
Prognose der Nährstoffbelastung in
oberösterreichischen Gewässern für den
Zeitraum 2015 – 2020, Ableitung von
Handlungsoptionen sowie Quantifizierung
ihrer Wirksamkeit

Endbericht

**Im Auftrag des Amtes der Oberösterreichischen
Landesregierung**

AUWR-2015-231931/41-StU



Autoren

**TU Wien, Institut für Wassergüte und
Ressourcenmanagement**

Matthias Zessner

Eva Streng

Gerold Hepp



wpa Beratende Ingenieure

Max Kuderna

Christine Weinberger

wpa Beratende Ingenieure



Umweltbundesamt

Oliver Gabriel

ENVIRONMENT
AGENCY AUSTRIA **umweltbundesamt**^U

Kurzfassung

Das Modell Ensemble aus Inputdatenmodell, MONERIS und PhosFate wurde erfolgreich für die Prognose der Maßnahmenwirksamkeit von ÖPUL 2015 und dessen voraussichtlichen Auswirkungen auf den Zeitraum von 2015 – 2020 angewandt. Es konnte gezeigt werden, dass die wesentlichen Quellen, wie die landwirtschaftlichen Stickstoffüberschüsse und die Bodenabträge aus landwirtschaftlichen Flächen durch die ÖPUL Maßnahmen „Biologische Wirtschaftsweise“, „Begrünung inklusive Immergrün“ und „Erosionsschutz“ deutlich gemindert werden können.

Betrachtet man die Wirksamkeit der ÖPUL Maßnahmen jedoch ausschließlich unter dem Aspekt der Zielerreichung so zeigt sich bei leichten Verbesserungen der Wirksamkeiten gegenüber ÖPUL 2007 dennoch eine besonders für $\text{PO}_4\text{-P}$ bedenkliche Situation. Könnten Richtwertunterschreitungen in den wenigen Einzugsgebieten mit Richtwertüberschreitungen für $\text{NO}_3\text{-N}$ (Ipfbach, Krusteinerbach und bedingt Feldaist) auch nach 2015-2020 noch durch eine Kombination von über ÖPUL 2015 hinausgehende Maßnahmen erzielt werden, deutet sich in Einzugsgebieten mit teilweise sehr deutlichen Richtwertüberschreitungen für $\text{PO}_4\text{-P}$ unter Berücksichtigung von ÖPUL 2015 und weitergehenden Maßnahmen (auch bei maximaler Teilnahme) in den allermeisten Fällen keine Unterschreitung der Richtwerte an.

Vereinzelt unterschreiten die ermittelten Konzentrationsminderungen von ÖPUL 2015 die für eine Richtwertunterschreitung notwendigen Minderungen um eine Größenordnung. Gleichzeitig konterkarieren Entwicklungen der letzten Jahre, wie ein erhöhter Einsatz erosiver Kulturen, in vielen Einzugsgebieten die Wirksamkeiten der ÖPUL Maßnahmen erheblich. So muss grundsätzlich festgehalten werden, dass eine Zielerreichung für $\text{PO}_4\text{-P}$ mit dem bisherigen Maßnahmen und den angewendeten Strategien auch in Zukunft und bei erhöhter Anstrengung in einigen Einzugsgebieten nicht möglich scheint.

Um weitergehende Handlungsoptionen und effiziente, neue Maßnahmenstrategien aufzuzeigen wurde das Emissionsmodell PhoFate, das auf Schlagebene Risikoflächen für den Bodenabtrag und Phosphoreintrag in Fließgewässer abbildet, in drei Testgebieten angewendet. Unter Berücksichtigung bereits bestehender Maßnahmen, wie „Gewässerrandstreifen“ (mit bisher unzureichender Teilnahme) aber auch durch Entwicklung neuer, innovativer Maßnahmen, wie „Strassenrandstreifen“, „begrünte Abflusswege“ oder „begrünte Querstreifen“ sowie einer Kombination dieser Maßnahmen nebst zielgenauer Verortung auf zuvor modellierten Risikoflächen konnte gezeigt werden, dass eine weitere Steigerung der Maßnahmenwirksamkeiten machbar ist. Die z.T. hohen modellierten Reduktionen der partikulären Phosphor Einträge auf Einzugsgebietsebene bei optimierter Verortung möglicher Maßnahmenkombinationen zeigen einen effektiven Weg der Maßnahmenumsetzung auf, der in Einzugsgebieten mit Zielverfehlung in Zukunft ergänzend zu den bestehenden Programmen genutzt werden könnte.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung und Zielstellung	6
2 Material und Methoden	7
2.1 Beschreibung der Eingangsdaten	7
2.2 Abbildung landwirtschaftlicher Maßnahmen	8
<i>2.2.1 Änderungen der Datengrundlagen.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2 Berechnung der ÖPUL 2015-Maßnahmen</i>	<i>8</i>
2.3 Maßnahmenwirksamkeit auf Ebene von Einzugsgebieten	11
<i>2.3.1 ÖPUL 2015-Maßnahmen.....</i>	<i>11</i>
<i>2.3.2 Weitergehende Maßnahmen</i>	<i>12</i>
2.4 Wirksamkeit von Maßnahmen unter Berücksichtigung ihrer Verortung	15
3 Ergebnisse	18
3.1 Entwicklungen der landwirtschaftlichen Bodennutzung	18
3.2 Minderung der Nährstoffverluste durch ÖPUL 2015-Maßnahmen	25
3.3 Entwicklung der Emissionen aus Kläranlagen	34
3.4 Wirksamkeit von ÖPUL 2015-Maßnahmen auf die Belastungen von Gewässern .	40
<i>3.4.1 Betrachtungen auf der Ebene von Einzugsgebieten.....</i>	<i>40</i>
<i>3.4.2 Berücksichtigung der Verortung von Maßnahmen.....</i>	<i>51</i>
4 Handlungsoptionen zur weitergehenden Emissionsreduktion	55
4.1 Szenarien auf Ebene von Einzugsgebieten.....	55
4.2 Szenarien mit Verortung von Maßnahmen	57
<i>4.2.1 Einzelmaßnahmen.....</i>	<i>58</i>
<i>4.2.2 Maßnahmenkombinationen</i>	<i>65</i>
<i>4.2.3 Vergleich von ÖPUL 2015 sowie der erweiterten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen</i>	<i>72</i>
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	74

6	Ausblick.....	77
7	Literatur.....	79
8	Anhang.....	80

1 Einleitung und Zielstellung

Für eine Prognose der Nährstoffentwicklung stellt die Kenntnis von Maßnahmenwirksamkeiten von laufenden Maßnahmenprogrammen zur Reduktion der Belastung in Oberflächengewässern eine wesentliche Grundlage dar. Anhand einer Prognose können unter Berücksichtigung der wesentlichen Wirkungsindikatoren, insbesondere in Problemgebieten, zeitnah effiziente mittelfristige Strategien zur Zielerreichung erarbeitet werden. Eine Prognose der Wirksamkeit neu aufgelegter Maßnahmenprogramme für oberösterreichische Einzugsgebiete hat darüber hinaus den Wert Schwerpunktsetzungen in laufenden und zukünftigen Programmen zu evaluieren, die Maßnahmengestaltung effektiver zu handhaben und sie regional, etwa für einzelne Schwerpunktgebiete, zielgerichteter ausweisen zu können.

Eine modellgestützte Prognose schafft somit steuerungsrelevante Informationen für die strategische Planung zur effektiven Zielerreichung in oberösterreichischen Oberflächengewässern und liefert Ansatzpunkte für die weitere Vorgangsweise in Einzugsgebieten, in denen eine Zielerreichung mit den vorgesehenen Maßnahmenprogrammen nicht wahrscheinlich ist.

In einem vorrangegangenen Projekt (Zessner et al., 2016a; Zessner et al., 2016b) konnte gezeigt werden, dass das verwendete Modell-Ensemble aus Flexiblen Inputdatenmodell, MONERIS und PhosFate, unter dem Aspekt der Wirksamkeiten von Maßnahmenprogrammen geeignet ist Prognosen der Gewässergüte auf Einzugsgebietsebene zu erstellen. Darüber hinaus wurde in einem weiteren Projekt (Zessner et al., 2017) die Emissionsmodellierung für oberösterreichische Einzugsgebiete für die Jahre 2007–2013 aktualisiert und die Wirksamkeit von ÖPUL 2007 ausgewiesen.

Ziel des vorliegenden Projektes ist es aufbauend auf den vorrangegangenen Untersuchungen:

- die durch das Maßnahmenprogramm ÖPUL 2015 bis zum Jahr 2020 erzielten Reduktionen der Nährstofffrachten (Stickstoff und Phosphor) und ihre Auswirkungen auf die Konzentrationsentwicklungen ($\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{PO}_4\text{-P}$) unter dem Aspekt der Richtwerterreichung zu quantifizieren,
- Maßnahmenteilnahmen, -inhalte und -strategien unter dem Gesichtspunkt der Zielerreichung kritisch zu evaluieren,
- die Wirksamkeit von weitergehenden, ausgewiesenen Handlungsoptionen zu quantifizieren und
- Empfehlungen sowie Handlungsanleitungen für eine Optimierung der Vorgehensweise bei der Maßnahmensetzung auszuarbeiten.

2 Material und Methoden

2.1 Beschreibung der Eingangsdaten

Die für die Prognose der Maßnahmenwirksamkeit von ÖPUL 2015 verwendete MONERIS Version basiert auf dem in Zessner et al. (2017) beschriebenen, aktuellsten MONERIS Modell für Oberösterreich (Zeitraum 2007-2013). Wesentliche Änderungen der Eingangsdaten, die im Zuge dieses Projektes im Modell implementiert worden sind, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Auswirkungen des ÖPUL 2015 Programmes auf die N-Überschüsse, abgeleitet aus den INVEKOS Daten des Jahres 2016 (Kapitel 2.2.2):
 - Entsprechend der Veränderungen der kurzfristigen N-Überschüsse werden auch die Langzeitüberschüsse angepasst,
- Auswirkungen des ÖPUL 2015 Programmes auf die Bodenabträge, abgeleitet aus den INVEKOS Daten des Jahres 2016 (Kapitel 2.2.2),
- Aktualisierung der Punktquelleneinträge (EmREG-OW) und Neuordnung der Einleitepunkte für die Jahre 2014-2017 und
- Standardisierung der klimatischen und hydrologischen Eingangsdaten über den Zeitraum von 2001-2013.

Hintergrund einer Parametrisierung des Modells mit den mittleren klimatischen und hydrologischen Eingangsdaten des Zeitraumes 2001-2013 ist, dass das Ziel der aufgesetzten Modellversion nicht die übliche Darstellung der wesentlichen Quellen und Eintragspfade für Nährstoffe auf der Ebene von Einzugsgebieten für einen abgeschlossenen Zeitraum ist, sondern mittels Modellierung eine Prognose maßnahmengetriebener und statistisch abgesicherter Entwicklungen von Nährstoffkonzentrationen für den Zeitraum 2015-2020 erstellt werden soll. Dementsprechend wird der (teilweise) zukünftige Modellierungszeitraum mit hydrologischen Standardbedingungen berechnet, da andernfalls bei einer Berücksichtigung der tatsächlichen Abfluss- und Klimabedingungen der Jahre 2015-2017 die Modellergebnisse infolge der spezifischen Abflussbedingungen überprägt werden würden. Dies bedeutet aber auch, dass die vorliegende Modellversion und ihre berechneten Varianten nicht dazu geeignet sind die Modellanpassung (Fließgewässerfrachten und –konzentrationen einzelner Phasen versus Modellergebnisse) zu testen, sondern dahingehend optimiert wurden, eine prognostizierte maßnahmengetriebene Entwicklung der Fließgewässer für den Zeitraum 2015-2020 darzustellen.

Obwohl insbesondere die Maßnahmen des ÖPUL 2015 Programmes und seine Wirkung auf den Bodenabtrag (Phosphor) und den N-Überschuss (Stickstoff) dargestellt werden sollen, wurden ebenfalls (soweit möglich) die neueren Entwicklungen im Bereich der Kläranlagen berücksichtigt. Insgesamt gehen Daten von 110 kommunalen Kläranlagen > 2000 EW in das Gesamtmodell ein. Davon leiten 79 Kläranlagen in die als Hauptgewässer der Einzugsgebiete ausgewiesenen Gewässer und 31 in ihre Zubringer ein. Neben kommunalen Kläranlagen werden Nährstoffeinträge von 26 industriellen Direkteinleitern bei der Modellierung berücksichtigt.

