen der fünf Seeanliegergemeinden von 2010 zu 2012

Gemeinden Gesamt						
	Getreide	Mais	Ackerfutter	Gesamt Acker	Grünland	Gesamt LF
2010	697,63 ha	1516,00 ha	375,43 ha	2589,06 ha	6198,47 ha	8787,53 ha
▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
2012	749,34 ha	1348,03 ha	462,64 ha	2560,01 ha	6077,27 ha	8637,28 ha
Veränderung	51,71 ha	-167,97 ha	87,21 ha	-29,05 ha	-121,20 ha	-150,25 ha
Veränderung in %	7,4 %	-11,1 %	23,2 %	-1,1 %	-2,0 %	-1,7 %

Diskussion:

Eine gute Fruchtfolgegestaltung ist ein Grundpfeiler der „guten fachlichen Praxis“. Das Bodenleben und die Bodenfruchtbarkeit werden stark von der Fruchtfolgegestaltung beeinflusst. Dies gilt insbesondere für den Regenwurm, der ein Schlüsselglied in der Lebensgemeinschaft der Bodenfauna darstellt. Vielseitige Fruchtfolgen fördern den Humusaufbau. Der Humus beeinflusst nahezu alle Bodeneigenschaften positiv und hat folgende Funktionen:

- Speichern von Nährstoffen
- Stabilisieren der Bodenstruktur
- Wasser speichern
- Filtern und Puffern von Nährstoffen.

Aufgrund dieser vielfältigen Wirkungen stellt eine standortangepasste optimale Humusversorgung in landwirtschaftlichen Betrieben eine wesentliche Grundlage für nachhaltige Bodenfruchtbarkeit und Ertragssicherung dar.

Im Einzugsgebiet der beiden Seen sollte das bereits erwähnte Ziel sein, 100% der Ackerfläche in die beiden Maßnahmen Winterbegrünung oder Mulchsaat zu bekommen, um die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern und die Erosion zu vermindern.

3.7 Grünlandbewertung und Kurzrasenweide

Der Zustand des Grünlandes war ein weiterer Beratungspunkt, da nur gut geführte Wiesen und Weiden viele Nährstoffe aufnehmen können. Dadurch werden Abschwemmungen und Auswaschungen vermindert. Über die Nachsaat mit entsprechenden Gräsern und der dazugehörigen Technik sowie dem richtigen Zeitpunkt wurde beraten, wobei der Erfolg einer Grünlandnachsaat vom Wetter, der richtigen Düngung und der Bestandspflege abhängt. Ein eigener Grünlandfeldtag mit Fachvorträgen in Weibhausen und anschließender Praxisvorführung in Egerdach informierte rund 120 interessierte Betriebsleiter.

Eine 5-Schnittwiese mit Weidelgras-betonten Bestand und 110 dt/ha Ertrag entzieht laut Gelben Heft 110 kg Phosphat. Dies wird mit 80 m³ Rindergülle in etwa abgedeckt. Wird dagegen eine 5-Schnittwiese mit einem entarteten Bestand und viel Gemeiner Rispe mit 94 dt Ertrag genauso gedüngt, ergibt sich ein Phosphatüberhang von 16 kg je ha. Geht man davon aus, dass 1.000 ha Grünland (1/5 des Einzugsgebiets) in einem verbesserungswürdigen Zustand sind, würde das einen Wert von 16 t Phosphat oder 7 t rein Phosphor ergeben. Würden diese 1.000 ha Grünland verbessert werden, könnte man theoretisch 7 Tonnen Phosphor einsparen.

Diskussion:

Enorm wichtig ist der Grünlandbewuchs zur Aufnahme der ausgebrachten Wirtschaftsdünger. Nur eine dichte Grasnarbe kann viele Nährstoffe aufnehmen und Nährstoffauswaschungen verhindern. Regelmäßige Nachsaaten vermindern das Risiko der Entartung eines Wiesenbestandes. Dadurch kann ein Wiesenbestand mit wertvollen Gräsern und einer dichten Grasnarbe den Ertrag und die Grundfutterleistung erheblich steigern. Eine hohe Grundfutterleistung wiederum mindert den Kraftfuttereinsatz, senkt den Phosphatzugang im Betrieb und kann erhebliche Kosten sparen. Für die Verbesserung ist eine zusätzliche, intensive und kontinuierliche Beratung zwingend nötig.

