



INTERREG IV A – „Gewässer-Zukunft“ 2009 – 2013



Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Pollnbergstraße 1, 3252 Petzenkirchen
Tel.: +43741652108-0, Fax: +43741652108-90
www.baw-ikt.at



Inhaltsverzeichnis

INTERREG IV A – „Gewässer-Zukunft“	1
<i>Inhaltsverzeichnis</i>	2
1. <i>Einleitung</i>	3
2. <i>Arbeitspakete</i>	4
3. <i>Arbeitspaket Ermittlung von Hot Spots</i>	5
3.1 <i>Erosionsgefährdung durch Wassererosion für das gesamte Einzugsgebiet der Antiesen...</i>	6
3.2 <i>Erosionsgefährdung durch Wassererosion für das gesamte Einzugsgebiet der Antiesen, bezogen auf Feldstücke aus INVEKOS</i>	11
3.3 <i>Erosionsgefährdung ausgesuchter Teileinzugsgebiete der Antiesen auf Basis schlagbezogener Informationen</i>	16
3.4 <i>Auswertung automatisiert ermittelter Fließwege von Teileinzugsgebieten der Antiesen</i>	19
3.5 <i>Auswertung durch Feldbegehung ermittelter Fließwege von Teileinzugsgebieten der Antiesen</i>	20
3.6 <i>Modell zur Beschreibung des Risikos von Phosphoreintrag in das Gewässer über den Eintragspfad Bodenerosion in Teileinzugsgebieten der Antiesen</i>	22
3.7 <i>Bewertung der Schläge in Teileinzugsgebieten der Antiesen hinsichtlich des Risikos eines Phosphoreintrags in das Gewässer</i>	23
4. <i>Arbeitspaket Monitoring-Messstellen</i>	30
4.1 <i>Aufbau von drei Messstationen zur Ermittlung von Abfluss, Schwebstoffgehalt und Phosphorkonzentration</i>	30
4.2 <i>Erfassung der Niederschläge – Wetterstation</i>	33
4.3 <i>Erfassung der Abflüsse für Teileinzugsgebiete der Antiesen (August 2010 – Juli 2012)</i>	36
4.4 <i>Erfassung der ereignisabhängigen (Probenahme abflussgesteuert) Schwebstoffkonzentrationen für Teileinzugsgebiete der Antiesen</i>	39
4.5 <i>Erfassung der ereignisabhängigen (Probenahme abflussgesteuert) Phosphorkonzentrationen für Teileinzugsgebiete der Antiesen</i>	39
4.6 <i>Darstellung der erhaltenen Messdaten</i>	40
5. <i>Arbeitspaket Berechnungsversuche</i>	49
5.1 <i>Berechnungsversuch September 2010</i>	50
5.2 <i>Berechnungsversuch Mai 2011</i>	60
5.3 <i>Berechnungsversuch Mai 2012</i>	68
5.4 <i>Berechnungsversuche in Bayern</i>	74
6. <i>Zusammenfassung</i>	89
7. <i>Öffentlichkeitswirksame Aktivitäten</i>	91
8. <i>Literatur</i>	95

1. Einleitung

Gewässer in 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. Die im Jahr 2000 in Kraft getretene WRRL legt Umweltziele in Bezug auf Oberflächengewässer und Grundwasserkörper für alle europäischen Mitgliedsstaaten fest. Bis zum Jahr 2015 muss ein so genannter guter ökologischer Zustand erreicht werden.

Umfassende Erfahrungen wie viele und welche Maßnahmen speziell in diesem Naturraum nötig sind, um einen guten ökologischen Zustand im Gewässer zu erreichen, liegen noch nicht vor. Ebenso ist noch nicht bekannt, welche Maßnahmen hier am effektivsten Nährstoffeinträge verringern. Dies soll im Vorgriff auf die großflächige Maßnahmenumsetzung erarbeitet werden.

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 zur Gewässereutrophierung mit den Folgeproblemen Verkrautung und erhöhtem Algenwachstum. In der Mehrzahl der Fälle liegt Phosphor als wachstumsbestimmender Faktor vor und kann großflächig als Ursache für das Verfehlen des Qualitätszieles „guter Zustand in Oberflächengewässern“ angesehen werden. Da der Grad der kommunalen Abwasserreinigung in Bayern und Oberösterreich bereits sehr hoch ist, kommt der überwiegende Teil des Phosphoreintrags aus diffusen 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 gelangt. Andererseits kommt es durch Bodenerosion zur Verlagerung des angereicherten Oberbodens in Richtung der Gewässer und letztendlich ebenfalls zu einem erhöhten Stoffeintrag. Die hier beschriebene Problematik trifft sowohl für das Einzugsgebiet der Antiesen im oberösterreichischen Innviertel, als auch für das Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees im oberbayerischen Landkreis Traunstein zu, wobei im Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees dem oberflächennahen Phosphoreintrag über Drainagen eine wesentliche Rolle beim Nährstoffeintrag in die Gewässer zukommt. Im Einzugsgebiet der Antiesen liegt die Hauptproblematik des Phosphoreintrags im Bereich der oberflächlichen Eintragspfade, der Verlagerung über Bodenabtrag.

Sowohl in Bayern als auch in Österreich stellt die Reduktion des Phosphoreintrags aus der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Gewässer ein vordringliches Ziel dar. Die ökologische Qualität der Gewässerlebensräume soll durch das Projekt gestärkt und die Wasserqualität der Antiesen und des Waginger-Tachinger Sees verbessert werden. Ziel muss in beiden Ländern daher eine verbesserte Umsetzung von Maßnahmen sein, die geeignet sind, den Phos-

phoreintrag in die betroffenen Gewässer zu reduzieren. Dies wird unter Beachtung wirtschaftlicher Aspekte, wie mit gezieltem und angemessenem Mitteleinsatz große Verbesserungen im Gewässer erreicht werden können, angestrebt. Erkenntnisse aus dem Projekt können auf alle Gewässer in Bayern und Österreich mit ähnlicher Problemstellung übertragen werden und erzielen so einen hohen Multiplikatoreffekt.

Zielgebiet auf österreichischer Seite im Rahmen des Projektes ist das in Oberösterreich gelegene Einzugsgebiet der Antiesen (Innviertel) mit einer Größe von rund 290 km². Laut der aktuellen Zustandsbewertung der Antiesen gemäß WRRL wird der gute ökologische Zustand nicht erreicht. Der fachliche Schwerpunkt in Österreich lag auf der Verringerung von Bodenerosion und dem damit verbundenen Eintrag von Schwebstoff und Nährstoffen in Oberflächengewässer.

2. Arbeitspakete

Der Aufgabenbereich des BAW Petzenkirchen im Rahmen der Projektaktivität gliederte sich im Wesentlichen in drei Arbeitspakete.

1. Die **Ermittlung von** Flächen mit erhöhtem Gefährdungspotential für Stoffeinträge – so genannte „**Hot Spots**“.
2. Aufbau begleitender **Monitoring-Messstellen**. An Messstellen in ausgewählten Teileinzugsgebieten der Antiesen wurden Schwebstoff- und Phosphorfrachten gemessen.
3. Durchführung von **Beregnungsversuchen**:
Oberösterreich: Unterschiedliche Bodenbearbeitungsvarianten wurden hinsichtlich ihrer Wirkung auf Bodenabtrag und Oberflächenabfluss untersucht.
Bayern: Verschiedene Gülleausbringungstechniken werden in Hinblick auf Phosphorausstrag in Drainagen untersucht.

Die Arbeitspakete beziehen sich räumlich auf zwei Teileinzugsgebiete im Oberlauf der Antiesen (abgesehen von den Beregnungsversuchen in Bayern). Diese wurden zu Beginn des Projektes im Februar bis März 2010 unter Berücksichtigung aller verfügbaren Daten und in Abstimmung mit den oberösterreichischen Projektpartnern festgelegt. Aufgrund von Erosionskarten, die auf Basis von Teileinzugsgebieten der Antiesen ermittelt wurden, wurden diese Teileinzugsgebiete (im Weiteren als Projektgebiet bezeichnet) ausgewählt. Das so festgelegte Projektgebiet befindet sich in einer besonders erosionsgefährdeten Region im nördlichen Teil des Einzugsgebietes der Antiesen. Die beiden Teileinzugsgebiete umfassen rund 260 bzw. 136 ha. Eine detaillierte Beschreibung des Projektgebietes folgt im Arbeitspaket „Monitoring-Messstellen“.

3. Arbeitspaket Ermittlung von Hot Spots

Basis für die im Projekt durchzuführenden Beratungsaktivitäten ist die Ausweisung von besonders sensiblen Bereichen des Phosphoreintrags in Gewässer über den Pfad der Bodenerosion. Diese Flächen wurden zunächst überblicksartig für die Teileinzugsgebiete der Antiesen GIS-gestützt ausgewertet. Basis dieser Bewertung sind verfügbare Basisinformationen zu Boden (digitale Bodenkarte 1:50.000), Landnutzung (CORINE und Agrarstatistik), Geomorphologie (DHM mit Rastergröße 10 m), und Klima (durchschnittliche jährliche Niederschlagsmengen), die zunächst in Parameterwerte eines Erosionsmodells umgesetzt wurden, das dann in weiterer Folge für die Ermittlung sensibler Teileinzugsgebiete verwendet wurde.

Dieses Produkt wurde in weiterer Folge räumlich besser aufgelöst, sodass als Endprodukt eine schlagbezogene Bewertung des Erosionsrisikos und des Phosphoreintragsrisikos im Einzugsgebiet vorliegt. Um eine entsprechend detaillierte schlagbezogene Aussage treffen zu können, ist auch im Bereich der Datengrundlagen Information mit höherem Detaillierungsgrad notwendig. Als zusätzliche Datenquellen werden daher die digitale Katastralmappe in Verbindung mit parzellenscharfer Landnutzungsinformation, sowie ein digitales Höhenmodell mit entsprechender geringerer Rastergröße verwendet.

Da die Zielvorgabe der Identifizierung sensibler Schläge letztendlich eine Verknüpfung von Bodenerosion (Gefährdung) und Anbindung des Schlags an das Gewässer (Fließweg) erfordert, ist für eine schlagbezogene Bewertung sensibler Bereiche ein Modell zu entwickeln, das eine Verknüpfung der beiden Einflussfaktoren ermöglicht. Zusätzlich soll eine Anwendung dieses Modellansatzes auch in anderen Gebieten möglich sein.

Um die Validität des zu entwickelnden Schadmodells zu überprüfen, sind zusätzliche Kartierungen im Gelände notwendig. Dabei werden an ausgewählten Teilgebieten innerhalb des Einzugsgebiets der Antiesen die automatisiert ermittelten Fließwege anhand von Feldbegehungen im Gelände überprüft.

Tabelle 1 Produkte des Arbeitspaketes „Ermittlung von Hot Spots“

Nr.	Beschreibung	Typ
3.1	Erosionsgefährdung durch Wassererosion für das gesamte Einzugsgebiet der Antiesen (Rastergröße 50 m) plus methodische Darstellung	Karte
3.2	Erosionsgefährdung durch Wassererosion für das gesamte Einzugsgebiet der Antiesen (bezogen auf Feldstücke aus INVEKOS) plus methodische Darstellung	Karte
3.3	Erosionsgefährdung ausgesuchter Teileinzugsgebiete der Antiesen auf Basis schlagbezogener Informationen	Karte, Bericht
3.4	Auswertung automatisiert ermittelter Fließwege von Teileinzugs-	Karte

	gebiete der Antiesen	
3.5	Auswertung durch Feldbegehung ermittelter Fließwege von Teileinzugsgebiete der Antiesen und Vergleich der beiden Auswertungsmethoden	Karte, Bericht
3.6	Modell zur Beschreibung des Risikos von Phosphoreintrag in das Gewässer über den Eintragungspfad Bodenerosion in Teileinzugsgebieten der Antiesen	Bericht
3.7	Bewertung der Schläge in Teileinzugsgebieten der Antiesen hinsichtlich des Risikos eines Phosphoreintrags in das Gewässer	Karte

3.1 Erosionsgefährdung durch Wassererosion für das gesamte Einzugsgebiet der Antiesen

3.1.1 Methodische Darstellung (nach Strauss 2007)

Bodenerosion ist prinzipiell ein natürlicher Vorgang der in geologischen Zeiträumen betrachtet ganze Gebirge abgetragen hat. Durch eine Intensivierung der Landwirtschaft seit dem 20. Jhd. hat die Bodenerosion allerdings Ausmaße angenommen, die die natürlichen Bodenbildungsraten (1mm bis 1cm in 100 Jahren) weit übersteigen. Dies führt zu negativen Effekten auf landwirtschaftlich genutzten Flächen aber auch zu stofflichen Belastungen in Gewässern, denn zwischen dem Erosionsgeschehen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und der Belastung von Oberflächengewässern besteht ein direkter Zusammenhang.

Die hier vorliegende Karte wurde auf Basis der gängigen Bodenabtragungsgleichung USLE (Universal Soil Loss Equation, Wischmeier & Smith, 1978) erstellt. Dieses empirische Modell gibt den langjährigen durchschnittlichen Bodenabtrag wieder. Räumliche Berechnungsgrundlage dazu lieferte ein digitales Höhenmodell (DHM) mit einer Rasterweite von 10 m. Die Ergebnisse aus diesen Berechnungen wurden anschließend auf Teileinzugsgebietsebene aggregiert.

Dieses Erosionsmodell wird weltweit am häufigsten eingesetzt, unterliegt allerdings einigen Beschränkungen. Die USLE wird daher häufig auch für die Abschätzung des Bodenabtrags von großen Gebieten herangezogen.

USLE:

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

wobei

- A langjähriger durchschnittlicher Bodenabtrag ($t \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
- K Bodenfaktor ($t \text{ h ha}^{-1} \text{ N}^{-1}$)
- R Niederschlagsfaktor (N h^{-1})
- S Hangneigungsfaktor (dimensionslos)
- L Hanglängenfaktor (dimensionslos)

- C Bodenbedeckungsfaktor (dimensionslos)
- P Bodenschutzfaktor (dimensionslos)

Boden – Faktor K

Die Datengrundlage für die Abschätzung des K-Faktors bildet die österreichische Bodenkartierung im Maßstab 1:25000. Zur Ermittlung des K-Faktors wurde für jede ausgewiesene Bodenform eine Beziehung zwischen K-Faktor und Schluffgehalt

$$K = 0.0086 * \text{Schluffgehalt (\%)}$$

herangezogen, die als Ergebnis zahlreicher Regensimulationsversuche (Strauss 2003) ermittelt wurden. Dieser Wert wurde mit dem Steingehalt der betreffenden Bodenform korrigiert. Für die nicht digital verfügbaren Kartierungsbereiche wurden mittlere K-Faktoren aus den Daten der angrenzenden Flächen geschätzt.

Niederschlag – Faktor R

Für die Berechnung des Einflussfaktors Niederschlag wurde der mittlere jährliche Niederschlag der Jahre 1961-90 herangezogen, der als Raster in einer Auflösung von 5' mal 3' bundesweit vorliegt (Skoda & Lorenz, 2003). Die Berechnung des R-Faktors erfolgte über die Beziehung (Strauss et al., 1995)

$$R = 4.3 + 0.078 \text{ Jahresniederschlag (mm)}$$

Hangneigung – Faktor S

Datenbasis für die Berechnung des Einflussfaktors Hangneigung war ein digitales Höhenmodell für Österreich des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen mit einer Rastergröße von 10 m. Zur Umrechnung in S-Faktoren wurde die Gleichung von McCool (1989) verwendet.

Hanglänge – Faktor L

Grundlage für die Berechnung des Hanglängenfaktors L war das digitale Höhenmodell Österreichs mit der Rasterweite von 10 m. Daraus wurden im GIS zuerst Fließrichtungen und danach Fließlängen des Oberflächenabflusses berechnet. Die Umsetzung der Fließlängen in den L-Faktor erfolgte über die Gleichungen von Renard et al. (1997).

Laut USLE kann der Bodenabtrag nur für die "erosive Hanglänge" berechnet werden. Diese beginnt dort, wo Oberflächenabfluss am Oberhang auftritt und endet, wo Deposition des erodierten Bodenmaterials stattfindet. Weiters sind konzentrierte Fließwege, wie z.B. Talwegsituationen von der Erosionsberechnung ausgeschlossen, da mit der USLE nur flächenhafte Erosion und Rillenerosion berechnet werden kann. Damit gestaltet sich die Ermittlung des L-Faktors selbst bei Feldbegehungen zu einem schwierigen, oft stark subjektiv beeinflussten Vorgang. Eine automatisierte Ermittlung der erosiven Hanglänge, wie sie für eine

bundesweite Anwendung notwendigerweise stattfinden muss, bietet dabei den Vorteil einer Objektivierung des Bewertungsprozesses durch klare Definition der Auswahlkriterien.

Fließrichtungen und damit Hanglängen wurden nur für Flächen berechnet, die in CLC (Corine als landwirtschaftliche Flächen gekennzeichnet sind. Um der Definition der erosiven Hanglänge zu entsprechen, wurden weiters alle Pixel mit einer Hangneigung $\leq 1\%$ von der Berechnung ausgeschlossen. Zur Identifikation von Talwegen und Depositionsflächen am Hangfuß, wurde die Geländeoberfläche im Hinblick auf Konvexität oder Konkavität analysiert. Eine negative Wölbung charakterisiert konvexe Hangabschnitte, positive Wölbung weist konkave Hangabschnitte aus. Empirisch wurde eine Wölbung von -0.1 ermittelt, ab der die automatisiert ermittelten Sedimentationsflächen mit solchen, die in zwei Testgebieten durch Feldbegehung ermittelt worden waren, übereinstimmen. Es wurden also nur jene Pixel in die Abtragsberechnung miteinbezogen, die eine Wölbung > -0.1 aufwiesen. Alle landwirtschaftlich genutzten Flächen, die nicht als Erosionsfläche laut USLE charakterisiert worden waren, wurden als Depositionsfläche ohne Bodenabtrag klassifiziert.

Landnutzung – Faktor C

Grundlage der Berechnung des Einflusses der Landnutzung auf den Bodenabtrag ist die Bodenbedeckungsklassifikation im CORINE Landcover (CLC) Projekt (Aubrecht, 1998). Für den wichtigen Bereich der verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzungen ist allerdings nur die Unterscheidung von "Ackerflächen", "Dauerkulturen", "Grünland" und "Heterogenen landwirtschaftlichen Flächen" möglich. Daraus ergeben sich folgende Probleme: Einerseits sind aufgrund der relativ kleinräumigen landwirtschaftlichen Struktur Österreichs in Verbindung mit der räumlichen Auflösung des CLC Datensatzes große Flächenanteile als "Heterogene Landwirtschaftliche Flächen" kartiert. Dadurch ist keine klare Trennung zwischen Grünland und Ackerland möglich, was zu einer großen Unsicherheit im ermittelten Bodenabtrag führt, da die Unterschiede zwischen dem Bodenabtrag einer Ackerfläche und dem einer Grünlandfläche bis zu zwei Zehnerpotenzen betragen können. Andererseits ergeben sich nur aufgrund unterschiedlicher Ackernutzung bereits enorme Unterschiede in der Bewertung der Erosionsgefährdung, die in der Größenordnung einer Zehnerpotenz liegen können. Eine Einbeziehung der aktuellen Fruchtartenverteilung zur Bewertung der Erosionsgefährdung von Ackerland ist daher unumgänglich. Deshalb wurden die Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung (Statistik Austria, 2001) als zusätzliche Datenquelle ausgewertet. Daraus ist prozentuelle Anteil der verschiedenen Fruchtarten, die in jeder österreichischen Gemeinde im Jahr 1999 angebaut wurden, ableitbar.

Für Ackerflächen und Heterogene landwirtschaftliche Flächen wurde der C-Faktor aus dieser Statistik berechnet und zwar nach einer von Auerswald (2002) beschriebenen Gleichung, die diesen Faktor in Abhängigkeit der Flächenanteile von Getreide, Hackfrüchten und rasenbildendem Ackerfutter angibt.

Für Grünland wurde ein C-Faktor von 0.02 angenommen (Wischmeier & Smith, 1978). Da der Bewertungsunterschied zwischen Grünland und ackerbaulich genutzten Flächen besonders

groß ist, wurde als zusätzliches Kriterium die Hangneigung herangezogen, wobei alle landwirtschaftlich genutzten Flächen mit einer Hangneigung von mehr als 25% als Grünland bewertet wurden. Obstanlagen sind in CLC nicht eigens ausgewiesen.

Für die in CLC als "Wälder und naturnahe Flächen" ausgewiesenen Flächen wurde ein konstanter Bodenabtrag von 100 kg ha⁻¹ a⁻¹ angesetzt. Wischmeier & Smith (1978) geben in ihrem Modell Bodenabträge zwischen 20 und 150 kg ha⁻¹ a⁻¹ für Wälder und naturbelassene Flächen an, abhängig vom Entwicklungs- und Bedeckungsgrad dieser Flächen. Im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Flächen sind diese Bodenabträge minimal und die Genauigkeit des verwendeten Modells und der eingesetzten Daten lässt eine Differenzierung bei Bodenabträgen dieser Größenordnung nicht zu.

Alle übrigen Flächen (Offene Flächen ohne oder mit geringer Vegetation, Bebaute Fläche, Feuchtflächen, Wasserflächen) wurden mit einem Bodenabtrag von Null belegt.

Bodenschutzfaktor – Faktor P

Der Modellfaktor, der die Wirkung von Schutzmaßnahmen quantifiziert, wurde aufgrund der fehlenden Datenbasis mit 1 klassifiziert, fand also in der vorgelegten Karte (Abbildung 1) noch keine Berücksichtigung.

3.1.2 Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die auf Basis der USLE berechnete Erosionsgefährdungskarte für das Einzugsgebiet der Antiesen. Diese Karte dient als Überblick über die Projektregion im Innviertel. Auf dieser Kartengrundlage wurde auch im Weiteren das Monitoringgebiet für das begleitende Monitoring (Arbeitspaket 2) ausgewählt. Die in rot eingefärbten Flächen stellen Teileinzugsgebiete an der Antiesen mit erhöhtem Erosionsrisiko dar. Das Projektgebiet am Asböckbach (gelb umrandet) befindet sich ebenfalls in einem rot gekennzeichneten Teileinzugsgebiet im nördlichen Einzugsgebiet der Antiesen.

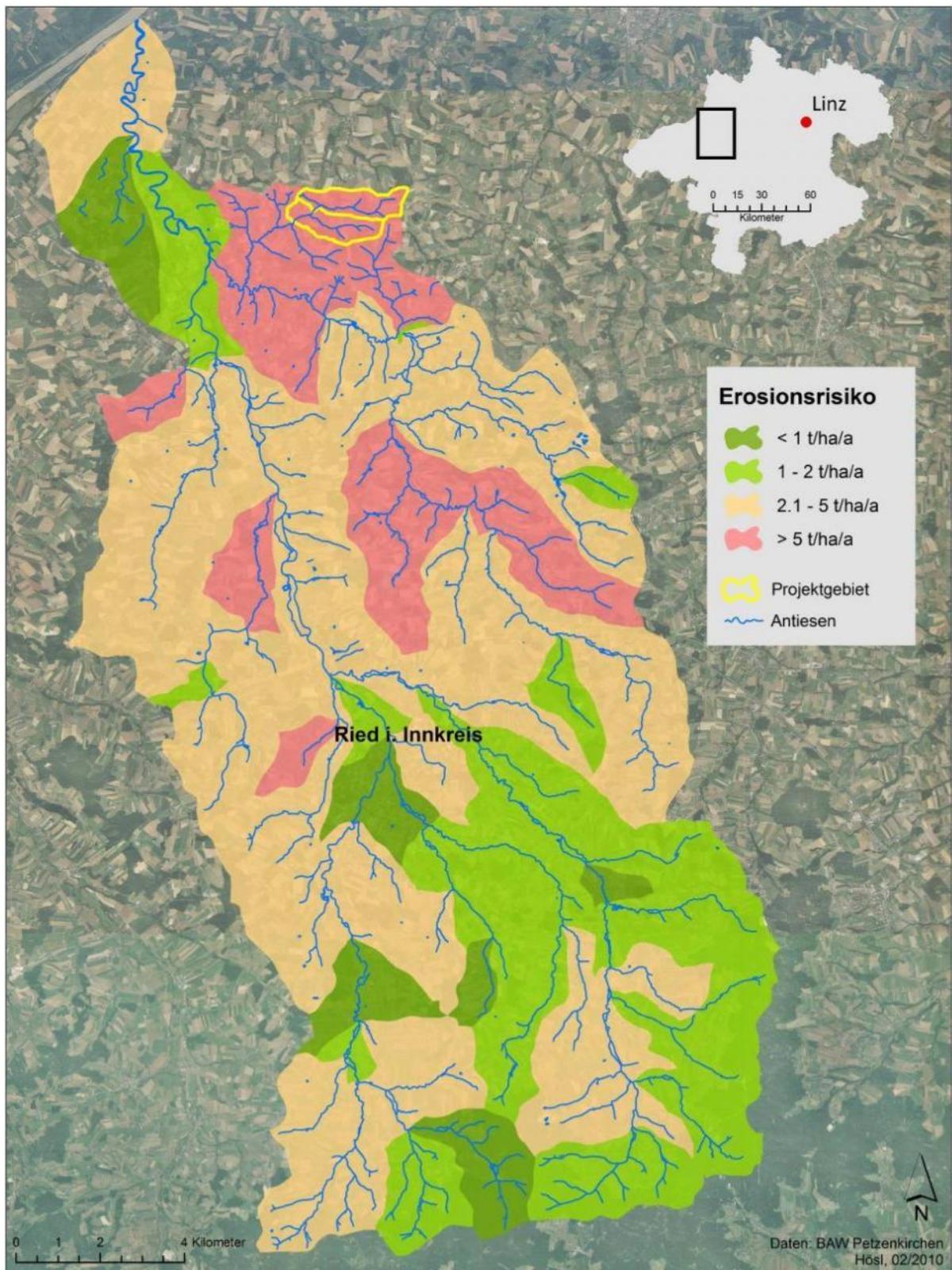


Abbildung 1 Erosionsgefährdung durch Wassererosion auf Basis der Teileinzugsgebiete der Antiesen (Produkt 3.1)

3.2 Erosionsgefährdung durch Wassererosion für das gesamte Einzugsgebiet der Antiesen, bezogen auf Feldstücke aus INVEKOS

3.2.1 Methodische Darstellung (nach WPA und BAW-IKT 2009)

Diese Karte wurde ebenfalls auf Basis der USLE berechnet. Die Kalkulation der Erosionsgefährdung schließt allerdings die aktuelle landwirtschaftliche Nutzung (von 2009) sowie geförderte Erosionsschutzmaßnahmen in die Berechnungen mit ein. Basis dieser Berechnungen stellt die INVEKOS Datenbank von 2009 dar. Die INVEKOS Datenbank enthält in relativ hoher räumlicher Auflösung schlagbezogene Informationen über Hangneigung, Bodenform, angebaute landwirtschaftliche Kultur, sowie diverse Schutzmaßnahmen.

Die Faktoren K, R und S wurden wie im vorigen Abschnitt (2.1.1) ermittelt.

Die mittlere Hanglänge/Feldstück (Faktor L) wurde aus den mittleren Hanglängen der Gemeinden berechnet.

Der Bedeckungsfaktor C wurde auf die unterschiedlichen Hauptkulturen eingeschränkt. Da nicht für alle in der INVEKOS Datenbank vorkommenden Kulturen der C Faktor ermittelt werden konnte, wurde häufig vorkommenden Kulturen der C-Faktor für genau diese Kultur zugeordnet. Für seltene Kulturarten wurde der C-Faktor von Referenzkulturen mit ähnlicher Vegetationsperiode ermittelt.

Bodenschutzfaktor – Faktor P

Für folgende Maßnahmen wurde der P-Faktor berücksichtigt:

- Erosionsschutz Wein, mit Unterscheidung der Hangneigung unter 25% und über 25% entsprechend der ÖPUL Maßnahmen
- Erosionsschutz Obst und Hopfen mit Unterscheidung der Maßnahme für die beiden Kulturen entsprechend ÖPUL Maßnahmen
- Untersaat Mais
- Begrünung mit Unterscheidung folgender Varianten: A, A1, B, C, C1, D, D1
- Mulch- und Direktsaat

Im Originalansatz der USLE wird Begrünung oder Mulchsaat als Teil des C-Faktors behandelt, hier wurden die Faktorenwerte der verschiedenen ÖPUL Maßnahmen als P-Faktoren betrachtet um die Bewertung unabhängig von der angebauten landwirtschaftlichen Kultur vornehmen zu können.

3.2.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden drei Karten des Einzugsgebietes der Antiesen gezeigt. Die erste Karte (Abbildung 2) stellt die Basisberechnung der schlagbezogenen Erosionsgefährdung durch Wasser da, hier wurden keine ÖPUL Maßnahmen berücksichtigt, lediglich die aktuelle Nutzung (2009) wurde in die Erosionsberechnungen mit aufgenommen.

Für die Einteilung in Erosionsgefährdungsklassen existiert derzeit kein verbindliches Schema. Deshalb wurde die Einteilung den Berichtspflichtigen Österreichs für die OECD nachempfunden. Im Projektgebiet befindet sich eine große Anzahl an Schlägen die ein Erosionsgefährdungspotential von über 11 t.ha.a^{-1} aufweisen (dunkelbraun eingefärbt).

In der zweiten Darstellung (Abbildung 3) wurden Erosionsschutzmaßnahmen des Umweltprogrammes ÖPUL in den Berechnungen berücksichtigt.

Laut der INVEKOS Datenbank von 2009 nahmen 933 Betriebe im Einzugsgebiet der Antiesen am Umweltprogramm ÖPUL teil. Von diesen 933 Betrieben nehmen 420 Betriebe an Erosionsschutzmaßnahmen teil, das entspricht etwa 45%. Das bedeutet, dass jeder dieser 420 Betriebe wenigstens auf einem Feldstück in seinem Betrieb erosionsschützende Maßnahmen setzt. Auf die betroffenen Flächen umgerechnet bedeutet dies, dass rund 147 km^2 des 290 km^2 großen Einzugsgebietes an ÖPUL teilnehmen. Von diesen 147 km^2 wurden auf rund 31 km^2 erosionsschützende Maßnahmen gesetzt, das entspricht etwa 21 %.

Zur visuellen Unterstützung der Unterschiede von Abbildung 2 und Abbildung 3 stellt eine dritte Karte (Abbildung 4) die Erosionsminderung zwischen den ersten beiden Berechnungen dar.