2.2 Abbildung landwirtschaftlicher Maßnahmen

Das Inputdatenmodell Landwirtschaft liefert einen wichtigen Teil der Eingangsdaten für das Emissionsmodell MONERIS und basiert zum Großteil auf den INVEKOS Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem), welches ein System zur Kontrolle von Verordnungen und Förderungen in der Agrarpolitik darstellt. Desweiteren bietet dieses Modell die Möglichkeit landwirtschaftliche Maßnahmen abzubilden. Das Inputdatenmodell berechnet einerseits den Bodenabtrag und andererseits den Nährstoffüberschuss auf landwirtschaftlichen Flächen.

Eine detaillierte Beschreibung des Inputdatenmodells ist im Endbericht „Zustandserfassung, Nährstoffentwicklung und Quantifizierung der Maßnahmenwirksamkeiten von ÖPUL 2007 in oberösterreichischen Einzugsgebieten“ von 2017 zu finden (Zessner et al., 2017). Für die Berechnung des Bodenabtrags und des Nährstoffüberschusses im ÖPUL 2015 wurden die Daten aus dem Jahr 2016 herangezogen.

2.2.1 Änderungen der Datengrundlagen

Mit der Umstellung auf das neue ÖPUL 2015 wurde die Struktur der INVEKOS Daten und teilweise auch die Dateninhalte geändert. Positiv zu vermerken ist, dass die Begrünungen aus der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfruchtanbau“ nun auf Schlagenebene zur Verfügung stehen. In den Jahren zuvor waren die Angaben feldstückspezifisch, weshalb eine genaue Zuordnung nicht möglich war.

Nicht mehr enthalten sind die Zuordnungen der Schläge zu Grundstücksnummern, weshalb in weiterer Folge die Hangneigung (Faktor S) und der Bodenerodierbarkeitsfaktor (Faktor K) für die Berechnung des Bodenabtrags nicht direkt zuordenbar sind, da diese Informationen nur pro Grundstück zur Verfügung stehen. Mit Hilfe der Shapefiles aus dem INVEKOS Datenpool, wo die genaue Lage der Schläge in gesamt Österreich ersichtlich ist, erfolgte eine lagemäßige Überschneidung mit dem Grundstückskataster im Projektgebiet (DKM). Dadurch konnte eine Zuordnung der Schläge zu den Grundstücken hergestellt werden.

Desweiteren sind seit dem ÖPUL 2015 keine eigenen Tabellen mit den schlagbezogenen ÖPUL-Maßnahmen vorhanden. Teilweise sind in der Schlagtabelle bereits ÖPUL Codes enthalten, oder es muss mit Hilfe der betriebsbezogenen Tabellen die ÖPUL Maßnahme auf die Schlagflächen umgelegt werden. Im Falle der Maßnahme „Erosionsschutz Obst, Wein, Hopfen“ musste hierzu noch eine Liste der teilnahmeberechtigten Kulturen beim BMNT angefordert werden, damit eine eindeutige Zuordnung der Maßnahme möglich ist.

2.2.2 Berechnung der ÖPUL 2015-Maßnahmen

Die Wirkung der Maßnahmen im ÖPUL 2015 sollen auf ihre Wirksamkeit betreffend die Reduktion der Stickstoffüberschüsse und die Reduktion des Bodenabtrags bewertet werden um in weiterer Folge eine Prognose für die Wirksamkeit der ÖPUL 2015 Maßnahmen erstellen zu können. Es wurden nur jene ÖPUL Maßnahmen in der Modellierung berücksichtigt, von denen eine nachvollziehbare und in Studien nachgewiesene Wirkung (z.B. ÖPUL-Evaluierungen) ausgeht. Einflüsse durch Schulungen und Beratungen können nur abgeschätzt werden.

Folgende Maßnahmen im ÖPUL 2015 wurden berücksichtigt:

1. ÖPUL Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“

Diese Maßnahme wurde schon in vorhergehenden ÖPUL Perioden angeboten. Teilnehmende Betriebe dürfen unter Anderem keine chemisch-synthetischen Düngemittel oder Pflanzenschutzmittel anwenden. Daraus ergibt sich für Biobetriebe sowohl eine abgeänderte Fruchtfolge im Vergleich zu konventionellen Betrieben als auch ein kulturspezifischer geringerer Ertrag.

Für die Berücksichtigung der Verminderung des Bodenabtrags durch die Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ wird davon ausgegangen, dass Biobetriebe vermehrt erosionsmindernde Kulturen anbauen. Eine Auswertung der INVEKOS-Daten in Bezug auf die Kulturartenverteilung biologischer und konventioneller Betriebe ergab, dass die Kulturen Körnermais, Silomais, Körnerraps und Winterweizen bei Biobetrieben eher selten angebaut werden, dafür werden vor allem die Kulturen Ackerbohne, Klee gras, Roggen und Wintertriticale angebaut. Für die Berücksichtigung der Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ wurde daher ein Negativszenario angenommen, in welchem die von Biobetrieben tatsächlich angebauten Kulturen durch „konventionelle Kulturen“ folgendermaßen ersetzt werden:

- Körnermais statt Ackerbohne,
- Silomais statt Klee gras,
- Körnerraps statt Roggen und
- Winterweizen statt Wintertriticale.

Bei der Betrachtung der Stickstoffüberschüsse wurden die Biobetriebe ebenfalls berücksichtigt, da davon ausgegangen werden kann, dass diese Betriebe im Durchschnitt geringere Erträge erzielen und dadurch eine geringere Düngemenge anwenden. Die anteilmäßige Höhe der Reduktion wurde den Deckungsbeitragsberechnungen (www.awi.bmlfuw.gv.at) entnommen, wo der durchschnittliche Ertrag biologischer Betriebe mit dem Ertrag konventioneller Betriebe gegenübergestellt wurde. Für die Vergleichsberechnung wurden die Durchschnittserträge der Jahre 2011 - 2015 miteinander verglichen. Die Erträge und folglich die Düngemenge biologischer Betriebe reduziert sich um folgenden Prozentanteil:

- | | |
|-------------------|-----|
| • Ackerbohne | 10% |
| • Erbsen | 10% |
| • Kartoffeln | 30% |
| • Körnerraps | 10% |
| • Kürbis | 10% |
| • Mais | 40% |
| • Silomais | 40% |
| • Sojabohne | 20% |
| • Sommergerste | 40% |
| • Sonnenblume | 20% |
| • Wein | 10% |
| • Weizen | 40% |
| • Wintergerste | 40% |
| • Winterroggen | 40% |
| • Wintertriticale | 40% |
| • Zuckerrüben | 30% |

2. ÖPUL Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz-Acker“

Diese Maßnahme wird/wurde nur in jenen Regionen Österreichs angeboten, die sich sowohl für eine intensive landwirtschaftliche Nutzung eignen als auch wasserwirtschaftlich bedeutende Grundwasservorkommen aufweisen. Im Rahmen dieser Maßnahme müssen gesonderte Aufzeichnungen durchgeführt und Schulungen/Weiterbildungen absolviert werden, wodurch eine bessere Bewusstseinsbildung des Problems „Stickstoffeintrag ins Grundwasser“ erfolgt und daher ein sensiblerer Umgang mit der Düngemenge bei der Teilnahme an dieser Maßnahme vermutet wird.

In der Modellierung wird daher angenommen, dass teilnehmende Betriebe ihren Düngeaufwand nicht an den höchsten Erträgen bemessen, sondern am durchschnittlichen Ertrag der Jahre 2000 - 2016. Demnach wird in Abhängigkeit der Kultur eine geringere Düngemenge angenommen als bei nicht teilnehmenden Betrieben, was einen geringeren Stickstoffaustrag bewirkt.

ÖPUL Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen - Zwischenfruchtanbau“ und „Mulch- und Direktsaat“

Mit der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen“ wird in der Zeit zwischen zwei Hauptkulturen noch eine Zwischenfrucht angebaut, welche sowohl den Boden vor Erosion schützt als auch den Nährstoffeintrag ins Grundwasser verringert. Die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ setzt die Teilnahme an der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen - Zwischenfruchtanbau“ voraus und beinhaltet einen erosionsmindernden Anbau der nachfolgenden Hauptkultur. Neu ist hierbei im ÖPUL 2015, dass die Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ ausschließlich vor dem Anbau erosionsgefährdeter Kulturen gefördert wird.

Für die Berücksichtigung der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen - Zwischenfruchtanbau“ wurden die Ergebnisse von diversen Evaluierungsprojekten herangezogen (Wpa und BAW, 2003a und 2003b), in denen der Austrag durch die Begrünungen um 20% verringert werden konnte. Dieser Wert wurde für die Modellierung des Stickstoffaustrags herangezogen.

Die Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen“ beinhaltet unterschiedliche Varianten, welche sich durch den Begrünungszeitraum und die Begrünungs-Saatmischung unterscheiden, weshalb in Bezug auf den Bodenabtrag eine unterschiedliche Wirkung in Abhängigkeit der Variante anzusetzen ist. Folgende P-Faktoren wurden verwendet:

- Variante 1: P = 0,9
- Variante 2: P = 0,9
- Variante 3: P = 0,79
- Variante 4: P = 0,5
- Variante 5: P = 0,5
- Variante 6: P = 0,5

Bei der Berücksichtigung der Maßnahme „Mulch- und Direktsaat“ wird davon ausgegangen, dass durch den erosionsmindernden Anbau der Bodenabtrag um 50% verringert werden kann. Eine Auswirkung auf den Stickstoffaustrag wird nicht angenommen.

3. ÖPUL Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – System Immergrün“

Teilnehmende Betriebe müssen zu jedem Zeitpunkt im Jahr eine flächendeckende Begrünung der Ackerflächen von 85% aufweisen. Diese Begrünung ist entweder durch die Hauptfrucht oder eine

Zwischenfrucht zu gewährleisten, bzw. gelten die Zwischenräume zwischen 2 Kulturen als begrünt, wenn bestimmte Zeiträume eingehalten werden. Die Teilnahme an dieser Maßnahme erfolgt somit als Betrieb und ist nicht flächenbezogen. In den INVEKOS Daten ist die Teilnahme daher nur auf Betriebsebene ersichtlich. Auf welchen Flächen Zwischenfrüchte angebaut wurden ist nicht ersichtlich.

Eine Auswertung der teilnehmenden Betriebe zeigt, dass deren bestehende Hauptkulturen-Fruchtfolge zumeist schon vor dem ÖPUL 2015 die Auflage von 85% flächendeckende Begrünung auf Ackerflächen erfüllte. Daher kann keine Änderung der Fruchtfolge aufgrund der Teilnahme an dieser Maßnahme im ÖPUL 2015 angenommen werden. Auch ein Vergleich der Fruchtfolgen dieser Betriebe im Jahr 2013 mit dem Jahr 2016 zeigt kaum Änderungen. Die teilnehmenden Betriebe wiesen im Jahr einen Begrünungsanteil (mit Begrünungen in der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen“ im ÖPUL 2007) von 16% auf. Zur Berechnung des Bodenabtrags wurde bei den teilnehmenden Betrieben daher ein pauschaler Begrünungsanteil von 16% angesetzt.

Zur Berechnung des Nährstoffüberschusses wurde diese Maßnahme vernachlässigt, da einerseits auf der Einzelfläche die Wirkung gering ist und andererseits nur vergleichsweise wenig Flächen davon betroffen wären. Für das Gesamtergebnis ist daher der Einfluss dieser Maßnahme vernachlässigbar.

4. ÖPUL Maßnahme „Erosionsschutz Obst, Wein, Hopfen“

Entsprechend den Untersuchungsergebnissen aus diversen Forschungs- und Evaluierungsprojekten (Huber, 2004; UBA und Wpa, 2005) wurden bei teilnehmenden Flächen folgende P-Faktoren in Abhängigkeit der Hangneigung verwendet:

- Erosionsschutz Obst: $P = 0,09$
- Erosionsschutz Wein, <25% Neigung: $P = 0,68$
- Erosionsschutz Wein, >25%: $P = 0,14$

2.3 Maßnahmenwirksamkeit auf Ebene von Einzugsgebieten

2.3.1 ÖPUL 2015-Maßnahmen

Die Berechnung der Maßnahmenwirksamkeit von ÖPUL 2015 findet auf Grundlage des Modells 2007-2013 statt. Um den maßnahmengetriebenen Effekt einer Reduktion von Nährstofffrachten eindeutig ausweisen zu können, wird die Variabilität der Klima- und Abflussdaten und deren Einfluss auf die Ergebnisse durch die Parametrisierung von Standardbedingungen (Mittelwerte von 2001-2013) weitgehend ausgeschlossen. Wie in Kapitel 2.2.2 detailliert dargestellt, konnten die wesentlichen Inputparameter des Stickstoffüberschusses und des Bodenabtrages in einer Nullversion derart parametrisiert werden, dass jeglicher Einfluss, der in diesem Projekt betrachteten Maßnahmen des ÖPUL Programmes ausgeschlossen werden kann. Entsprechend entsteht somit je ein Negativszenario für die Stickstoff und Phosphor Modellierung, mit N-Überschüssen und Bodenabträgen, die auftreten würden, wenn die betrachteten ÖPUL Maßnahmen nicht umgesetzt worden wären.