Die Weide kann in diesem Gebiet durch die gleichmäßige Verteilung der Ausscheidungen im Sommerhalbjahr das Risiko von Nährstoffauswaschungen vermindern, sofern keine Punkteinträge in Gewässer stattfinden (durch richtig ausgeführte Tränkeanlagen). Bei der Kurzrasenweide kommt zusätzlich noch der Vorteil einer dichten Grasnarbe dazu.

3.8 Gefährdungskarte zum Phosphorausstrag

Ein ganz wichtiges Beratungsinstrument war die „Gefährdungskarte zum Phosphorausstrag“ der Limnologischen Station der TU München (bearbeitet von Florian Löschenbrand) aus dem Vorgängerprojekt INTERREG III A „SeenLandWirtschaft“. Die flächenbezogene Phosphorausstragskarte zeigt besonders gefährdete Flächen auf, die am stärksten zum Nährstoffeintrag beitragen und deshalb das höchste Reduktionspotenzial besitzen (LÖSCHENBRAND et al. 2007).

Anhand dieser Karte wurden die Flächen der Landwirte im gemeinsamen Gespräch überprüft und geeignete Maßnahmen zur Minimierung der Auswaschungs-, der Abschwemmungs- und der Erosionsgefahr besprochen. Bei den am höchsten gefährdeten Flächen handelte es sich dabei meist um Ackerflächen in Hanglage. Seit 01.07.2010 gibt es eine Verordnung der bayerischen Staatsregierung, die Bayerische Erosionsschutzverordnung (ESchV), die den Großteil dieser gefährdeten Flächen umfasst und Auflagen zum Pflugeinsatz unterliegen.

Diskussion:

Mit den Daten zur Oberbodenphosphorversorgung (P_{CAL} -Werte) als Durchschnittswert innerhalb der Gemeinde ließen sich Unterschiede innerhalb der Bewirtschaftungseinheiten nur unzureichend auflösen. Das Bilanzierungsvermögen des Modells hängt entscheidend von diesem wichtigen Eingangsfaktor ab (LÖSCHENBRAND et al. 2007). Mit dieser Karte und der vorhandenen Bodenuntersuchung wurde bei der einzelbetrieblichen Beratung gezielt auf die gefährdeten Flächen eingegangen. In der Beratung wurde auf ein optimales Düngemanagement hingewirkt (siehe 3.5). Für besonders gefährdete Flächen bleibt eine Sperrfrist für Düngungsmaßnahmen ab Vegetationsende bis über den März hinaus oder der vollständige Verzicht auf eine Düngung zur Verringerung von Phosphatausträgen empfehlenswert.

3.9 Ökolandbau

Der Ökolandbau ist als gesamtbetriebliche Maßnahme positiv für den Gewässerschutz zu bewerten. Durch den Verzicht auf schnelllösliche Mineraldünger und einen GV-Besatz von im Schnitt deutlich unter 2,0 GV/ha sind weniger Nährstoffe im betrieblichen Kreislauf vorhanden, damit sinkt auch der Gehalt des löslichen Phosphates im Boden. Dadurch passt der ökologische Anbau sehr gut in ein gewässerökologisch sensibles Gebiet wie das um den Waginger und Tachinger See.

Im Einzugsgebiet der beiden Seen ist ein Anteil von 7,25% der Betriebe im Öko-KulaP. Bei der Beratung auf den Betrieben wurden die Vorteile des ökologischen Landbaus mit angesprochen. Bei Interesse wurde an das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Ebersberg mit dem Fachzentrum L3.3 Ökologischer Landbau verwiesen, das für die staatliche Ökoberatung zuständig ist.