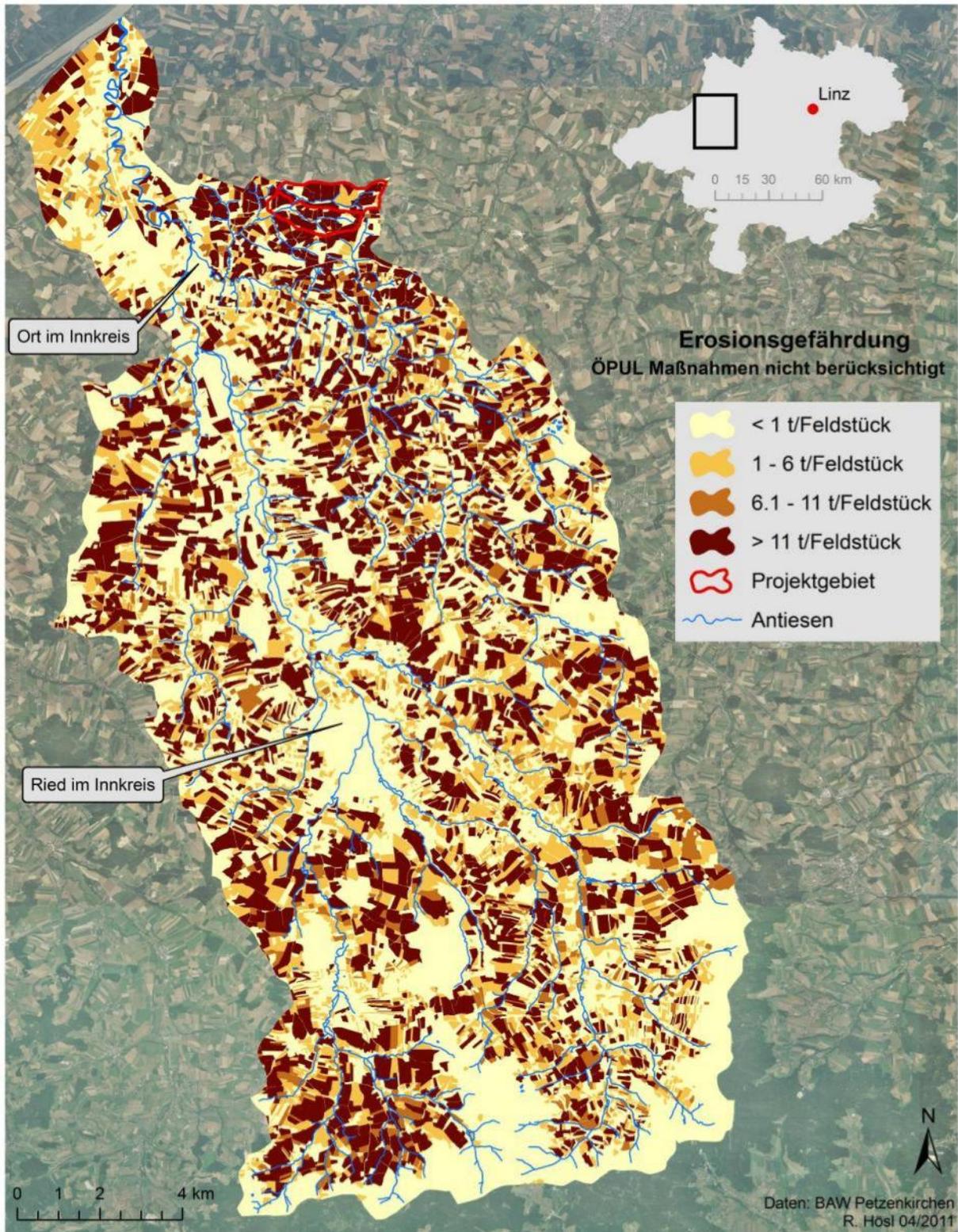


Abbildung 2 Erosionsgefährdung durch Wasser, basierend auf INVEKOS Datenbank, ohne Berücksichtigung von ÖPUL Maßnahmen (Produkt 3.2)

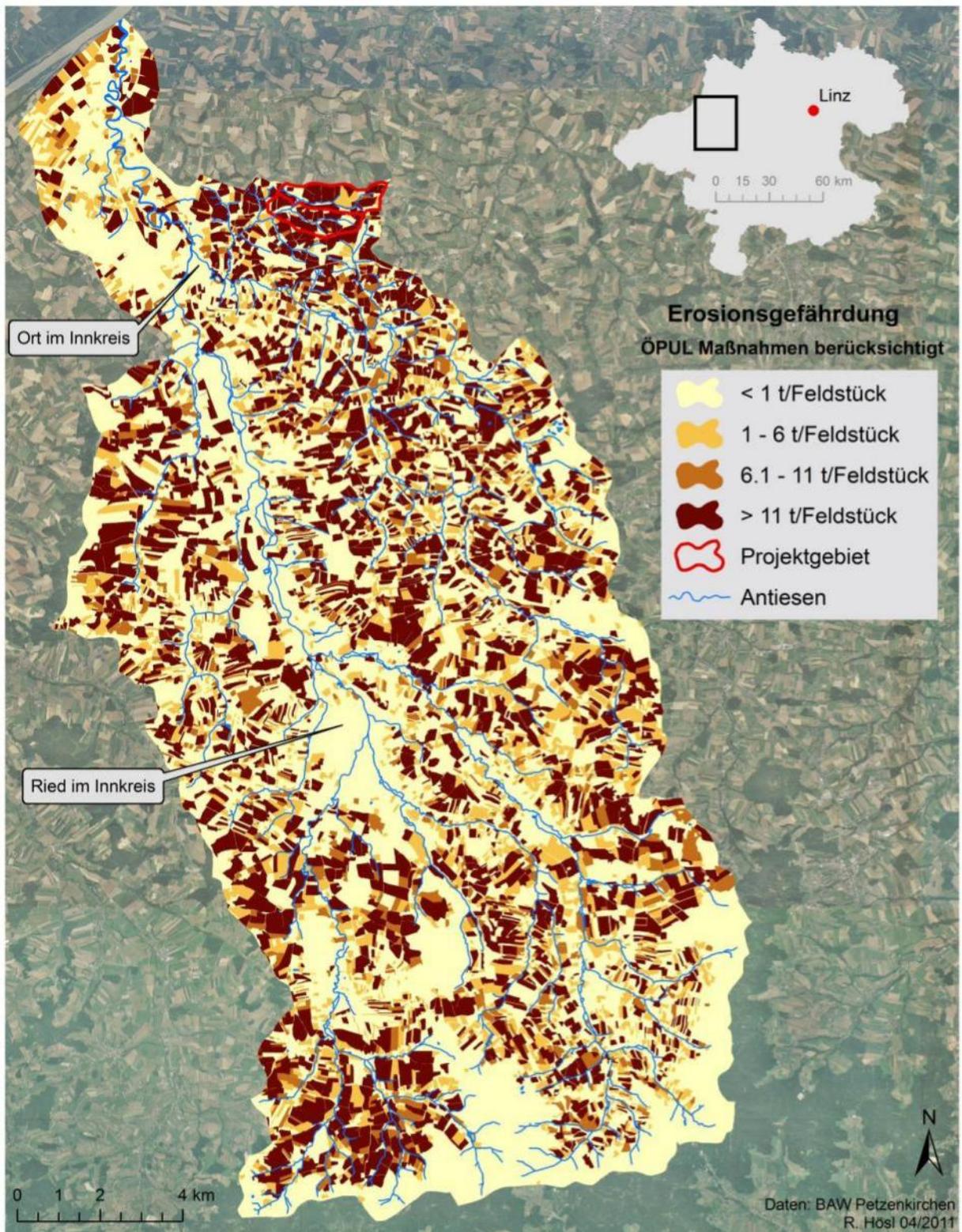


Abbildung 3 Erosionsgefährdung durch Wasser, basierend auf INVEKOS Datenbank, mit Berücksichtigung von ÖPUL Maßnahmen (Produkt 3.2)

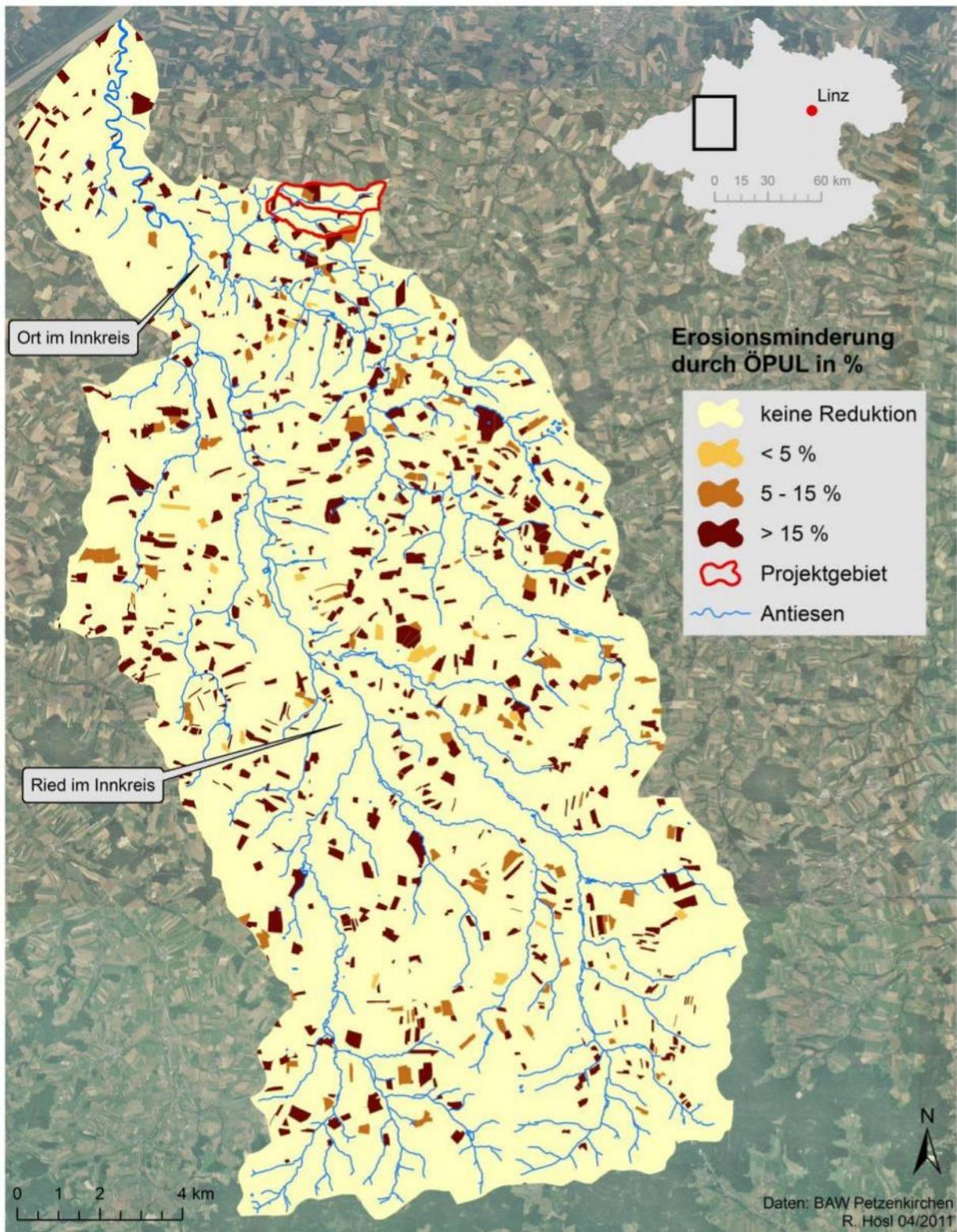


Abbildung 4 Erosionsminderung durch berücksichtigen der ÖPUL Maßnahmen, ausgedrückt in Prozent Reduktion (Produkt 3.2)

3.3 Erosionsgefährdung ausgesuchter Teileinzugsgebiete der Antiesen auf Basis schlagbezogener Informationen

Die Beurteilung der Erosionsgefährdung von Teileinzugsgebieten wurde gemeinsam mit Punkt „3.6 Modell zur Beschreibung des Risikos von Phosphoreintrag in das Gewässer über den Eintragspfad Bodenerosion in Teileinzugsgebieten der Antiesen“ bearbeitet.

Dafür wurde ein Softwareprogramm entwickelt, das sowohl schlagbezogen die Erosionsgefährdung ermitteln kann, als auch das Risiko von Phosphoreintrag in Gewässer berechnet. Dieses Tool – BoBB – Bodenerosion, Beratung und Berechnung, ist als landwirtschaftliches Beratungsinstrument für die Praxis vorgesehen. Es bietet Beratern und Landwirten eine rasche und einfache Abschätzung der Bodenerosion auf einem bestimmten Schlag. Bei BoBB handelt es sich um ein empirisches, ungewichtetes Bodenabtragsmodell. Mit diesem Modell können sowohl unterschiedliche Fruchtfolgen, Bodenschutzmaßnahmen, konservierende Bodenbearbeitungstechniken als auch Zwischenfruchtanbau berücksichtigt werden. BoBB wurde mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche ausgestattet, um die Berechnung von Bodenerosion unter verschiedenen praxisnahen Szenarien zu vereinfachen.

2.3.1 Modellhintergrund

BoBB basiert auf einer leicht veränderten Version der Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), entwickelt von Renard et al. (1997). Dieses Modell zur Berechnung von Bodenabtrag durch Wasser basiert wiederum auf der Arbeit von Wischmeier und Smith, die die originale Universal Soil Loss Equation bereits 1978 publizierten. RUSLE wurde dahingehend weiterentwickelt, dass Management und Bearbeitung der Feldfrüchte genauer modelliert werden können.

Durch Multiplikation verschiedener Faktoren erhält man einen jährlichen durchschnittlichen Bodenabtrag (Formel 1).

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

Formel 1 Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

A – durchschnittlicher jährlicher Bodenabtrag in $\left[\frac{\text{Tonne}}{\text{ha} \cdot \text{Jahr}} \right]$

R – Niederschlagsfaktor $\left[\frac{\text{MJ} \cdot \text{mm}}{\text{ha} \cdot \text{Stunde} \cdot \text{Jahr}} \right]$

K – Bodenfaktor $\left[\frac{\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{Stunde}}{\text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}} \right]$

L – Hanglänge [-]

S – Hangneigung [-]

C – Management [-]

P – Schutzmaßnahmen (Bearbeitung) [-]

Im Gegensatz zu dem Original RUSLE – Konzept berechnet BoBB in Tagesschritten, Hauptgrund dafür liegt in der Automatisierung des Berechnungsalgorithmus. Die tageweise Berechnung erlaubt es dem Algorithmus flexibler in der Fruchtfolgeberechnung zu sein und kann auf einen gewichteten durchschnittlichen Algorithmus verzichten. Zudem können bei

BoBB Bearbeitungsschritte an jedem beliebigen Tag des Jahres eingegeben werden, was die Bedienung vereinfacht und intuitiv gestaltet. Alle Einheiten wurden in das metrische dezimale SI – Einheitensystem umgerechnet.

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

Faktoren

KLIMA

Für die Ermittlung der Erosivität des Niederschlages wird eine vordefinierte Klimadatei verwendet. Die jährliche Erosivität des Niederschlages wird dabei vom jährlichen Niederschlag über die Formel 2 berechnet.

$$R = 4,3 + 0,078 \cdot P$$

Formel 2 Berechnung des R-Faktors

R – Erosivität des Niederschlages in $\left[\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot Stunde \cdot Jahr} \right]$
 P – Summe des jährlichen Niederschlages $[mm]$

Langjährige tägliche Niederschlags- und Temperaturdaten der gewünschten Region werden für einen langjährigen Durchschnittswert gemittelt. Um den Einfluss von lokalen Extremwerten auszuschalten wurde die Zeitreihe mit dem Algorithmus „flowing triangle window“ (Fenstergröße 1 ± 7) geglättet. Diese Berechnung spiegelt die 15-Tages-Periode der originalen RUSLE Zeitspanne wieder. Niederschlagsverteilung und Erosivität wird aus der geglätteten Zeitreihe berechnet.

BODEN

Der Benutzer hat drei verschiedene Möglichkeiten um den K-Faktor einzugeben.

- **Finanzbodenschätzung – strukturelle Klassen**

Der Benutzer wählt eine der Klassen aus der Finanzbodenschätzung, der K-Wert wird von BoBB automatisch in die Formel mit eingerechnet.

Tabelle 2 Bodenklassen und dazugehörige K-Werte aus der Finanzbodenschätzung

Code	T	sT	S	tS	IT	uT	sL	IS	stL	suL	utL	uS	uS	uL	tU	suL	U
K Wert	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**

Der Benutzer gibt die prozentuellen Anteile an Schluff- und Grobstoffgehalte an. Dabei gilt Grobstoffe sind größer 2mm, Schluffpartikel zwischen 0.002 und 0.063mm. Die Erosivität des Bodens wird nach Formel 3 berechnet.

$$K_s = 0,0083 + 0,0086 \cdot s$$

Formel 3 Berechnung des K_s -Wertes

K_s – Bodenerodibilität K-Faktor basierend auf Schluffgehalt
 s – Schluffgehalt in Masseprozent

Dieser Wert wird angepasst an den Grobstoffgehalt durch die Formel von Auerswald (2002):

$$K = K_s \cdot (1 - 0,018 \cdot r + 0,00009 \cdot r^2)$$

Formel 4 Berechnung des K-Wertes

K – K-Faktor $\left[\frac{t \cdot \text{ha} \cdot \text{Stunde}}{\text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}} \right]$

r – Grobstoffgehalt in Masseprozent (im Bereich zwischen 0 und 83%)

- **Manuelle Eingabe des K-Faktor**

Die dritte Option bietet eine direkte manuelle Eingabe des K-Faktors in $\left[\frac{t \cdot \text{ha} \cdot \text{Stunde}}{\text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}} \right]$. Dieser kann beispielsweise der Literatur entnommen werden.

HANGLÄNGE und HANGNEIGUNG (LS)

Für die Berechnung des LS-Faktors wurden Algorithmen aus Renard et al. (1997) verwendet.

$$S_i = 10,8 \cdot \sin\theta_i + 0,03 \quad \text{Neigung eines Hangsegmentes} < 9\%$$

$$S_i = 16,8 \cdot \sin\theta_i + 0,5 \quad \text{Neigung eines Hangsegmentes} \geq 9\%$$

Formel 5 Neigung der Hangsegmente

S_i – Faktor Steilheit eines Hangsegmentes i

i – Neigung eines Hangsegmentes i [Grad]

Der Benutzer kann eine unbegrenzte Anzahl an Hangsegmenten mit jeweils (annähernd) gleicher Neigung aneinanderreihen. BoBB hat zwar keine Limitierung bei der Eingabe des Hangprofiles (weder in Länge und Neigung, noch Anzahl der Hangsegmente), der Nutzer sollte aber auf ein sinnvoll gewähltes Hangprofil achten.

MANAGEMENT

Die Berechnung des C-Faktors für BoBB weicht am meisten von der originalen Berechnungsmethode der RUSLE ab. Aufgrund des unterschiedlichen Berechnungsvorganges waren geringfügige Änderungen der Formeln nötig. Diese Änderungen wurden in jedem Fall getestet.

Der C-Faktor einer Fruchtfolge wurde mit folgender Formel berechnet (durchschnittlicher täglicher Bodenabtrag gewichtet durch tägliche Erosivität)

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

Formel 6 C-Faktor

EI_d – Erosivität des Niederschlags, Summe an Tag d

SLR_d – Anteil Bodenabtrag an Tag d

l – gesamte Dauer der Fruchtfolge in Tagen

Der Anteil an Bodenabtrag (soil loss ratio = SLR) unter gegebenen Bedingungen wird berechnet durch Multiplikation von Subfaktoren die den Einfluss verschiedener relevanter Managementeffekte wiedergeben. 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 7 Berechnung Subfaktoren

PLU_d – Subfaktor frühere Landnutzung an Tag d

CC_d – Bodenbedeckung durch Pflanzenbewuchs Bodenbedeckung an Tag d

SC_d – Subfaktor direkte Bedeckung des Bodens an Tag d

SR_d – Subfaktor Oberflächenrauigkeit an Tag d

Die Berechnung der einzelnen Subfaktoren kann dem USDA Handbuch 703 (Renard et al. 1997) entnommen werden.

Das Handbuch zur Benützung von BOBB bildet einen integrierenden Bestandteil des Abschlussberichts und ist beigelegt.

Das Programm inklusive Benutzerhandbuch kann unter http://www.baw-ikt.at/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=230&Itemid=0 bezogen werden.

3.4 Auswertung automatisiert ermittelter Fließwege von Teileinzugsgebieten der An-tiesen

Verbunden mit der Ermittlung von Flächen mit erhöhtem Gefährdungspotential in Bezug auf Phosphoreinträge in Oberflächengewässer ist die Fragestellung wie die landwirtschaftlich genutzten Flächen an die Oberflächengewässer angeschlossen sind. In diesem Arbeitsschritt wurden automatisiert ermittelte Fließwege mit kartierten Fließwegen im Projektgebiet verglichen. Diese Berechnungsschritte wurden für das Projektgebiet am Asböckbach in zwei kleinen Teileinzugsgebieten durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse von Produkt 3.4 und 3.5 erfolgt aufgrund der besseren Veranschaulichung im Anschluss an Kapitel 3.5.

3.4.1 Automatisiert ermittelte Fließwege

Datenbasis für die vorliegenden Berechnungen war das digitale Höhenmodell (DHM) des Projektgebietes, das zwei Teileinzugsgebiete der Antiesen am Asböckbach beinhaltet. Die Rasterweite des DHM beträgt 1m. Die Genauigkeit der verwendeten Laserdaten kann abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit sehr unterschiedlich sein. Die Höhengenaugkeit variiert bei ca. ± 15 cm, die Lagegenauigkeit liegt bei etwa ± 30 cm, die gemittelte Punktdichte bei 1 Punkt/m² (Land OÖ, 2009). Das verwendete DHM mit 1m Auflösung ist das räumlich genaueste Höhenmodell das zurzeit flächendeckend vorliegt.

Mittels ESRI ArcGIS 9.3 wurden die Fließwege automatisiert ermittelt, diese Software verwendet den sogenannten D8 Algorithmus für die Fließwegberechnung. Dabei wird Abfluss von einem Pixel in eines der acht Nachbar-Pixel geleitet, das den steilsten Gradienten hangabwärts aufweist. Im Gegensatz zu einem multiplen Algorithmus ist die Nachbildung eines sich diffus ausbreitenden Abflusses mit dem D8 Algorithmus nicht möglich. Da es sich allerdings um ein eindeutig reliefiertes Gelände handelt, ist diese Komponente zu vernachlässigen (Hösl, 2009).

Der D8 Algorithmus errechnet in einem ersten Schritt einen Rasterdatensatz aus dem die Fließrichtungen ersichtlich werden. Jeder Rasterzelle wird, je nach Abflussrichtung von East bis South East, ein Wert von eins bis acht zugewiesen. In einem weiteren Schritt werden die Einzugsgebietsgrößen aus dem Fließrichtung-Raster abgeleitet. Daraus ergibt sich ein Rasterdatensatz, der ein Fließwegenetz nachbildet. Der Wert in den Zellen stellt die Anzahl der Rasterzellen dar, die in das jeweilige Pixel entwässern. Daher lässt sich auch die Einzugsgebietsgröße, die über jedem einzelnen Pixel liegt, berechnen.

3.5 Auswertung durch Feldbegehung ermittelter Fließwege von Teileinzugsgebieten der Antiesen

3.5.1 Fließwegeermittlung unter Berücksichtigung von Feldkartierungen

Trotz der Verwendung hochauflösender Laserscans als Datengrundlage für die Erhebung von Fließwegen, entspricht ein automatisch generiertes Fließwegenetz nicht immer der Realität. Lineare Fließwege wie Entwässerungsgräben, Kanäle oder Straßengräben werden in automatisiert ermittelten Fließwegberechnungen nicht berücksichtigt, da diese Strukturen oft zu klein in ihrer Ausformung sind. Trotzdem beeinflussen sie die hydrologische Situation in einem Einzugsgebiet wesentlich.

Mittels Feldbegehungen wurden lineare Strukturen die als präferierte Fließwege fungieren und direkt mit dem Oberflächengewässer verbunden sind, erhoben. Im Zuge dessen wurde auch der genaue Bachverlauf im Projektgebiet erhoben. Das aus der DKM und der ÖK 50 vorliegende Gewässernetz wurde zum Teil im Maßstab 1:50 000 abgeleitet und weist dementsprechende Ungenauigkeiten in seiner Lage auf. Diese wurden mittels Orthofoto nachdigitalisiert und korrigiert.

Anschließend wurden die erhobenen linearen Fließwege sowie das korrigierte Gewässernetz in das DHM implementiert und „geburnt“ (künstlich tiefer gelegt), um den richtigen Verlauf des realen Gewässernetzes zu gewährleisten. Die Generierung des Fließwegenetzes erfolgte wiederum mittels ArcGIS 9.3 und dem D8 Algorithmus.

3.5.2 Ergebnisse und Vergleich der beiden Auswertungsmethoden

Anhand der nachstehenden Karte (Abbildung 5) wird der Unterschied zwischen den beiden Berechnungsvarianten verdeutlicht.

Ohne kartierte Fließwege und korrigiertes Gewässernetz wird das Fließwegenetz nur ungenau dargestellt. Damit einher geht die Verbindung zwischen landwirtschaftlicher Fläche und Oberflächengewässer, die ebenfalls nur ungenau dargestellt werden kann.

Mithilfe von Feldkartierungen konnte die hydrologische Situation im Projektgebiet bestmöglich dargestellt werden und bietet die Grundlage für weitere Modellanwendungen in Bezug auf Phosphoreinträge in Gewässer durch Bodenerosion.

Die nachfolgende Karte stellt einen Ausschnitt des Projektgebietes dar, um die Berechnungsergebnisse zu veranschaulichen. Aufgrund der kleinräumigen Strukturen eines berechneten Fließwegenetzes wurde auf die Abbildung des gesamten Projektgebietes verzichtet.

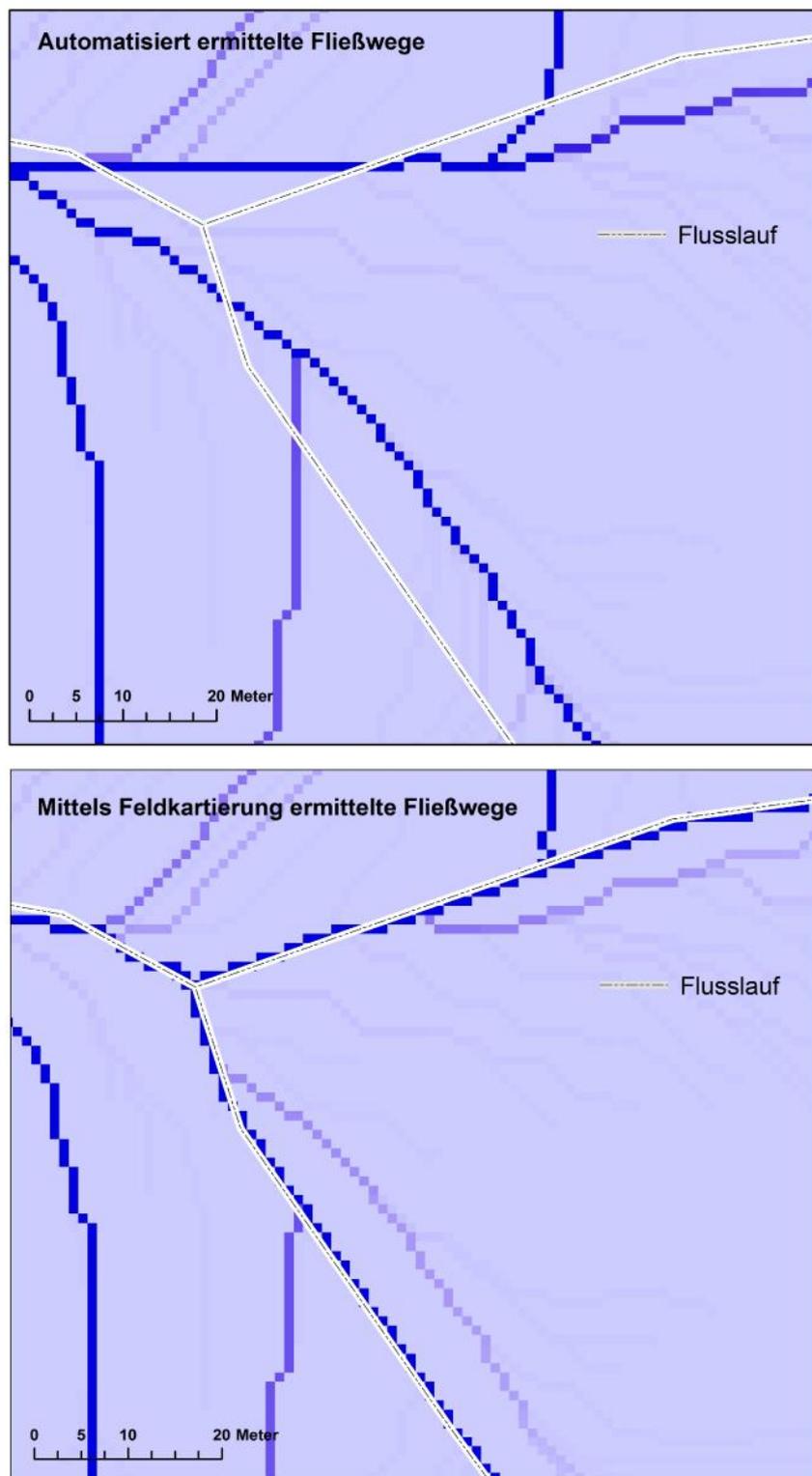


Abbildung 5 Beispielhafte Darstellung der berechneten Fließwege - Gegenüberstellung der beiden Berechnungsvarianten (Produkt 3.4 und 3.5)

3.6 Modell zur Beschreibung des Risikos von Phosphoreintrag in das Gewässer über den Eintragspfad Bodenerosion in Teileinzugsgebieten der Antiesen

Siehe 3.3

3.7 Bewertung der Schläge in Teileinzugsgebieten der Antiesen hinsichtlich des Risikos eines Phosphoreintrags in das Gewässer

Dieser Arbeitsschritt wurde ebenfalls im Hinblick auf die Ausweisung sensibler Flächen im Bezug auf Phosphoreinträge in Oberflächengewässer durchgeführt.

Ein so genanntes „Snap Shot Sampling“ („Blitzlicht-Beprobung“) Verfahren wurde eingesetzt, um Flächen zu ermitteln die einen hohen Anteil an der Gesamtposphorfracht im Gewässer liefern. Diese Methode kommt aufgrund des hohen Kartierungsaufwandes lediglich im Projektgebiet zum Einsatz.

3.7.1 Methodik

Bei einer Feldbegehung wurden alle Zuläufe in die Bachläufe des Projektgebietes kartiert. Dabei wurden sowohl Drainagen als auch natürliche Quellen und Zuflüsse erhoben. Der Bachlauf wurde in Bachabschnitte unterteilt. Geplant sind mehrere Probedurchgänge bei unterschiedlichen Wasserführungen des Bachlaufes. Dabei sollen für alle kartierten Drainagen und Bachabschnitte die Abflussmenge und deren Phosphorgehalt erhoben werden. Nicht alle erhobenen Drainagen und Flussabschnitte führen ständig Wasser. Abflussmessungen und Wasserproben wurden bei allen wasserführenden Drainagen und Bachabschnitte gemacht. Die entnommenen Wasserproben wurden im Labor in Petzenkirchen analysiert, der Abfluss wurde wenn möglich gemessen, bzw. geschätzt. An den Flussabschnitten fanden die Abflussmessungen mittels Salzverdünnungsmethode statt, bei den Drainagen wurde der Abfluss mit einem Standzylinder und einer Stoppuhr gemessen.

Abflussmessung mit Salzverdünnung

Bei der Anwendung von Verdünnungsmethoden wird dem fließenden Wasser ein Tracer, in diesem Fall Kochsalz (NaCl), zugeführt. Bei völliger Durchmischung des Tracers mit fließendem Wasser ist die Verdünnungslösung (NaCl) dem Durchfluss des Gewässers proportional. Mit einer Leitfähigkeitssonde wird der Verlauf des Tracers gemessen, daraus wird anschließend der gesuchte Abfluss berechnet.

An den zu messenden Flussabschnitten wurden erst zwei ungestörte Wasserproben entnommen, einmal für die Herstellung einer Eichbeziehung (250ml) und eine zweite Wasserprobe (1 l) für die Phosphoranalytik und Schwebstoffbestimmung im Labor. Danach wurde 1 l Bachwasser in eine Flasche gefüllt und eine definierte Menge des Tracers beigefügt (bei geschätzten $5-10 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ 50g, bei geschätzten $10-20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ 100 g, bei geschätzten $50-100 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ 500 g). Durch Schütteln der Flasche wurde das Kochsalz im Bachwasser völlig gelöst und danach in einen Kübel überführt.

Der Messsensor der Leitfähigkeitssonde wird in das Gerinne an der zu messenden Stelle hineingelegt, der Basiswert vor Zuführung des Tracers wird notiert. Das verwendete Leitfähigkeitsmessgerät ist mit zwei Sonden ausgestattet, es fand also immer eine Doppelmessung statt. Die Messstrecke sollte etwa die Gerinnebreite mal 20 betragen. Bei einer Gerinnebreite von beispielsweise 1m wird 20m flussaufwärts der Tracer gegen die Fließrichtung in den

Bachlauf geschüttet. Der Verlauf der Leitfähigkeit ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-3}$) wird beobachtet, es wird solange gemessen bis der Basiswert wieder erreicht wird. In einem Protokollblatt werden alle wesentlichen Daten aufgezeichnet wie Probestellnummer, Lage des Flussabschnittes, Zeitpunkt der Messung, Breite des Gerinnes, Messstrecke, geschätzter Abfluss, Salzzugabe, Löswasser und Basiswert der Leitfähigkeit ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Aus der Wasserprobe wurden im Labor anschließend Gesamtphosphor und Schwebstoffe (nur für die Messung im Jänner) ermittelt. Mit der zweiten Wasserprobe (250ml) wurde ein Eichkoeffizient für jeden Flussabschnitt bestimmt. Dazu wurde eine Salzlösung mit einer Konzentration von $20\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ bereit. In 200ml Bachwasser wurde anschließend schrittweise zwei bis dreimal 0.5ml der Salzlösung beigefügt und die steigende Leitfähigkeit notiert. Die Beziehung daraus ergibt den Eichkoeffizient (y), siehe Abbildung 6. Daraus wurde anschließend der Abfluss rechnerisch ermittelt.