Die über die Berücksichtigung der Wirkung von Einzelmaßnahmen (wie z.B. „Immergrün“, „Begrünung und Mulchsaat“, „Erosionsschutz“ und „Biologische Wirtschaftsweise“) parametrisierten Modellvarianten (im Falle von Phosphor die Verringerung der Bodenabträge) und das resultierende Delta der berechneten Phosphor Frachten und $PO_4\text{-P}$ Konzentrationen zu den Ergebnissen der Null

Variante, beschreibt die Wirksamkeit der Maßnahmen. Entsprechend wird für Stickstoff vorgegangen.

Die im Modell berechneten c90 Perzentile der $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen im Gewässer und deren Minderung durch die betrachteten ÖPUL Maßnahmen in den Modellvarianten, zeigen den Einfluss auf die mögliche Erzielung der typspezifischen, als 90 Perzentile geregelten Richtwerte.

Die Differenzierung der Wirksamkeit von Einzelmaßnahmen auf Einzugsgebietsebene, eine Kombination der Einzelmaßnahmen, oder eine Berechnung der Wirksamkeit aller betrachteten ÖPUL 2015 Maßnahmen durch das Inputdatenmodell, ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der prognostizierten Maßnahmenwirksamkeit. Dabei liegt das Hauptaugenmerk weniger auf einer exakten Vorhersage zukünftiger Frachten und Konzentrationen, als auf der Abschätzung einer wahrscheinlichen oder unwahrscheinlichen Richtwerverreichung in Einzugsgebieten. Um die Modellungenauigkeiten zu berücksichtigen, werden Einzugsgebiete mit einer Richtwertauslastung $> 70\%$ bis $<130\%$ als Einzugsgebiete mit „möglichem Risiko“ bezeichnet. Dagegen werden Einzugsgebiete mit Richtwertauslastungen von $<70\%$ als „ohne Risiko“ und Richtwertauslastungen $> 130\%$ als mit „sicherem Risiko“ bezeichnet. Diese Information ist aus Sicht der Autoren ausreichend genau, um insbesondere in Einzugsgebieten mit einer sicheren Überschreitung der Richtwerte („sicheres Risiko“) und in Einzugsgebieten mit möglichen Überschreitungen („mögliches Risiko“) Fehlentwicklungen aufzuzeigen und frühzeitig die Notwendigkeit der Umsetzung weitergehender Maßnahmen aufzuzeigen.

2.3.2 Weitergehende Maßnahmen

Die Berechnung ausgesuchter, weitergehender Maßnahmen, die in Zessner et al. (2012) und In Zessner et al., (2014) genau beschrieben worden sind, findet durch Nutzung der neu berechneten Bodenabträge und Stickstoffüberschüsse statt. Auch hier werden zusätzlich die langjährigen Stickstoffüberschüsse in den Einzugsgebieten angepasst. Über eine Neuberechnung mittels MONERIS werden die Wirksamkeiten der zusätzlichen Maßnahmen berechnet. Dabei werden drei verschiedene Teilnahmeszenarien berücksichtigt:

- Teilnahme 1: „realistische Teilnahme“ (Teilnahmen, die bereits unter normalen Förderbedingungen erzielt werden und anhand von derzeitigen Teilnahmezahlen bei bereits existierenden Maßnahmen abgeschätzt wurden),
- Teilnahme 2: „ambitionierte Teilnahme“ (durch attraktive Förderung und Beratung zu erzielen) und
- Teilnahme 3: „potentielle Teilnahme“ (maximal mögliche Teilnahme mit der Annahme, dass alle potentiell möglichen Flächen im Einzugsgebiet für die betreffende Maßnahme verwendet werden können).

Aus Gründen einer erhöhten Übersichtlichkeit erfolgte aufgrund von Projektergebnissen aus Zessner et al. (2014) eine Vorauswahl jener Maßnahmen, deren Umsetzung auf der Ebene von Einzugsgebieten eine erhöhte Wirksamkeit aufweisen und die politisch realistisch erscheinen.

Für Stickstoff wurden folgende Maßnahmen berücksichtigt:

- **NO** Berücksichtigung der Grundwasseraufenthaltszeit. Diese Maßnahme wird als Referenzszenario herangezogen und stellt die derzeitige Situation der N-Emission dar. Es werden somit keine Teilnahmezahlen angegeben.
- **N1** durchgehende Bodenbedeckung mit Nutzung: Für die Berechnung wurde angenommen, dass eine Grünlandnutzung an Stelle einer Ackernutzung erfolgt. Die Stickstoffbilanzen von Ackerschlägen wurden mit jenen von Grünlandschlägen verglichen. Die Wirkung der Maßnahme entspricht somit der Differenz der Bilanzergebnisse von Ackerschlägen und Grünlandschlägen. In Stufe 1 wurde angenommen, dass 1% aller Ackerflächen in Grünland umgewandelt wird. Diese Angabe basiert auf Teilnahmezahlen bei einer bereits früher angebotenen und sehr ähnlichen Maßnahme. In der Stufe 2 wurden 5% und als potentiell mögliches Szenario wurden 7% aller Ackerflächen angenommen.
- **N3m** (maximale) Begrünung von Acker. In einer Evaluierung der ÖPUL Maßnahme „Begrünung“ im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wurde die Wirkung der Begrünung auf die Auswaschung von Stickstoff ins Grundwasser ermittelt. Dabei konnte für den Zentralraum Oberösterreichs eine Reduktion der Auswaschung von 25 kgN/ha und Jahr auf 19,6 kgN/ha und Jahr festgestellt werden. Für das Projekt wurde daher ein fixer Faktor für die Emissionsminderung von 20% angesetzt. In Stufe 1 der Teilnahmeszenarien wurde die in Oberösterreich auftretende Teilnahme von 21% aller Ackerflächen angenommen. In besonders geförderten Gebieten in Oberösterreich werden Teilnahmezahlen von 31% erreicht (wpa, 2012). Dieser Wert wird in Stufe 2 als Teilnahmequote festgelegt. Generell ist auf 45% aller Ackerflächen die Anlegung einer Begrünung möglich (keine Winterfrucht, Wechselwiese oder Klee gras), weshalb eine Teilnahmequote von 45% für Stufe 3 angenommen wurde.
- **N7** Düngung nach Bodenvorrat: Es wurde angenommen, dass die Menge des eingesetzten N-Düngers als Folge einer Empfehlung, die auf dem aktuell gemessenen Bodenvorrat basiert (Nmin Sollwertmethode), angepasst wird. Zur Bewertung der Wirkung wurden Daten ausgewertet, die von Untersuchungen stammen, die wpa begleitend zur Anwendung der Nmin Sollwertmethode in Oberösterreich und Niederösterreich durchgeführt hat. Dies ergab, dass eine Reduktion des Stickstoffdüngereinsatzes um durchschnittlich 10 bis 15 kg N/ha ohne Rückgang des Ertrags möglich ist, bei Böden, die regelmäßig mit Wirtschaftsdünger gedüngt werden um zusätzliche 10 bis 15 kg N/ha. Die höhere Einsparungsmöglichkeit auf den Wirtschaftsdüngerflächen kann damit erklärt werden, dass in diesem Fall die Mineralisierung des organischen N von der Nmin Sollwertmethode erfasst wird und sich in einer weiter reduzierten Empfehlung widerspiegelt. Diese Maßnahme greift generell auf all jenen Flächen, für dessen Kulturen eine Düngeempfehlung durchgeführt wird (Mais, Weizen, Wintergerste, Sommergerste, Triticale, Raps, Kartoffel). Diese Kulturen werden auf ca. 70% der Ackerflächen in Oberösterreich angebaut. In Stufe 1 wurde eine Teilnahmequote von 33% der Ackerfläche der oben angeführten Kulturen geschätzt, dies entspricht 23% der gesamten Ackerfläche. Eine Teilnahmequote von 50% der angeführten Kulturen wurde für Stufe 2 angenommen, dies entspricht 35% der gesamten Ackerfläche. Potentiell möglich wäre die Teilnahme aller Flächen, für welche eine Düngeempfehlung vorliegt, also für 70% der gesamten Ackerfläche (Stufe 3).
- **N12** späterer Düngezeitpunkt zu Mais: Es wird angenommen, dass durch eine später einsetzende Düngung Anfang Juni (statt häufig Anfang April) beim Maisanbau die N Auswaschung in das Grundwasser um $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ reduziert werden kann. Diese Maßnahme wirkt generell nur auf Maisflächen. In Stufe 1 wurde eine Teilnahmequote von 50% aller Maisflächen geschätzt. Das zweite

Teilnahmeszenario (Stufe 2) wurde mit 75% und die dritte Stufe mit 100% der gesamten Maisflächen angenommen.

- **N13** Erweiterung der Lagerkapazität: Es wird angenommen, dass durch eine Vergrößerung des Wirtschaftsdüngerlagerraumes bei Schweinehaltung auf eine Herbstdüngung des Wintergetreides verzichtet werden kann. Durch die Reduktion des N Überschusses kann die Auswaschung in das Grundwasser um bis zu bis zu $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ reduziert werden. Diese Maßnahme wirkt nur auf Flächen mit Wintergetreide. Die erste Stufe der Teilnahmequote wurde auf 33% der Wintergetreideflächen geschätzt. In der zweiten Stufe wurde das Doppelte, nämlich 66% angenommen. Eine Teilnahme von 100% aller Wintergetreideflächen wird als potentiell mögliches Szenario festgelegt (Stufe 3).
- **N14** Abluftreinigung der Stallluft: Durch Reinigung und Absaugung in Ställen mit Zwangslüftung (bei Schweinen und Geflügel) werden ca. 80% der gasförmigen N Verluste aus der Stallhaltung zurückgehalten. Die Maßnahme „Abluftreinigung“ kann nur bei Schweine- und Geflügelstallungen angewendet werden. In Stufe 1 wurde eine Teilnahme 10% aller Schweine- und Geflügelstallungen abgeschätzt. In Stufe 2 wurde eine Teilnahmequote von 50% angenommen. Potentiell möglich ist die Teilnahme von 100% aller Schweine- und Geflügelstallungen (Stufe 3).

Für Phosphor kam es zur Auswahl folgender Maßnahmen:

- **P1a** durchgehende Bodenbedeckung mit Nutzung: Für die Berechnung wurde angenommen, dass eine Grünlandnutzung an Stelle einer Ackernutzung erfolgt. Der Bodenabtrag von Ackerflächen unterschiedlicher Neigung wurde für die Ermittlung der Wirksamkeit mit jenem von Grünlandflächen verglichen. Die Hangneigung wurde dazu in folgende Klassen eingeteilt: 0-1%, 1-2%, 2-4%, 4-8% und >8%. Durch Ersetzen des C-Faktors für Grünland in der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) werden die Bodenabträge bei Annahme einer durchgehenden Bodendecke reduziert. Die Teilnahmequoten wurden mit 1% in Stufe 1, 5% in Stufe 2 und 7% aller Ackerflächen in Stufe 3 der Teilnahmeszenarien festgelegt.
- **P1b** durchgehende Bodenbedeckung auf steilen Hängen: Für die Berechnung wurde angenommen, dass in Hanglagen über 8% Steigung eine Grünlandnutzung an Stelle einer Ackernutzung erfolgt. Im Teilnahmeverhalten ist diese Maßnahme mit der Maßnahme P1a gleichzusetzen. Die Ackerflächen sind auf steilen Hängen zu wählen.
- **P3/4m** (maximale) Begrünung von Acker inkl. Mulch- und Direktsaat: Es wurden die Begrünungsvarianten des ÖPUL 2007 angenommen: A1, A, B, C, D. Die Varianten C1 und D1 wurden wie C und D behandelt. Außerdem kann nach einer Begrünung entsprechend den Varianten B, C oder D die darauffolgende Hauptkultur mit Mulch- oder Direktsaatverfahren angebaut werden. Als Stufe 1 wurde die derzeit in Oberösterreich auftretende Teilnahme von 21% aller Ackerflächen angenommen. Die Stufe 2 wird aufgrund der in besonders geförderten Gebieten in OÖ erreichbaren Teilnahmequote von 31% der Ackerflächen (wpa, 2012), mit 31% angenommen. Generell ist auf 45% aller Ackerflächen die Anlegung einer Begrünung möglich (keine Winterfrucht, Wechselwiese oder Klee gras), weshalb eine Teilnahmequote von 45% als dritte Stufe der Teilnahmeszenarien angenommen wurde
- **P5** Fruchtfolgeauflage auf steilen Hängen: Sowohl auf Körnermais- als auch auf Silomaisflächen, welche eine Hangneigung von >8% aufweisen, wird stattdessen Winterweizen bzw. Klee gras

angebaut. Diese Maßnahme kann generell nur auf Maisflächen auf steilen Hängen (Hangneigung > 8%) angewendet werden. In Stufe 1 wurden Teilnahmezahlen von 33% aller Maisflächen auf steilen Hängen geschätzt. Im zweiten Szenario (Stufe 2) wurde eine Teilnahme von 50% aller Maisflächen angenommen. Potentiell möglich (Stufe 3) wäre die Teilnahme aller steil geneigten Flächen mit Mais (100%).