Abb. 4: Ökofeldtag am 29.06.2012, Foto: Albrecht

In den Jahren 2010 bis 2012 haben 14 Betriebe aus dem Einzugsgebiet mit 237,51 ha einen KulaP Antrag zum Ökolandbau beantragt.

Am Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Traunstein wurde ein Arbeitskreis eingerichtet, der sich mit der Thematik „Seenschutz durch Ökolandbau“ befasste. Insgesamt wurden drei öffentliche Veranstaltungen durchgeführt.

Diskussion:

In der Regierungserklärung vom 18. April 2012 wird eine Ausweitung der ökologischen Anbaufläche in Bayern angestrebt. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der ökologische Landbau zum konventionellen Landbau konkurrenzfähig und rentabel gestaltet werden.

In der Beratung sollte auf die Vorteile für den Seenschutz verwiesen werden. Viele Landwirte im Einzugsgebiet des Waginger und Tachinger Sees wären bei entsprechenden Rahmenbedingungen bereit, auf ökologische Bewirtschaftung umzustellen. Vor einer Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung muss berücksichtigt werden, ob ggf. notwendige zusätzliche Flächen zur Verfügung stehen, ob eine Molkerei im Gebiet die Milch mit Ökozuschlag abnimmt, welche Investitionskosten auf den Betrieb zukommen und ob die Umstellung des Betriebs insgesamt wirtschaftlich darstellbar ist.

3.10 Betriebsrundgang

Zum Abschluss der Beratung wurde ein Betriebsrundgang durchgeführt und die vorhandenen Mist- und Silagelagerstätten begutachtet. Für die Mistlagerstätten ist laut Anlagenverordnung eine dichte und wasser- und durchlässige Bodenplatte mit kontrolliertem Sickerwasserablauf in Auffangbehälter oder die Güllegrube vorgeschrieben. In Ausnahmefällen darf der Mist in der Flur zwischengelagert werden. Dabei sind folgende Grundsätze einzuhalten:

- Der Austritt von Mistbrühe wird unter und neben dem Zwischenlager verhindert
- Die Zwischenlagerung erfolgt auf landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen
- Der Lagerplatz wird jährlich gewechselt
- Der Lagerplatz liegt außerhalb von Wasserschutz- und Überschwemmungsgebieten
- Die Lagerdauer von 5 Monaten für Festmist wird nicht überschritten
- Ein Abstand von 50 m wird zu oberirdischen Gewässern eingehalten
- Ein Abstand von 20 m wird zu Straßengräben, Vorflutgräben und nicht ständig wasserführenden Gräben eingehalten
- Ein Abfließen von Jauche in ein oberirdisches Gewässer ist ausgeschlossen.



Abb. 5: Vorbildliche Mistlagerstätte dreiseitig eingefasst, mit Ablauf in die Güllegrube

Bei 82% der befragten Betriebe ist eine feste Mistlagerstätte mit kontrolliertem Sickerwasserablauf vorhanden. Die übrigen Betriebe halten, von Einzelfällen abgesehen, weitgehend die Feldflurlagerungsgrundsätze (siehe oben) ein.

Bei Fahrsilos wurde der Silagesickersaftablauf begutachtet und, bei fehlenden Auffangmöglichkeiten, kostengünstige Lösungen erarbeitet. Siloanlagen brauchen als Untergrenze 3 m³ Gärtsaftbehälter. Wenn Silagen über 30% Trockenmasse bereitet werden und eine saubere und ordnungsgemäße Bewirtschaftung der Silos den Anfall von Sickersaft ausschließt, dienen diese 3 m³ rein der Absicherung und müssen tatsächlich gar nicht genutzt werden. Bei Bereitung von Nasssilagen oder Anfall von Sickersaft aufgrund von unsachgemäßem Betrieb der Silos reicht diese Kapazität aber nicht aus. Wenn dann nicht in die Güllegrube abgeleitet werden kann, müssen Behälter gebaut oder gekauft werden, die den entsprechenden strengen Vorschriften genügen. Als Orientierungswert für das Lagervolumen gelten dann 3% des betroffenen Lagerraumes. Ziel der Bewirtschaftung sollte deshalb die Vermeidung von Gärtsaft und vor allem von Sickersaft sein. Damit ist die beste Gewähr für eine umweltverträgliche und kostensparende Futterkonservierung gegeben. Die Silage-Lagerkapazität sollte im Regelfall durch genügend Fahrsiloraum gedeckt sein, bei kleinen Betrieben und für Restmengen kann der Einsatz von Ballensilage eine günstige Alternative darstellen, in Einzelfällen auch der Einsatz eines Folienschlauches. Regelmäßiges Silieren in Behelfssilos sollte nach Möglichkeit vermieden werden (AMT FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN TRAUNSTEIN 2011). Detailliertere Vorgaben enthält die bayerische Anlagenverordnung. In diesem Punkt besteht noch großer Beratungsbedarf, da nur 65% der befragten Betriebe bereits einen Auffangbehälter besitzen bzw. direkt in die Güllegrube ableiten.