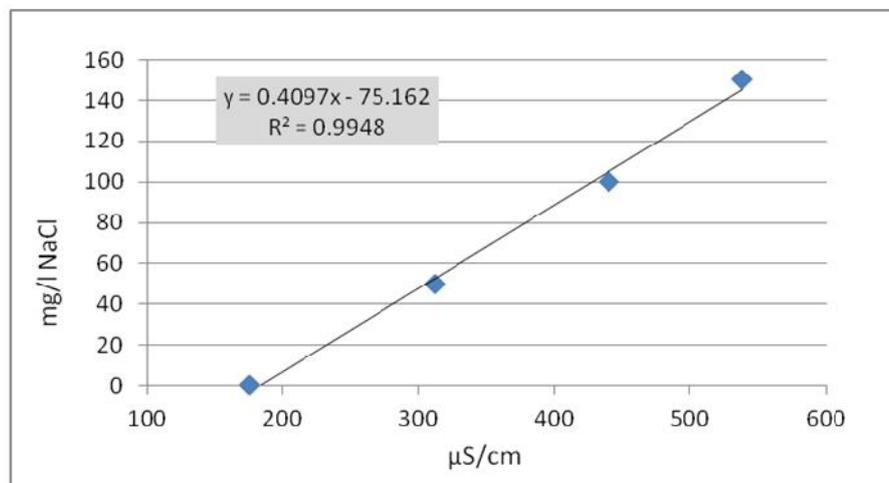


Abbildung 6 Bestimmung des Eichkoeffizienten (Beispiel)

3.7.2 Ergebnisse

Aus den ermittelten Laborwerten und Abflussmessungen wurden Phosphorfrachten berechnet. Diese wurden prozentuell auf die einzelnen Subeinzugsgebiete des Projektgebietes aufgeteilt. Nachfolgend sind die Ergebnisse des Probedurchgangs vom Juli 2010 und Jänner 2011 dargestellt.

Die in Abbildung 7 zu sehenden Beschriftungen beziehen sich auf Flussabschnitte (FA) und Drainagen (DR), mit Ausnahme von FA VII, dieser Punkt stellt eine Drainage dar.

Probedurchgang Juli 2010

Der Messpunkt MS I bezeichnet den Endpunkt der beiden Teileinzugsgebiete, die gemessene Phosphorfracht sowie der gemessene Abfluss an diesem Punkt werden bei der prozentuellen Aufteilung als jeweils 100% angenommen. Rund 1.5% des Abflusses vom Gesamtabfluss

des Projektgebietes an Messstelle MS I wurde nicht erhoben. Diese rund 3l stellen in diesem Probedurchgang den Fehlerwert dar.

Alle erhobenen und berechneten Werte des ersten Snap Shot Sampling-Durchganges vom Juli 2010 finden sich in Tabelle 3.

Tabelle 3 Ergebnisse aus der Snap Shot Sampling-Reihe vom Juli 2010

FA/DR	Abfluss	Gesamtphosphor		Fracht	
	l.sec	[mg.l PO ₄]	[mg.l P]	[mg.s]	%
MS I	44.8	0.44	0.14	19.76	100.00
MS II	24.0	0.40	0.13	9.69	49.04
FA II	9.0	0.41	0.13	3.65	18.49
FA III	trocken	-	-	-	-
FA IV	2.3	0.60	0.19	1.38	6.98
FA V	1.8	0.17	0.05	0.29	1.49
FA VI	0.7	1.00	0.33	0.71	3.57
FA VII*	0.1	0.35	0.11	0.04	0.19
DR 3	0.26	0.05	0.02	0.01	0.06
DR 7	0.02	0.11	0.03	0.00	0.01
DR 8	0.01	0.80	0.26	0.01	0.03
DR 42	0.32	0.08	0.03	0.03	0.13
DR 43	0.14	1.08	0.35	0.16	0.79
DR 44	0.20	0.42	0.14	0.08	0.43
DR 55	0.03	0.79	0.26	0.02	0.11
DR 57	0.20	2.82	0.92	0.56	2.86
DR 58	0.30	0.60	0.19	0.18	0.91
DR 85B	1.25	0.35	0.11	0.44	2.23
DR 85P	0.26	0.26	0.08	0.07	0.34
DR 90	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00
DR 93	0.04	0.10	0.03	0.00	0.02
DR 95	0.01	1.52	0.50	0.02	0.09
DR 200	0.12	0.70	0.23	0.08	0.42
DR 201	0.04	0.46	0.15	0.02	0.09
Q 13	0.20	2.25	0.74	0.45	2.28

*Stellt eine Drainage dar, keinen Flussabschnitt.

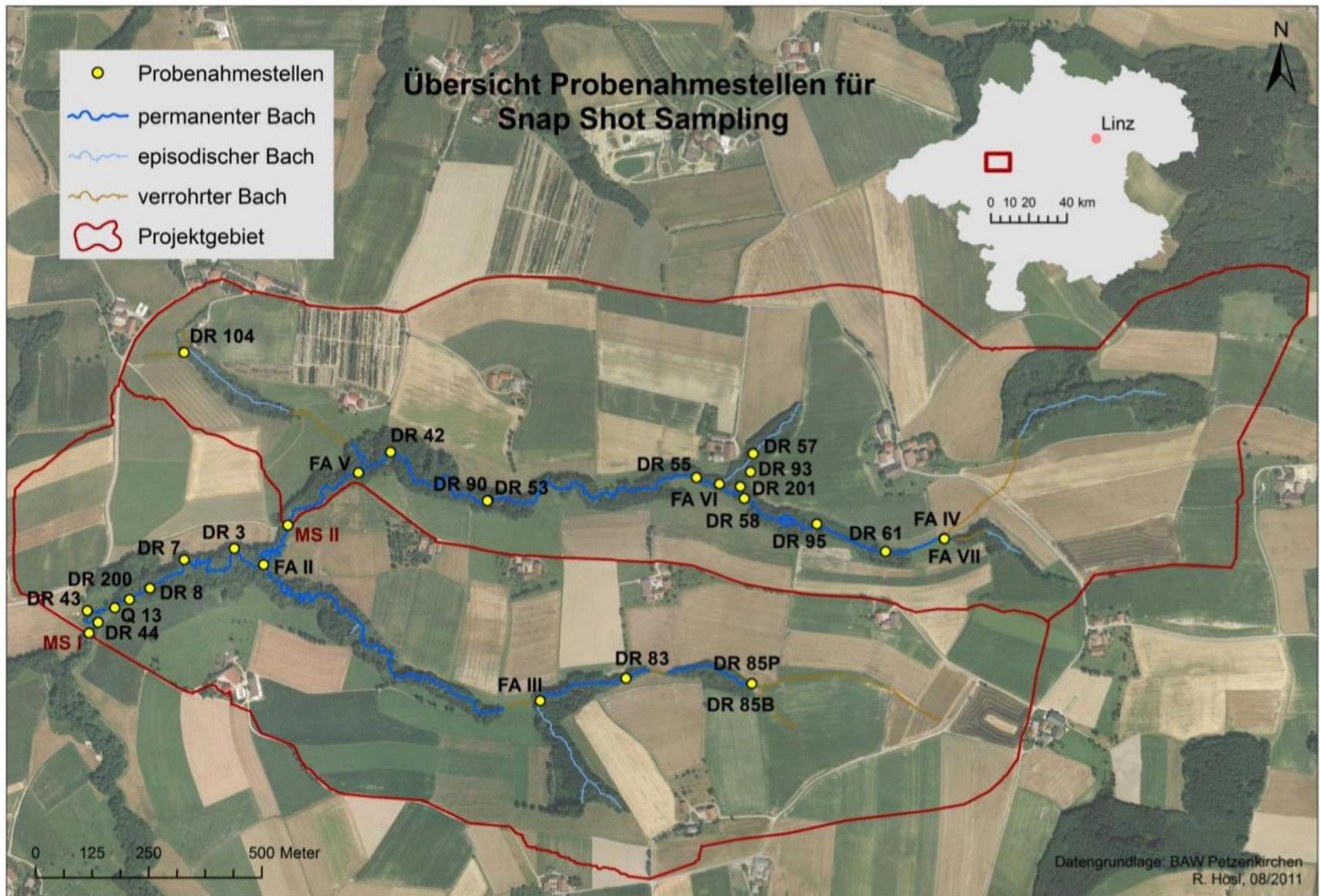


Abbildung 7 Übersicht Projektgebiet, beprobte Drainagen und Flussabschnitte für Snap Shot Sampling

Abbildung 8 zeigt das Ergebnis eines Snap Shot Sampling Durchgangs, der im Juli 2010 bei Mittelwasser durchgeführt wurde. Die Flussabschnitte FA II, FA V, FA VI, FA IV und DR 85 verhalten sich entsprechend ihrer Fläche. Die durch Differenzrechnung ermittelten Werte für MS I (31%) und MS II (37%) erscheinen hoch, in diesen Abschnitten befinden sich jedoch die meisten Drainagen. Die Subeinzugsgebiete der Drainagen konnten nicht ermittelt werden, da nicht klar ist wo genau die Drainagestränge verlaufen. Der Anteil an der Gesamtphosphorfracht aus den Drainagen beträgt in diesem Probedurchgang rund 10%.

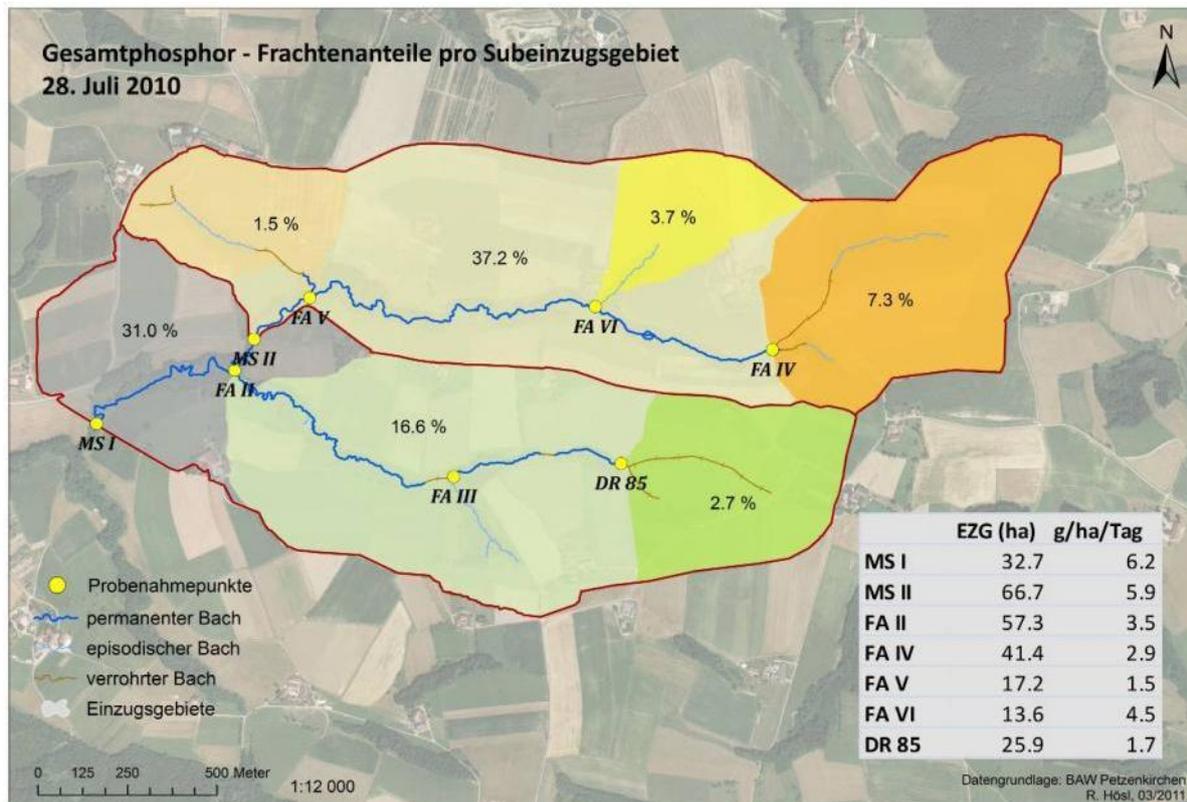


Abbildung 8 Snap Shot Sampling Juli 2010

Probedurchgang Jänner 2011

Tabelle 4 zeigt die Abfluss und Phosphorfrachten des Snap Shot Samplings bei Schneeschmelze im Jänner. MS I ist der Endpunkt des Monitoringgebietes, dessen Abfluss und Gesamtphosphorfracht wurde wiederum als 100% angenommen. Dass sich nicht genau 100% ergeben, wenn man die restlichen Probenahmestellen addiert, ergibt sich aus Ungenauigkeiten bei der Erfassung des Abflusses. Der Fehlerwert dieses Sampling Durchgangs liegt etwa bei 2%.

Durch die Witterungsverhältnisse wurde die Probenahme bei diesem Sampling etwas erschwert, DR 7 konnte beispielsweise nicht gefunden werden. DR 44 war unter Wasser, so dass der Abfluss nicht gemessen werden konnte. Bei DR 58 konnte zwar eine Wasserprobe entnommen werden, die Abflussmessung war aber nicht möglich.

Tabelle 4 Ergebnisse aus der Snap Shot Sampling-Reihe vom Jänner 2011

FA/DR	Abfluss	Gesamtphosphor		Fracht	
	l.sec	[mg.l PO ₄]	[mg.l P]	[mg.s]	%
MS I	185.8	1.29	0.42	239.7	100
MS II	74.6	1.46	0.48	108.9	45.4
FA II	40.0	1.31	0.43	52.4	21.9
FA III	2.0	0.81	0.27	1.6	0.7
FA IV	8.4	0.98	0.32	8.2	3.4
FA V	3.3	0.78	0.25	2.6	1.1
FA VI	7.4	2.34	0.76	17.3	7.2
FA VII	0.3	1.72	0.56	0.6	0.2
DR 3	0.55	0.2	0.066	0.11	0.05
DR 7	---	---	---	---	---
DR 8	0.0	2.18	0.71	0.01	0.00
DR 42	0.1	0.48	0.16	0.04	0.02
DR 43	5.0	1.75	0.57	8.75	3.65
DR 44	---	---	---	---	---
DR 53	0.04	1.41	0.46	0.05	0.02
DR 55	1.43	3.08	1.00	4.40	1.84
DR 57	5.00	4.03	1.32	20.15	8.41
DR 58	---	0.85	0.28	---	---
DR 61	1.11	0.82	0.27	0.91	0.38
DR 83	0.29	1.12	0.37	0.32	0.13
DR 85B	4.00	1.73	0.57	6.92	2.89
DR 85P	4.00	1.94	0.63	7.76	3.24
DR 93	0.26	0.96	0.31	0.25	0.11
DR 95	0.67	1.76	0.57	1.17	0.49
DR 104	0.14	2.67	0.87	0.36	0.15
DR 115	1.03	0.85	0.28	0.88	0.37
DR 200	0.44	1.45	0.47	0.63	0.26
DR 201	0.77	1.07	0.35	0.82	0.34

Abbildung 9 zeigt das Ergebnis des Snap Shot Sampling Durchgangs das bei Schneeschmelze im Jänner 2011 durchgeführt wurde. Bei der prozentuellen Verteilung der Gesamtphosphorfracht zeigt sich ein ähnliches Bild wie in Abbildung 8. Lediglich die Bachabschnitte FA VI und DR 85 zeigen erhöhte Werte im Gegensatz zu den anderen Abschnitten FA V, VA IV und FA III. Der gravierende Unterschied zu dem im Sommer durchgeführten Sampling Durchgang ist aber die Höhe der Phosphorfracht. Die höchsten Werte ergaben sich für den Bachabschnitt FA VI mit einer Gesamtphosphorfracht von knapp 110 g Phosphor pro Hektar und Tag. Zum Vergleich – die höchsten Werte beim Snap Shot Sampling Durchgang im Sommer 2010 erreichte der Bachabschnitt MS I mit rund 6 g.ha/Tag. Der Frachtenanteil aus den Drainagen beträgt hier rund 16%, war also im Jänner bei Schneeschmelze deutlich höher als im Sommer.

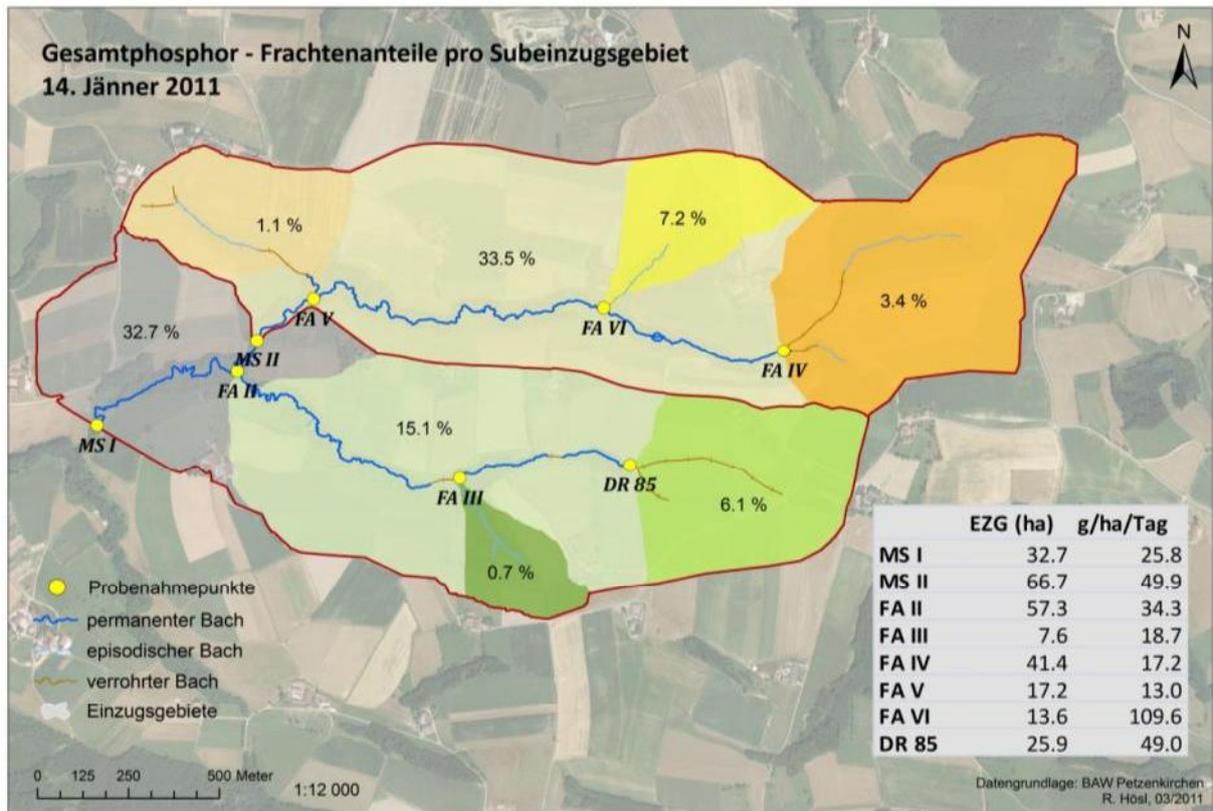


Abbildung 9 Snap Shot Sampling Jänner 2011

4. Arbeitspaket Monitoring-Messstellen

Ein begleitendes Monitoring in ausgewählten Teileinzugsgebieten der Antiesen und ausgewählten landwirtschaftlich genutzten Flächen, sollte die Wirksamkeit der umgesetzten Gewässerschutzmaßnahmen im Projektgebiet evaluieren.

Das Monitoring beinhaltet die Messung von Schwebstoffkonzentration, Phosphorkonzentrationen und Abflüssen, sowie Untersuchung bodenlebender Algengemeinschaften an ausgewählten Fließgewässern, um den Nachweis über die Wirksamkeit von umgesetzten Maßnahmen in Teileinzugsgebieten der Antiesen zu erbringen.

Kontinuierlich erfasst wurden Abfluss und Schwebstoffgehalt. Über ein zusätzliches Probenahmeprogramm bei Niederschlagsereignissen wurden einerseits die Schwebstoffsonden kalibriert, andererseits die Phosphorkonzentrationen gemessen. Das Messprogramm wurde von August 2010 bis Juli 2012 durchgeführt.

Tabelle 5 Produkte des Arbeitspaketes „Monitoring-Messstellen“

Nr.	Beschreibung	Typ
4.1	Aufbau von drei Messstationen zur Ermittlung von Niederschlag, Abfluss, Schwebstoffgehalt und Phosphorkonzentration des abfließenden Wassers	Bericht
4.2	Erfassung der Niederschläge (Summen, Intensitäten) für Teileinzugsgebiete der Antiesen	Daten
4.3	Erfassung der Abflüsse (zeitliche Auflösung 5 min) für Teileinzugsgebiete der Antiesen	Daten
4.4	Erfassung der ereignisabhängigen (Probenahme abflussgesteuert) Schwebstoffkonzentrationen für Teileinzugsgebiete der Antiesen	Daten
4.5	Erfassung der ereignisabhängigen (Probenahme abflussgesteuert) Phosphorkonzentrationen für Teileinzugsgebiete der Antiesen	Daten
4.6	Darstellung der erhaltenen Messdaten	Bericht

4.1 Aufbau von drei Messstationen zur Ermittlung von Abfluss, Schwebstoffgehalt und Phosphorkonzentration

4.1.1 Beschreibung des Projektgebietes Asböckbach

Die Auswahl von geeigneten Monitoringgebieten im Einzugsgebiet der Antiesen ging einher mit der Erstellung der Erosionsgefährdungskarte (Produkt 3.1). Aus dieser Karte wurden

besonders erosionsgefährdete Teileinzugsgebiete der Antiesen ersichtlich. Mit Hilfe eines Luftbildes wurde im Anschluss das gesamte Einzugsgebiet der Antiesen nach geeigneten Monitoringflächen abgesucht. Vorzugsweise sollte sich das Monitoringgebiet in einem besonders erosionsgefährdeten Gebiet befinden (siehe rote Flächen, Abbildung 1). Folgenden Kriterien wurden für die Auswahl des Monitoringgebietes herangezogen:

- Ein abgegrenztes Teileinzugsgebiet – Beginn eines permanenten Gewässers
- Gegebene Erosionsgefährdung (laut Erosionsgefährdungskarte Abbildung 1)
- Überwiegend Ackernutzung
- Größe 1km² oder kleiner
- Möglichst wenig Straßen und Infrastruktur, kein Siedlungsgebiet

Nach diesen Kriterien wurden sechs mögliche Monitoringgebiete vorab ausgewählt. Diese wurden Anfang April mit allen österreichischen Projektpartner vor Ort besichtigt. Nach Rücksprache fand im Juni 2010 die endgültige Festlegung zweier Teileinzugsgebiete statt (Abbildung 10). Innerhalb dieser zwei Subeinzugsgebiete befindet sich auch eine zusammenhängende Ackerfläche (~10ha) die an einem Punkt entwässert. An dieser Stelle wurde die dritte geplante Messstelle installiert (Einzelschlag). Die Lage der ausgewählten Monitoringgebiete (Projektgebiet) ist auf den bisher gezeigten Abbildungen ersichtlich.



Abbildung 10 Lage der Messstellen und der Wetterstation im Projektgebiet

Das ausgewählte Monitoringgebiet befindet sich am Asböckbach, einem rechtsseitigen Zubringer der Antiesen, im Nordosten des Einzugsgebietes. Alle geplanten Messstellen sind in diesem Projektgebiet installiert. In weiterer Folge werden die drei Einzugsgebiete als „As-

böckbach 1“, „Asböckbach2“ und „Einzelschlag“ bezeichnet. Endpunkt des gesamten Monitoringgebietes ist die Messstelle Asböckbach 1 (MS I) wie in Abbildung 10 ersichtlich. Gebietsauslass von Asböckbach 2 ist der Messpunkt MS II. Das heißt, Asböckbach 2 ist ein Teileinzugsgebiet von Asböckbach 1.

Beide Teileinzugsgebiete sind vorwiegend ackerbaulich genutzt, der durchschnittlicher jährlicher Niederschlag in dieser Region beträgt 950 mm (ZAMG, 2011), weitere wesentliche Charakteristika der Einzugsgebiete finden sich in Tabelle 6, die Nutzung bezieht sich auf die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche, diese wurden aus den INVEKOS Daten von 2009 erhoben.

Tabelle 6 Charakteristika der Monitoringgebiete am Asböckbach

Messstelle	Größe	Durchschnittliche Hangneigung	Nutzung in % Ackerland/Grünland
Asböckbach 1	240 ha	12.2%	87/13
Asböckbach 2	136 ha	13.5%	93/7
Einzelschlag	12 ha	9.3%	100/0

4.1.2 Monitoringprogramm

Für ein kontinuierliches Monitoring von Abfluss und Schwebstoff wurden drei Messstellen eingerichtet (Lage siehe Abbildung 10). Phosphorkonzentrationen werden bei Niederschlagsereignissen ereignisbezogen gemessen. Zwei der drei Messstellen sind ident aufgebaut (Asböckbach 1 und Asböckbach 2): eine Drucksonde wurde in ein definiertes Bauwerk (Rohrdurchlass unter Brücken) eingebaut um den Durchfluss zu ermitteln. Diese Drucksonde steuert den automatischen Probensammler, der Wasserproben aus dem Bachlauf entnimmt, sobald der Druck über einen bestimmten Schwellenwert steigt. So wird gewährleistet, dass Wasserproben bei einem Niederschlagsereignis gesammelt werden und später im Labor analysiert werden können (Schwebstoff und Phosphor). Zusätzlich werden mit einer Feststoffsonde Schwebstofffrachten kontinuierlich im Gewässer gemessen (siehe Abbildung 11). Die Datenübertragung erfolgt mittels GPRS Modem, somit können aktuelle Daten online eingesehen werden, Wasserproben die bei einem Niederschlagsereignis anfallen, können schnellstmöglich abgeholt und ins Labor gebracht werden. Alle Gerätschaften wurden zum Schutz in eine ausgeschlachtete Kühltruhe eingebaut.

Die dritte Messstelle (Einzelschlag, siehe Abbildung 12) befindet sich direkt am Feld. Die ausgewählte Fläche entwässert an einem Punkt, an dem ein Wehr installiert wurde, das den Oberflächenabfluss erfasst. Die Messinstrumente sind auch hier dieselben – Drucksonde, Feststoffsonde und automatischer Probensammler. Im Gegensatz zu den ersten beiden Messstellen wird am Einzelschlag oberflächlicher Abfluss gemessen und die Sedimentfracht die vom Acker abgeschwemmt wird erhoben. Die Messungen an den drei errichteten Mess-

stellen liefen kontinuierlich (Produkt 4.3 bis 4.5), lediglich die Feststoffsonde musste aufgrund der mangelnden Stromversorgung durch die Solarpanele über die Wintermonate Dezember bis März ausgeschaltet werden. In dieser Zeit wurden vermehrt Handproben genommen um den Verlauf der Schwebstofffracht zu erheben. Die erhaltenen Messergebnisse bedurften einer umfangreichen Kalibrierung.



Abbildung 11 Feststoffsonde (schwarz) und Schlauch des Probensammlers (weiß) an der Messstelle Asböckbach 2



Abbildung 12 Messstelle Einzelschlag

4.2 Erfassung der Niederschläge – Wetterstation

Anfang Juli wurde eine Wetterstation im Projektgebiet installiert. Diese befindet sich in der Mitte des Gebietes (Abbildung 10) und erfasst Niederschlag, Temperatur, Windrichtung, Windstärke, Luftfeuchte und Globalstrahlung (Abbildung 13). Die Klimastation im Projektge-

biet am Asböckbach ist seit dem 8. Juli 2010 in Betrieb. Die ermittelten Klimadaten Niederschlag und Temperatur werden vierteljährlich den Landwirten im Projektgebiet zur Verfügung gestellt.



Abbildung 13 Wetterstation im Projektgebiet Asböckbach

Abbildung 14 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Monatsmittelwerte der Lufttemperatur für die gesamte Messperiode (Juli 2010 bis Juli 2012). Die Lufttemperatur wurde in einem Intervall von 10 Minuten aufgezeichnet, aus diesen Werten wurden im Anschluss Tages- bzw. Monatsmittelwerte berechnet. Im Vergleich dazu sind die langjährigen Monatsmitteltemperaturen von 1971-2000 der nächstgelegenen Klimastation Ried im Innkreis (ZAMG, 2011) dargestellt.

Die gemessenen Monatsniederschläge werden in

Abbildung 15 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** angeführt. Die Niederschlagswerte wurden in einem Aufzeichnungsintervall von einer Minute aufgezeichnet. Aus diesen Werten wurden Tages- bzw. Monatsniederschläge berechnet. Eine Monatsübersicht der gemessenen Temperatur- und Niederschlagswerte liefert Tabelle 7, zusätzlich gezeigt wird dazu im Vergleich das langjährige Niederschlagsmittel an der Klimastation Ried im Innkreis (ZAMG, 2011).

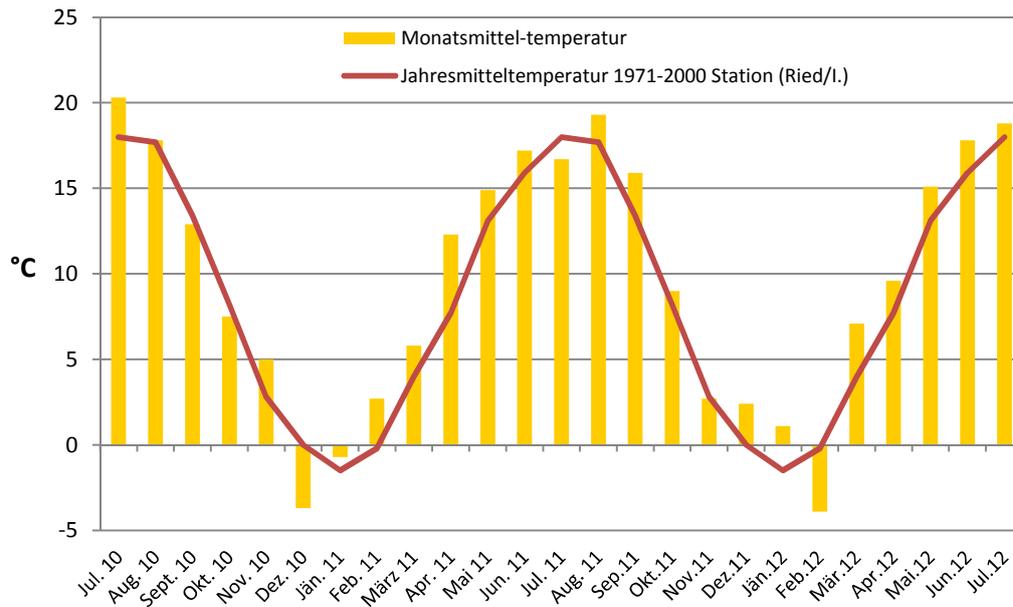


Abbildung 14 Monatsmitteltemperaturen Juli 2010 bis Juli 2012 im Projektgebiet und 30-jähriges Temperaturmittel der Station Ried/I.

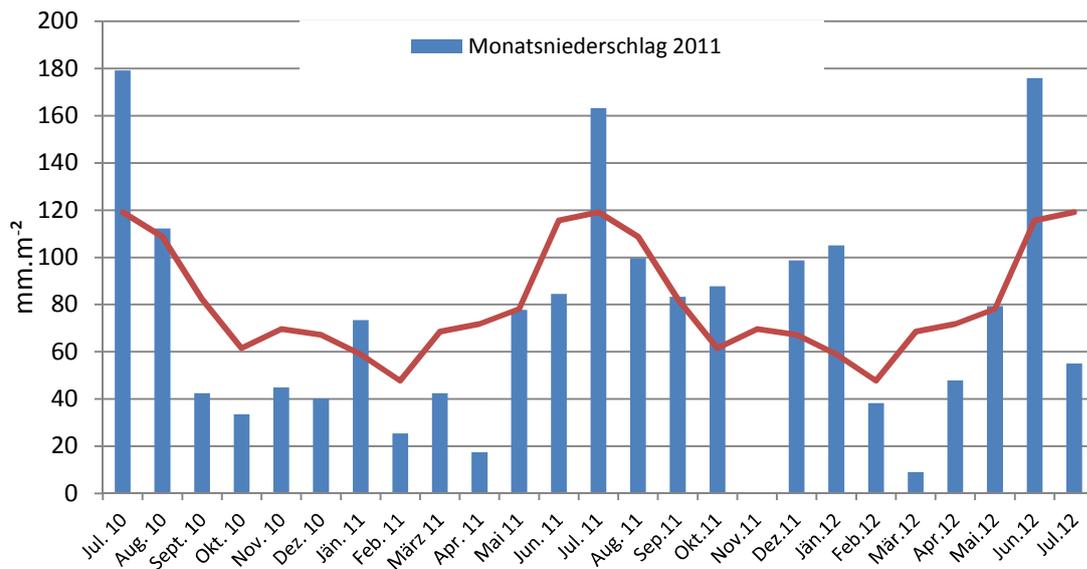


Abbildung 15 Monatsniederschläge von Juli 2010 bis Juli 2012 im Projektgebiet Asböckbach und 30-jähriger Monatsniederschlag der Klimastation Ried/I.