2.4 Wirksamkeit von Maßnahmen unter Berücksichtigung ihrer Verortung

Im Zuge des vorangegangenen Projekts „Zustandserfassung, Nährstoffentwicklung und Quantifizierung der Maßnahmenwirksamkeiten von ÖPUL 2007 in oberösterreichischen Einzugsgebieten“ (Zessner et al. 2017) wurden verschiedene Varianten zur Modellierung des partikulären Phosphor- (PP) Eintrags innerhalb der drei Teileinzugsgebiete Gusen, Krems und Pram für den Zeitraum 2007 bis 2013 berechnet. Zum einen wurden aufgrund der Unsicherheit des Vorhandenseins von unterirdischen Ableitungen an Straßendämmen zwei Varianten angewandt. In einem Fall wurde nur für die übergeordneten Straßen Ableitungen angenommen (mainRoads) und im anderen Fall für alle kartierten Straßen (mostRoads). Zum anderen ergaben sich infolge einer schwachen Datenbasis Unsicherheiten beim Weiterleitungsgrad von Phosphor zwischen dem Feldrand und der Einlaufstelle an unterirdischen Ableitungen. Daher wurden verschiedene Varianten des Weiterleitungsgrads getestet (0,4; 0,6; 0,8). Anschließend wurden bei Zessner et al. (2017) diese 6 Varianten mithilfe eines auf der Fuzzylogik basierenden Ansatz überlagert und für die Ausweisung von Risikoflächen (Violett-Flächen) genutzt. Risikoflächen stellen dabei jene landwirtschaftlich genutzten Flächen mit den höchsten, mittleren erosiven Phosphoreinträgen dar, die zusammen für 80% des Phosphoreintrags verantwortlich sind. In diesem Projekt werden die oben genannten Berechnungen ebenfalls als Grundlage herangezogen.

Im gegenständlichen Projekt steht die Berechnung von Szenarien im Fokus. Unter Szenarien werden Situationen verstanden, die auf Grundlage des Datensatzes nicht zu beobachten sind und die sich aus der Anwendung bereits umgesetzter Maßnahmen oder der Annahme möglicher zukünftiger Veränderungen ergeben. Varianten bilden damit die Unsicherheit der Eingangsdaten und Szenarien die Auswirkungen von verschiedenen Handlungsoptionen ab.

Für die im Folgenden dargestellte Berechnung von Szenarien wurde eine vereinfachte Vorgangsweise gewählt, da die Berechnung der Szenarien auf Basis aller Varianten einen extrem hohen Aufwand bedeuten würde. So wurde aus den unterschiedlichen Varianten eine Basisvariante für die Szenarienberechnungen gewählt. Dabei fiel die Entscheidung auf jene Variante, bei der angenommen wird, dass alle Straßen unterirdische Ableitungen aufweisen (mostRoads), da diese Variante aufgrund von Kartierungen im Einzugsgebiet der Pram der Realität am nächsten kommen dürfte. In Hinblick auf den Weiterleitungsgrad von Phosphor bei unterirdischen Ableitungen an Straßendämmen wurde als Ausgangsvariante für die Berechnung der Szenarien der mittlere und auch der Realität voraussichtlich am nächsten kommende Weiterleitungsgrad von 0,6 gewählt. Diese Basisvariante stellt somit den „Ist-Zustand“ dar, mit dem Änderungen, in Form von Szenarien, verglichen werden.

Auf Grundlage dieser Basisvariante wurden auch die Risikoflächen, erneut für den Zeitraum 2007 bis 2013 ausgewiesen. Das Kriterium zur Ausweisung der Risikoflächen basierte wie auch bereits im Falle der 6 Varianten des vorangegangenen Berichts auf den höchsten, mittleren Zellenfrachten pro

Feldstück, da diese im Vergleich zu den höchsten Summenwerten der Zellenfrachten die effizientere Variante zur Reduzierung der Gewässerfracht darstellt. In Hinblick auf die Szenarien wurden ebenfalls die mittleren Veränderungen des PP-Eintrags berechnet, so dass sie direkt mit potentiellen Risikoflächen kombiniert werden konnten.

Szenarien können sowohl derzeitig umgesetzte Maßnahmen im Rahmen des ÖPUL Programms 2015 sein als auch nicht vorhandene weitergehende Maßnahmen annehmen. Die Berechnung der Szenarien unterliegt der Annahme der ausgewählten Varianten mostRoads und ns_tfc_inl_0.6 (siehe oben) und wurde für den Zeitraum 2007 bis 2013 modelliert. Folgende Annahmen umgesetzter bzw. noch nicht umgesetzter Maßnahmen zur Reduktion des erosiven PP-Eintrags wurden berechnet:

- **ÖPUL 2015 (OEPUL 15):** Dieses Szenario nimmt an, dass die Maßnahmen des ÖPUL Programms 2015 nach dem *vorbeugenden Oberflächengewässerschutz auf Ackerflächen* für
 - die in ÖPUL 2015 ausgewiesenen Gewässerrandstreifen (OEPUL 15_OG) oder
 - die in ÖPUL 2015 ausgewiesenen Gewässerrandstreifen und ausgewiesene ökologische Vorrangflächen als Grünbrache, die in ihrer Funktion potentiell ähnlich zu Gewässerrandstreifen sind, umgesetzt wurden. Die Kriterien sind hierbei eine maximale Entfernung von 25 m zum nächsten Gewässer und eine eher längliche Form (OEPUL 15_BRACHE), die durch die Anwendung eines Compactness-Ratio von weniger als 0.7 sichergestellt wurde.

Zudem wurde die Reduktion des PP-Eintrags unter der Annahme der folgenden weitergehenden Maßnahmen modelliert:

- **Gewässerrandstreifen (GRS):** Bei diesem Szenario wurde angenommen, dass über die derzeit in ÖPUL 2015 umgesetzten Maßnahmen als weiterführende und gezielt verortete Maßnahme Begrünungen entlang von Gewässern durchgeführt wurden auf einer Breite von
 - 10 m (GRS_10) oder
 - 30 m (GRS_30).

Die Umsetzungen von Begrünungen auf einer Breite von 10 bzw. 30 m wurden jeweils bei einer Angrenzung

- als Risikoflächen ausgewiesene Ackerlandflächen (GRS_10/30_risk) oder
- an allen Ackerlandflächen (GRS_10/30_all) berechnet.
- **Straßenrandstreifen (SRS):** Diese Maßnahme nimmt an, dass oberhalb von Straßen Begrünungen in Form von Randstreifen durchgeführt wurden auf einer Breite von
 - 10 m (SRS_10) oder
 - 30 m (SRS_30).

Weiterhin wurde angenommen, dass die Umsetzung der Begrünungen

- unterhalb ausgewiesener Risikoflächen (SRS_10/30_risk) oder
- unterhalb aller Ackerlandflächen (SRS_10/30_all) erfolgt ist.
- **Querstreifenbegrünung (longSlopes):** Bei dieser Maßnahme wird angenommen, dass bei langen Feldstücken mit vorrangig hangparallelem Abfluss Begrünungen in Form von Querstreifen innerhalb des Feldstücks durchgeführt wurden. Die Begrünungen wurden dabei auf Flächen umgesetzt, die
 - direkt an ein Gewässer angebunden sind (longSlopes_rip) oder

- indirekt über unterirdische Ableitungen an Straßendämmen an das nächstgelegene Gewässer angebunden sind (LongSlopes_inl).

Weiter erfolgte eine Berechnung der Umsetzung auf diesen Flächen bei

- als Risikoflächen ausgewiesenen Ackerlandflächen (longSlopes_rip/inl_risk) oder
 - allen Ackerlandflächen (longSlopes_rip/inl_all).
- **Begrünung von bevorzugten Abflusswegen (BAW):** Bei dieser Maßnahme wurde angenommen, dass dort wo sich der Abfluss konzentriert (z.B. in Geländemulden) und damit ein hohes Transportpotential im Oberflächenabfluss gegeben ist, auf einer Breite von 10 m Begrünungen durchgeführt werden. Die Maßnahme wurde dabei für Flächen angewandt, die
- direkt an ein Gewässer angebunden sind (BAW_rip) oder
 - indirekt über unterirdische Ableitungen an Straßendämmen an das nächstgelegene Gewässer angebunden sind (BAW_inl).

Zudem wurde die Umsetzung der Maßnahme von dem Ausmaß des akkumulierten Phosphortransports abhängig gemacht. So wurden Szenarien gerechnet bei denen mit einer Begrünung, ab einer Erreichung des kumulierten partikulären Phosphor-Transports von

- 0,01 kg (BAW_rip/inl_0.01),
 - 0,1 kg (BAW_rip/inl_0.1) oder
 - 1 kg (BAW_rip/inl_1) begonnen wird.
- **Limitierung des C-Faktors (Climit):** Hierbei wird angenommen, dass im Rahmen der Maßnahme der Bodenabtrag von Feldern durch eine Änderung der Kultivierungsbedingungen (z.B. durch eine längere Vegetationsbedeckung des Bodens bzw. einer Änderung der Kulturartenverteilung wie Verzicht auf Hackfrüchte) reduziert wurde. Dies wird bei der Szenarioberechnung über eine Limitierung des C-Faktors auf einen Maximalwert von 0,1 erreicht. Diese Maßnahme wurde für Flächen berechnet, die
- direkt an ein Gewässer angebunden sind (Climit_rip) oder
 - indirekt über unterirdische Ableitungen an Straßendämmen an das nächstgelegene Gewässer angebunden sind (Climit_inl).

Weiter erfolgte eine Berechnung der Umsetzung bei

- als Risikofläche ausgewiesenen Ackerlandflächen (Climit_rip/inl_risk) oder
- allen Ackerlandflächen (Climit_rip/inl_all).

Abschließend wurde angenommen, dass folgende weitergehende Maßnahmen zusammen umgesetzt wurden:

- **Gewässerrandstreifen und Straßenrandstreifen (GS);**
- **Gewässerrandstreifen, Straßenrandstreifen und Begrünung von bevorzugten Abflusswegen (GSB);**
- **Gewässerrandstreifen, Straßenrandstreifen, Begrünung von bevorzugten Abflusswegen und Limitierung des C-Faktors (GSBC).**
-

3 Ergebnisse

3.1 Entwicklungen der landwirtschaftlichen Bodennutzung

Im Endbericht „Erstellung und Evaluierung eines Prognosetools zur Quantifizierung von Maßnahmenwirksamkeiten im Bereich der Nährstoffeinträge in oberösterreichische Oberflächengewässer“ (Zessner et al., 2016) wurde bereits die Entwicklung der landwirtschaftlichen Kulturen von 2002 bis 2013 diskutiert. Das nun untersuchte Jahr 2016 wurde den Auswertungen aus 2002 und 2013 gegenübergestellt, wodurch eine Vergleichbarkeit über mehrere Jahre und mit zwei ÖPUL Perioden gegeben ist. Die Auswertungen beziehen sich Großteils auf die 3 Modellregionen Pram/Antiesen, Krems/Ipfbach und Gusen.

Kulturarten

Die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche in den 3 Beispielregionen hat in Summe um ca. 680 ha abgenommen. Im Gebiet Pram/Antiesen werden nun 43.911 ha LN bewirtschaftet, in Krems/Ipfbach 32.037 ha und im EZG der Gusen 15.860 ha.