4. Zusammenarbeit mit der Wasserwirtschaft

Für das Arbeitspaket „Dauerfeldversuch“ wurden von zwei landwirtschaftlichen Betrieben jeweils zwei Grünlandflächen benötigt, die örtlich nahe zusammen liegen, drainiert sind, in etwa gleich groß sind und gleich bewirtschaftet werden. Zur Unterstützung des Wasserwirtschaftsamtes Traunstein hat das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Traunstein eine Vorauswahl über das landwirtschaftliche Flächeninformationssystem (LaFIS) getroffen.

Für eine Verknüpfung vorhandener wasserwirtschaftlicher Messdaten mit landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsdaten in ausgewählten Teileinzugsgebieten wurden die Flächen in den einzelnen Teileinzugsgebieten, deren Bewirtschafter, die Feldstücksnummern und die Größe über LaFIS ermittelt und in einer Excelaufstellung weitergegeben.

Ähnlich wie bei der Suche von Flächen zum Dauerfeldversuch verhielt es sich bei der Flächensuche für den Beregnungsversuch, den das Bundesamt für Wasserwirtschaft durchgeführt hat. In diesem Fall wurde eine Grünlandfläche mit fünf parallel liegenden Drainagen im Abstand von mindestens 12 m benötigt. Die Organisation zum Öffnen der Drainagen, Bereitstellen der verschiedenen Güllegerätschaften und Vorbereitungen vor Ort von Wasserbehältern wurden vom Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Traunstein durchgeführt.



Abb. 6 bis 8: Durchführung des Beregnungsversuches

5. Schlussfolgerungen

Als Ergebnis der einzelbetrieblichen Beratungen kann festgehalten werden, dass nur wenige Betriebsleiter im Einzugsgebiet wirtschaften, bei denen größere Korrekturen beim Umgang mit Nährstoffen, insbesondere bei Lagerung und Düngung mit Wirtschaftsdüngern, erforderlich waren. Diese Korrekturen und Hinweise zur guten fachlichen Praxis wurden im Beratungsgespräch geklärt. Der Landwirt bekam anschließend zeitnah ein Beratungsprotokoll mit Hinweisen zur gewässerschonenden Bewirtschaftung seines Betriebes zuge-

schickt. Besonderes Augenmerk muss weiterhin auf die austragsgefährdeten Flächen gelegt werden, bei denen eine Extensivierung, ein Verzicht auf Düngung oder eine verlängerte halbjährige Sperrfrist für Gülleausbringung wünschenswert sind. Dies sind insbesondere Ackerflächen in Hanglage und drainierte Grünlandböden unter Grundwassereinfluss.

Eine angedachte Schwerpunktaufgabe war die Beratung zum bayerischen Kulturlandschaftsprogramm. Nachdem ab Verpflichtungsjahr 2011 nur noch Teile des ursprünglichen Programms für Neuabschlüsse zur Verfügung standen, gingen insbesondere die Extensivierungsflächen im Grünland, auf wenige ha zurück. Eine angedachte Förderung über das bayerische Vertragsnaturschutzprogramm konnten die Landwirte nicht nutzen, da die Flächen des Einzugsgebietes des Waginger und Tachinger Sees überwiegend nicht in der Förderkulisse liegen.