Tabelle 7 Monatsmitteltemperaturen und Monatsniederschläge von Juli 2010 bis Juli 2012 im Projektgebiet Asböckbach

	Monatsmitteltemperatur (°C)		Monatsniederschlag (mm/m ²)	
	Projektgebiet Asböckbach	Mittelwert 1971-2000 (Station Ried/I.)	Projektgebiet Asböckbach	Mittelwert 1971-2000 (Station Ried/I.)
Juli 2010	20.3	18.0	179.2	119.2
August 2010	17.8	17.7	112.2	108.8
September 2010	12.9	13.4	42.4	82.4

Oktober 2010	7.5	8.2	33.5	61.5
November 2010	5.0	2.8	44.9	69.7
Dezember 2010	-3.7	0.0	40.1	67.2
Jänner 2011	-0.7	-1.5	73.4	59.0
Februar 2011	2.7	-0.2	25.4	47.7
März 2011	5.8	4.0	42.4	68.6
April 2011	12.3	7.7	17.4	71.8
Mai 2011	14.9	13.1	77.7	78.2
Juni 2011	17.2	15.9	84.5	115.7
Juli 2011	16.7	18.0	163.3	119.2
August 2011	19.3	17.7	99.7	108.8
September 2011	15.9	13.4	83.3	82.4
Oktober 2011	9	8.2	87.8	61.5
November 2011	2.7	2.8	0.4	69.7
Dezember 2011	2.4	0.0	98.7	67.2
Jänner 2012	1.1	-1.5	105.1	59.0
Februar 2012	-3.9	-0.2	38.2	47.7
März 2012	7.1	4.0	9	68.6
April 2012	9.6	7.7	47.8	71.8
Mai 2012	15.1	13.1	79.4	78.2
Juni 2012	17.8	15.9	176.0	115.7
Juli 2012	18.8	18.0	55.1	119.2

4.3 Erfassung der Abflüsse für Teileinzugsgebiete der Antiesen (August 2010 – Juli 2012)

Die Abflüsse an den beiden Messstationen Asböckbach 1 und Asböckbach 2 wurden von August 2010 bis Juli 2012 kontinuierlich erfasst. Für die Messstelle Einzelschlag wurden ereignisabhängig (bei Starkniederschlägen) Abflüsse gemessen, diese Messstelle war von September 2010 bis Juli 2012 in Betrieb.

Die Erfassung der Abflüsse erfolgte durch eine Drucksonde, die in einem definierten Querschnitt, einem Rohrdurchlass installiert wurde. Durch Kalibrierung der Messwerte kann auf den Wasserstand im Rohrdurchlass rückgerechnet werden. Über den Wasserstand und die Dimensionen des Rohrdurchlasses wird der tatsächliche Durchfluss berechnet.

Für die Berechnung der Schlüsselkurven wurden mittels Salzverdünnungsmethode (siehe 3.7) Kontrollmessungen durchgeführt. Bei Messausfällen wurden die Werte der Drucksonde anhand von Kontrollwerten ergänzt und angepasst.

Asböckbach 1

An der Messstelle Asböckbach 1 (Abbildung 10) befindet sich ein Maulprofilrohr aus Metall, an dessen Boden eine Drucksonde installiert wurde, um den Durchfluss berechnen zu können. Das Maulprofilrohr hat folgende Dimensionen:

Breite = 2200 mm;

Höhe = 1650 mm;

Radius = 1100 mm;
Energiegefälle = 1,0 ‰



Abbildung 16 Maulprofilrohr an der Messstelle Asböckbach 1 (MSI)

Der berechnete Pegelschlüssel für die Messstation Asböckbach 1 befindet sich in Tabelle 8.

Tabelle 8 Pegelschlüssel für die Messstelle Asböckbach 1

Wasserstand [cm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.00	0.316	1.39	3.30	6.09	9.81	14.5	20.1	26.8	34.4
10	43.1	53.8	65.6	78.5	92.2	107	123	139	157	175
20	195	215	236	258	281	304	328	354	380	407
30	434	463	492	522	552	584	616	649	683	717
40	753	789	825	863	901	940	979	1020	1061	1102

Asböckbach 2

An der Messstelle Asböckbach 2 befindet sich ein Rohrdurchlass, in dem eine Drucksonde eingebaut wurde. Das Messprinzip entspricht dem der Messstelle Asböckbach 1. Der Kreisdurchlass hat folgende Dimensionen:

Durchmesser = 960 mm;
Energiegefälle = 1,3 ‰



Abbildung 17 Rohrprofil an der Messstelle Asböckbach 2

Der berechnete Pegelschlüssel für die Messstation Asböckbach 2 befindet sich in Tabelle 9.

Tabelle 9 Pegelschlüssel für die Messstelle Asböckbach 2

Wasserstand [cm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.00	2.00	2.44	2.97	3.61	4.39	5.33	6.49	7.89	9.60
10	15.6	21.6	28.1	35.0	42.3	50.0	58.0	66.3	74.9	83.7
20	92.9	102	112	122	132	142	153	163	174	185
30	197	211	225	240	254	269	283	298	312	327
40	342	356	371	386	400	415	430	445	459	474
50	489	504	519	534	549	564	579	594	608	623

Eine Darstellung der Abflusswerte folgt unter Punkt 4.6.

4.4 Erfassung der ereignisabhängigen (Probenahme abflussgesteuert) Schwebstoffkonzentrationen für Teileinzugsgebiete der Antiesen

Die Schwebstoffkonzentrationen für Asböckbach 1 und Asböckbach 2 wurde von August 2010 bis Juli 2012 kontinuierlich mittels Feststoffsonde erfasst. Im Ereignisfall wurden zusätzlich durch einen automatischen Probensammler Wasserproben aus dem Gerinne entnommen und anschließend im Labor analysiert. Diese Werte dienten auch zur Kalibrierung der Feststoffsonde.

Für die Messstelle Einzelschlag wurden die Schwebstoffkonzentrationen nur im Ereignisfall – bei Starkniederschlägen, gemessen. Im Ereignisfall wurden ebenfalls mittels automatischen Probensammlers Wasserproben des Oberflächenabflusses genommen und im Labor analysiert.

Ergebnisse dazu werden unter Punkt 4.6 dargestellt.

4.5 Erfassung der ereignisabhängigen (Probenahme abflussgesteuert) Phosphorkonzentrationen für Teileinzugsgebiete der Antiesen

Die Erfassung der Phosphorkonzentrationen für Asböckbach 1 und Asböckbach 2 verläuft abflussgesteuert. Mittels automatischen Probensammlers werden abflussabhängig Wasserproben aus dem Gerinne entnommen und im Labor auf Gesamtphosphor (PO_4 und P) analysiert. Kontinuierliche Messungen fanden von August 2010 bis Juli 2012 statt.

Für die Messstelle Einzelschlag wurden die Phosphorkonzentrationen nur im Ereignisfall – bei Starkniederschlägen, gemessen, diese Messstelle war von September 2010 bis Juli 2012 im Einsatz. Wasserproben wurden abflussgesteuert mittels automatischen Probensammlers genommen und anschließend im Labor analysiert.

Ergebnisse dazu werden unter Punkt 4.6 dargestellt.

4.6 Darstellung der erhaltenen Messdaten

Die erhaltenen Daten der Punkte 4.3 bis 4.5 werden im Anschluss überblicksartig dargestellt, es handelt sich dabei um korrigierte und kalibrierte Daten.

Datenlücken die aufgrund technischer Schwierigkeiten auftraten, wurden anhand von Laborwerten von Handproben ergänzt und korrigiert.

Sämtliche Datenreihen sind in Minutenwerten, 5-Minutenwerten, Tageswerten sowie Monatswerten verfügbar. Aufgrund der sehr umfangreichen Datenmenge der knapp zweijährigen Messperiode werden sämtliche Datenreihen diesem Bericht nur in digitaler Form beigelegt. Zur Übersicht werden im Anschluss lediglich die Monatswerte grafisch dargestellt, um einen entsprechenden Überblick zu vermitteln.

Asböckbach 1

Basisabfluss und Direktabfluss sind gemeinsam mit den Monatsniederschlagswerten in Abbildung 18 dargestellt. Betrachtet man den Jahresverlauf der Abflüsse, lässt sich ein deutliches Maximum jeweils im Jänner feststellen, dies ist auf die Schneeschmelze zurückzuführen. Die niederschlagsreichsten Monate sind erwartungsgemäß die Sommermonate, sie weisen vergleichsweise geringe Abflüsse auf, was auf die höheren Verdunstungsraten zu dieser Zeit zurückzuführen ist. Derselbe Verlauf ist ebenfalls an der Messstelle Asböckbach 2 zu beobachten (Abbildung 22).

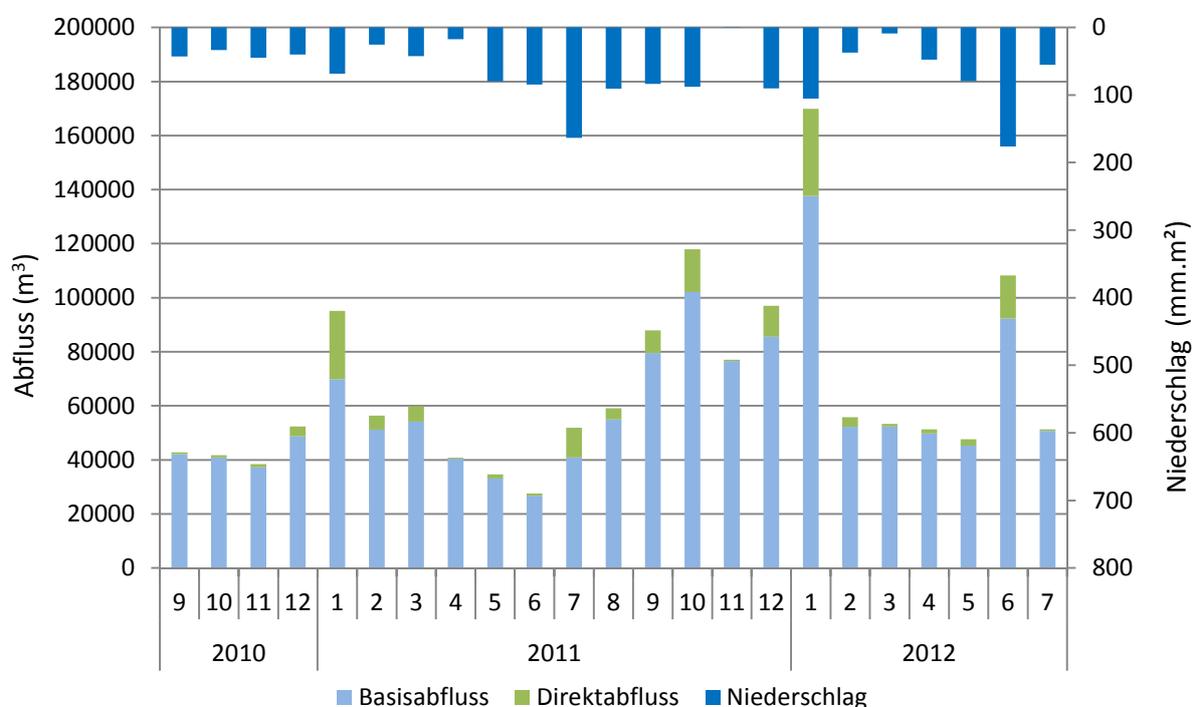


Abbildung 18 Asböckbach 1 Basisabfluss, Direktabfluss und Niederschlag – Monatswerte

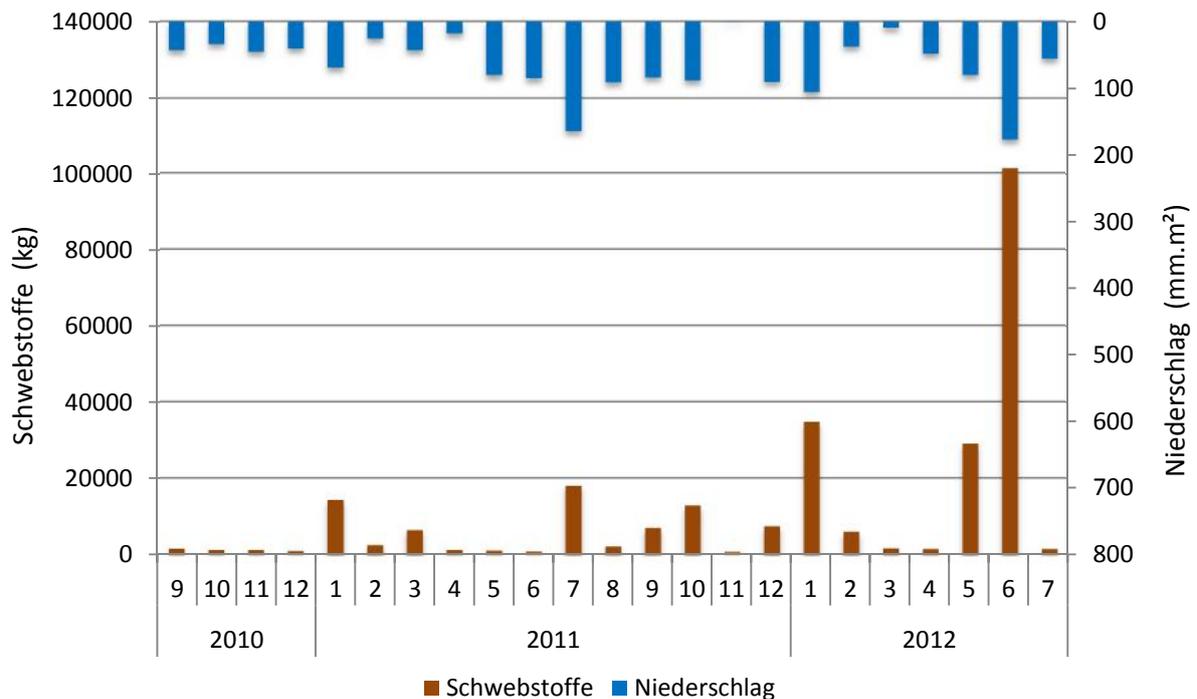


Abbildung 19 Asböckbach 1 Schwebstoffe im Abfluss und Niederschlagswerte – Monatswerte

Die Schwebstofffrachten werden ebenfalls als Monatswerte in Abbildung 19 für die gesamte Messperiode für die Messstelle Asböckbach 1 dargestellt. Diese Darstellung ähnelt wiederum sehr den Ergebnissen der Messstelle Asböckbach 2 (Abbildung 23). Durch die gleichen Witterungsverhältnisse fand auch ein sehr ähnliches Erosionsgeschehen statt.

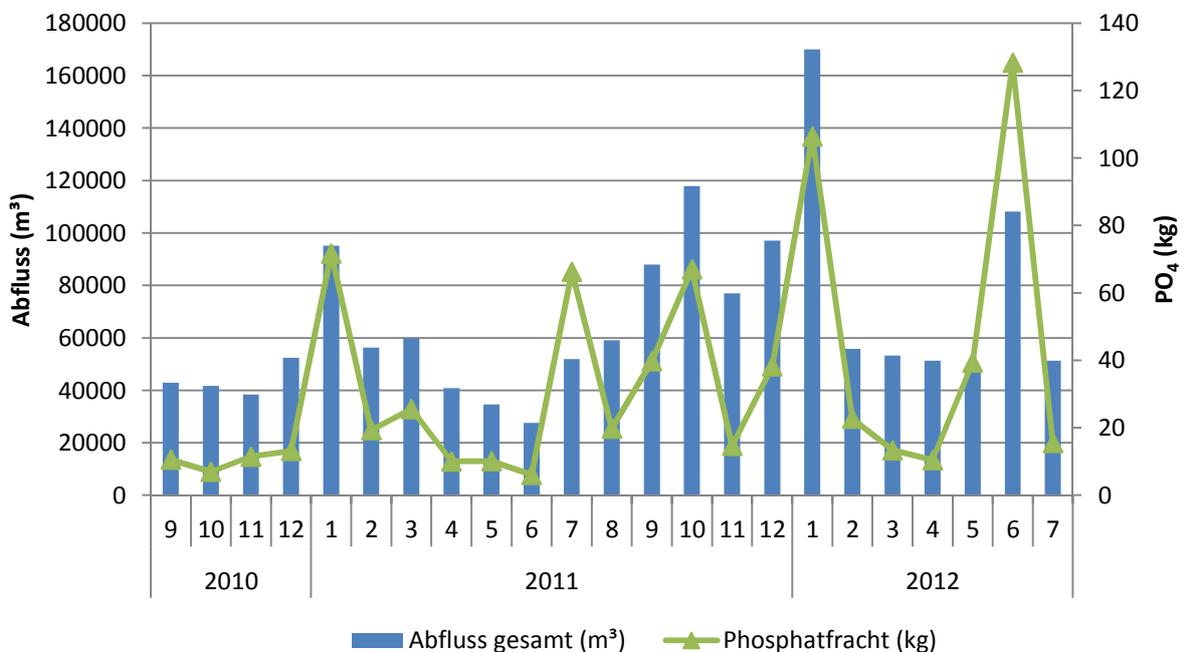


Abbildung 20 Asböckbach 1 Phosphorfracht im Abfluss – Monatswerte

Die monatliche Phosphatfracht (PO_4) wurde gemeinsam mit dem Gesamtabfluss in Abbildung 20 dargestellt. Diese ist im Wesentlichen abhängig von der Schwebstofffracht, da

Phosphor hauptsächlich partikulär gebunden transportiert wird. Der positive Zusammenhang zwischen Schwebstoff- und Phosphorfracht ist auch in Abbildung 21 dargestellt. Je mehr Schwebstoffe sich im Fließgewässer befinden, umso mehr Phosphor kann auch gefunden werden.

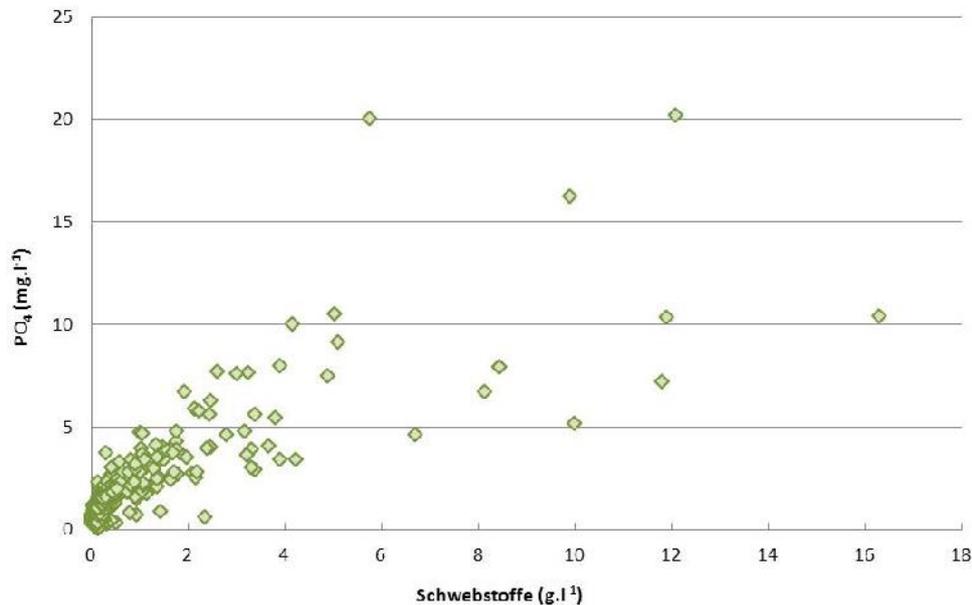


Abbildung 21 Beziehung zwischen Schwebstoffen und Phosphor (PO₄) im Gewässer, gemessene Daten von Asböckbach 1 und 2 (n=555)

Asböckbach 2

Die nachstehenden Abbildungen (Abbildung 22, Abbildung 23, Abbildung 24) geben die erhobenen Daten an der Messstelle Asböckbach 2 wieder. Da sich diese Messstelle innerhalb der Messstelle Asböckbach 1 befindet, verlaufen die Abflusskurven, Schwebstoff- und Phosphorfrachten ähnlich wie bei Asböckbach 1. Im Durchschnitt kommen 40% des gesamten Abflusses (Asböckbach 1) vom Einzugsgebiet Asböckbach 2. Ähnlich verhalten sich auch die Anteile an Sediment- und Phosphatfrachten (Tabelle 10).

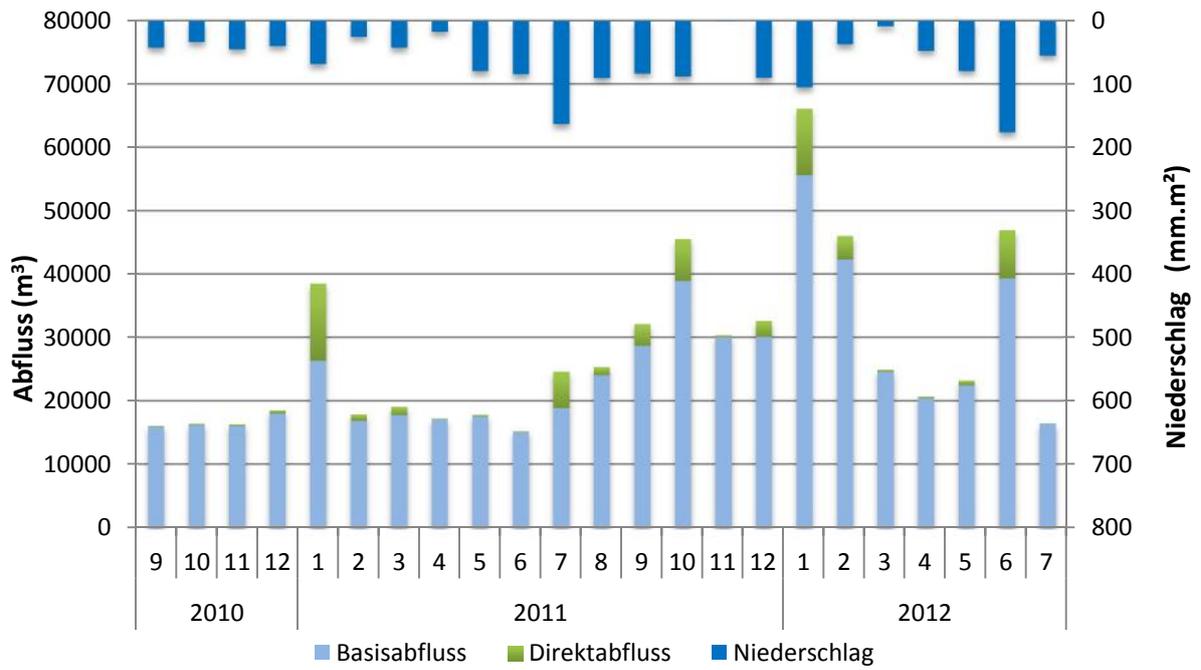


Abbildung 22 Asböckbach 2 Basisabfluss, Direktabfluss und Niederschlag – Monatswerte

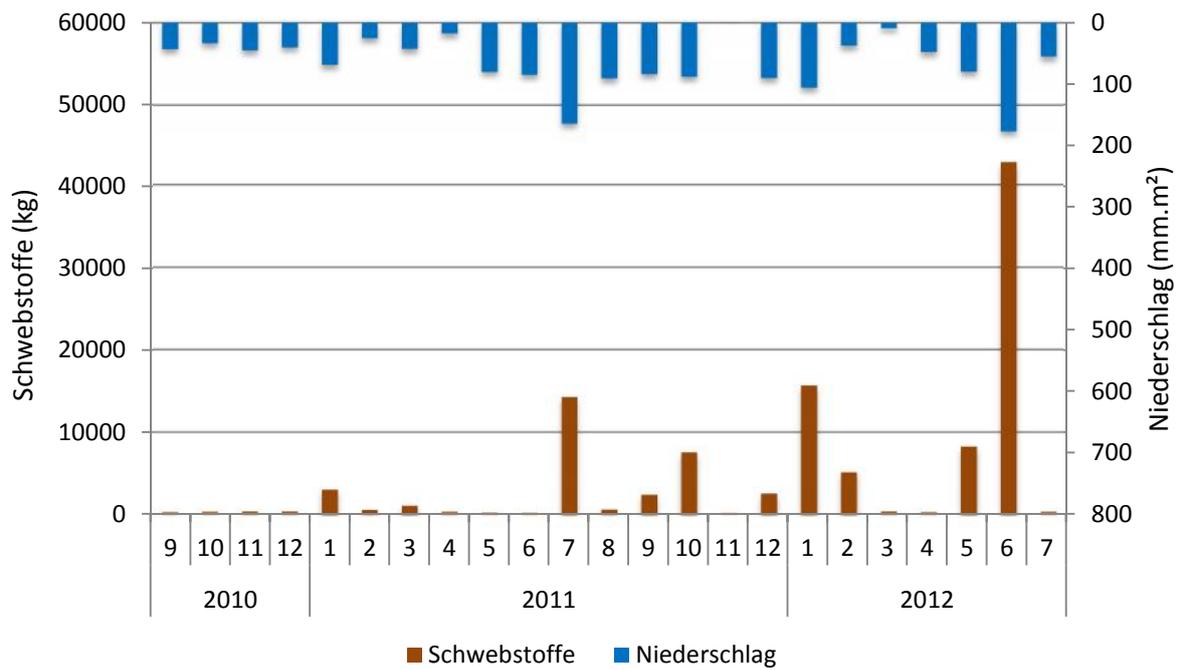


Abbildung 23 Asböckbach 2 Schwebstoffe im Abfluss und Niederschlag – Monatswerte

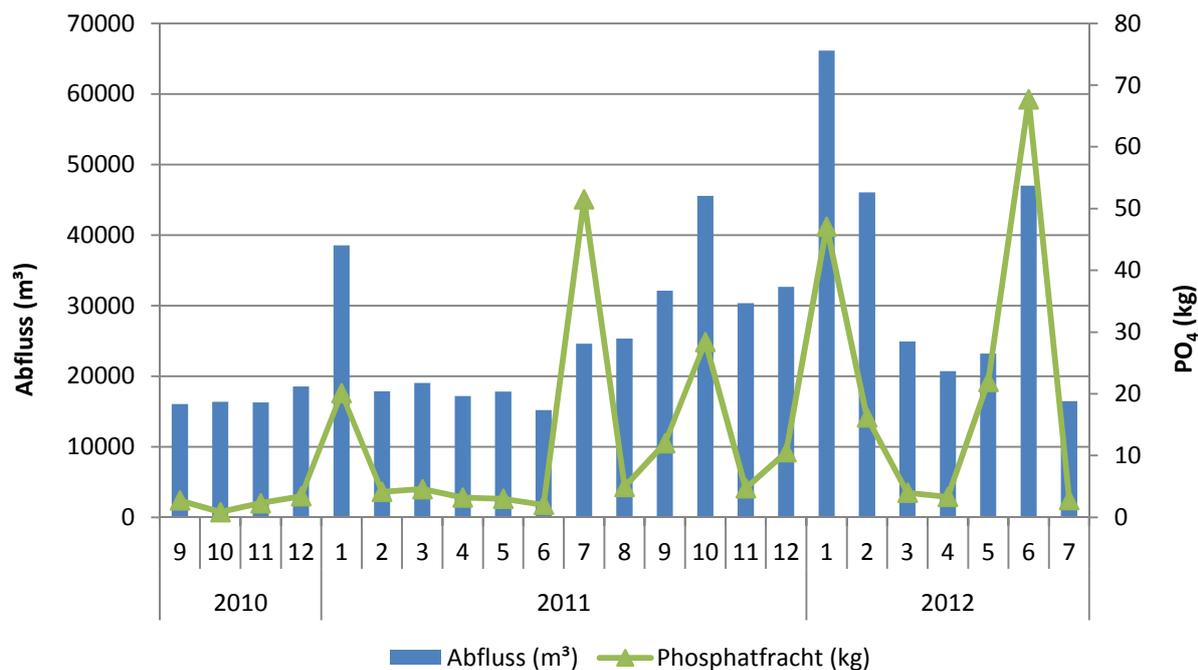


Abbildung 24 Asböckbach 2 Phosphorfracht im Abfluss – Monatswerte

Vergleichende Darstellung

Aufgrund unterschiedlich großer Einzugsgebiete und unterschiedlichen Witterungsverhältnissen während des Projektzeitraumes ergeben sich auch unterschiedliche Abflussmengen, sowie Sediment- und Phosphatausträge (PO_4) aus den beiden Einzugsgebieten Asböckbach 1 und Asböckbach 2 (Tabelle 10).

Tabelle 10 Abflussmengen, Sediment- und Phosphorverluste im Projektgebiet in den Vergleichszeiträumen Jänner bis Juli 2011 und 2012, sowie September bis Dezember 2010 und 2011.

		Sept. - Dez. 2010	Sept. - Dez. 2011
Abfluss (m^3)	Asböckbach 1	175307	379913
	Asböckbach 2	67276	140668
Sediment (t)	Asböckbach 1	4.9	28.1
	Asböckbach 2	1.3	12.5
PO_4 (kg)	Asböckbach 1	42.1	159.6
	Asböckbach 2	9.32	55.65
Niederschlag (mm)		161.2	261.4
		Jän. - Jul. 2011	Jän. - Jul. 2012
Abfluss (m^3)	Asböckbach 1	366103	537252
	Asböckbach 2	150235	244442
Sediment (t)	Asböckbach 1	44.2	175.7
	Asböckbach 2	19.6	72.7
PO_4 (kg)	Asböckbach 1	209.1	336.1
	Asböckbach 2	88.6	163.0
Niederschlag (mm)		481.0	509.6

Vergleicht man die beiden Zeiträume Herbst 2010 und 2011 muss berücksichtigt werden, dass im Herbst 2011 um rund 100mm mehr Niederschlag fiel als im Vergleichszeitraum 2010. Dadurch ergeben sich auch höhere Abflussmengen, sowie höhere Sediment- und Phosphatfrachten für 2011.

Im Vergleichszeitraum Jänner bis Juli 2011 und 2012 herrschte ebenfalls unterschiedliches Witterungsgeschehen. 2012 wurden trotz einer Änderung in der Bewirtschaftungsweise (Tabelle 13) 336 kg PO₄ aus dem Einzugsgebiet in den Asböckbach ausgewaschen. Dies bedeutet nicht nur erheblichen Schaden für das Oberflächengewässer, sondern auch einen finanziellen Schaden für die betroffenen Landwirte. Während dieses Zeitraumes gingen ebenfalls rund 176 t wertvoller Boden verloren.

Einzelschlag

Während der Projektlaufzeit wurden am Einzelschlag 14 Ereignisse aufgezeichnet, wobei viele davon aufgrund technischer Schwierigkeiten nur teilweise aufgezeichnet werden konnten. Die nachstehende Tabelle 11 stellt einen Auszug der aufgezeichneten Ereignisse dar. Es wurde jeweils die gesamte Schwebstofffracht des Aufzeichnungszeitraumes am Einzelschlag der Schwebstofffracht am Gebietsauslass (MS I) gegenüber gestellt. Rund 5 bis 9% trug dabei der Einzelschlag bei Sommerereignissen an der Gesamtfracht bei, während im Winter bei Schneeschmelze etwa 27% der Schwebstofffracht vom Einzelschlag herrührt. Dabei müssen auch die Einzugsgebietsgrößen berücksichtigt werden, am Einzelschlag entwässern rund 10ha Ackerland. Das gesamte Projektgebiet hat ein Einzugsgebiet von etwa 260ha. Das bedeutet, dass diese Fläche als echter „Hot Spot“ des Schwebstoffeintrags gesehen werden kann.