Wurde von 2002 auf 2013 ein starker Rückgang des Grünlands beobachtet, so bleibt der Grünlandanteil von 2013 auf 2016 weitgehend stabil (Abbildung 1 bis Abbildung 3), in Krems/Ipfbach ist sogar eine leichte Zunahme zu beobachten. Grund dafür sind die im ÖPUL 2015 verpflichtend anzuwendenden Greening-Auflagen, welche einen Grünlandumbruch nur auf Bewilligung und die Anlage von „Ökologischen Vorrangflächen“ im Ausmaß von 5% der Ackerfläche zur Folge haben. Als Ökologische Vorrangflächen gelten z.B. brachliegende Flächen, stickstoffbindende Pflanzen, sowie zu einem Teil auch Begrünungen und Niederwald, welche Großteils einen positiven Beitrag zum Erosionsschutz leisten.

Bei der Verteilung der Ackerkulturen ist zu erkennen, dass von 2002 auf 2013 eine Zunahme der erosionsfördernden Kulturen stattgefunden hat. In den Abbildung 1 bis Abbildung 3 werden die ausgewählten Kulturen entsprechend des C-Faktors von links (niedrig) nach rechts (hoch) gereiht, mit Ausnahme der Kategorie „Sonstige“. Die Flächen mit Körnermais, Silomais und Soja nahmen in diesem Zeitraum um 4.750 ha zu. Von 2013 auf 2016 hingegen ist keine große Veränderung zu erkennen, außer dass der Flächenanteil mit Körnermais sich zugunsten des Silomais verschiebt. Bei der Sojabohne ist flächenmäßig ein leichter Rückgang zu beobachten, unter Berücksichtigung der generellen Abnahme der landwirtschaftlichen Flächen ändert sich der Anteil jedoch nicht merklich. Wintergetreide gewinnt in den 3 Regionen zunehmend an Bedeutung, statt 22.477 ha im Jahr 2013 werden nun 23.449 ha Wintergerste und Winterweizen angebaut. Winterraps hingegen liegt wieder auf dem Niveau von 2002.

Im Großen und Ganzen zeigen die Auswertungen in den 3 Gebieten aus dem Jahr 2016 eine positive Entwicklung in Bezug auf den Erosionsschutz. Während erosionsfördernde Kulturen zumindest keinen Zuwachs erhalten, konnte der Grünlandanteil weitgehend gesichert werden.

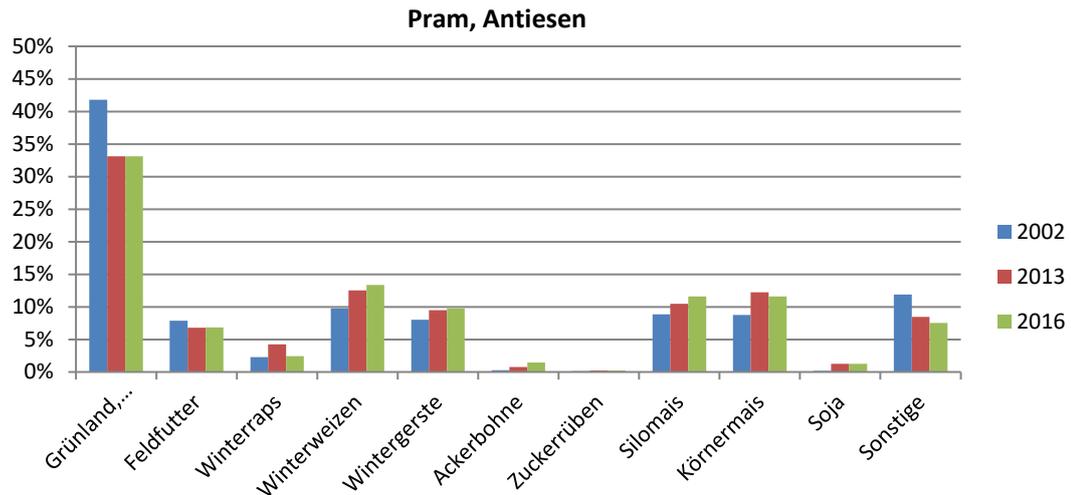


Abbildung 1: Flächenanteil der landwirtschaftlichen Kulturen in den EZG von Pram und Antiesen.

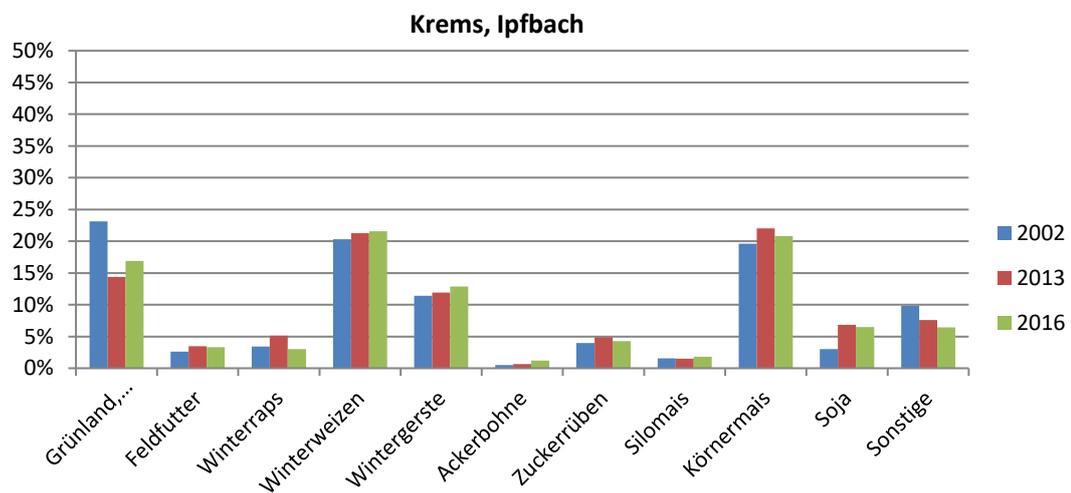


Abbildung 2: Flächenanteil der landwirtschaftlichen Kulturen in den EZG von Krems und Ipfbach.

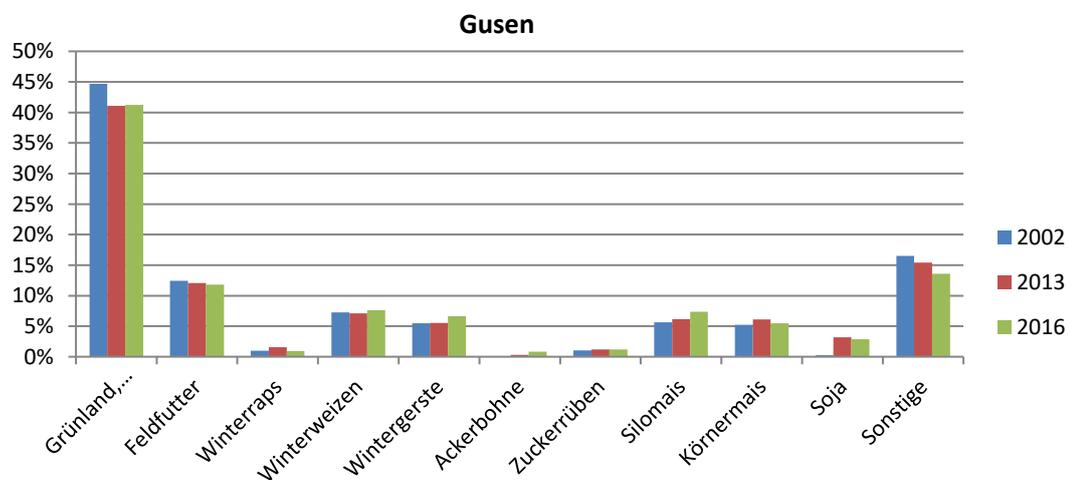


Abbildung 3: Flächenanteil der landwirtschaftlichen Kulturen in den EZG von (große/kleine) Gusen.

Eine Auswertung der Kulturarten im gesamten Projektgebiet (alle Oberösterreichischen Einzugsgebiete) zeigt ähnliche Ergebnisse. Abbildung 4 enthält eine Darstellung der landwirtschaftlichen Flächen im gesamten Projektgebiet angegeben in ha. Die gesamte Grünlandfläche steigt von 2013 auf 2016, zu beachten ist jedoch, dass dem INVEKOS Datensatz mit dem Beginn des ÖPUL 2015 zusätzliche Almflächen hinzugefügt wurden und dadurch in Regionen mit Almbewirtschaftung (alle Einzugsgebiete im Süden Oberösterreichs) die Grünlandfläche und in weiterer Folge die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche im Vergleich zu 2013 ansteigt.

In den Daten aus dem Jahr 2002 sind keine Almfutterflächen in den Daten enthalten. Mit dem ÖPUL 2007 wurden in den Daten bereits die ersten Almfutterflächen hinzugefügt, im Jahr 2013 betrifft dies ca. 26.000 ha im Projektgebiet. Sowohl die Grünlandfläche exklusive Almfutterflächen (270.000 ha) als auch inkl. Almfutterflächen (296.000 ha) liegen im Jahr 2013 unter dem Wert von 2002 (305.600 ha), was auf einen starken Rückgang des Grünlandanteils hinweist. Mit dem Jahr 2016 sind 110.000 ha Almfutterflächen in den Daten enthalten, welche in den Jahren zuvor Großteils noch nicht enthalten waren. In Abbildung 4 werden die Almfutterflächen extra ausgewiesen, wodurch erkennbar ist, dass auch im Jahr 2016 die absolute Grünlandfläche eigentlich abgenommen hat. Relativ betrachtet hat jedoch auch die landwirtschaftliche Gesamtfläche durch Baumaßnahmen, etc. abgenommen, wodurch eine leichte Zunahme des Grünlandanteils (ohne Almfutterflächen) um 0,35% stattgefunden hat.

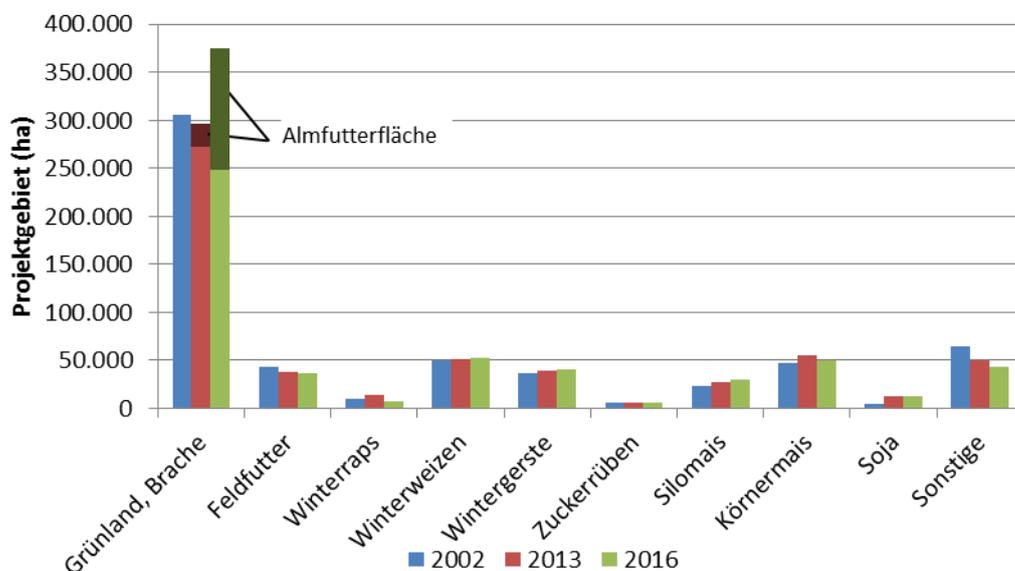


Abbildung 4: Flächenanteil der landwirtschaftlichen Kulturen im gesamten Projektgebiet.

Rückläufig ist die Feldfutterfläche, dies betrifft hauptsächlich die darin enthaltenen Klee gras- und Wechselwiesenflächen. Von 43.600 ha im Jahr 2002 werden im Jahr 2016 nur mehr 36.237 ha angebaut. Die Klee grasfläche blieb bis 2013 mit ca. 23.000 ha noch relativ konstant, nahm aber im Jahr 2016 auf 18.400 ha ab. Bei den Wechselwiesen ist eine kontinuierliche Abnahme von 2002 (13.300 ha) bis 2016 (9.000 ha) zu beobachten.