Problem sind die zum Teil hoch bzw. sehr hoch mit Phosphat versorgten Böden bei viehhaltenden Betrieben mit knapper Flächenausstattung. Die bestehende Güllebörse des regionalen Maschinenrings könnte von vielen Betrieben stärker genutzt werden. Mit der Abgabe von Gülle fehlt neben Phosphor auch Stickstoff. Dies stellt die Betriebsleiter vor eine anspruchsvolle Aufgabe hinsichtlich Management des Grünlands, wenn der fehlende Stickstoff nicht mineralisch ausgeglichen wird oder Ertragseinbußen in Kauf genommen werden.

Gut angenommen wurde die Beratung zum Grünland. Hier lag der Schwerpunkt auf Bestandsverbesserung, insbesondere dem Ausschalten der Gemeinen Rispe. Allein diese Grünlandverbesserung würde bei 1.000 ha, rund ein Fünftel der Grünlandfläche im Einzugsgebiet, die Phosphorbilanz um 7 t Phosphor entlasten.

Ein Weg in die richtige Richtung ist die Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung, wenngleich ökologisch nicht gleichzusetzen ist mit „extensiv“. Der Ökologische Landbau trägt insofern zu einer Verbesserung der Gewässergüte bei, weil Ökobetriebe in der Regel sorgsamer mit den kostbaren Gütern Boden und Düngung umgehen. Gerade beim Einsatz der im Betrieb knappen Wirtschaftsdünger muss der Ökobetrieb sorgfältig abwägen, ob alle Regeln der guten fachlichen Praxis eingehalten werden, damit er hohe Ausnutzungsgrade erreicht und damit letztendlich auch einen niedrigeren Austrag von Nährstoffen.

Nach den neuesten Erkenntnissen von Bodenuntersuchungen und Phosphat-Austrägen im Dauerfeldversuch ist die Phosphatauswaschung bei bestimmten Bodentypen wie Pseudogley und Gley zum Teil sehr hoch. Diese Bodentypen weisen teilweise eine extrem niedrige Phosphat-Speicherkapazität mit zum Teil hohen Phosphat-Sättigungsgraden auf. Wegen ihrer Dichtheit sind diese Böden in der Regel drainiert und daher stark phosphatauswaschungsgefährdet. Vor allem bei den im Gebiet zunehmenden, in ihrer Intensität für den Einzelschlag schwer vorhersehbaren Starkniederschlägen, tragen diese Standorte in erster Linie zur Eutrophierung des Waginger Sees bei. Vor allem auf drainierten Flächen ist daher auf diesen Böden eine Extensivierung anzuraten, bis hin zur Herausnahme aus der Produktion.

Über die Wirtschaftsweise der Betriebe im Einzugsgebiet, denen eine Beratung schriftlich angeboten wurde, die diese kostenlose Beratung bisher aber noch nicht genutzt haben, können keine Aussagen getroffen werden. Möglicherweise muss hier der „Anreiz zum Mitmachen“ erhöht werden. Eine sehr gute Vertrauensbasis von Berater zu Landwirt ist Voraussetzung, damit auch diese Betriebe mittels einer intensiven einzelbetrieblichen Beratung zu einem Beitrag zur Verringerung der Nährstoffverluste und -einträge in den Waginger und Tachinger See gewonnen werden können.

Insgesamt weisen weiterhin viele intensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen im Einzugsgebiet eine hohe Versorgung mit Phosphat auf. Am Waginger See mit einem dichten Gewässernetz, einem hohen Anteil an drainierten landwirtschaftlichen Flächen, hoch versorgten Böden und bestehender Flächenknappheit für viehstarke Betriebe besteht ohne ausreichende Extensivierungsanreize und stetige Zusammenarbeit zwischen Landwirten und Behörden weiterhin die Gefahr, dass gelöstes Phosphat insbesondere über Drainageaustrag oder Sickerwasser in die Gewässer gelangt.