Abbildung 25 stellt beispielhaft den Verlauf eines Ereignisses dar. Schwebstoff- und Phosphorkonzentration steigen dabei mit dem Abfluss an und weisen einen ersten Peak während des ansteigenden Abflusses auf. Ein zweiter kleinerer Peak kann während des absteigenden Abflusses etwa 3.5 Stunden nach Beginn des Ereignisses festgestellt werden.

Tabelle 11 Ereignisse am Einzelschlag (beispielhaft)

		Schwebstofffracht (t)	%	Niederschlag (mm)	7h Vorregen (mm)
20.07.2011	MS I (260ha)	5.2	100	22.7	17.7
	Einzelschlag (10ha)	0.3	4.8		
09.08.2011	MS I	0.1	100	1.3	14.9
	Einzelschlag	0.007	8.8		
19.01.2012	MS I	4.8	100	1.9	10.6
	Einzelschlag	1.3	26.6		

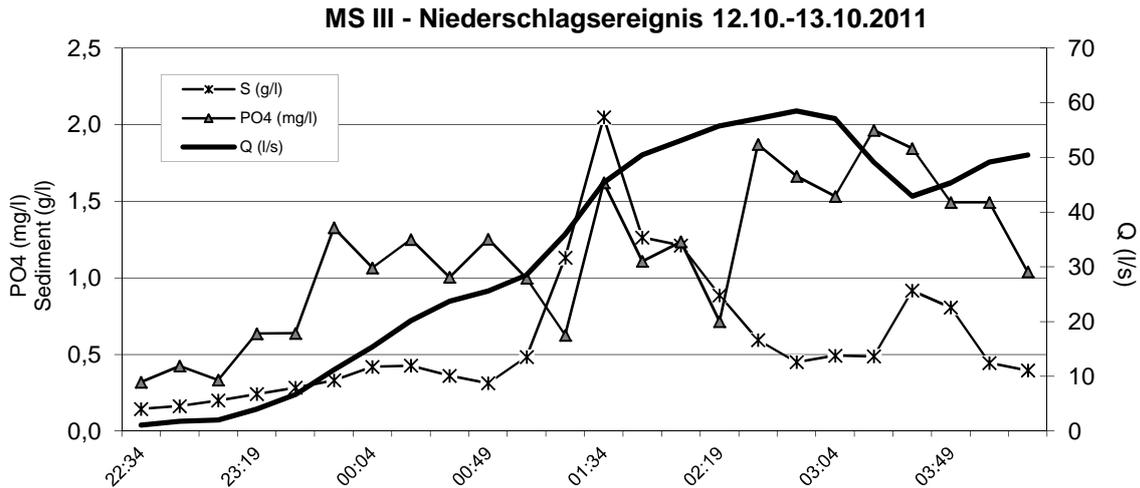


Abbildung 25 Ereignis am Einzelschlag (beispielhaft)

Phytobenthos – Algenaufwuchs

Unter Phytobenthos versteht man pflanzliche Organismen, die den Gewässergrund besiedeln und auf diesem festsitzen (Lebensministerium 2012). Meist werden darunter Algengemeinschaften und Cyanobakterien (Blaualgen) verstanden.

Phytobenthos können als Zeigerpflanzen für die Qualität von Oberflächengewässer dienen. Phosphor ist der wachstumslimitierende Faktor im Gewässer, befindet sich eine zu große Menge an Phosphor im Gewässer, kommt es zu Verkräutung und Algenwachstum. Eine Beprobung des Algenaufwuchses wurde einmal jährlich von 2010 bis 2012 vom WWA Traunstein an den beiden Messstationen Asböckbach 1 und Asböckbach 2 vorgenommen. Die Bewertungen in den drei Jahren finden sich in Tabelle 12. Die beiden Messstellen befinden sich in der Ökoregion Alpenvorland.

Tabelle 12 Phytobenthos Bewertung an den Messstellen Asböckbach 1 und Asböckbach 2

Beprobungsjahr	Asböckbach 1	Asböckbach 2
2010	3	2
2011	2	3
2012	2	2

Die Endbewertung im Jahr 2012 bestätigt dem Monitoringgebiet am Asböckbach ein gutes ökologisches Potential (Bewertung 2). Wobei die Bewertung an beiden Messstellen schwankte und 2010 sowie 2011 eine mäßige Bewertung (3) vorlag. Das Monitoringgebiet ist ein sogenanntes „Headwater“ Einzugsgebiet, befindet sich also am Anfang eines Flusseinzugsgebietes, in dem noch keine Nährstoffakkumulationen zu finden sein können. Die Bewertung von 2 bis 3 ist demnach kritisch zu betrachten.

Fruchtartenverteilung im Projektgebiet Asböckbach während der Projektlaufzeit

Tabelle 13 Fruchtartenverteilung im Projektgebiet während der Projektlaufzeit

Frucht	%		
	2010	2011	2012
Ackerbohnen (Puffbohnen)	0.0	0.0	0.1
Blühfläche	0.9	0.9	0.5
Einmähdige Wiese	0.3	0.3	0.3
Futtergräser	2.3	2.3	1.9
GLÖZ A	0.3	0.3	0.2
Kleegras	1.5	1.4	0.8
Körnermais	19.5	30.3	22.3
Landschaftselement A	0.1	0.1	0.0
Mähwiese/-Weide drei und mehr Nutzungen	9.9	9.9	8.9
Mähwiese/-Weide zwei Nutzungen	1.2	1.2	1.2
Öllein (nicht zur Fasergewinnung)	3.8	1.9	0.0
Silomais	2.9	2.5	5.2
Sojabohne	0.0	0.0	0.6
Sommergerste	1.2	1.2	0.0
Sommerhafer	0.6	0.0	0.1
Sonstige Ackerflächen	0.0	0.0	0.0
Sonstige Grünlandflächen	0.1	0.1	0.1
Wintergerste	25.3	17.3	17.6
Winterkümmel	0.0	0.6	1.7
Winterraps	8.2	10.6	13.2
Wintertriticale	2.7	3.7	2.3
Winterweichweizen	19.1	15.3	23.0
Gesamt	100	100	100
Silo- und Körnermais	22.4	32.8	27.5
davon mit Winterbegrünung	76	69	86
davon mit Mulchsaat angebaut	65	55	81

Die Hauptkulturen im Projektgebiet am Asböckbach sind Mais, Gerste, Raps und Weizen. Es werden aber auch „exotische“ Kulturarten wie Kümmel oder Öllein angepflanzt.

Die erosionsgefährdetsten Fruchtarten im Projektgebiet sind Silo- und Körnermais, sowie Sojabohnen, wobei Soja hier mit 0,6% im Jahr 2012 zu vernachlässigen ist.

Die Silo- und Körnermaisflächen schwankten während der Projektlaufzeit zwischen 22 und rund 33%. Davon wurden zwischen 55 und 81% mit Mulchsaat angebaut, zwischen 2011 und 2012 stieg die Anteil der Maisflächen die mit Mulchsaat bebaut wurden deutlich an, dies ist auf die intensive Beratungs- und Informationsarbeit der Bezirksbauernkammer Ried zurückzuführen, sowie auf die finanzielle Unterstützung der Landwirte beim Saatgut für den Zwischenfruchtanbau.

Trotz dieser Bemühungen eine durchgehende Bodenbedeckung über das ganze Jahr aufrecht zu erhalten, ergaben sich für das Jahr 2012 deutlich höhere Schwebstoff- und Phosphorkonzentrationen im Abfluss (z.B.: Abbildung 19 und Abbildung 20). Betrachtet man nur den Monat Juni, einen sehr erosionsgefährdeten Monat (geringe Bodenbedeckung bei Mais, viel Niederschlag) wird deutlich, dass der Niederschlag einen wesentlichen Einfluss auf diese Ergebnisse hat. So hat es im Juni 2011 rund 85mm geregnet, im Juni 2012 hingegen 176mm, also mehr als das Doppelte. Dieser erhöhte Niederschlag bedeutet auch höhere Schwebstoff- und Phosphorfrachten im Abfluss, umso wichtiger ist es in dieser besonders erosionsgefährdeten Zeit (Mai – Juli) eine qualitativ hochwertige Bodenbedeckung durch Mulch (speziell bei Mais) zu erreichen.

5. Arbeitspaket Beregnungsversuche

Beregnungsversuche sind eine Möglichkeit, um in kurzer Zeit die relative Wirksamkeit verschiedener landwirtschaftlicher Optimierungsverfahren zu überprüfen.

Die in Oberösterreich vorgesehenen Beregnungsversuche sollen zu einem verbesserten Verständnis der Beziehung zwischen Bodenbeschaffenheit und Oberflächenabfluss auf Ackerflächen beitragen. Vertiefendes Wissen über die wechselseitige Abhängigkeit dieser beiden Parameter soll in der Praxis zu besser angepassten Erosionsschutzmaßnahmen im Ackerbau beitragen. Um die Wirkung verschiedener Optionen zur Reduktion von Bodenverdichtung (=Abflussgenerierung) zu testen, werden Beregnungsversuche mit künstlich erzeugten Starkregen durchgeführt. Für jede Beregnung werden Abflüsse und Schwebstoffgehalte ermittelt und in Vergleich zu konventioneller Bodenbearbeitung gesetzt. Die Festlegung der untersuchten Varianten erfolgte in Zusammenarbeit mit der Bezirksbauernkammer (BBK) Ried im Innkreis, der oberösterreichischen Bodenschutzberatung und mit den Bewirtschaftern der Versuchsflächen.

In Bayern liegt das Hauptaugenmerk auf Gülleausbringungsvarianten und deren Einfluss auf den Phosphoraustrag in Drainagen. Unterschiedliche Gülleausbringungsvarianten (Schleppschlauch, Schleppschuh, Gülledrill und Prallteller) werden auf einzelne Drainstränge, die sich unter Grünland befinden, ausgebracht und beregnet. Diese Ergebnisse werden einer Nullvariante ohne Gülleausbringung gegenüber gestellt. Wasser wird an den Drainerauslässen aufgefangen und anschließend im Labor analysiert. Auch hier soll ein vermehrtes Basiswissen über den Zusammenhang zwischen Gülleausbringungsvarianten und Phosphoraustrag in Drainagen – und somit in die Oberflächengewässer – helfen, geeignete, praxisnahe Methoden zu forcieren.

Tabelle 14 Produkte des Arbeitspaketes „Beregnungsversuche“

Nr.	Beschreibung	Typ
	Beregnungsversuche zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen verschiedenen Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Bodenerosion in Oberösterreich	Bericht
5.1	Beregnungsversuch September 2010	
5.2	Beregnungsversuch Mai 2011	
5.3	Beregnungsversuch Mai 2012	
5.4	Beregnungsversuche zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Art der Gülleausbringung und Phosphoreintrag in Drainagen in Bayern	Bericht

5.1. Beregnungsversuch September 2010

5.1.1 Versuchsaufbau

Im August 2010 wurde mit Unterstützung des landwirtschaftlichen Beraters der BBK Ried im Innkreis ein Landwirt im Projektgebiet gefunden, Herr Karl Sallaberger, der sich bereit erklärte eine seiner Ackerflächen für Beregnungsversuche zur Verfügung zu stellen. Es ist geplant, alle vorgesehenen Beregnungsversuche in Oberösterreich auf den gleichen Ackerflächen durchzuführen. In Absprache mit dem Landwirten, dem Berater und der Bodenschutzberatung Oberösterreich wurden fünf verschiedene, praxisnahe Bodenbearbeitungsvarianten festgelegt:

G + S:	Grobes Saatbett + Saatstriegel, mit Zwischenfruchtanbau
G	Grobes Saatbett, mit Zwischenfruchtanbau
F	Feines Saatbett, mit Zwischenfruchtanbau
F + F	Feines Saatbett + Fahrspuren, mit Zwischenfruchtanbau
G-ZF	Grobes Saatbett, ohne Zwischenfruchtanbau

Der Zwischenfruchtanbau erfolgte eher spät, um den 20. August herum, was auf die Witterungsumstände zurückzuführen war.

Die groben Saatbettvarianten wurden jeweils nur einmal gegrubbert (~18 cm Tiefe), die feinen Saatbettvarianten wurden gegrubbert und zweimal mit der Kreiselegge bearbeitet. Alle fünf Bearbeitungsvarianten wurden mit drei Wiederholungen beregnet, insgesamt wurden also 15 Beregnungen durchgeführt. Dabei wurde mit einer Intensität von $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ mit entionisiertem Wasser ($<50 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-3}$) beregnet. Die Beregnungsdauer schwankte zwischen 1 und 1.5 Stunden. Durchschnittliche Hangneigung der Versuchsackerfläche war etwa 9.2%.

Weitere erhobene Parameter

- Bodenwassergehalt vor und nach der Beregnung
- Korngrößenanalyse
- Rohdichte mittels Stechzylinder
- Rauigkeit des Saatbettes
- Bodenbedeckung

Bei jedem der 15 Beregnungsplots (2m x 5m) wurde vor und nach der Beregnung eine Bodenprobe genommen, um die unterschiedlichen Wassergehalte messen zu können. Eine weitere Bodenprobe wurde genommen, um die Textur im Labor analysieren zu können. Die Rohdichte wurde ebenfalls für alle 15 Plots mittels Stechzylinder mit drei Wiederholungen erhoben. Die Rauigkeit des Saatbettes wurde sowohl in Bearbeitungsrichtung als auch quer zum Hang mithilfe einer feingliedrigen Kette gemessen. Für die Erhebung der Bodenbedeckung wurde ein 60 cm x 60 cm großer Raster verwendet. Es wurde die lebende und abgestorbene Vegetation jeweils an den Eckpunkten ausgezählt.

5.1.2 Ergebnisse

Rohdaten

Tabelle 16 stellt eine Zusammenstellung der wesentlichsten Parameter der erhobenen Rohdaten dar. Ausschließlich die Ergebnisse der Rohdichte werden gesondert dargestellt. Die Beregnungsversuche dauerten zwischen 60 und 90 Minuten pro Parzelle. Ein wesentlicher Parameter bei den Versuchen war der Zeitpunkt des Abflussbeginns. Dieser schwankte je nach Bearbeitungsvariante:

Tabelle 15 Abflussbeginn, Mittelwert für die Varianten G+S (Grobes Saatbett mit Saatriegel), G (Grobes Saatbett), F (Feines Saatbett), F+F (Feines Saatbett mit Fahrspuren) und G-ZF (Grobes Saatbett, ohne Zwischenfruchtanbau)

Bearbeitungsvariante	Abflussbeginn nach x Minuten
G+S	30 min
G	60 min
F	41 min
F+F	42 min
G-ZF	54 min

Oberflächenabfluss trat am schnellsten bei den feinen Saatbettvarianten und dem groben Saatbett mit Saatriegel auf. Bei den Bearbeitungsvarianten G und G-ZF dauerte es wesentlich länger bis sich Oberflächenabfluss bildete. Bis auf das Ergebnis der Variante G+S waren diese Werte zu erwarten. Möglicherweise wurde durch den Saatriegel die Oberflächenbeschaffenheit der Ackerfläche geringfügig geebnet, dies machte einen schnelleren Abflussbeginn möglich.

Tabelle 16 Zusammenstellung der wesentlichsten Rohdaten, Beregnungsversuch September 2010

Beregnungsversuche September 2010												
Variante	Datum	Abflussbeginn nach x min	Gesamtabfluss nach 1 h (ml)	Gesamtabfluss nach 1.5 h (l)	Gesamtboden- abtrag nach 1 h (g)	Gesamtboden- abtrag nach 1.5 h (g)	vor Beregnung	Rauigkeit	vor Beregnung	Bodenbedeckung (%) vom 16.9		
							Wasser- gehalt (%)	in Bearbei- tungsrichtung	quer zum Hang	lebend	abgestorben	gesamt
G+S 1	7.9.	30	4115	10696	5	21	20.3					
G+S 2	8.9.	25	5634	5634	11	11	19.4	75	73	20	9	29
G+S 3	16.9.	37	29354	109481	38	98	23.5					
G 1	8.9.	45	4464	4464	8	8	18.8					
G 2	10.9.	75	592	592	1	1	19.1	74	73	9	12	21
G 3	16.9.	83	0	1840	0	3	21.5					
F 1	10.9.	39	2929	2929	18	18	21.9					
F 2	20.9.	25	32224	97654	44	129	19.5	83	81	47	7	54
F 3	21.9.	61	2834	11389	13	45	16.0					
F + F 1	20.9.	23	11272	63594	35	275	20.3					
F + F 2	21.9.	67	1123	17781	0	29	18.8	91	90	45	8	54
F + F 3	22.9.	36	6342	40108	12	154	17.4					
G-ZF 1	22.9	45	2300	5932	2	6	17.7					
G-ZF 2	23.9	71	0	4164	0	6	17.6	88	88	8	8	17
G-ZF 3	23.9	48	18049	18049	45	45	19.0					

eine Düse defekt, nach ~ 40 min - verfälschtes Ergebnis



Abbildung 26 Interflow oberhalb eines verdichteten Bodenhorizontes



Abbildung 27 Aufbau eines Beregnungsplot

Die Parzellen wurden so aufgebaut, dass der Oberflächenabfluss durch ein Rohr in Kübeln aufgefangen wurde, damit das Rohr eben, bzw. leicht schräg verlaufen kann, wurde ein Loch ausgehoben, um die Kübel unterstellen zu können (Abbildung 26 Interflow oberhalb eines verdichteten Bodenhorizontes – Abbildung 27) In diesem Loch konnte man deutlich einen dichter werdenden Bodenhorizont bei etwa 10-12 cm erkennen (Abbildung 26 oberhalb dieses dichten Horizonts trat Wasser aus, das das Loch annähernd füllte). Interflow trat auch noch bei anderen Parzellen auf (G-ZF2), was zu einem verzögertem Oberflächenabflussbeginn führte.

Die große Varianz der Wiederholungsmessungen wird auf unterschiedliche Ausgangsparameter, wie beispielsweise den Bodenwassergehalt zurückgeführt.

Mithilfe des Erosionsmodell EUROSEM (Morgan et al. 1998) wurden die Ergebnisse auf Anfangswassergehalt, Hangneigung und Beregnungsdauer normiert.

Rauigkeit des Saatbettes

Neben Hangneigung und Bodenbedeckungsgrad hat die Rauigkeit eines Saatbettes großen Einfluss auf den Oberflächenabfluss und den Bodenabtrag einer Ackerfläche. Je rauer bzw. grober ein Saatbett bereitet wird, umso mehr Energie wird benötigt um Oberflächenabfluss zu produzieren (abgesehen von Hangneigung und Bodenbedeckungsfaktoren), Bodenpartikel aus ihrem Verbund zu lösen und hangabwärts zu transportieren. Je feiner ein Saatbett bereitet wird, umso schneller kann sich oberflächlicher Abfluss bilden, Erosionserscheinungen verursachen und auch zu Bodenverschlammung führen. Für eine feine Saatbettbereitung

spricht allerdings, dass das Saatgut schneller keimen und anwachsen kann. Kommt es allerdings in dieser Wachstumsperiode zu stärkeren Niederschlagsereignissen wird das ausgebrachte Saatgut schneller weggeschwemmt als bei groben Saatbettvarianten. Die Rauigkeit wurde mit einer 1m langen, feingliedrigen Kette gemessen, und als

$$R (\%) = (x/y) * 100$$

Formel 8 Berechnung der Rauigkeit

wobei x = tatsächliche Länge der Kette auf der Bodenoberfläche, y = Länge der Kette

berechnet. Daraus ergibt sich: je niedriger der Wert umso rauer die Beschaffenheit des Saatbettes.

Für die groben Saatbettvarianten (G und G+S) die in diesem Versuch berechnet wurden, ergab sich eine deutlich höhere Rauigkeit als bei den feinen Saatbettvarianten (F und F+F), sowohl in Bearbeitungsrichtung als auch quer zum Hang. Etwas genauer betrachtet werden muss die Rauigkeit des groben Saatbettes ohne Zwischenfruchtanbau (G-ZF). Es ergaben sich ähnliche Rauigkeitswerte wie für die feinen Saatbettvarianten. Dies wird durch die fehlende Bodenbedeckung erklärt. Bei Niederschlagsereignissen in dieser Periode konnten Regentropfen ungehindert auf den Boden auftreffen, das grobe Saatbett wurde so etwas „eingeebnet“. Bei den groben Saatbettvarianten mit Zwischenfruchtanbau (G und G+S) wurde dieser Effekt durch die Vegetation gehemmt.

Bodenbedeckung

Die Berechnungsversuche sowie die Erhebung der Bodenbedeckung wurden etwa ein Monat nach Anbau der Zwischenfrucht durchgeführt. Als Zwischenfrucht wurde Wassergüte fein gewählt, eine Mischung aus Alexandrinerklee, Phacelia, Mungo und Ölrettich.

Die Bodenbedeckung durch lebende und abgestorbene Pflanzen schwankte erwartungsgemäß erheblich zwischen den feinen und groben Saatbettvarianten. Die Varianten F und F+F erreichten eine Bodenbedeckung von über 50%, während die Bodenbedeckung der anderen drei Varianten zwischen 17 und 29% schwankte. Wie bereits erwähnt kann sich die Zwischenfrucht auf feinem Saatbett und günstigen Niederschlagsverhältnissen schneller entwickeln als auf grobem Saatbett. Auf den Oberflächenabfluss und den Bodenabtrag hatte die Bodenbedeckung in dieser Versuchsreihe allerdings wenig Einfluss. Trotz hoher Bodenbedeckung der feinen Saatbettbearbeitungen waren die Bodenabträge und der Oberflächenabfluss vergleichsweise hoch. Eine qualitative und quantitative Bonitierung der Zwischenfrucht wurde gemeinsam mit dem landwirtschaftlichen Berater der LK Ried/l. am 19. November 2010 für das gesamte Projektgebiet durchgeführt. Eine weitere Erhebung der Bodenbedeckung wurde nach der Schneeschmelze am 28. Februar 2011 durchgeführt.

Korngrößen

Die Korngrößenanalyse wurde pro Bearbeitungsvariante dreimal durchgeführt, insgesamt also 15 Mal, die in Tabelle 17 angeführten Texturwerte bilden jeweils die Mittelwerte pro Bearbeitungsvariante. Da sich die Versuchsplots auf einem Acker befanden, ergaben sich sehr ähnliche Werte für alle Bodenproben. Die Klassifizierung nach dem Texturdreieck ergab leh-

mige Schluffböden bzw. schluffige Lehm Böden. Auf der Versuchsfläche finden sich also eher „schwere“ Böden, die auf generell feuchte Klimaverhältnisse schließen lassen und im Gegensatz zu sandigen Böden schwerer zu bearbeiten sind und bei ungünstiger Bearbeitung eher zu Verdichtungserscheinungen neigen.

Tabelle 17 Korngrößenverteilung für die Bearbeitungsvarianten G+S (Grobes Saatbett mit Saatstriegel), G (Grobes Saatbett), F (Feines Saatbett), F+F (Feines Saatbett mit Fahrspuren) und G-ZF (Grobes Saatbett ohne Zwischenfruchtanbau)

Bearbeitungs- variante	Humus	Korngrößenverteilung				Bodenart	
	[Masse%]	% Ton	% Schluff	% Sand	> 2	[< 2mm]	
G+S	2.1	23.0	62.9	14.1	2.9	IU	
G	2.2	24.7	61.7	13.7	2.0	IU/uL	
F	2.1	22.7	62.8	14.5	5.9	IU	
F+F	2.3	20.4	63.4	16.2	3.6	IU	
G-ZF	2.5	19.4	65.4	15.1	4.2	IU	

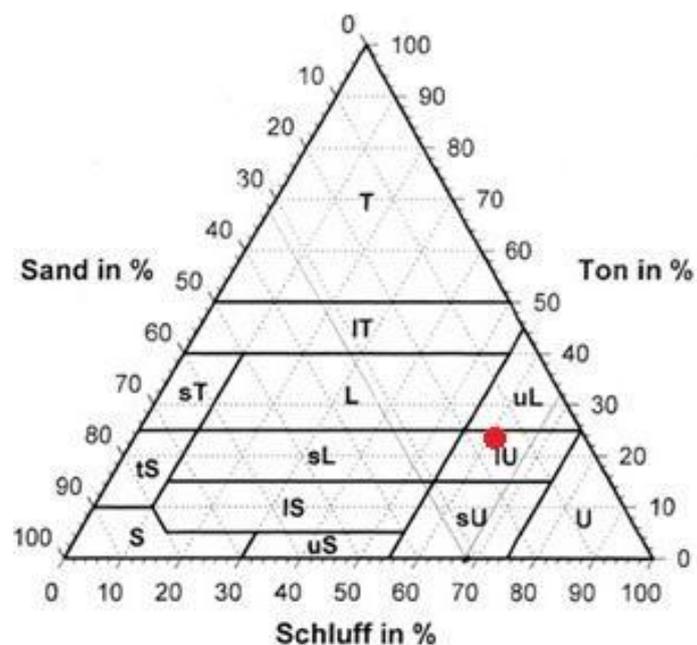


Abbildung 29 Texturdreieck nach ÖNORM L 1050, Bodenart der Versuchsfläche rot markiert

Rohdichte

Pro Berechnungsparzelle wurden drei Stechzylinder (0 bis 20 cm) für die Dichtemessungen entnommen. Abbildung 30 stellt die Mittelwerte aus den neun Stechzylindern pro Bearbeitungsvariante dar. Die Bearbeitungsvarianten G (Grobes Saatbett) und G+S (Grobes Saatbett mit Saatstriegel) weisen durchwegs geringere Dichtewerte auf. Dies wird darauf zurückgeführt, dass diese Varianten nur einmal bearbeitet wurden. Die vergleichsweise hohen Dichtewerte von G-ZF (Grobes Saatbett ohne Zwischenfruchtanbau) sind im Gegensatz dazu kritisch zu betrachten, denn auch diese Variante wurde nur einmal mit einem Grubber bearbeitet. Die feinen Saatbettvarianten (F und F+F) zeigen deutlich höhere Dichtewerte, was auf das mehrmalige Befahren durch die Maschinen zurückzuführen ist. Diese Varianten wurden einmal gegrubbert und zweimal mit der Kreiselegge bearbeitet.

Die Dichte steigt bei allen Bearbeitungsvarianten zwischen 10 und 12 cm sprunghaft an, in dieser Tiefe wurde auch mehrmals Zwischenabfluss beobachtet.

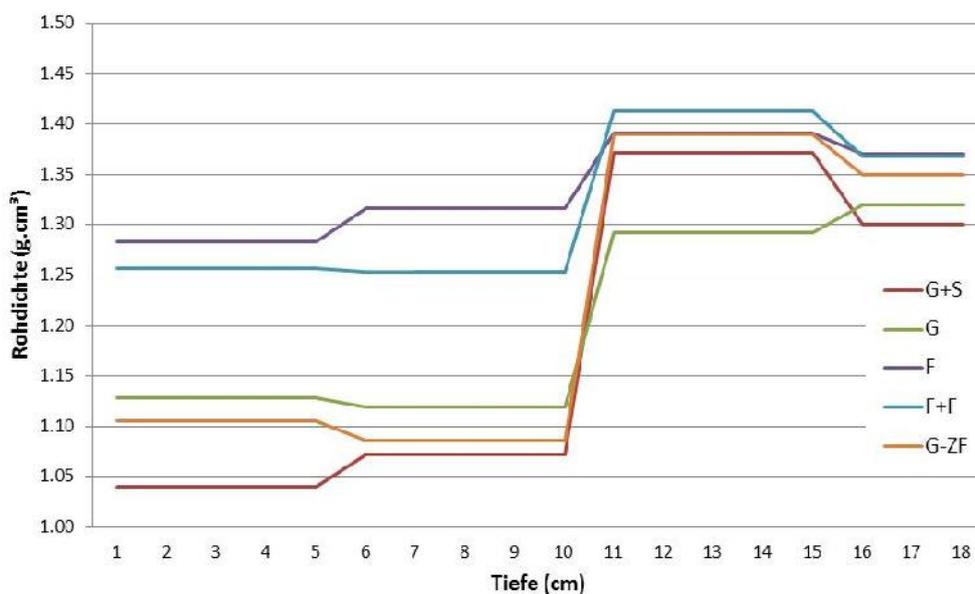


Abbildung 30 Rohdichte mittels Stechzylinder, Mittelwerte für die Bearbeitungsvarianten G+S (Grobes Saatbett mit Saatstriegel), G (Grobes Saatbett), F (Feines Saatbett), F+F (Feines Saatbett mit Fahrspuren) und G-ZF (Grobes Saatbett ohne Zwischenfruchtanbau)

Kalibrierung mit EUROSEM (European Soil Erosion Model, Morgan et al. 1998)

Mithilfe des Erosionsmodells EUROSEM wurde versucht, die Ergebnisse aus den Beregnungsversuchen zu kalibrieren. Dadurch sollte der Effekt unterschiedlicher Anfangswassergehälter, unterschiedlich langer Beregnungszeiten und abweichender Hangneigungen ausgeschaltet werden.

Unter Berücksichtigung aller erhobenen Werte wurden vier Versuchsreihen ausgeschieden. G3, G+S3 und G-ZF3 wurden aufgrund technischer Probleme, die während der Beregnung

auftraten, nicht weiter berücksichtigt. Die Varianten F2 und F+F2 stellten sich als Ausreißer dar, Grund dafür waren enorme Dichteunterschiede in den obersten Bodenhorizonten. Für die Kalibrierung und endgültige Auswertung der Beregnungsversuche wurden also zwei Versuche pro Bearbeitungsvariante herangezogen (G+S1 und 2, G1 und 2, F1 und 3, F+F1 und 3, G-ZF1 und 2).

Nach der Kalibrierung der einzelnen Beregnungsversuche wurden alle Ergebnisse auf Wassergehalt (25 %), Hangneigung (9,2 %) und Beregnungsdauer (90 Min.) normiert.

Abbildung 31 stellt die korrigierten Ergebnisse der Beregnungsversuche nach Bearbeitungsvarianten dar.

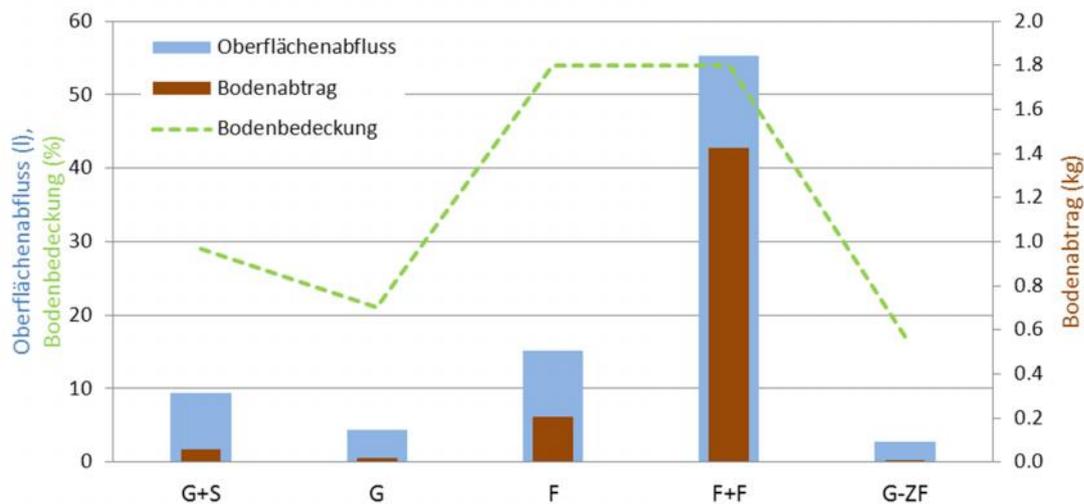


Abbildung 31 Ergebnisse der Beregnungsversuche September 2010, für die Bearbeitungsvarianten G+S (Grobes Saatbett mit Saatstriegel), G (Grobes Saatbett), F (Feines Saatbett), F+F (Feines Saatbett mit Fahrspuren) und G-ZF (Grobes Saatbett ohne Zwischenfruchtanbau)

Im Gegensatz zu den groben Bearbeitungsvarianten haben die feinen Varianten einen deutlich höheren Bodenabtrag und Oberflächenabfluss zu verzeichnen. Beachtlich dabei ist, dass die Bodenbedeckung der Varianten F und F+F deutlich höher war (über 50 %), als bei den groben Saatbettvarianten G und G+S (zwischen 17 und 29 %). Die Saatbettbereitung hatte offensichtlich einen wesentlich größeren Einfluss auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag als die Bodenbedeckung durch lebende oder abgestorbene Vegetation.