Der Anbau von Winterraps wurde in den letzten 15 Jahren zuerst vermehrt, dann aber wieder in geringerem Ausmaß angebaut. Während im Jahr 2002 ca. 9.500 ha mit Winterraps bestellt wurden,

stieg die Anbaufläche stetig an und erreichte im Jahr 2013 13.700 ha. 3 Jahre danach, im Jahr 2016 werden weniger Flächen mit Winterraps angebaut als im Jahr 2002, nämlich 7.500 ha.

Der Anbau von Mais bleibt von 2013 auf 2016 relativ stabil, nachdem von 2002 auf 2013 starke Zunahmen beobachtet wurden. Die derzeitigen Auswertungen zeigen, dass die Anbauflächen von Silomais seit 2013 ansteigen (von 27.700 ha auf 30.000 ha), während Körnermais eher zurückgeht (von 55.000 ha auf 50.000 ha). Die Summe beider Kulturarten liegt leicht unter dem Niveau von 2013.

Keine großen Änderungen seit 2013 sind bei Sojabohne und Zuckerrüben zu sehen. Nach dem starken Zuwachs bei Sojabohne von 2002 bis 2013 ist die Anbaufläche nun recht stabil (12.700 ha). Bei Zuckerrübe sind seit 2002 keine großen Änderungen zu beobachten (5.500 ha).

Eine durchaus interessante Entwicklung ist bei den Kulturarten Ackerbohne und Ölfrüchte zu beobachten (diese sind in der Abbildung 4 aufgrund der Größenverhältnisse nicht dargestellt). Während im Jahr 2002 weniger als 1.400 ha Ackerbohne angebaut wurden, erhöht sich die Anbaufläche bis ins Jahr 2013 auf knapp 2.500 ha. Im Jahr 2016 verdoppelte sich die Fläche fast auf 4.600 ha. Unter dem Begriff „Ölfrüchte“ wurden hauptsächlich die Kulturen Mohn und Ölkürbis zusammengefasst. Bei beiden Kulturen ist eine Zunahme der Anbauflächen zu beobachten. Insbesondere bei Ölkürbis ist die Zunahme von 196 ha im Jahr 2013 auf 1.800 ha im Jahr 2016 zu beachten.

Die Veränderung der Kulturartenverteilung im Laufe der Jahre ist auch über eine Boxplot-Auswertung der flächengemittelten C-Faktoren (Bedeckungsfaktor) in den Einzugsgebieten sichtbar (Abbildung 5). Während im Jahr 2002 der Median bei 0,047 liegt und sich die Werte zwischen 0,004 und 0,18 bewegen, steigt bis ins Jahr 2013 der Median auf 0,056 und die Streuung der Werte reicht bis 0,21. Im Jahr 2016 liegt der Median leicht über dem Wert aus dem Jahr 2013 (0,057), der Mittelwert jedoch liegt darunter. Das Maximum der flächengemittelten C-Faktoren verringert sich auf 0,20.

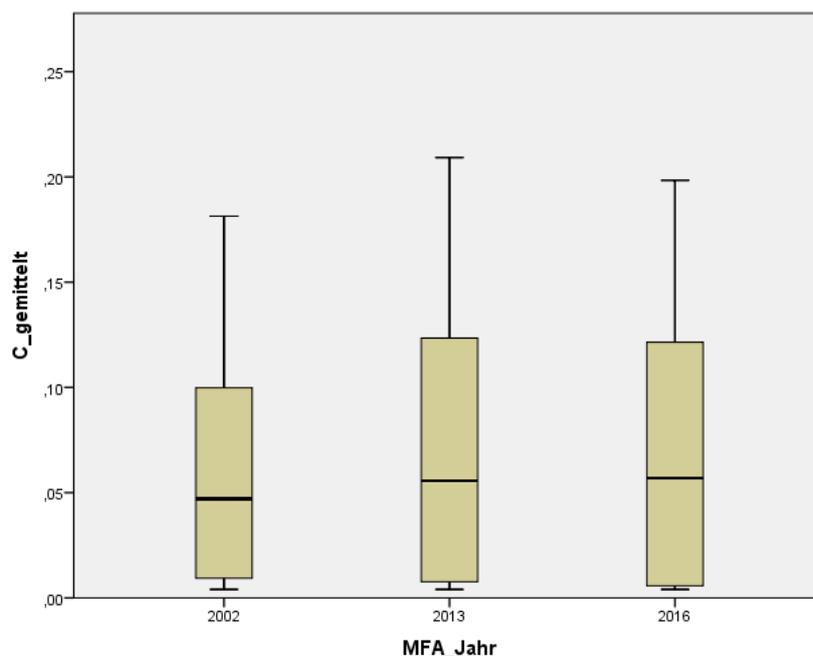


Abbildung 5: Boxplot über den flächengemittelten C-Faktor der Einzugsgebiete in den Jahren 2002, 2013 und 2016.

Betrachtet man die räumliche Verteilung dieser Entwicklung, so ist erkennbar, dass seit dem Jahr 2002 insbesondere in den Ackerbauregionen des Hausrucks und Innviertels, sowie im (westlichen) Mühlviertel eine Verschlechterung des Bedeckungsfaktors aufgrund der oben beschriebenen Kulturartenänderungen stattgefunden hat (Abbildung 6).

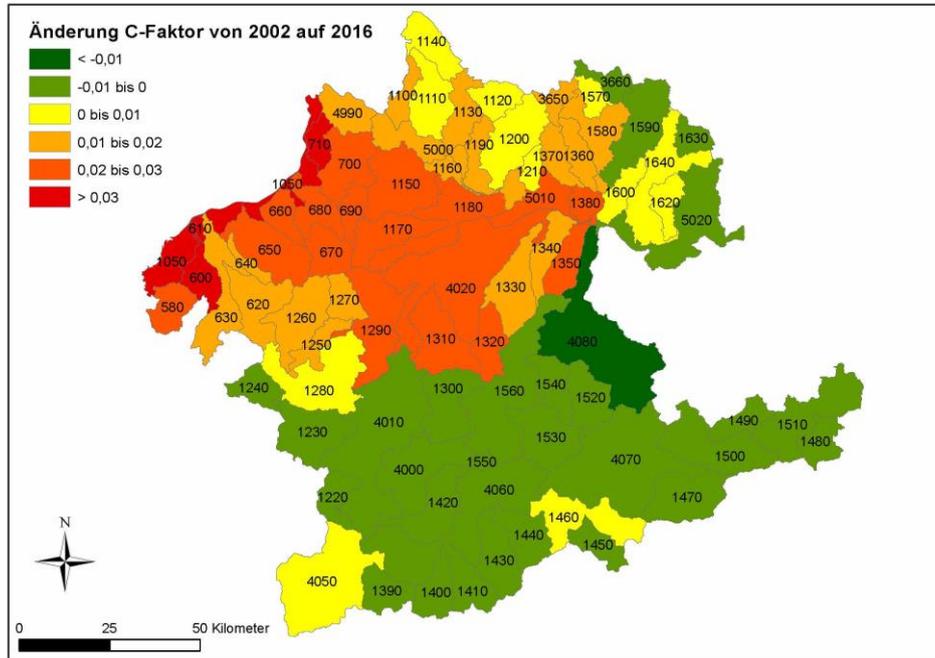


Abbildung 6: Änderung des C-Faktors von 2002 auf 2016.

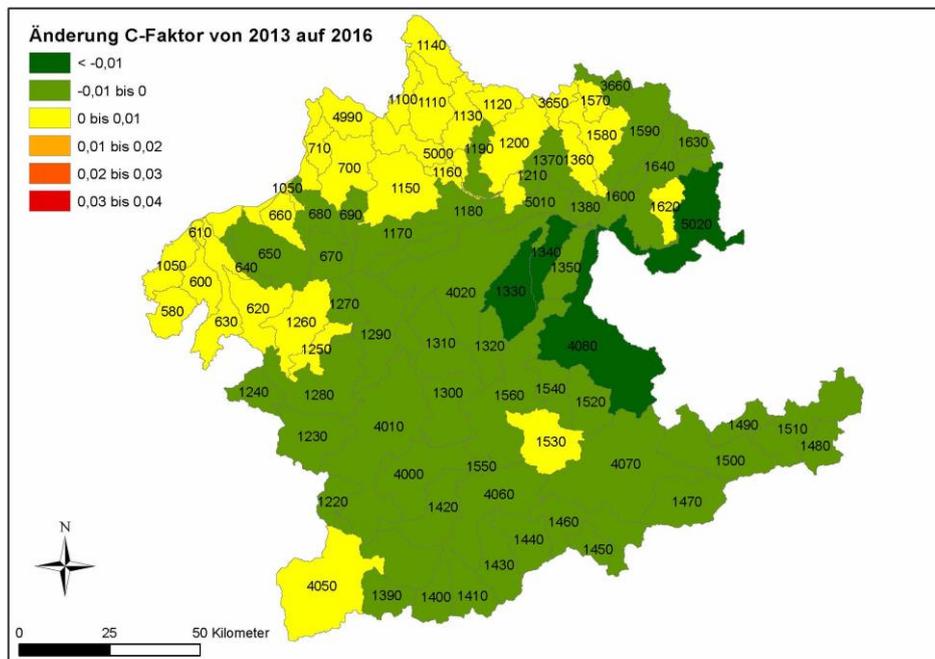


Abbildung 7: Änderung des C-Faktors von 2013 auf 2016.

Einzig in den Almregionen sowie im östlichen Waldviertel sind Verbesserungen in diesem Zeitraum zu beobachten. In den südlichen Gebieten ist jedoch zu beachten, dass die Datensätze in diesem Zeitraum um zusätzliche Almflächen ergänzt wurden. Im Vergleich dazu sind von 2013 auf 2016 leichte Reduktionen des C-Faktors in einigen Regionen festzustellen (Abbildung 7).

Dies bedeutet, dass die größten negativ beeinflussenden Kulturartenänderungen noch vor dem ÖPUL 2015 durchgeführt wurden. Interessant ist, dass nicht nur in den Almregionen positive Änderungen zu beobachten sind, sondern auch in den Ackerbauregionen des Zentralraums (siehe Beispielregion Krems/Ipfbach).

Viehbesatz

In Abbildung 8 wird der Viehbesatz in GVE/ha sowie die Anzahl der GVE der 3 Beispielregionen gegenübergestellt. Die Schwankungen bewegen sich innerhalb von 0,1 GVE/ha. Seit dem Jahr 2002 ist kein eindeutiger Trend zu erkennen.

In den Einzugsgebieten der Gusen und der Pram/Antiesen nahmen die Anzahl der GVE seit dem Jahr 2013 um jeweils ca. 1.000 GVE ab. Dadurch sank auch der Viehbesatz von 1,07 auf 1,02 GVE/ha (Gusen) bzw. von 1,28 auf 1,27 GVE/ha (Pram/Antiesen). Beide Gebiete werden von Rinderhaltung dominiert. Im Gebiet von Krems/Ipfbach werden hauptsächlich Schweine gehalten und die GVE nehmen im selben Zeitraum um 400 GVE zu. Der Viehbesatz steigt von 1,01 auf 1,04 GVE/ha.

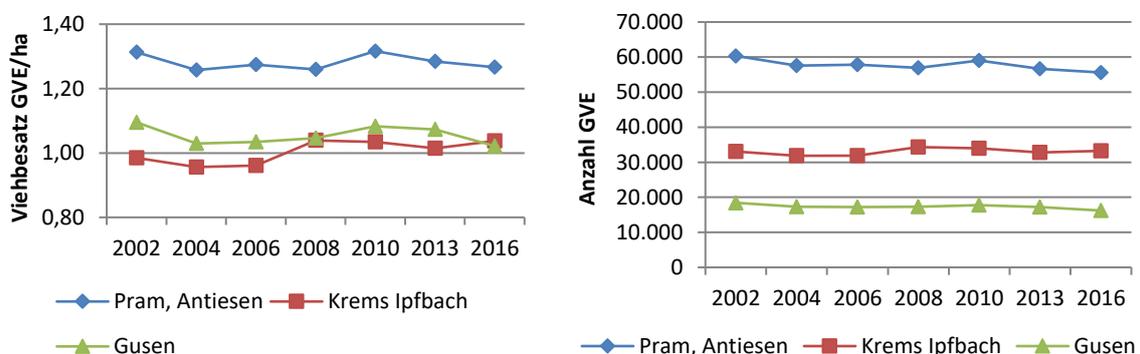


Abbildung 8: Veränderungen im mittleren Viehbesatz (links) und in der Anzahl der GVE (rechts) von 2002 bis 2016 in den 3 Einzugsgebieten Pram/Antiesen, Krems/Ipfbach und Gusen.