Danksagung

Ein herzliches Dankeschön gilt allen Landwirten, die an einer Beratung teilgenommen haben und das Thema Gewässerschutz durch offene Diskussionen und wertvolle eigene Vorschläge unterstützt und bereichert haben!

Ein besonderer Dank geht auch an die österreichischen Projektkollegen, insbesondere die Landwirtschaftskammer Ried mit Berater Christoph Schneiderbauer, für den fachlichen Austausch.

Literatur

- AMT FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN TRAUNSTEIN, 2011: Beratungsunterlage zum Betrieb von Siloanlagen. Internetseite: www.aelf-ts.bayern.de/tierhaltung/42316/index.php
- BUCHMEIER, G., 2003: Nährstoffeinträge und ihre Auswirkungen auf den Waginger-Tachinger See: Untersuchungsjahre 2001/2002. Wasserwirtschaftsamt Traunstein, 18 S.
- BUCHMEIER, G., 2007: Phosphoreintrag in den Waginger-Tachinger See (Bayern): Phosphorkonzentration und Phosphorfracht in Bächen. Schriftenreihe BAW, Band 26, 94-108
- DIEPOLDER, M., M. WENDLAND und S. RASCHBACHER, 2007: Ergebnisse von Erhebungen zur Phosphorbilanz landwirtschaftlicher Betriebe in den Einzugsgebieten des Waginger-Tachinger Sees und des Mondsees. Schriftenreihe BAW, Band 26, 109-130.
- EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (Hrsg.), 2000: Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie).
- LÖSCHENBRAND, F., St. ZIMMERMANN und A. MELZER, 2007: Modellierung der Phosphorgesamtausträge im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees. Schriftenreihe BAW, Band 26, 80-93.
- WENDLAND M., M. DIEPOLDER und P. CAPRIEL, 2007: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, Gelbes Heft, 8. überarbeitete Auflage 2007. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 98 S.

Autoren

Mathias Parzinger und Rolf Oehler, Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF), Schnepfenuckstraße 10, D-83278 Traunstein, mathias.parzinger@aelf-ts.bayern.de

Projektpartnerverzeichnis INTERREG IV A-Projekt "Gewässer-Zukunft" 2009 - 2013

Projektpartner und Rolle im Projekt



INTERREG IV A-Projekt "Gewässer-Zukunft"
www.gewaesser-zukunft.eu

Dipl. Ing. agr. Marlene Berger-Stöckl war im Auftrag
des Lead-Partners AELF für das Projektmanagement verantwortlich.



Berger-Stöckl



Wasserwirtschaftsamt Traunstein
Rosenheimer Str. 7
D-83278 Traunstein
www.wwa-ts.bayern.de

Projektleiter war Korbinian Stettwieser.

Mitgearbeitet haben:

Susanne Mühlbacher-Kreuzer (fachliche Umsetzung und Auswertung der Untersu-
chungsergebnisse);

Georgia Buchmeier (Projektentwicklung);

Hanna Ulrich (fachliche Umsetzung);

Beate Glatzenberger und Mira Forster (Mitwirkung fachliche Umsetzung und Aus-
wertungen; Probenahmen);

Susanne Trautwein (organisatorische Unterstützung; Erstellung des allgemeinen
Teilberichts).



Stettwieser



Mühlbacher-Kreuzer



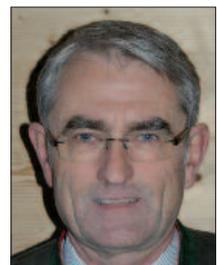
Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF)
Schnepfenluckstr. 10
D-83278 Traunstein
www.aelf-ts.bayern.de

Als Leadpartner koordinierte das AELF die Aktivitäten auf österreichischer und
bayerischer Seite und war für die gemeinwohlorientierte Beratung insbesondere im
Seeneinzugsgebiet des Tachinger und Waginger Sees zuständig.

Rolf Oehler ist Bereichsleiter, leitet die Landwirtschaftsschule und die Abteilung
Bildung und Beratung.

Mathias Parzinger führte die einzelbetriebliche Seenschutzberatung am Waginger-
Tachinger See durch.