Die geringeren Dichtewerte (Abbildung 30) bei den groben Saatbettvarianten lassen ebenfalls auf höhere Infiltrationsraten schließen, was wiederum die Ergebnisse zusätzlich stützt.

Ökonomische Auswirkungen

Tabelle 18 Ökonomische Auswirkungen

Bearbeitungsvariante	Arbeitsleistung (ha.h ⁻¹)
G, G+S	3
F, F+F	1.5

Ziel war hier keine vollständige ökonomische Kostenanalyse, diese Tabelle soll lediglich als Überblick dienen. Durch den geringeren Bearbeitungsaufwand bei den groben Saatbettvarianten verringert sich deutlich der Zeitaufwand für die Saatbettbereitung und somit auch die Kosten.

5.1.3 Schlussfolgerungen

Fünf verschiedene Bearbeitungsvarianten wurden im Hinblick auf Bodenabtrag und Oberflächenabfluss untersucht. Die angelegten Bearbeitungsvarianten unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Saatbettbereitung. Diese wurde zweimal grob und zweimal fein ausgeführt, anschließend wurde eine Zwischenfruchtkombination angebaut. Die fünfte Variante war eine grobe Saatbettbereitung ohne Zwischenfruchtanbau.

Trotz der hohen Bodenbedeckung bei den feinen Saatbettvarianten – der Aufgang der Zwischenfrucht erfolgte hier schneller und dichter als bei den groben Varianten – weisen diese die höchsten Bodenabträge auf und haben auch den höchsten Oberflächenabfluss zu verzeichnen (Abbildung 31). Die höchsten Werte liefert die Variante „feines Saatbett mit Fahrspuren“ (F+F), entlang der unbewachsenen Fahrspuren bildeten sich bevorzugte lineare Abflussbahnen, die den Oberflächenabfluss beschleunigt abführten. Die beiden feinen Saatbettvarianten weisen aufgrund des mehrfachen maschinellen Befahrens auch die höchsten Werte bei den Rohdichten auf (Abbildung 30). Daraus kann auf eine geringere Infiltrationsleistung des Bodens geschlossen werden, wodurch sich der vergleichsweise hohe Oberflächenabfluss und Bodenabtrag ergibt.

Obwohl die Bodenbedeckung der groben Saatbettvarianten (17 – 29 %) geringer war, ergab sich hier nur 1/5 des Oberflächenabflusses als bei Variante F+F. Der Einfluss der Bodenbedeckung auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag war hier im Gegensatz zur Beschaffenheit des Saatbettes eher gering.

Eine grobe Saatbettbereitung mit Zwischenfruchtanbau bewirkt ein relativ raues Saatbett, wodurch Oberflächenabfluss und Bodenabtrag gehemmt werden. Durch den geringeren Bearbeitungsaufwand wird nicht nur Zeit und Geld gespart, es führt auch zu einer geringeren Lagerungsdichte und höheren Infiltrationsleistung der Böden.

5.2 Beregnungsversuch Mai 2011

5.2.1 Versuchsaufbau

Von 2. bis 12. Mai 2011 wurde eine weitere Versuchsreihe, wiederum mit 15 Beregnungsversuchen durchgeführt. Dazu wurde dieselbe Ackerfläche herangezogen wie im September 2010.

Ziel dieser Versuche war es unterschiedliche Anbautechniken für Maisanbau auf Bodenabtrag und Oberflächenabfluss zu untersuchen. Unter gemeinsamer Absprache mit dem landwirtschaftlichen Berater der BBK Ried i. I. und dem Bewirtschafter der Fläche wurden fünf verschiedene Anbauvarianten ausgewählt:

- M1: Mulchsaat, 1x mit Kreiselegge bearbeitet
- M2: Mulchsaat, 1x mit Scheibenegge, 1x mit Kreiselegge bearbeitet
- NT1: Direktsaat auf grobem Saatbett (Saatbett von Herbst 2010)
- NT2: Direktsaat auf feinem Saatbett (Saatbett von Herbst 2010)
- CT11: Konventioneller Anbau, 1x Pflügen, 2x Kreiselegge

Grundlage für das Mulchmaterial war die im Herbst des Vorjahres gesäte Zwischenfrucht, die im Winter 2010/11 abfrostete und danach wie eben erwähnt bearbeitet wurde. Die beiden Direktsaatvarianten wurden einmal auf grobem Saatbett (NT1) und einmal auf feinem Saatbett (NT2) angewandt. Gemeint ist damit die grobe bzw. feine Saatbettbereitung des Zwischenfruchtanbaus vom Vorjahr 2010. Tatsächlich konnte allerdings kein augenscheinlicher Unterschied mehr im Mai 2011 zwischen den beiden Varianten erkannt werden.

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die Direktsaatmaschine bzw. die Kornablage bei dieser Technik. Es wurde ohne vorhergehende Bodenbearbeitung der Boden geschlitzt und anschließend das Saatgut einzeln in etwa 5 cm Tiefe abgelegt.

Bei den Mulchsaatvarianten wurde der Boden einmal mit Kreiselegge (M1) und einmal mit Scheibenegge und Kreiselegge (M2) bearbeitet, anschließend folgte die Maisaussaat.

Bei der konventionellen Anbauvariante (CT11=conventional tillage) wurde vor dem Anbau der Acker gepflügt und anschließend zweimal mit der Kreiselegge bearbeitet.



Abbildung 32 Direktsaatmaschine (Foto:Schneiderbauer)



Abbildung 33 Direktsaat Kornablage (Schneiderbauer)

Die Beregnungen fanden etwa zehn Tage nach Anbau statt, der Mais befand sich durchwegs im Ein-Blatt-Stadium. Alle fünf Bearbeitungsvarianten wurden mit drei Wiederholungen beregnet, insgesamt wurden also 15 Beregnungen durchgeführt. Dabei wurde mit einer Intensität von $50 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ mit entionisiertem Wasser ($<50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-3}$) beregnet. Die Beregnungsdauer wurde mit einer Stunde festgelegt. Durchschnittliche Hangneigung der Versuchsackerfläche war etwa 7.8%. Für jeden Beregnungsdurchgang wurden Gesamtoberflächenabfluss und Gesamtbodenabtrag erfasst.

Weitere erhobene Parameter

- Bodenwassergehalt vor und nach der Beregnung
- Korngrößenanalyse
- Rohdichte mittels Stechzylinder
- Rauigkeit des Saatbettes
- Bodenbedeckung

Die Methodik und Durchführung wurde nach dem Schema des ersten Beregnungsdurchgangs vom September 2010 beibehalten. In weiterer Folge werden die Ergebnisse und kalibrierten Werte des Versuches inklusive Interpretation dargestellt.

5.2.2 Ergebnisse

Rohdaten

In nachstehender Tabelle 19 werden die Abflussbeginnzeiten pro Beregnungsversuch und gemittelt nach Beregnungsvariante dargestellt. Bei beiden Mulchsaatvarianten (M1 und M2) sowie bei der konventionellen Bearbeitungsvariante (CT11) kam es zu rascher Abflussbildung, im Mittel dauerte es 3 bis 6 Minuten bis Oberflächenabfluss auftrat. Bei diesen Varianten traten auch keine großen Schwankungen innerhalb der Wiederholungen auf. Im Gegensatz dazu waren die Schwankungen bei den Direktsaatvarianten deutlich größer. Generell kam es allerdings bei diesen Bearbeitungsvarianten zu wesentlich verzögertem Abflussbeginn, im Mittel trat Oberflächenabfluss nach 12 bzw. 21 Minuten auf. Diese Werte sind vor allem in Bezug zu den Anfangswassergehalten sowie den Rohdichtewerten zu setzen.

Tabelle 19 Abflussbeginn gemittelt für die Bearbeitungsvarianten M1 (Mulchsaat, einmal mit Kreiselegge bearbeitet), M2 (Mulchsaat, einmal mit Kreiselegge und einmal mit Scheibenegge bearbeitet), NT1 (Direktsaat auf grobem Saatbett), NT2 (Direktsaat auf feinem Saatbett), CT11 (konventioneller Anbauvariante mit Herbstfurche und zweimal Kreiselegge im Frühjahr)

Bearbeitungs- variante	Abflussbeginn nach x Minuten
M1	3
M2	5
NT1	21
NT2	6
CT11	6

Tabelle 20 stellt alle wesentlichen Rohdaten des Beregnungsversuches vom Mai 2011 dar. Aufgrund eines Gewittereinbruchs bei der Beregnung von NT2_3 bei Abflussbeginn, also nach etwa einer Viertelstunde, musste dieser Versuch aufgrund von starken Windböen verworfen werden. Die aufgelisteten Daten für den Versuch M2_3 sind für die Beregnungsdauer von 42 Minuten zu verstehen (technische Probleme), dies wurde aber bei der Kalibrierung berücksichtigt.

Rauigkeit des Saatbettes

Es ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede bezüglich der Rauigkeit des Saatbettes zwischen den fünf Bearbeitungsvarianten. Lediglich die Variante NT1 wies eine etwas höhere Rauigkeit auf. Dies wird auf die grobe Saatbettbereitung vor dem Zwischenfruchtanbau im September 2010 zurückgeführt.

Bodenbedeckung

Zufriedenstellend in Bezug auf Erosionsreduktion sind lediglich die beiden Direktsaatvarianten mit rund 70 % Bodenbedeckung. Die beiden Mulchsaatvarianten mit rund 6 bzw. 11 % stellen keine zufriedenstellende Mulchbedeckung dar.

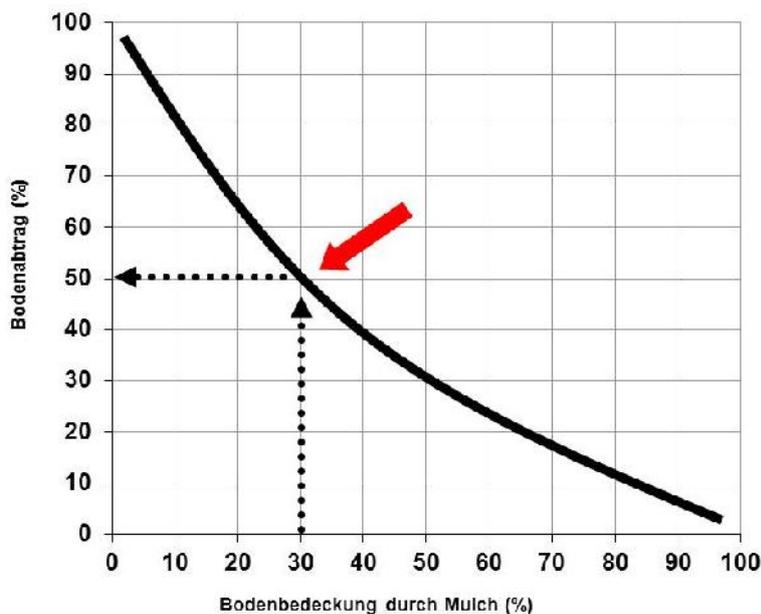


Abbildung 34 Reduktion von Bodenabtrag durch Mulch (nach Schwertmann et al. 1987)

Abbildung 34 zeigt die relative Reduktion von Bodenabtrag bei zunehmender Bodenbedeckung durch Mulch. Bei etwa 30 % Bodenbedeckung kommt es dabei zu einer 50%igen Reduktion an Bodenabtrag. Diese 30 % Bodenbedeckung sollten bei Mulchsaattechniken zumindest angestrebt werden.

Tabelle 20 Zusammenstellung der wesentlichsten Rohdaten, Beregnungsversuch Mai 2011

Beregnungsversuche Mai 2011								
Variante	Datum	Abflussbeginn nach x Min.	Gesamtabfluss nach 1 h (l)	Gesamtboden- abtrag nach 1 h (kg)	vor Beregnung	Rauigkeit vor Beregnung		Bodenbedeckung
					Wasser- gehalt (%)	in Bearbeitungs- richtung	quer zum Hang	Mulch (%)
M1_1	2.5.	3	139	0.46	24.6	94.3	91.3	
M1_2	2.5.	3	181	2.97	19.7	94.7	92.6	5.7
M1_3	6.5.	3	187	1.99	18.3	94.0	94.3	
NT1_1	5.5.	35	11	0.05	22.0	91.0	92.3	
NT1_2	5.5.	18	26	0.09	20.7	91.7	92.7	70.8
NT1_3	12.5.	9	20	0.04	17.0	92.0	93.0	
M2_1	6.5.	4	180	3.84	18.9	93.7	93.0	
M2_2	9.5.	7	169	1.60	13.2	96.5	92.0	11.1
M2_3*	12.5.	5	79	0.71	16.3	96.0	94.0	
NT2_1	9.5.	6	78	0.28	13.7	94.3	93.2	
NT2_2	10.5.	15	10	0.02	13.2	93.2	93.5	70.1
NT2_3**	12.5.	16	5	0.04	15.4	96.3	94.7	
CT11_1	10.5.	6	101	1.40	11.3	94.2	94.2	
CT11_2	11.5.	6	94	1.34	13.8	93.5	91.7	0.0
CT11_3	11.5.	7	83	0.32	14.6	95.3	95.0	

*Beregnungsdauer 42 Minuten, wurde bei Kalibrierung berücksichtigt

**wird aufgrund eines Gewitters bei Abflussbeginn verworfen

Korngrößen

Da es sich bei diesem Beregnungsdurchgang um dieselbe Ackerfläche handelt wie im September 2010, ergaben sich erwartungsgemäß keine großen Unterschiede in der Korngrößenverteilung. Die Werte in Tabelle 21 stellen wiederum den Mittelwert aus jeweils drei Bodenproben je Bearbeitungsvariante dar.

Tabelle 21 Korngrößenverteilung, für die Bearbeitungsvarianten M1 (Mulchsaat, einmal mit Kreiselegge bearbeitet), M2 (Mulchsaat, einmal mit Kreiselegge und einmal mit Scheibenegge bearbeitet), NT1 (Direktsaat auf grobem Saatbett), NT2 (Direktsaat auf feinem Saatbett) und CT11 (konventioneller Anbauvariante mit Herbstfurche und zweimal Kreiselegge im Frühjahr)

Bearbeitungs- variante	Humus [Masse%]	Korngrößenverteilung				Bodenart	
		% Ton	% Schluff	% Sand	> 2	[< 2mm]	
M1	2.4	18.5	66.6	14.9	2.2	IU/sU	
M2	2.2	22.6	62.9	14.4	2.8	IU	
NT1	2.1	24.9	61.1	13.9	3.5	IU/uL	
NT2	2.2	20.9	64.1	15.0	3.3	IU	
CT11	2.4	20.2	66.0	13.9	2.4	IU	

Rohdichte

Rohdichte wurde wie im Versuch 2010 mittels Stechzylinder ermittelt.

Die in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.dargestellten Rohdichtewerte beziehen sich auf drei Wiederholungsmessungen die je Beregnungspartelle durchgeführt wurden, also pro Bearbeitungsvariante wurden neun Werte pro Tiefenschnitt gemittelt. Dabei weisen die in rot und orange gehaltenen Mulchsaatvarianten (M1 und M2) die geringsten Dichten in den ersten fünf Zentimetern auf, danach macht die Variante MS2 einen deutlichen Sprung nach oben und weist zwischen 15 und 20 Zentimeter die höchsten Dichtewerte auf. Dies wird auf die mehrmalige Bearbeitung durch Scheiben- und Kreiselegge zurückgeführt.

Durch die Tiefenlockerung bei der konventionellen Bearbeitung (CT11) ergaben sich mittelmäßige Dichtewerte, im Bereich von 10 bis 20 Zentimeter weist diese Variante die geringsten Dichtewerte auf.

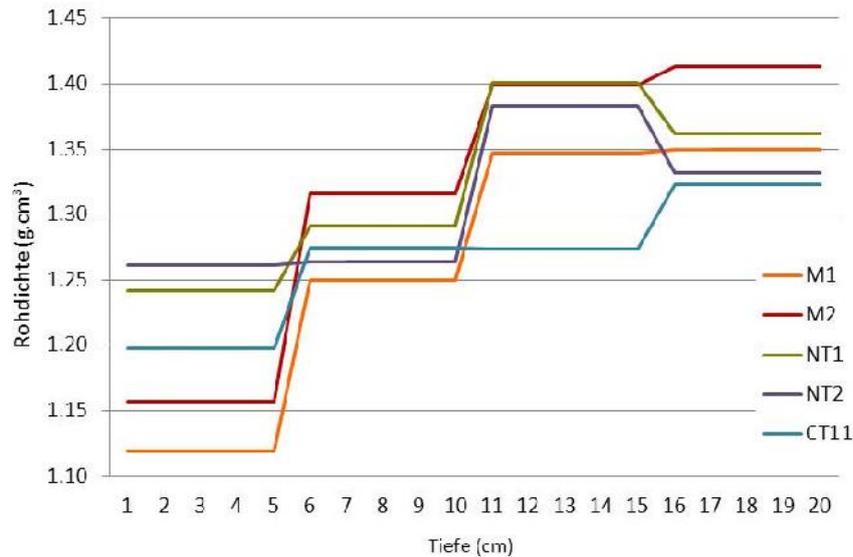


Abbildung 35 Rohdichte mittels Stechzylinder, Mittelwert für die Bearbeitungsvarianten M1 (Mulchsaat, einmal mit Kreiselegge bearbeitet), M2 (Mulchsaat, einmal mit Kreiselegge und einmal mit Scheibenegge bearbeitet), NT1 (Direktsaat auf grobem Saatbett), NT2 (Direktsaat auf feinem Saatbett) und CT11 (konventioneller Anbauvariante mit Herbstfurche und zweimal Kreiselegge im Frühjahr)

Die beiden Direktsaatvarianten weisen aufgrund fehlender Bodenbearbeitung die höchsten Dichtewerte in den ersten fünf Zentimetern auf, danach liegen sie im Mittelfeld.

Kalibrierung mit EUROSEM (Morgan et al., 1998)

Diese wurde wie im Kapitel 1.3.1 beschrieben vorgenommen. Bei diesem Beregnungsdurchgang musste die Parzelle NT2_3 verworfen werden.

Nach der Kalibrierung der anderen 14 Beregnungsversuche wurden alle Ergebnisse auf Anfangs- und Endbodenwassergehalt (21 % bzw. 40 %), Hangneigung (7,8 %) und Beregnungsdauer (60 Min.) normiert.

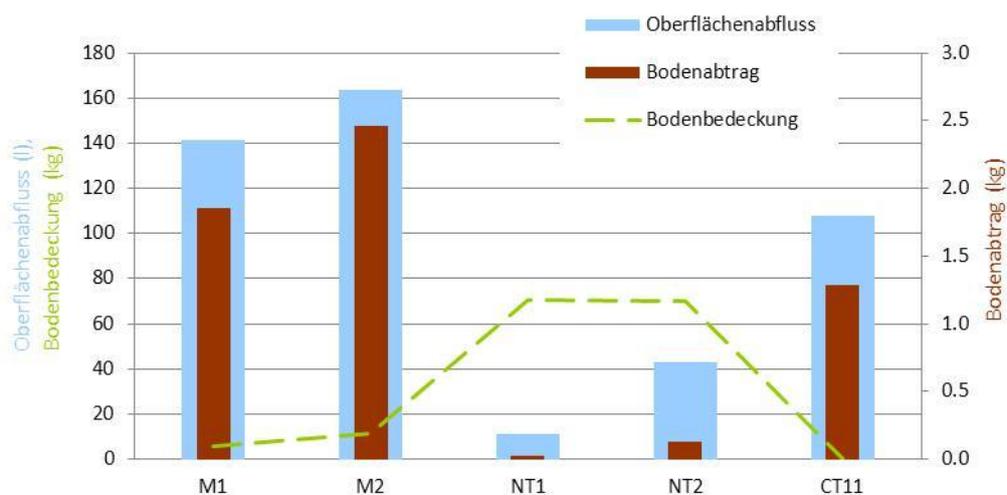


Abbildung 36 Normierte Ergebnisse Beregnungsversuch Mai 2011, für die Bearbeitungsvarianten M1 (Mulchsaat, einmal mit Kreiselegge bearbeitet), M2 (Mulchsaat, einmal mit Kreiselegge und einmal mit Scheibenegge bearbeitet), NT1 (Direktsaat auf grobem Saatbett), NT2 (Direktsaat auf feinem Saatbett) und CT11 (konventioneller Anbauvariante mit Herbstfurche und zweimal Kreiselegge im Frühjahr)



Abbildung 37 Beregnungsparzelle CT11_2, unmittelbar nach Beregnung



Abbildung 38 Beregnungsparzelle M2_3, unmittelbar nach Beregnung



Abbildung 39 Beregnungsparzelle NT1_3, unmittelbar nach Beregnung

Die Abbildungen 37 bis 39 zeigen einige Berechnungspartellen während oder kurz nach der Beregnung.

Die Mulchsaatvarianten M1 und M2 weisen den höchsten Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auf, dies erklärte sich durch die Bodenbedeckung durch Mulch, die nicht zufriedenstellend war. Sie schwankt zwischen 6 und 11 %. Die beiden Direktsaatvarianten NT1 und NT2 wiesen erwartungsgemäß die geringsten Werte bei Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auf, beide Varianten hatten in etwa 70 % Bodenbedeckung vorzuweisen. Genauer betrachtet werden muss die konventionelle Bearbeitungsweise CT11. Diese hatte keine Bodenbedeckung durch Mulch, die auftreffenden Niederschlag hätte abbremsen können, dennoch hat diese Variante rund 1/3 weniger Oberflächenabfluss und rund die Hälfte des Bodenabtrags zu verzeichnen als die Mulchsaatvariante M2. Es wird angenommen, dass durch die Tiefenlockerung des Bodens durch Pflügen mehr Beregnungswasser infiltrieren konnte, als bei den seicht bearbeiteten Mulchsaatvarianten.

5.2.3 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Beregnungsversuche zeigten, dass nicht Mulchsaat an sich ein Qualitätskriterium für Bodenschutz ist, sondern die Art und Weise wie die Mulchsaat ausgeführt wird, entscheidend ist.

Beide Mulchsaatvarianten M1 und M2 wiesen die höchsten Bodenabträge auf. Auffällig insbesondere bei Variante M2 ist, dass die Rohdichtewerte von 0 bis 5cm am geringsten sind, dann jedoch einen Sprung machen und zwischen 5 und 10 cm die höchsten Werte, verglichen mit den anderen Varianten, aufweisen. Dies kann möglicherweise durch die mehrmalige Bearbeitung mittels Kreisel- und Scheibenegge erklärt werden.

Die beiden Direktsaatvarianten unterscheiden sich geringfügig voneinander. Obwohl augenscheinlich kein Unterschied mehr in der Saatbettbereitung der Zwischenfrucht (Herbst 2010) zu erkennen war, ergab sich doch eine etwas höhere Rauigkeit bei der Variante NT1 (=grobes Saatbett bei Zwischenfruchtanbau im Herbst + Direktsaat im Frühling, siehe Tabelle 20). Darauf wird auch der etwas geringere Oberflächenabfluss und Bodenabtrag dieser Variante zurückgeführt.

Die konventionelle Bearbeitung (CT11, Pflugfurche im Herbst, zweimal Kreiselegge im Frühjahr) erzielte etwa ein Drittel weniger Oberflächenabfluss als die Variante M2 die die höchsten Werte erzielte. Der Bodenabtrag bei CT11 war um knapp die Hälfte geringer. Diese geringeren Abtragsraten trotz fehlender Bodenbedeckung werden auf die Tiefenlockerung durch das Pflügen zurückgeführt, was gerade bei den sehr trockenen Bedingungen zur Zeit der Beregnungsversuche die Infiltration des Beregnungswassers begünstigte.

5.3 Beregnungsversuch Mai 2012

5.3.1 Versuchsaufbau

Im Mai 2012 wurden weitere Beregnungsversuche im Einzugsgebiet der Antiesen durchgeführt. Im Fokus dieser Versuchsreihe stand ebenfalls der Maisanbau mit bodenschonenden Anbautechniken. Auf dem Versuchsfeld wurden im August 2011 25kg Senf (*Sinapis alba*) pro Hektar als Zwischenbegrünung angebaut. Dieser diente nach dem Abfrosten im Frühjahr als Mulchauflage. Getestet wurden in diesem Beregnungsversuch folgende Maisanbautechniken:

- MC: Kombiniertes Mulchsaatanbau, einmal gegrubbert und Einzelkornablage in einem Anbauschnitt
- M-F: Mulchsaat, einmal gegrubbert, danach Maisanbau mit Einzelkornsämaschine, Fahrspuren wurden manuell aufgelockert
- M+F: Mulchsaat, wie M-F ohne Fahrspurauflockerung
- CT12: konventionelle Anbautechnik mit Pflugbearbeitung im Herbst, einer Bearbeitung mit Kreiselegge im Frühjahr, danach Anbau mit Einzelkornsämaschine

Abbildung 40 und Abbildung 41 zeigen die Versuchsfläche während der Bodenbearbeitung mit Grubber.



Abbildung 40 Bodenbearbeitung mittels Grubber auf der Versuchsfläche 2012



Abbildung 41 Bodenbearbeitung mittels Grubber auf der Versuchsfläche 2012, Detailbild



Abbildung 42 Saatbett bei Variante MC (kombinierter Mulchsaatanbau, 1 Überfahrt)



Abbildung 43 Saatbett bei Variante M-F (Mulchsaat, aufgelockerte Fahrspuren)



Abbildung 45 Saatbett bei Variante M+F (Mulchsaat mit Fahrspuren)



Abbildung 44 Saatbett bei Variante CT12 (konventioneller Anbau, Herbstfurche, 1x Kreiselegge)

Die Beregnungen fanden etwa zehn Tage nach Anbau statt, der Mais befand sich im Ein- bis Zwei-Blatt-Stadium. Alle vier Bearbeitungsvarianten wurden mit drei Wiederholungen beregnet, insgesamt wurden also 12 Beregnungen durchgeführt. Dabei wurde mit einer Intensität von $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ mit entionisiertem Wasser ($<50 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-3}$) beregnet. Die Beregnungsdauer wurde mit einer Stunde festgelegt. Durchschnittliche Hangneigung der Versuchsackerfläche war etwa 8,4%. Diese Versuchsreihe wurde methodisch ebenso durchgeführt wie die Beregnungsversuche vom September 2010 beziehungsweise Mai 2011.

In weiterer Folge werden die Ergebnisse und kalibrierten Werte des Versuches inklusive Interpretation dargestellt.

5.3.2 Ergebnisse

Rohdaten

Die nachstehende Tabelle 22 gibt alle wesentlichen Ergebnisse (Rohdaten) der Versuchsreihe vom Mai 2012 wieder. Tabelle 23 stellt die Mittelwerte der Abflussbeginnzeiten für alle Versuche dar, die Mulchsaatvarianten MC und M-F weisen dabei die spätesten Abflussbeginnzeiten auf. Bei der Mulchsaatvariante mit Fahrspuren (M+F) kam es zu einer raschen Abflussbildung, bedingt durch die Fahrspuren in Hangrichtung. Die konventionelle Anbauvariante (CT12) liegt hier im Mittelfeld.

Tabelle 22 Zusammenstellung der wesentlichsten Rohdaten, Beregnungsversuch Mai 2012

Beregnungsversuche Mai 2012									
Variante	Datum	Abflussbeginn nach x Min.	Gesamtabfluss nach 1 h (l)	Gesamtbodenabtrag nach 1 h (kg)	vor Beregnung		Rauigkeit vor Beregnung		Bodenbedeckung
					Wassergehalt (%)		in Bearbeitungs- richtung	quer zum Hang	%
MC 1	10.05.2012	44	23	0.04		17.3			
MC 2	11.05.2012	31	21	0.09		20.7	93	93	24.5
MC 3	23.05.2012	17	11	0.06		26.0			
M-F 1	11.05.2012	47	2	0.01		20.4			
M-F 2	14.05.2012	30	22	0.11		23.4	95	93	10.4
M-F 3	22.05.2012	20	44	0.39		19.5			
M+F 1	14.05.2012	9	86	0.91		24.4			
M+F 2	14.05.2012	5	93	1.42		23.6	95	93	14.4
M+F 3	22.05.2012	5	99	2.45		20.1			
CT12_1	10.05.2012	10	126	4.30		18.5			
CT12_2	10.05.2012	18	41	0.18		18.7	96	95	4.4
CT12_3	23.05.2012	27	29	0.10		24.0			

Tabelle 23 Abflussbeginnzeiten, Mittelwert für die Varianten MC (kombinierter Mulchsaatanbau), M-F (Mulchsaat mit gelockerten Fahrspuren), M+F (Mulchsaat mit Fahrspuren) und CT12 (konventionelle Bearbeitung mit Pflugfurche im Herbst)

Bearbeitungs- varianten	Abflussbeginn nach x Minuten
MC	31
M-F	32
M+F	6
CT12	18

Rauigkeit des Saatbettes

Bei dieser Versuchsreihe 2012 gibt es keine deutlichen Unterschiede bei der Rauigkeit des Saatbettes. Die Rauigkeiten sind generell eher niedrig, am niedrigsten sind dabei die Werte der konventionellen Anbautechnik CT12. Die sehr ähnlichen Werte der Mulchsaatvarianten ergeben sich durch die annähernd gleiche Bearbeitung der drei Varianten.

Bodenbedeckung

Die Mulchsaatvariante MC (kombinierter Anbau mit einer Überfahrt) erreichte die höchste Bodenbedeckung mit etwa 25%, während die beiden anderen Mulchsaatvarianten M-F und M+F (2 Überfahrten bei Anbau) zwischen 10 und 14% erreichten. Diese Unterschiede lassen sich durch die Anzahl der Überfahrten erklären. Dieser Unterschied in der Bodenbedeckung macht sich auch bei den Ergebnissen bemerkbar (Abbildung 47).

Korngrößen

Die Korngrößenanalyse ergab für die Versuchsfläche die Bodenart lehmiger Schluff bzw. schluffiger Lehm. Die Mittelwerte der Korngrößen sind in Tabelle 24 angeführt.

Tabelle 24 Korngrößen, Mittelwerte für die Varianten MC (kombinierter Mulchsaatanbau), M-F (Mulchsaat mit gelockerten Fahrspuren), M+F (Mulchsaat mit Fahrspuren) und CT12 (konventionelle Bearbeitung mit Pflugfurche im Herbst)

Bearbeitungs- variante	Humus	Korngrößenverteilung			Bodenart
	[Masse%]	% Ton	% Schluff	% Sand	[< 2mm]
MC	2.3	22.1	69.0	8.9	IU
M-F	2.3	24.3	67.1	8.6	IU/uL
M+F	2.4	23.1	68.4	8.5	IU/uL
CT12	2.1	22.0	69.3	8.6	IU

Rohdichte

Die Rohdichte wurde wie in den ersten beiden Versuchsjahren 2010 und 2011 mittels Stechzylinder ermittelt. Die in Abbildung 46 dargestellten Werte sind jeweils Mittelwerte aus 9 Stechzylindern pro Bearbeitungsvariante. Ausgenommen davon ist das Ergebnis der direkt über den Fahrspuren entnommenen Stechzylindern (F), hier wurden zwei Wiederholungsmessungen vorgenommen. F weist fast durchgehend die höchsten Dichtewerte auf, was beweist, dass Fahrspuren Verdichtungserscheinungen im Bodengefüge herbeiführen. In den ersten 5cm weisen alle Mulchsaatvarianten die niedrigsten Dichtewerte auf, während die Variante CT12 die höchsten Dichtewerte liefert (ausgenommen F). Von 5 bis 20cm lassen sich Werte der einzelnen Bearbeitungen nicht mehr eindeutig unterscheiden, generell aber steigen die Dichtewerte bis etwa 17cm an, von 18 bis 20cm fallen die Werte wieder leicht ab.