Begrünungsmaßnahmen

In Abbildung 9 wird die Zu- und Abnahme der gesamten begrünten Ackerfläche in den Jahren 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2013 und 2016 dargestellt. Zusätzlich dazu ist der Flächenanteil der begrünten Fläche (bezogen auf die Ackerfläche) abgebildet. Die Jahre 2002 bis 2006 befinden sich im ÖPUL 2000, die Jahre 2008 bis 2013 im ÖPUL 2007 und das Jahr 2016 im ÖPUL 2015. Die Begrünungsvarianten der unterschiedlichen ÖPUL Perioden sind nicht exakt vergleichbar, so wurden in den Perioden ÖPUL 2000 und ÖPUL 2007 auch nicht aktiv angelegte Begrünungen wie Feldfutter, Winterraps und Wechselwiesen gefördert (z.B. Variante H). Da daraus keine Wirkung auf den N- oder P-Austrag abgeleitet werden kann, wurden diese Flächen in der Darstellung nicht miteinbezogen.

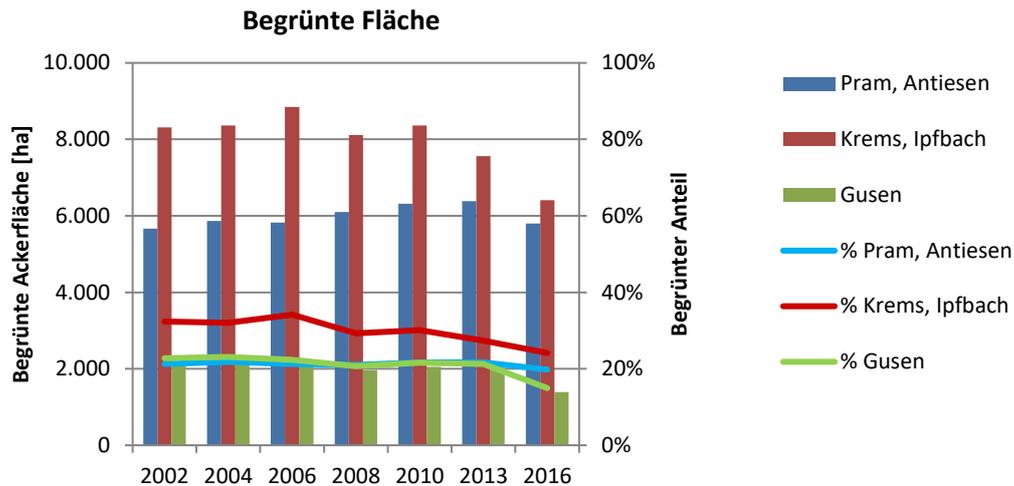


Abbildung 9: Begrünte Ackerfläche und Anteil der begrünnten Ackerfläche von 2002 bis 2016 (2002-2013 exkl. Var H) in den 3 Einzugsgebieten Pram/Antiesen, Kreams/Ipfbach und Gusen.

Im Einzugsgebiet der Pram/Antiesen und Gusen bleibt der Begrünungsanteil mit ca. 22% bis 2013 relativ konstant. Das EZG Kreams/Ipfbach liegt in der Traun-Enns-Platte und daher im Gebiet regionaler Förderprogramme, wodurch im Durchschnitt ein weitaus höherer Begrünungsanteil der aktiv angelegten Begrünungen von 31% bis ins Jahr 2013 erreicht wird. Insgesamt zeigt sich jedoch eine, im Vergleich zu den anderen EZG, ausgeprägte Abnahme des Begrünungsanteils über die Jahre.

Ab dem ÖPUL 2015 kann alternativ zur Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfrucht“ auch an der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – System Immergrün“ teilgenommen werden. Durch das Ausscheiden einiger Begrünungsflächen, welche nun durch die Teilnahme am „System Immergrün“ nicht mehr im INVEKOS erfasst werden, sinkt der Begrünungsanteil in allen drei Beispielregionen. Im Gebiet der Pram/Antiesen sinkt der Anteil auf 20%, im Gebiet von Kreams/Ipfbach auf 24% und im Gebiet der Gusen sogar auf 15%.

Die Maßnahme „System Immergrün“ wird in Pram/Antiesen auf 2.427 ha von 29.315 ha Ackerfläche umgesetzt (8%), in Kreams/Ipfbach ist die Teilnahme mit 1.183 ha von 26.553 ha Ackerfläche am geringsten (4%). Im EZG der Gusen hingegen ist die Teilnahme vergleichsweise hoch (2.012 ha von 9.303 ha Ackerfläche; 22%), was auch die starke Abnahme des Begrünungsanteils von 2013 auf 2016 in Abbildung 9 erklärt. Aufgrund einer Auswertung der Begrünungen der teilnehmenden Betriebe vor dem ÖPUL 2015 wurde festgelegt, dass 16% der Ackerflächen im „System Immergrün“ begrünt werden. Werden diese angenommenen Begrünungen hinzuaddiert, erhöht sich der Begrünungsanteil in Pram/Antiesen auf 21%, in Kreams/Ipfbach auf 25% und im EZG der Gusen auf 18%. In den Regionen Kreams/Ipfbach und Gusen liegen die Begrünungsanteile jedoch trotzdem unter den Werten der Vorjahre.

Im gesamten oberösterreichischen Projektgebiet befinden sich ca. 283.000 ha Ackerfläche, ca. 55.000 ha davon nahmen an der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfrucht“ teil (19%), 34.750 ha an der Maßnahme „System Immergrün“. Entsprechend der Annahme, dass 16% der Immergrün-Ackerflächen begrünt werden, kommen 5.560 ha hinzu, was in Summe ca. 62.300 ha und einen Begrünungsanteil im gesamten Projektgebiet von 22% ergibt. Wie auch bereits in den 3

Beispielregionen beobachtet, nimmt die Summe und der Anteil der begrüneten Flächen im Vergleich zu 2013 mit über 69.000 ha (exkl. der Variante H) und einem Begrünungsanteil von 23% leicht ab.

3.2 Minderung der Nährstoffverluste durch ÖPUL 2015-Maßnahmen

Zur Berechnung der Wirkung der ÖPUL 2015-Maßnahmen wurden die Teilnahmezahlen von 2016 herangezogen. Die Erträge im Jahr 2016 waren jedoch ungewöhnlich hoch, insbesondere im Grünland, wodurch ein Vergleich der ÖPUL Maßnahmen mit vorhergehenden Jahren und ÖPUL Perioden sowie eine Prognose der Wirkung nicht möglich gewesen wäre. Der Einfluss der Ertragshöhe bei der Berechnung des N-Saldos wäre zu hoch. Deshalb wurde die Berechnung mit den gemittelten Erträgen aus den Jahren 2008, 2010 und 2013 herangezogen, wodurch etwaige meteorologische und hydrologische Einflussfaktoren (Dürrezeiten, etc.) weitgehend ausgeblendet werden.

Stickstoffüberschüsse:

Die Höhe der berechneten N-Bilanzsaldos ist im Großen und Ganzen vergleichbar mit den Auswertungen aus 2013 (ÖPUL 2007). Tendenziell liegen die N-Saldos im Jahr 2016 eher unter jenen Zahlen aus 2013, besonders im Süden Oberösterreichs. Die im Vergleich zu 2013 niedrigeren N-Salden, sind sowohl bei den Darstellungen exkl. Maßnahmen Abbildung 11 als auch bei den Darstellungen inkl. ÖPUL 2015 Abbildung 12 erkennbar, weshalb die geringeren N-Salden nicht auf eine verbesserte Wirkung der ÖPUL Maßnahmen zurückzuführen ist. Insgesamt betrachtet nahm die Wirkung der ÖPUL Maßnahmen in gesamt Oberösterreich von 2013 auf 2016 sogar leicht ab von vormals 2,9% auf 2,6%. Absolut betrachtet wurden durch die Umsetzung der ÖPUL Maßnahmen im Jahr 2013 1.210 t N Stickstoff eingespart, im Jahr 2016 waren dies 1.028 t N. Die größten Reduktionen wurden in den EZG 1330 (Krems ohne Oberlauf), 1340 (Ipfbach) und 1350 (Kristeinerbach) erreicht, wo 11% bis 15% des Stickstoffüberschusses durch die Teilnahme an ÖPUL Maßnahmen eingespart werden konnten.

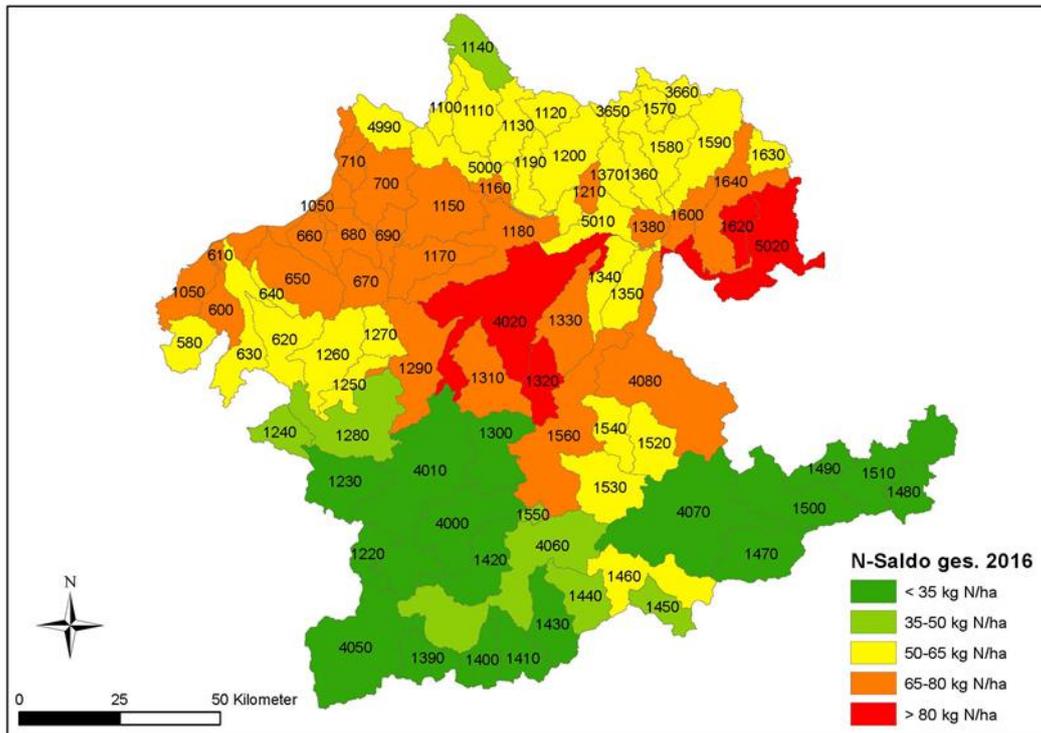


Abbildung 10: Stickstoffüberschuss pro ha LN im Jahr 2016 ohne ÖPUL Maßnahmen.

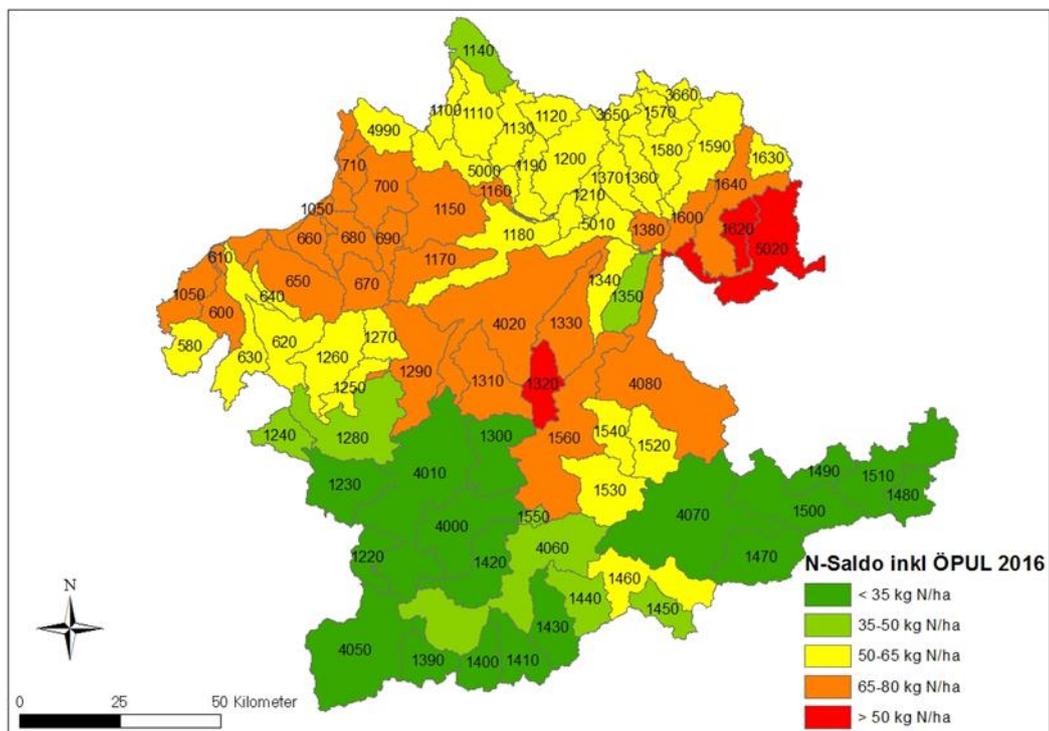


Abbildung 11: Stickstoffüberschuss pro ha LN im Jahr 2016 inkl. aller gesetzten Maßnahmen im ÖPUL 2015.