Behördenleiter ist Alfons Leitenbacher.



Oehler



Parzinger



Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Bundesamt für Wasserwirtschaft
Pollnbergstr. 1
A-3252 Petzenkirchen
www.baw-ikt.at

Der Fokus des BAW für das Projekt "Gewässer-Zukunft" lag im Bereich der Messung und Analyse von Stofftransport und Abflussgeschehen unterschiedlich großer Gebiete. Zur Unterstützung der Beratungsaktivitäten hat das BAW „BoBB – Bodenerosion – Beratung – Berechnung“ entwickelt, ein Computerprogramm zur Berechnung von Bodenerosion und Phosphoreintrag in Gewässer.

Leitung: Dr. Peter Strauss,
Mitarbeit: Rosemarie Hösl.



Strauss



Hösl



HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Raumberg 38
A-8952 Irdning
www.raumberg-gumpenstein.at

Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein beurteilte den Phosphor-Versorgungszustand der landwirtschaftlich genutzten Böden im Untersuchungsgebiet im Hinblick auf die aktuelle und potenzielle Eutrophierungsgefahr der Antiesen.

Leitung: Dr. Andreas Bohner,
Mitarbeit: Christa Huemer.



Bohner



Huemer

lk
landwirtschaftskammer
oberösterreich

Landwirtschaftskammer Oberösterreich
OÖ Bodenschutzberatung,
Abt. Pflanzenproduktion
Auf der Gugl 3
A-4021 Linz
www.lk-ooe.at



Hölzl

Die LK unter der Leitung von DI Franz-Xaver Hölzl begleitete das Projekt fachlich, finanzierte die Beregnungsversuche in Oberösterreich und unterstützte den Zwischenfruchtversuch gemeinsam mit BOKU, OÖ WSB und Diplomanden.



landwirtschaftskammer
oberösterreich

Landwirtschaftskammer Oberösterreich
Bezirksbauernkammer Ried im Innkreis
Volksfestplatz 1
A-4910 Ried im Innkreis
www.lk-ooe.at



Schneglberger / Schneiderbauer /
Diermayer

Dienststellenleiter Dr. Max Schneglberger und Bezirksbauernkammerobmann Josef Diermayer unterstützten das Projekt von Seiten der Kammer. Projektmitarbeiter Christoph Schneiderbauer leistete die Beratung der Landwirte im Projektgebiet.



Oberösterreichische Wasserschutzberatung
Figulystraße 34
A-4020 Linz
www.ooe-wsb.at



Wallner

Beratende Funktion im Projekt bezüglich gewässerträglicher Bewirtschaftung und Umsetzung der Maßnahmen in der landwirtschaftlichen Beratung.
Mitarbeit an der Erstellung der Beratungsbroschüre "Oberflächengewässerschutz in der Landwirtschaft – Stoffeintrag durch Erosion – Phosphor".
Interimistischer Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Thomas Wallner,
Wasserschutzberaterin:
Dipl.-Ing. Elisabeth Murauer.



Murauer



Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Oberflächengewässerschutz
Kärntnerstraße 10-12
A-4021 Linz
www.land-oberoesterreich.gv.at



Gstöttner

Beratende Mitarbeit; Mitarbeit bei der Gestaltung der Informationsbroschüre "Oberflächengewässerschutz in der Landwirtschaft - Stoffeintrag durch Erosion - Phosphor"
DI Bettina Gstöttner



gefördert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Gesundheit



Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



lk
landwirtschaftskammer
oberösterreich

l
lebensministerium.at

Wasserwirtschaftsamt
Traunstein 

Amt für Ernährung, Landwirtschaft
und Forsten Traunstein
Leadpartner „Gewässer-Zukunft“ 

BUNDESAMT FÜR
BA
W 
WASSERWIRTSCHAFT

 **lfz**
raumberg
gumpenstein Lehr- und Forschungszentrum
Landwirtschaft
www.raumberg-gumpenstein.at

lk
landwirtschaftskammer
oberösterreich

öo.wasser
schutz
beratung