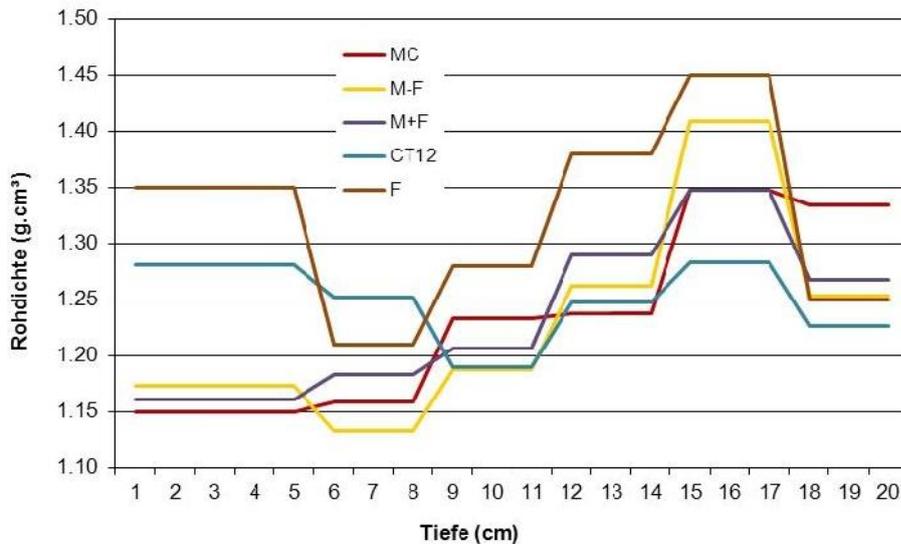


Abbildung 46 Rohdichte, Mittelwerte für die Varianten MC (kombinierter Mulchsaatanbau), M-F (Mulchsaat mit gelockerten Fahrspuren), M+F (Mulchsaat mit Fahrspuren), CT12 (konventionelle Bearbeitung mit Pflugfurche im Herbst) und F (Fahrspuren)

Kalibrierung mit EUROSEM (Morgan et al. 1998)

Die einzelnen Beregnungsversuche wurden wiederum mittels EUROSEM auf gleiche Dauer (60 Minuten), Anfangs- (25%) und Endwassergehalt (44%) und Hangneigung (8.4%) normiert. Die normierten Ergebnisse von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag sind in Abbildung 47 dargestellt.

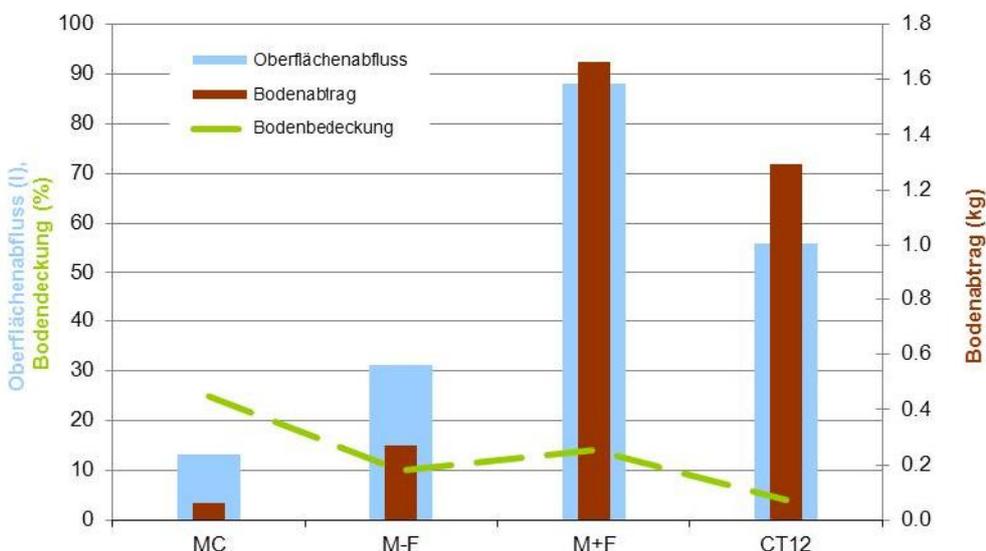


Abbildung 47 Normierte Ergebnisse Beregnungsversuch Mai 2012 für die Varianten MC (kombinierter Mulchsaatanbau), M-F (Mulchsaat mit gelockerten Fahrspuren), M+F (Mulchsaat mit Fahrspuren) und CT12 (konventionelle Bearbeitung mit Pflugfurche im Herbst)

Die höchsten Werte für Oberflächenabfluss und Bodenabtrag erreichten die Varianten M+F und CT12. Bei der Variante M+F wirkten die Fahrspuren in der Versuchspartelle als beschleunigte Abflussbahnen. Die vergleichsweise hohen Werte von CT12 lassen sich durch die fehlende Bodenbedeckung erklären. Bei den Mulchsaatvarianten MC und M-F war die Bo-

denbedeckung vergleichsweise höher und es fehlten Fahrspuren als bevorzugte Abflussbahnen, was auch die Abflussbeginnzeiten verzögerte (Tabelle 23) und somit Oberflächenabfluss und Bodenabtrag verringerte.

Am besten schnitt die Variante MC ab, die Bodenoberfläche und das Mulchmaterial wurden hier am wenigsten durch die Bearbeitungsschritte gestört, da die Bearbeitung mittels Grubber und der Maisanbau in einer Überfahrt durchgeführt wurden. Dies verringert nicht zuletzt auch die Kosten für den Landwirt.

5.3.3 Schlussfolgerung

Bei der Versuchsreihe 2012 wurden wie 2011 unterschiedliche Maisanbauvarianten getestet, in etwas anderer Ausführung. Als Mulchmaterial wurde eine senflastige Zwischenfrucht Mischung im Herbst 2011 angebaut, die sich gut entwickelte (November 2011: etwa 100cm Höhe). Nach dem Maisanbau im Mai 2012 blieb etwa 10 bis 14% des Mulchmaterials bei den Mulchsaattechniken M+F und M-F übrig. Anzustreben wären etwa 30% (Abbildung 34).

Lediglich die Variante MC (kombinierte Mulchsaat, 1 Überfahrt) erreichte im Frühjahr 2012 eine Bodenbedeckung von rund 25%. Diese Variante erzielte auch die besten Ergebnisse bezüglich Oberflächenabfluss und Bodenabtrag.

Die schlechtesten Werte erreichte die Variante M+F, Mulchsaat mit Fahrspuren. Diese Fahrspuren die sich in der Versuchspazelle hangabwärts befanden, wirkten wie „Autobahnen“ für den Oberflächenabfluss, so wurde auch vergleichsweise der meiste Oberboden mittransportiert. Die Variante mit gelockerten Fahrspuren (M-F) hingegen wies ähnliche Werte auf wie MC.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigen, dass eine Fahrspurlockerung Oberflächenabfluss und Bodenabtrag bei Niederschlagsereignissen deutlich reduzieren kann.

5.4 Beregnungsversuche in Bayern

Das Einzugsgebiet um den Waginger-Tachinger See wird intensiv landwirtschaftlich genutzt, fast ausschließlich als Grünland, nur rund 15% werden ackerbaulich genutzt. Der Waginger-Tachinger See weist seit Jahren Phosphorwerte auf, die jenseits der zugelassenen Grenzwerte für einen guten ökologischen Zustand von Oberflächengewässern sind (WWA Traunstein, 2002). Da kommunale Abwassereinleitungen als punktuelle Phosphoreintragsquellen seit rund 2 Jahrzehnten nicht mehr in Frage kommen, liegt der Fokus auf der Untersuchung 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; PERÄLA et al. 2006). Es gibt allerdings Hinweise, dass durch eine Gülleausbringung mit bodennahen Verfahren (Schleppschauch, Schleppschuh, Gülledrill) auch eine geringere Belastung von Dränagen mit Phosphor erreicht wird (Diepolder, 2005; Eder, 2007).

Mithilfe von Beregnungsversuchen kann die Wirkung unterschiedlicher Gülleausbringungsmethoden 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).

5.4.1 Versuchsaufbau und Methodik

Die Versuche wurden in Kirchberg, bei Petting am Waginger See durchgeführt. Der mittlere Jahresniederschlag der Region beträgt rund 1200mm (WWA Traunstein, 2002). Der Standort liegt im unmittelbaren Einzugsgebiet des Waginger-Tachinger Sees auf rund 450m 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%. Die Wiese wurde 1962 drainiert und wird drei bis viermal im Jahr gemäht, ebenso verläuft die Düngung mit etwa 20 m³ Gülle pro Hektar aus Rinderhaltung.

Drainfreilegung

Zur Beprobung des Drainabflusses wurden fünf Drainstränge unterhalb der Beregnungsfläche mittels Bagger freigelegt. Auf den fünf Strängen wurden die fünf getesteten Varianten (N, SC, SH, D und PT) mit vier Wiederholungen beregnet. **Abbildung 48 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Versuchsfläche nach der erfolgten Drainfreilegung,

der Abstand zwischen den einzelnen Drainsträngen betrug etwa 12m. Die aus Ton gefertigten Drainrohre (ohne Filter) befinden sich in etwa 80 bis 90cm Tiefe und waren teilweise bis zur halben Querschnittshöhe, zum Teil auch zu zwei Drittel mit Sediment gefüllt (Abbildung 49 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Drainstränge mündeten unmittelbar in den Bach, der sich im Ufergehölzstreifen befindet.



Abbildung 48 Versuchsfeld nach Drainfreilegung



Abbildung 49 Mit Sediment gefülltes Drainrohr, (Foto: Parzinger)

Gülleausbringung

Die verwendete Rindergülle wurde jeweils vor dem Befüllen der Gülletanks durchgemischt. Abbildung 50 bis 53 zeigen die landwirtschaftlichen Fahrzeuge bei ihrem Einsatz, sowie jeweils die Wiese unmittelbar nach Ausbringung der Gülle.



Abbildung 50 Schlepschlauch – SC (Fotos: Parzinger)



Abbildung 51 Schleppschuh – SH (Fotos: Parzinger)



Abbildung 52 Gülldrill – D (Fotos: Parzinger)



Abbildung 53 Prallteller –PT (Fotos: Parzinger)

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 $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ zu erreichen. Die aufgebrachte Gülle wurde hinsichtlich ihrer Phosphorkonzentration untersucht. Es wurde dabei darauf geachtet, dass die spätere Bereg-

nungsfläche möglichst nicht befahren wurde, um Verdichtungen an der Oberfläche beziehungsweise ein Schließen von Makroporen zu verhindern.

Beregnung

Die Beregnung erfolgte mit der Beregnungsanlage des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (Strauss et al., 1997) mit einer Intensität von $40\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Die Beregnungen dauerten insgesamt zwischen 1,5 und 2,5 Stunden. Die Beregnungen wurden jeweils unmittelbar nach der Gülleapplikation, beziehungsweise die Wiederholungen einige Stunden danach durchgeführt. Das Beregnungswasser für die Versuche wurde in einem 1000l Tank gespeichert und mit NaCl als Tracer versetzt. Die Markierung des Beregnungswassers mit NaCl (50 bis 90g pro 1000l Tank) erfolgte, um das Beregnungswasser vom Bodenwasser getrennt betrachten zu können.

Tabelle 25 Werte des Tankwassers – Beregnungswasser (SC=Schleppschlauch, SH=Schleppschuh, PT=Prallteller, D=Gülledrill, N=Nullvariante)

	el. Leitfähigkeit	Chlorid	Gesamtphosphor	
	[$\mu\text{S}/\text{cm } 25^\circ\text{C}$]	[mg/l]	[mg/l PO ₄]	[mg/l P]
SC 1	855	50.6	0.029	0.010
SC 2	843	48.8	0.033	0.011
SC 3	883	57.2	0.058	0.019
SC 4	907	66.9	0.035	0.011
SH 1	831	45.3	0.040	0.010
SH 2	828	41.0	0.032	0.008
SH 3	855	50.5	0.042	0.014
SH 4	922	74.7	0.036	0.012
D 1	905	69.9	0.030	0.010
D 2	922	73.9	0.032	0.011
D 3	901	65.4	0.037	0.012
D 4	970	86.1	0.038	0.012
PT 1	902	72.7	0.032	0.011
PT 2	909	74.6	0.032	0.011
PT 3	972	90.6	0.039	0.013
PT 4	917	72.5	0.029	0.010
N 1	912	71.7	0.030	0.010
N 2	888	61.8	0.040	0.013
N 3	873	57.0	0.033	0.011
N 4	902	63.7	0.039	0.013

Abflussbestimmung und Probenahme

Die Bestimmung des Gesamtabflusses erfolgte an den geöffneten Drainerauslässen mittels Kübeln, die nach konstanten Zeitintervallen ausgetauscht und zur Bestimmung der Wassermenge gewogen wurden. Da kurz vor Beginn der Beregnungsversuche ein Niederschlagsereignis stattfand, führten die Drainagen bereits geringfügigen Abfluss, dieser wurde gemessen und mittels Wasserprobe wurde der Phosphorgehalt (Gesamtphosphor) im Labor ermit-

telt. In weiterer Folge wurde dieser Basisabfluss von den später ermittelten Gesamtabflussmengen abgezogen.

Zur Bestimmung der Phosphorkonzentration wurden aus den Kübeln Wasserproben entnommen, die umgehend gekühlt wurden. Pro Beregnung wurden vier Proben zusätzlich genommen, die am selben Tag noch im WWA Traunstein filtriert wurden. Aus diesen Proben wurden die abfiltrierten Stoffe ermittelt, sowie in weiterer Folge im BAW Petzenkirchen der wasserlösliche Phosphatgehalt analysiert (EN ISO 6878).

Abbildung 54 zeigt eine geöffnete Drainage mit einem Ableitstutzen und einem Kübel zum Auffangen des Abflusses. Alle fünf Drainstränge wurden nach diesem Schema beprobt.



Abbildung 54 Drainage mit Ableitstutzen für Probenahme

Trennung in Beregnungswasser und Bodenwasser

Für den Eintrag von Phosphor in das Drainsystem 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 2,5h) kann das Wasser aber nicht schnell genug in den Feinporen bis zur Drainrohrtiefe (80-90 cm) vordringen. Dieses in den oberen Feinporen 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 der Drainabfluss als Kombination aus Matrixfluss (Bodenwasser) und Fluss in bevorzugten Fließwegen (Makroporenfluss) betrach-

tet werden. In weiterer Folge wird zur Vereinfachung die Abflussmenge aus der Bodenmatrix als Bodenwasser und die Abflussmenge über Makroporen als Beregnungswasser bezeichnet.

Aufgrund der Markierung des Beregnungswassers mit Kochsalz (NaCl) können die Anteile von Bodenwasser und Beregnungswasser rechnerisch ermittelt werden. Dazu wird auf folgenden Ansatz zurückgegriffen:

Formel 9: Gesamtfracht

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

q_t	Gesamtabflussrate, $\text{l min}^{-1} \text{m}^{-2}$
C_t	Konzentration im Gesamtabfluss, mg l^{-1}
q_m	Abflussrate des Bodenwassers, $\text{l min}^{-1} \text{m}^{-2}$
C_m	Konzentration des Bodenwassers, mg l^{-1}
q_p	Abflussrate des Beregnungswassers, $\text{l min}^{-1} \text{m}^{-2}$
C_p	Konzentration des Beregnungswassers, mg l^{-1}

Phosphor

Der Phosphoraustrag in das Drainagesystem ist von einigen wesentlichen Faktoren abhängig, wobei der letzte Faktor von der Applikationsmethode beeinflusst wird.

- Niederschlagsmenge, Intensität und Dauer
- Gülleaufbringungsmenge
- Bodeneigenschaften
- Anteil des im Boden vorhandenen Phosphors
- Phosphorfracht durch die Gülleausbringung

Chemische und biologische Prozesse die zu einem Phosphoraustrag führen bleiben in diesem Versuch aufgrund der kurzen Beregnungs- und Abflussbeobachtungszeiten unberücksichtigt. Um die verschiedenen Aufbringungsarten miteinander vergleichen zu können, werden alle Faktoren, die von der Applikationsmethode unbeeinflusst sind, vereinheitlicht.

5.4.2 Ergebnisse

Güleeigenschaften

Die auf den Versuchspartellen aufgebrauchte Gülle wurde auf verschiedene Inhaltsstoffe untersucht, die in der nachstehenden Tabelle 26 mit den jeweiligen Konzentrationen in Masseprozent aufgelistet sind.

Tabelle 26 Güleeigenschaften, Angaben in Masseprozent

	P (gesamt)	P (wasserlöslich)
Schleppschlauch (SC)	0.037	0.019
Schleppschuh (SH)	0.039	0.019
Prallteller (PT)	0.037	0.018
Gülledrill (D)	0.039	0.022

Bodeneigenschaften

Die Bodeneigenschaften legen fest, wie viel Beregnungswasser im Boden gespeichert wird oder in das Drainsystem gelangt. Durch die Eigenschaften des Bodens wird auch die Form der Abflusskurve beeinflusst. Mit dem Auftreffen des Beregnungswassers wird Phosphor aus der Gülle in den Boden und in weiterer Folge in die Dränagen transportiert. Zu beachten ist, dass auch der im Boden gespeicherte Phosphor ausgetragen wird. Der Bodenphosphorgehalt ist allerdings sehr gering auf der Versuchsfläche (Tabelle 27).

Tabelle 27 Bodeneigenschaften der Versuchsfläche in Bayern, Petting am See

Horizont	P _{cal} mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	P _{H₂O} mg.kg ⁻¹	pH-Wert	Leitfähigkeit µS.cm ⁻³
AP 0 - 10cm	9.1	43.5	6.63	5.50	101
P1 10 - 26cm	5.1	26.0	6.37	5.77	47
P2 26 - 80cm	4.8	33.1	6.15	6.15	37

Bodenproben der Versuchsfläche in Petting am See wurden von Andreas Bohner (Raumberg-Gumpenstein) und Hanna Ulrich (WWA Traunstein) genommen und im LFZ Raumberg-Gumpenstein auf pflanzenverfügbaren Phosphor (P_{CAL}, P_{H₂O}), Kalium, pH-Wert und Leitfähigkeit analysiert. Eine detaillierte Bodenansprache wurde von Andreas Bohner zur Verfügung gestellt.

Bodentyp: verbraunter Pseudogley

Bodenwasserhaushalt: wechselfeucht

Relief: Muldenlage

AP-Horizont : 0-10 cm, M = 10YR 4/3, Stark humos, Stark durchwurzelt, vereinzelt deutliche Roströhren, vereinzelt Regenwürmer, deutlich krümelig, schwach grusiger, sandiger Lehm, Karbonatfrei, Allmählich übergehend

P1-Horizont : 10-26cm, M = 2,5Y 4/4, Humos, Schwach steinig, Durchwurzelt, Deutlich prismatisch, Mehrere undeutliche Rostflecken und zahlreiche Konkretionen, Schwach grusiger, sandiger Lehm, Karbonatfrei, Allmählich übergehend

P2-Horizont : 26-80 cm, M = 2,5Y 4/4 + 5/4, Schwach durchwurzelt, Schwach steinig, Deutlich prismatisch, Zahlreiche deutliche Rostflecken und zahlreiche Konkretionen, Schwach grusiger, sandiger Lehm, Karbonatfrei, Schwach durchwurzelt, Allmählich übergehend
S-Horizont (keine Beprobung) : Ab 80 cm, Schwach steinig, Zahlreiche deutliche Rostflecken, Schwach grusiger, toniger Lehm

Tabelle 28 Einstufung der Phosphor-Gehalte nach der CAL-Methode (Auszug aus: Richtlinien für die sachgerechten Düngung, Lebensministerium, 6. Auflage, 2006)

Gehaltsstufe	mg P je 1000 g Feinboden	
	Ackerland	Grünland
A sehr niedrig	unter 26	unter 26
B niedrig	26 - 46	26 - 46
C ausreichend	47 - 111	47 - 68
D hoch	112 - 174	69 - 174
E sehr hoch	über 174	über 174

Abfluss aus den Drainagen

Die Abbildung 55 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt den Verlauf der Drainabflüsse aus den einzelnen Beregnungsversuchen. Aufgrund kleinräumiger Unterschiede der Bodeneigenschaften und Unterschiede der Drainstränge fallen diese sehr unterschiedlich aus. Die Form der Abflusskurve ist im Wesentlichen abhängig vom Makroporenfluss. Die Aktivierung dieses bevorzugten Flusses ist abhängig von Bodenwassergehalt, Regenintensität, Niederschlagsmenge, hydraulischer Leitfähigkeit und der beitragenden Oberfläche (Trojan & Linden, 1992).

Kurven die in der gleichen Farbe abgebildet wurden, kennzeichnen den Abflussverlauf bei gleicher Gülleausbringungstechnik.

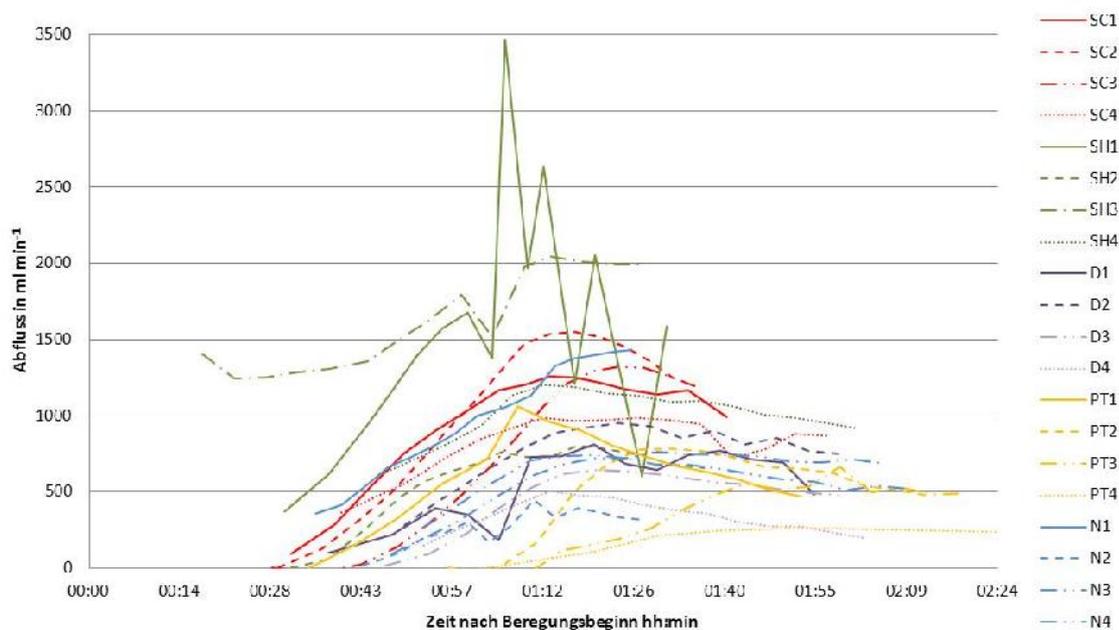


Abbildung 55 Abflusskurven der einzelnen Beregnungsversuche für die Varianten SC=Schleppschlauch, SH=Schleppschuh, D=Gülledrill, PT=Prallteller und N=Nullvariante

Die nachfolgende Abbildung 56 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.

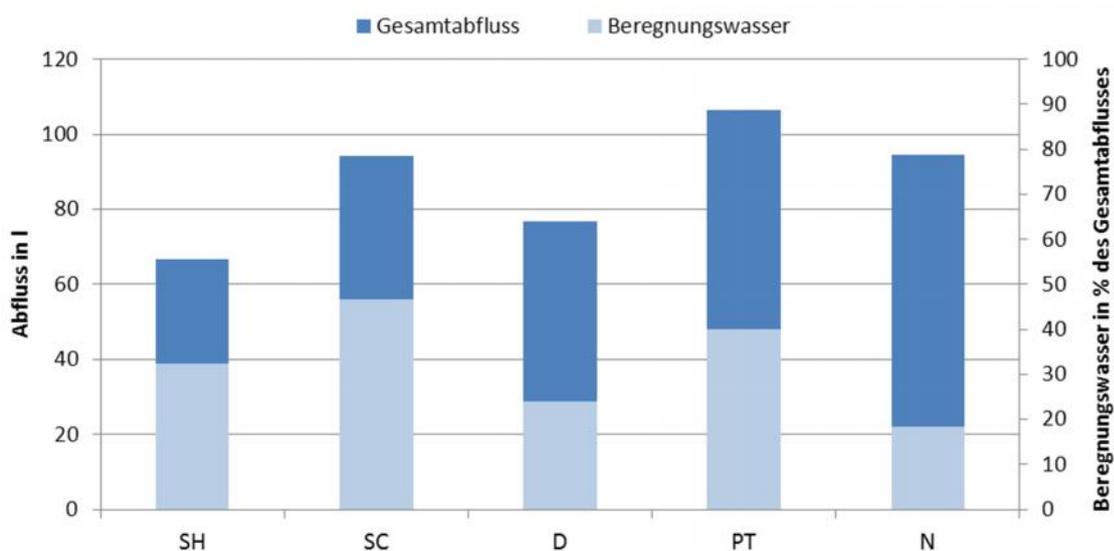


Abbildung 56 Mittlerer Gesamtabfluss und Anteil des Beregnungswassers für die einzelnen Ausbringungsvarianten (SH = Schleppschlauch, SC = Schleppschuh, D = Gülledrill, PT = Prallteller, N = Nullvariante)

Phosphor

Die Verläufe der Phosphorkonzentrationen in den Drainerauslässen zeigen bei den meisten Kurven einen Höhepunkt auf, noch bevor das Maximum des Abflusses erreicht wird. Häufig weisen die Phosphorkonzentrationen auch zwei Maxima auf. Das erste Maximum ist auf den Fluss in Makroporen zurückzuführen, während der weitere Verlauf als Resultat einer Kombination von schnellem Fluss in den Makroporen und den Fluss durch die Bodenmatrix zu verstehen ist. Stellvertretend für alle Beregnungen ist hier ein Versuch (SC1) angeführt (Abbildung 57 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Neben den Phosphorkonzentrationen (grün) sind die Gesamtabflussrate (blau) und die Abflussrate des Beregnungswassers (rot) eingetragen.

Der erste Höhepunkt der Phosphorkonzentration trat ca. 45 Minuten nach Beregnungsbeginn auf, während noch zwei weitere Konzentrationserhöhungen nach etwa 60 Minuten und 80 Minuten zu erkennen sind.

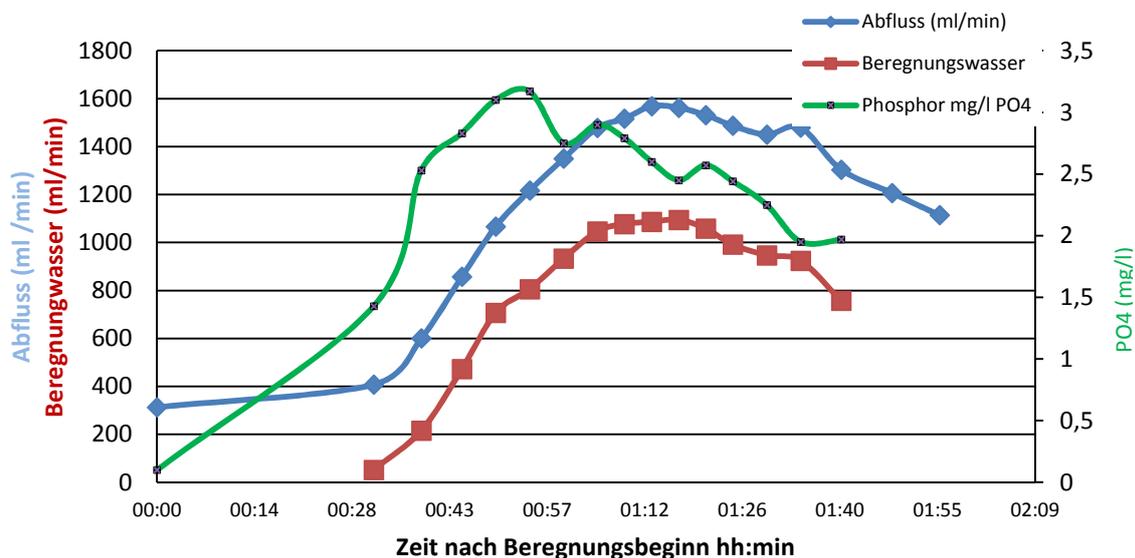


Abbildung 57 Verlauf von Gesamtabfluss, Beregnungswasser und Phosphorkonzentration bei der Beregnung SC1 (Schleppschauch)

Phosphorkonzentration aus Drainagen vor Gülleausbringung

Für die Bestimmung des Phosphorgehaltes vom Bodenwasser wurden vor der Applikation mit Gülle Proben aus den bereits abflussführenden Drainerauslässen genommen. Nachstehende Tabelle 29 gibt einen Überblick über die Phosphorkonzentration des Bodenwassers, der jeweiligen Drainstränge vor der Applikation und Beregnung.

Tabelle 29 Phosphorkonzentration aus dem Drainabfluss vor Gülleausbringung für die Varianten SH = Schleppschauch, SC = Schleppschauch, D = Gölledrill, PT = Prallteller, N = Nullvariante

PO ₄ -Konzentration des Bodenwassers (mg/l)	
SH1 + SH 2 + SH3	0.38

SC1 + SC2 + SC3	0.10
PT1 + PT2 + PT3 + PT4	0.06
D1 + D2 + D3 + D4	0.06
N1 + N2 + N3 + SC4 + SH4	0.09

Diese Werte lassen sich wiederum durch die Witterungsverhältnisse erklären, SH (Schleppschuh) wurde zu Beginn der Versuchsreihe unmittelbar nach einem Niederschlagsereignis beprobt und führte deshalb auch noch den meisten Abfluss, folglich auch die höchste P-Konzentration durch noch abfließendes Bodenwasser.

Abfiltrierte Stoffe

Für jeden Beregnungsversuch wurden zusätzlich vier Wasserproben entnommen, die am selben Tag noch im WWA Traunstein filtriert wurden. Daraus wurden die abfiltrierten Stoffe (Schwebstoffe) sowie der wasserlösliche Phosphor bestimmt. Der Zusammenhang zwischen der Phosphorkonzentration in mg.l^{-1} und den abfiltrierten Stoffen ist für alle Versuche in Abbildung 58 dargestellt. Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern feststellen, wobei der Gülleddrill im Vergleich zu den anderen Varianten die geringsten Werte erreicht.

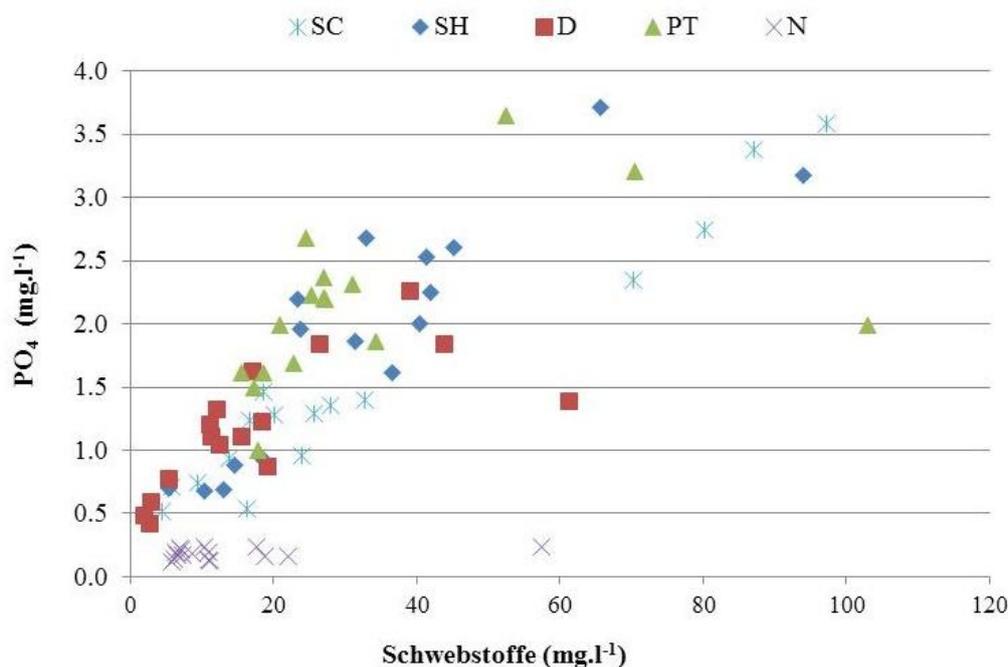


Abbildung 58 Zusammenhang zwischen PO_4 -Konzentration und Schwebstoffen im Drainabfluss für die Varianten SH = Schleppschuh, SC = Schleppschlauch, D = Gülleddrill, PT = Prallteller, N = Nullvariante

Variantevergleich

Für einen Vergleich der vier unterschiedlichen Applikationsmethoden, wurde die Phosphorkonzentration (PO_4) im Bezug zu den Abflussraten des Boden- und Beregnungswassers, normiert. In der sind die gemittelten normierten Konzentrationen für jeweils 4 Versuche pro

Gülleausbringungstechnik dargestellt. In Abbildung 59 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** lässt sich der Trend erkennen, dass die Applikationsmethode mit dem Prallteller die höchste P-Konzentration im Drainagewasser aufweist. Die beiden Varianten Schleppschuh und Schleppschauch zeigen ein sehr ähnliches Verhalten. Der Gülleddrill weist ebenfalls hohe P-Konzentrationen auf.

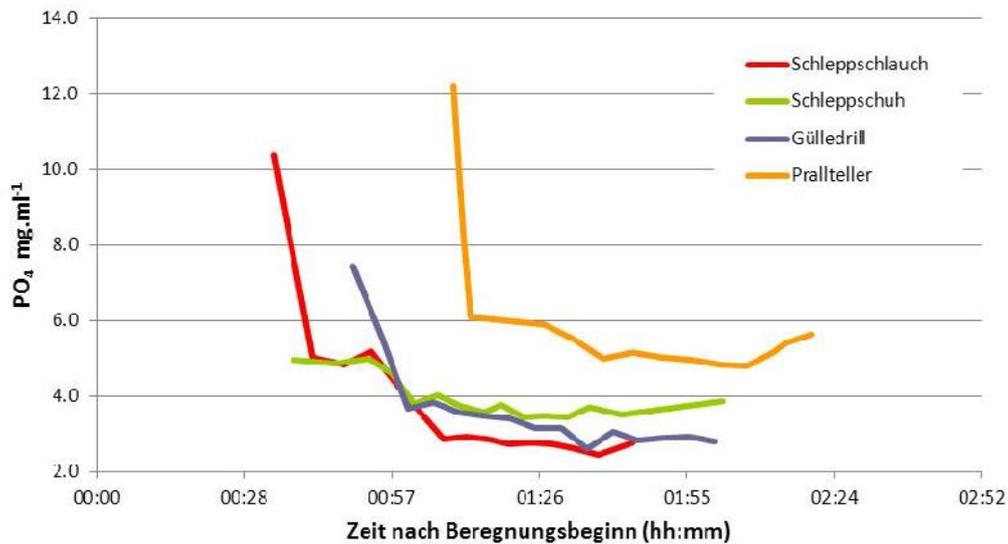


Abbildung 59 Mittelwerte der normierten PO_4 Konzentration für die Varianten Schleppschauch, Schleppschuh, Gülleddrill und Prallteller

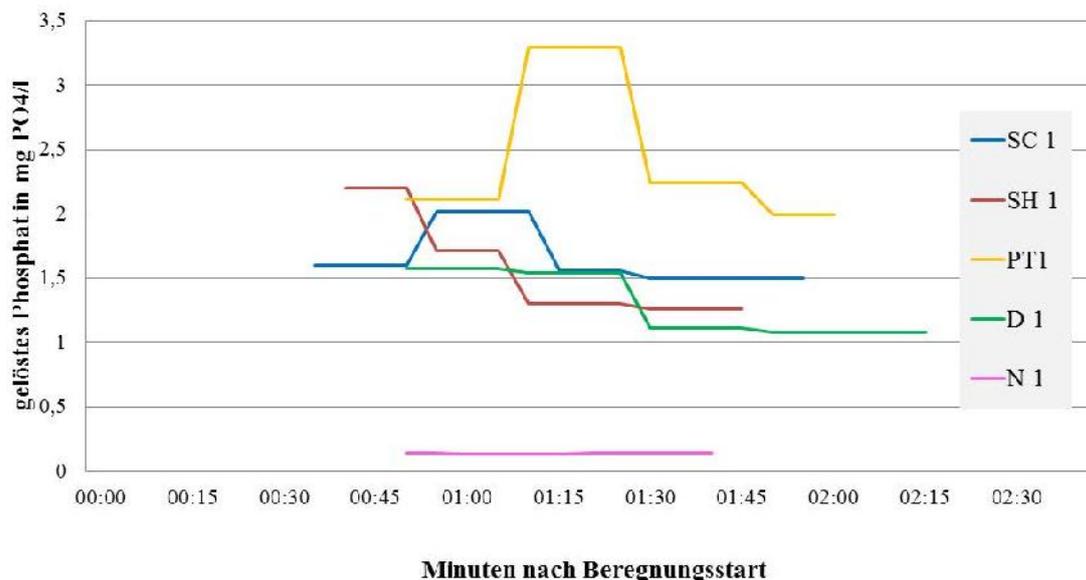


Abbildung 60 Verlauf des gelösten PO_4 der jeweils ersten Beregnung für die Varianten Schleppschauch (SC), Schleppschuh (SH), Prallteller (PT) und Gülleddrill (D)

Im obenstehenden Abbildung 60 ist der Verlauf des wasserlöslichen Phosphors für jeweils die erste Beregnung jeder Gülleausbringungstechnik dargestellt. Da die jeweils erste Beregnung aller Varianten die wenigsten Einflussparameter (Abstand zur Drainöffnung, Einwirkung

anderer Beregnungsversuche) aufweisen, wurden sie für diese Darstellung ausgewählt. Der Unterschied zwischen PT und den bodennahen Ausbringungsvarianten (SC, SH und D) war signifikant ($p = 0,06$ Newman-Keuls). Die Unterschiede zwischen den einzelnen bodennahen Ausbringungsvarianten ließen sich allerdings statistisch nicht unterscheiden. Abbildung 61 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 sich auch, dass die Heterogenität der Wiederholungen sehr groß war. Daher ist kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Varianten (mit Ausnahme der Nullvariante) feststellbar.

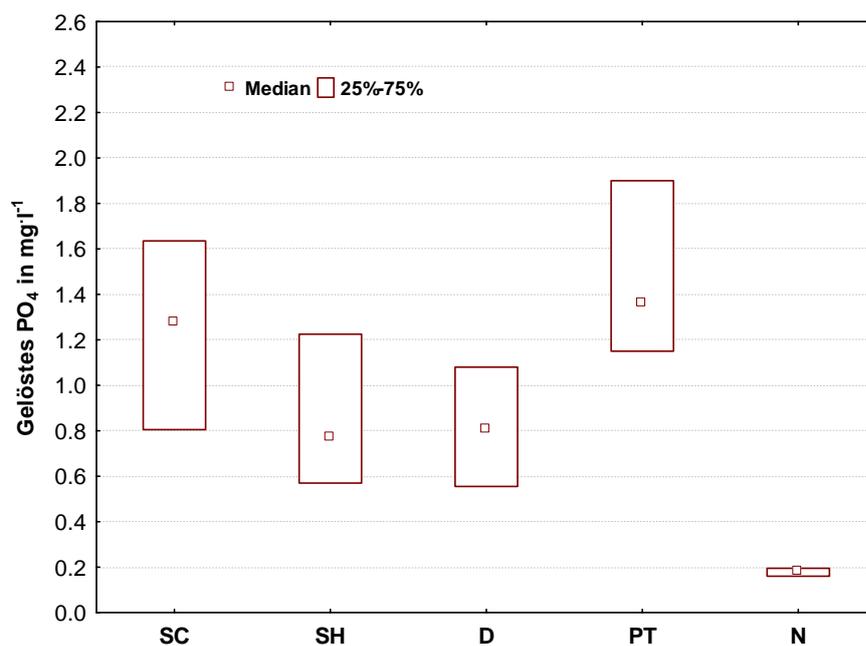


Abbildung 61 Mittlere Konzentration des gelösten Phosphates für die Varianten Schleppschauch (SC), Schleppschuh (SH), Prallteller (PT) und Gülledrill (D)

In einem weiteren Auswertungsschritt wurden die Ergebnisse der bodennahen Ausbringungsvarianten (SC, SH und D) gepoolt und der Variante Prallteller (PT) sowie der Nullvariante (N) gegenübergestellt.

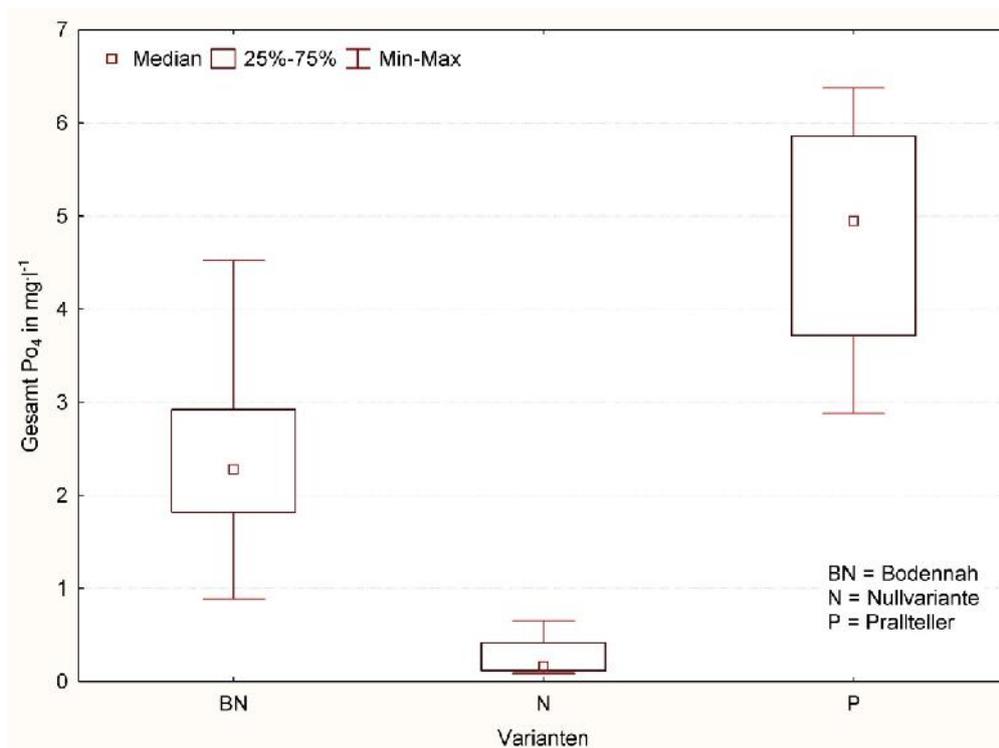


Abbildung 62 Mittlere PO_4 -Konzentration, gepoolt für die bodennahen Ausbringungsvarianten (BN = SC, SH und D), sowie der Nullvariante (N) und der Variante Prallteller (PT)

Durch diesen Auswertungsschritt (= Erhöhung der Anzahl der Wiederholungen) wurde ein signifikanter Unterschied mit $p = 0,06$ (Newman-Keuls) denkbar knapp abgelehnt.

5.4.3 Schlussfolgerung

Die dargestellten Ergebnisse bestätigen, dass am Versuchsstandort eine direkte Verbindung von der Grasoberfläche zu den Drainrohren durch Makroporen vorhanden war. Dies wird nicht zuletzt auch durch die Ergebnisse der Nullvariante belegt (Abbildung 58). Ähnliche Ergebnisse wurden bereits bei einem Vorversuch auf einem Grünlandstandort im österreichischen Alpenvorland erhalten (EDER, 2007). Die Beziehung zwischen abfiltrierten Stoffen (Schwebstoffen) und der PO_4 -Konzentration verlief bei allen begüllten Varianten (Schleppschlauch SC, Schleppschuh SH, Gülledrill D und Prallteller PT) annähernd linear. Davon ausgenommen muss die Nullvariante werden, hier wurden ebenfalls Schwebstoffe im Drainabfluss gemessen, jedoch ohne angelagerten Phosphor, was wiederum auf die direkte Verbindung des Beregnungswassers mit dem Drainausschluss schließen lässt. Die Variabilität des Makroporenflusses beeinflusst die Ergebnisse wesentlich.

Alle Untersuchungsergebnisse belegen zumindest den Trend eines Unterschiedes zwischen bodennaher Gülleausbringung und Applikation mit dem Prallteller. Eine gemeinsame Auswertung aller bodennahen Varianten (höhere Anzahl von Wiederholungen) brachte eine knappe Ablehnung eines signifikanten Unterschiedes zwischen den bodennahen Ausbringungsvarianten und der Pralltellerapplikation ($p = 0,06$). Eine weitere Möglichkeit einer vertiefenden Auswertung der erhaltenen Daten besteht in einer Einbeziehung der Makroporen-

flüsse 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 Drainstränge, 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 ausgeschalten.

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 präferentiell Fließweg, durch den Phosphor der Schwerkraft entsprechend verlagert werden kann. Da sich jedoch die begüllte Fläche bei allen bodennahen Gülleausbringungstechniken (Abbildung 50, Abbildung 51, Abbildung 52) flächenmäßig kaum voneinander unterscheidet, ist das ähnliche Austragsverhalten durchaus zu erwarten.

6. Zusammenfassung

Ziel dieses 3-jährigen Kooperationsprojektes zwischen Bayern und Oberösterreich war es, geeignete Maßnahmen für den Schutz von Oberflächengewässer vor Nährstoffeinträgen zu formulieren beziehungsweise zu evaluieren.

Auf oberösterreichischer Seite stand dabei der Nährstoffeintrag, im Besonderen der Phosphoreintrag, in Fließgewässer über Bodenabtrag von Ackerflächen im Vordergrund. Im Fokus der Untersuchungen stand dabei das Einzugsgebiet der Antiesen, im oberösterreichischen Innviertel.

Durch die Berechnung des durchschnittlichen jährlichen Bodenabtrags für das gesamte Einzugsgebiet der Antiesen, wurden Teilgebiete mit besonders hohem Gefährdungspotential ausgewiesen. Aus diesen so genannten „Hot Spots“ für Bodenerosion wurden Monitoringgebiete am Asböckbach ausgewählt. An insgesamt drei Messstellen wurde Abfluss, Schwebstoff- und Phosphorfracht über zwei Jahre hindurch kontinuierlich beziehungsweise ereignisabhängig gemessen. Während der ersten Messperiode (September 2010 bis August 2011) wurde dabei die Ist-Situation im Fließgewässer aufgenommen. Während der zweiten Messperiode (September 2011 bis Juli 2012) wurde gemeinsam mit der Bezirksbauernkammer Ried im Innkreis, der Bodenschutzberatung Oberösterreich, sowie der Abteilung für Oberflächengewässerschutz der Landesregierung Oberösterreich und den Landwirten des betroffenen Gebietes eine Änderung in der Bewirtschaftungsweise angestrebt. Ziel war es, in dem 260ha großen Gebiet ein System „Immergrün“ zu implementieren. In Informationsveranstaltungen wurden die Landwirte über richtigen Zwischenfruchtanbau, sowie praktikable Mulchsaattechniken informiert. Trotz einer annähernd flächendeckenden Implementierung des Systems „Immergrün“ konnten in den Messdaten aufgrund der kurzen Messzeiträume keine Unterschiede festgestellt werden, da auch die klimatischen Rahmenbedingungen im Beobachtungszeitraum sehr variabel waren. Um gesicherte Aussagen bezüglich der Effektivität von Gewässerschutzmaßnahmen in hydrologischen Einzugsgebieten treffen zu können, sind daher längere Messperioden notwendig. Eine genaue Abschätzung der Minimaldauer einer solchen Messperiode ist allerdings nicht möglich, hängt aber letztendlich von der Wirksamkeit einer gesetzten Maßnahme einerseits und klimatischen Rahmenbedingungen andererseits ab.

Zur Abschätzung der Wirksamkeit verschiedener Gewässerschutzmaßnahmen sind Beregnungsversuche eine Methode um in relativer kurzer Zeit die Effektivität einer Maßnahme am Feld abschätzen zu können. In allen drei Jahren (2010 bis 2012) wurden künstliche Beregnungsversuche im Einzugsgebiet der Antiesen (Asböckbach) durchgeführt, dabei wurden sowohl verschiedenen Managementtechniken für den Zwischenfruchtanbau als auch konservierende Bodenbearbeitungstechniken für Maisanbau getestet.

Unsere Versuche im Herbst 2010 zeigten, dass eine grobe Saatbettbereitung beim Zwischenfruchtanbau den Bodenabtrag bei Niederschlagsereignissen deutlich reduzieren kann.

Im Frühjahr 2011 wurden Mulch- und Direktsaatvarianten bezüglich Bodenabtrag und Oberflächenabfluss getestet und einer konventionellen Anbautechnik mit Pflugfurche im Herbst und feiner Saatbettbereitung im Frühjahr gegenüber gestellt. Die Direktsaatvarianten schnitten dabei erwartungsgemäß am besten ab, werden allerdings in dieser Region aufgrund relativ schwerer Böden (60-69% Schluffgehalt) und mangelnder Gerätschaft nicht angewendet. Die Beregnungsversuche zeigten auch, dass Verbesserungsbedarf für die Bodenbearbeitung im Mulchsaatverfahren besteht. Aufgrund der sehr geringen Bodenbedeckung durch Mulch, wiesen die Mulchsaatvarianten nämlich die höchsten Bodenabträge auf. Durch die Tiefenlockerung mit dem Pflug erreichte die konventionelle Variante eine höhere Infiltrationsleistung und erzielte rund ein Drittel bis ein Viertel weniger Bodenabtrag und Oberflächenabfluss als die Mulchsaatvarianten. Diese Versuche haben deutlich gezeigt, dass die Effektivität von Mulchsaaten von der Qualität und Quantität des Mulchmaterials abhängt.

Die Beregnungsversuche 2012 wurden auf einer Fläche durchgeführt, die der Bewirtschafter im Herbst 2011 mit einer senflastigen Zwischenfruchtmischung bebaut hatte. Drei unterschiedliche Mulchsaatvarianten wurden einer konventionellen Variante mit Pflugfurche im Herbst gegenüber gestellt. Die besten Ergebnisse erzielte dabei die kombinierte Mulchsaatvariante – Saatbettbereitung mit Grubber und Maisanbau in einer Überfahrt – dadurch blieb am meisten Mulchmaterial auf der Ackerfläche zurück (~25% Bodenbedeckung). Am schlechtesten schnitt die Mulchsaatvariante mit Fahrspuren hangabwärts ab. Das Bodengefüge wird unterhalb der Fahrspuren verdichtet, das zeigten auch die Messungen der Rohdichte. Fahrspuren wirken wie „Autobahnen“, es kommt zu beschleunigtem Oberflächenabfluss der wertvollen Oberboden und Nährstoffe Richtung Fließgewässer transportiert. Dem könnte man relativ einfach und kostengünstig mit Fahrspurlockerern entgegenwirken. Dies zeigte auch die dritte getestete Mulchsaatvariante. Hier wurden Fahrspuren manuell aufgelockert, dadurch erreichte diese Variante nur rund ein Fünftel des Bodenabtrags, verglichen mit der Mulchsaatvariante mit Fahrspuren.

In Bayern wurden im Frühsommer 2011 ebenfalls Beregnungsversuche durchgeführt. Dabei wurden verschiedene bodennahe Gülleausbringungstechniken auf ihren Phosphoraustrag aus Drainagen getestet und mit konventioneller Pralltellerausbringung verglichen. Auch wenn kein signifikanter Unterschied ($p=0,06$) zwischen bodennaher Gülleausbringung und Prallteller bestätigt werden konnte, so ließ sich doch ein klarer Trend feststellen. Durch Gülleausbringung mittels Prallteller gelangt vergleichsweise mehr Phosphor über Drainagen in Oberflächengewässer als mit bodennaher Gülleausbringung. Dies ist vor allem auf das unterschiedliche Ausbringungsmuster zurückzuführen. Während beim Prallteller die gesamte Geländeoberfläche mit Gülle in Berührung kommt, ergibt sich bei den bodennahen Techniken ein Streifenmuster. So werden weniger Makroporen mit Gülle benetzt, das heißt weniger schnell dränende vertikale Abflussbahnen kommen mit Gülle in Berührung.

7. Öffentlichkeitswirksame Aktivitäten

Im Folgenden werden sämtliche öffentlichkeitswirksame Aktivitäten (Vorträge, Posterpräsentationen, Abstracts, wissenschaftliche Arbeiten), die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, aufgelistet. Alle öffentlichkeitswirksamen Aktivitäten werden dem Endbericht digital beigefügt.

Chronologische Auflistung:

1. Strauss, P. und Hösl, R. 2009. Auftaktveranstaltung „Gewässer-Zukunft“. 9.12.2009, Petting am See. Präsentation.
2. Hösl, R. und Strauss, P. 2010. Bisherige Tätigkeiten im Projekt. Leitungsgruppentreffen am 7.4.2010, Traunstein. Präsentation.
3. Strauss, P. und Hösl, R. 2010. Projektvorstellung und Zielsetzungen. Informationsveranstaltung Ort im Innkreis. Präsentation.
4. Hösl, R. und Strauss, P. 2010. Tätigkeitsbericht BAW Petzenkirchen. Leitungsgruppentreffen am 10.11.2010, Traunstein. Präsentation.
5. Hösl, R. und Strauss, P. 2010. Sachstandsbericht BAW Petzenkirchen. Leitungsgruppentreffen am 6.4.2011, Ried im Innkreis. Präsentation.
6. Hösl, R. und Strauss, P. 2011. Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten für die Zwischenfruchtbegrünung auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag. 66. ALVA Jahrestagung, 23.-24. Mai 2011, Graz. Präsentation.
7. Hösl, R. und Strauss, P. 2011. Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten für die Zwischenfruchtbegrünung auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag. 66. ALVA Jahrestagung, 23.-24. Mai 2011, Graz. Wissenschaftlicher Artikel.
8. Hösl, R. und Strauss, P. 2011. Ergebnisse BAW Petzenkirchen. Informationsveranstaltung für Landwirte, 16.6.2011, Ort im Innkreis. Präsentation.
9. Hösl, R., Ulrich, H., Forster, M., Parzinger, M., Aigner, F., Karner, M., Strauss, P., et al. 2011. Wirkung verschiedener Gülleapplikationsverfahren auf das Austragsverhalten von Phosphor in Drainagen. Tagung Seenreinhaltung und Grünlandverbesserung, 14.9.2011, Weibhausen, Bayern. Präsentation.
10. Hösl, R., Ulrich, H., Forster, M. and Strauss, P. 2011. Effect of different slurry application techniques on P in drained grassland. Abschlussveranstaltung der COST 869

„Mitigation options for nutrient reduction in surface water and groundwaters“ 12.-14.10.2011 in Kestely/Ungarn. Poster.

11. Hösl, R. and Strauss, P. 2011. Challenges of implementation of erosion control measures in Austria. Tagung „Première Journée d'étude du projet GISER – Gestion intégrée Sol Erosion Ruissellement“, Gembloux/Belgien, 26.11.2011. Präsentation.
12. Hösl, R., Strauss, P. and Glade, T. 2012. Man-made linear flow paths at catchment scale: Identification, factors and consequences for the efficiency of vegetated filter strips. *Landscape and Urban Planning* 104, 245-252. Wissenschaftlicher Artikel.
13. Hösl, R. und Strauss, P. 2012. Sachstandsbericht. Leitungsgruppentreffen am 1. 2. 2012 in Linz.
14. Hösl, R. und Strauss, P. 2012. Aktivitäten für eine nachhaltige, gewässerschonende Landwirtschaft. Umweltökologisches Symposium “Wirkung von Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz”, 6.-7.3.2012, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning. Präsentation.
15. Hösl, R. und Strauss, P. 2012. Aktivitäten für eine nachhaltige, gewässerschonende Landwirtschaft. Umweltökologisches Symposium “Wirkung von Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz”, 6.-7.3.2012, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning 101-106. Wissenschaftlicher Artikel.
16. Strauss, P. und Hösl, R. 2012. Schlussfolgerungen aus den Messreihen des BAW. Infoveranstaltung, 20.3.2012, Mayring bei Ried.
17. Hösl, R, Strauss, P. und Devaty, J. 2012. Einführung in BoBB Bodenerosion – Berechnung und Beratung. Leitungsgruppentreffen am 18.4.2012, Petzenkirchen.
18. Hösl, R. and Strauss, P. 2012. A rainfall simulation experiment on soil and water conservation measures – Undesirable results. EGU General Assembly, 22.-27. April 2012, Vienna/Austria. Poster.
19. Hösl, R. and Strauss, P. 2012. A rainfall simulation experiment on soil and water conservation measures – Undesirable results. EGU General Assembly, 22.-27. April 2012, Vienna/Austria. Abstract.
20. Hösl, R., Strauss, P. und Eder, A. 2012. Bodenschutz durch Mulch- und Direktsaat – Ergebnisse eines Beregnungsversuches. Feldtag „Sätechnik und Begrünung“, LFZ Francisco-Josephinum Wieselburg, 21.6.2012. Poster.

21. Hösl, R., Murer, E., Strauss, P. 2012. Wirkung verschiedener Gülleapplikationsverfahren auf das Austragsverhalten von Phosphor in Drainagen. Jahrestagung der ÖBG „Anthropogener Einfluss auf alpine Böden“, 27.-28.6.2012, Innsbruck. Präsentation.
22. Hösl, R., Murer, E., Strauss, P. 2012. Wirkung verschiedener Gülleapplikationsverfahren auf das Austragsverhalten von Phosphor in Drainagen. Jahrestagung der ÖBG „Anthropogener Einfluss auf alpine Böden“, 27.-28.6.2012, Innsbruck. In: Mitteilungen der ÖBG, in Druck. Wissenschaftlicher Artikel.
23. Hösl, R. and Strauss, P. 2012. Effect of different slurry application techniques on phosphorus output into tile drains. EUROSOIL Bari, 2.-6. 7. 2012. Präsentation.
24. Hösl, R. and Strauss, P. 2012. Effect of different slurry application techniques on phosphorus output into tile drains. EUROSOIL Bari, 2.-6. 7. 2012. Abstract.
25. Strauss, P. und Hösl, R. 2012. Sachstandsbericht des BAW Petzenkirchen. Leitungsgruppentreffen am 19.9.2012 in Ried im Innkreis.
26. Hösl, R. und Eder, A. 2012. Interreg IVA „Gewässer-Zukunft“, Projektvorstellung und Ergebnisse. Treffen am 21.11.2012 an der TU-Wien. Präsentation.
27. Strauss, P. und Bohner, A. 2012. Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den Nährstoffeintrag in Gewässer – Der Fall Phosphor. Wasserschutztagung St. Florian, 28. 11. 2012. Präsentation.
28. Hösl, R., Strauss, P., Murer, E., Eder, A. und Bauer, T. 2012. Effekt von bodennaher Gülleausbringung auf den Phosphoraustrag in Drainagen. Zeitschrift für Bodenkultur, Universität für Bodenkultur Wien. Eingereicht. Wissenschaftlicher Artikel.
29. Strauss, P. Hösl R., Eder A., Forster M., Ulrich H., Murer E. 2013. Wirkung bodennaher Gülleausbringung auf den Phosphoraustrag in Drainagen. In: LFZ Raumberg Gumpenstein (Hrsg.): Das Interreg IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ – Ausgewählte Ergebnisse aus den Einzugsgebieten Waginger und Tachinger See (Bayern) und der Antiesen (Oberösterreich). In Druck. Wissenschaftlicher Artikel.
30. Strauss, P., Hösl, R. und Devaty, J. 2013. BoBB – Bodenerosion, Beratung und Berechnung – Ein Werkzeug zur Unterstützung der landwirtschaftlichen Beratungspraxis. In: LFZ Raumberg Gumpenstein (Hrsg.): Das Interreg IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ – Ausgewählte Ergebnisse aus den Einzugsgebieten Waginger und Tachinger See (Bayern) und der Antiesen (Oberösterreich). In Druck. Wissenschaftlicher Artikel.

31. Hösl, R., Strauss, P. 2013. Wirksamkeit konservierender Bodenbearbeitungsverfahren zur Reduktion von Oberflächenabfluss und Bodenerosion. In: LFZ Raumberg Gum-penstein (Hrsg.): Das Interreg IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ – Ausgewählte Ergeb-nisse aus den Einzugsgebieten Waginger und Tachingen See (Bayern) und der An-tiesen (Oberösterreich). In Druck. Wissenschaftlicher Artikel.
32. Hösl, R. und Strauss, P. 2013. Evaluation of conservation tillage practices under field conditions in Austria. In Vorbereitung. Wissenschaftliche Arbeit.
33. Straus, P. und Hösl, R. 2013. Ergebnisse aus den Beregnungsversuchen im Rahmen des Projektes „Gewässer-Zukunft“. Informationsveranstaltung am 7.2.2013 der Be-zirksbauernkammer Ried im Innkreis „Bodenbearbeitung zur Frühjahrssaat – Neue Erkenntnisse zur Bodenabtragverminderung aus InterReg Antiesen“. Präsen-tation.
34. Strauss, P. und Hösl, R. 2013. Zusammenfassende Ergebnisse aus dem Projekt „Ge-wässer-Zukunft“. Abschlussveranstaltung des Interreg IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“, Bayern. Präsentation.
35. Devaty, J., Dostal, T., Hösl, R., Strauss, P. and Novotny, I. 2013. BoBB, software to assess soil erosion risk - introduction of the tool and its use to evaluate appropriate crops and farm-ing practices on endangered field plots. EGU General Assembly ,7.-12.4.2013, Vienna/Austria. Poster.
36. Devaty, J., Dostal, T., Hösl, R., Strauss, P. and Novotny, I. 2013. BoBB, software to assess soil erosion risk - introduction of the tool and its use to evaluate appropriate crops and farm-ing practices on endangered field plots. EGU General Assembly, 7.-12.4.2013, Vienna/Austria. Abstract.

8. Datensätze

Alle erhobenen Daten werden dem Endbericht digital beigelegt.

9. Literatur

- Aubrecht, P. 1998. Corine Landcover Österreich – Vom Satellitenbild zum digitalen Bodenbedeckungssatz. Umweltbundesamt Monographien 93.
- Auerswald, K. 2002. Schätzung des C-Faktors aus Fruchtartenstatistiken für Ackerflächen in Gebieten mit subkontinentalem bis subatlantischem Klima nördlich der Alpen. *Landnutzung und Landentwicklung* 43:1-5.
- Diepolder, M., S. Raschbacher und T. 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.
- Hösl, R. 2009. Analyse von linearen Abflusswegen und ihr Einfluss auf die Effektivität von Gewässerrandstreifen. Diplomarbeit. FB Geographie und Regionalforschung. Wien.
- Land OÖ, 2009. Online in: <http://doris.ooe.gv.at/geoinformation/metadata/pdf/dhm.pdf>. Zugriff: Dezember 2010
- Lebensministerium, 2006. Richtlinien für die sachgerechte Düngung, Lebensministerium, 6. Auflage.
- Lebensministerium, 2012. Online in wisa.lebensministerium.at; Zugriff: Oktober 2012.
- McCool, D.K., Foster, G.R., Mutchler, C.K. & Meyer, L.D. 1989. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE* 32:1571-1576
- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., et al. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM).
- ÖNORM EN ISO 6878, 2004. Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Phosphor – Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat. Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM L1061-2: Physikalische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens, Teil 2: Feinboden" vom 1. Februar 2002.
- Perälä, P., P. Kapuinen, M. Esala, S. Tyynelä, 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.
- Renard, K.G., Foster, G.R., McCool, D.K. & Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: A Guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Handbook 703. U.S. Department of Agriculture.
- 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.
- Schwertmann, U., W. Vogl, M. Kainz. 1987. Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart.
- Skoda, G. & Lorenz, P. 2003. Mittlere Jahresniederschlagshöhe. In BMLFUW (ed.) Hydrologischer Atlas Österreichs. 1. Lieferung. Kartentafel 2.2 Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. ISBN 3-85437-250-7.
- Statistik Austria 2001. Agrarstrukturerhebung 1999: Gesamtergebnisse. Verlag Österreich.
- Strauss, P. Auerswald, K., Klaghofer, E. & Blum, W.E.H. 1995. Erosivität von Niederschlägen: ein Vergleich Österreich – Bayern. Z. Kulturtechnik Landentw. 36: 304-308.
- Strauss, P., M. Pfeffer, A. Mentler, J. Pitty. 1997. Construction and Performance of a Fully Programmable Rainfall Simulator, Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur. Final Report.
- Strauss, P. 2003. Probleme bei der Ermittlung von Bodenerosion in unterschiedlichen Maßstabsbereichen. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 19: 96-105.
- Strauss, P. 2007. Flächenhafter Bodenabtrag durch Wasser. In BMLFUW (ed.) Hydrologischer Atlas Österreichs. 3. Lieferung. Kartentafel 8.4. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. ISBN 3-85437-250-7.
- Trojan, M. D. und D. R. Linden. 1992. Microrelief and rainfall effects on water and solute Movement in earthworm burrows. Soil Sci. Soc. Am. J., 56, 727-733.
- Wischmeier, W.H. und Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. USDA Handbook 537. U.S. Department of Agriculture.
- WPA - Beratende Ingenieure und Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt. 2009. Abschätzung des Bodenabtrags in Österreich und Integration der Daten in die INVEKOS Datenbank. BAW-IKT Petzenkirchen.
- WWA Traunstein. 2002. Nährstoffeinträge und trophische Situation im Waginger-Tachingener See 2001/2002.
- ZAMG, 2011. Online in: www.zamg.ac.at Zugriff: Dezember 2011