In den nachfolgenden Abbildung 12 bis Abbildung 14 werden die unterschiedlich hohen Reduktionen durch die ÖPUL Maßnahmen „Begrünung von Ackerflächen - Zwischenfruchtanbau“, „Biologische

Wirtschaftsweise“ und „Vorbeugender Grundwasserschutz – Acker“ in den einzelnen Einzugsgebieten prozentuell dargestellt.

Die Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfruchtanbau“ wird im Jahr 2016 im Projektgebiet auf ca. 55.000 ha umgesetzt. Im Vergleich zum Jahr 2013, wo mehr als 69.000 ha Begrünungen angelegt wurden (ohne die Variante H), nahmen im ÖPUL 2015 weniger Ackerflächen teil. Die Differenz von ca. 14.000 ha lässt sich durch die im ÖPUL 2015 neu hinzugekommene Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – System Immergrün“ erklären. Die berechnete Wirkung der Maßnahme reduzierte sich daher von durchschnittlich 1,5% auf 1,2% Reduktion der Stickstoffüberschüsse. Der höchste Rückgang findet sich im östlichen Mühlviertel (z.B. EZG 1380, 1640). Im Gesamtbild Oberösterreichs ist jedoch keine wesentliche Veränderung bei der Wirkung der Maßnahme festzustellen.

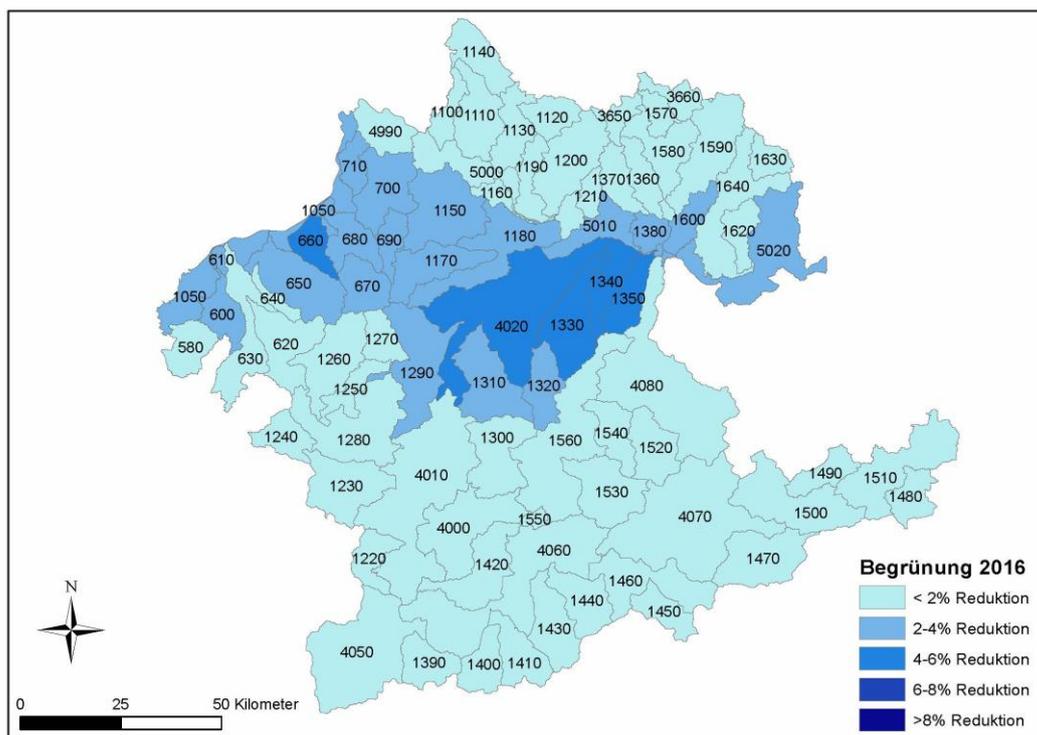


Abbildung 12: Prozentuelle Reduktion des N-Überschusses durch die ÖPUL Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfruchtanbau“.

Im gesamten Projektgebiet hat die Teilnahmefläche an der Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ zugenommen (+28%) und liegt nun bei 115.313 ha. Es nahm jedoch hauptsächlich der Anteil der Grünlandflächen zu (+35%), der Anteil der Ackerflächen hat lediglich um 11% zugenommen und liegt nun bei 29.534 ha. Eine Nährstoffreduktion durch diese Maßnahme wird entsprechend der in Kapitel 2.2.2 angeführten Annahmen nur auf Ackerland erzielt. Die Lage der biologischen Flächen ist ähnlich verteilt wie auch bereits im ÖPUL 2007. Besonders hohe Teilnahmequoten werden im nördlichen Mühlviertel erreicht.

Die Höhe der Maßnahmenwirkung im ÖPUL 2015 ist vergleichbar mit jener im ÖPUL 2007. Durch die Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ wird im ÖPUL 2015 im gesamten Projektgebiet der N-Saldo um 0,3% reduziert.

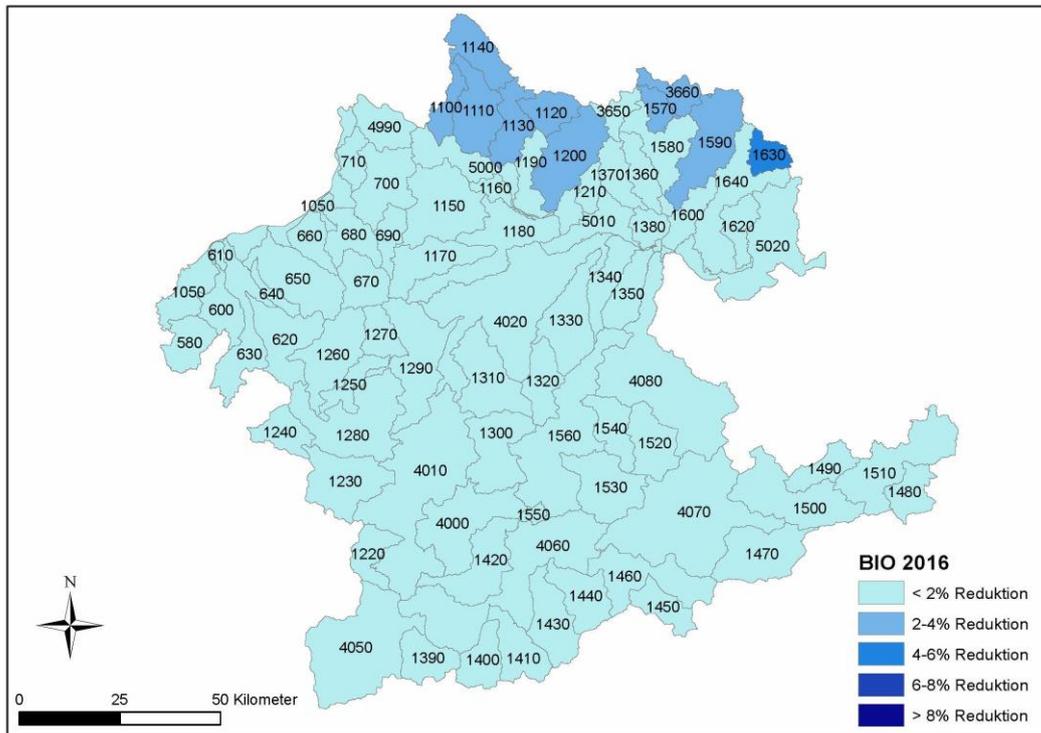


Abbildung 13: Prozentuelle Reduktion des N-Überschusses durch die ÖPUL Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“.

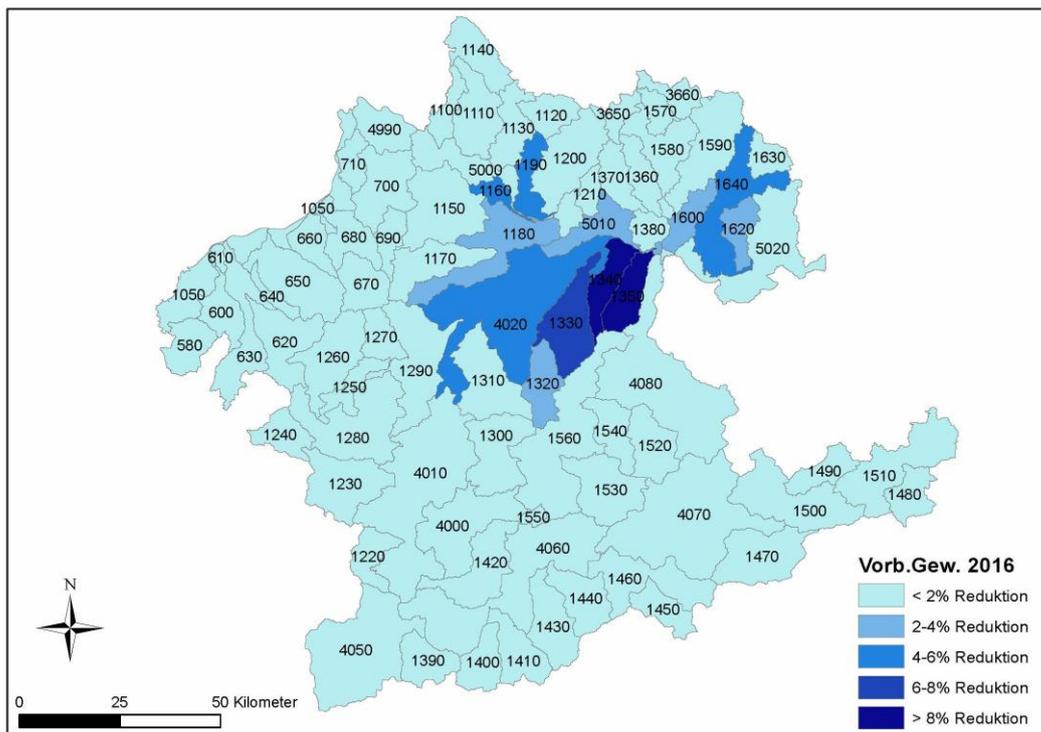


Abbildung 14: Prozentuelle Reduktion des N-Überschusses durch die ÖPUL Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz - Acker“.

Die Maßnahme „Vorbeugender Gewässerschutz“ wird nur in bestimmten Teilen Oberösterreichs angeboten, besonders in Regionen mit bereits belastetem Grundwasser durch Nitrat (Abbildung 14).

Aus diesem Grund ist nur eine regional eingeschränkte Wirkung dieser Maßnahme zu sehen.

Die im Durchschnitt erreichte Reduktion von 1% in gesamt Oberösterreich ist sehr gering und vergleichbar mit dem Jahr 2013. Durch die Ausweitung der Maßnahme um das nördliche Eferdinger Becken nahm die Maßnahmenwirkung in den EZG 1690, 5010 und 1620 zu, in den EZG 1320 und 1180 wurden geringere Wirkungen als im Jahr 2013 erreicht. In Summe nahmen ca. 57.000 ha Ackerfläche an der Maßnahme teil.

Die höchste Teilnahme und daher die stärkste Wirkung wurde in den EZG 1340, 1350 und 1330 erreicht, wo bis zu 11% des Stickstoffüberschusses durch die Teilnahme an dieser Maßnahme reduziert wurden.

Erosion:

In Abbildung 15 werden die Bodenabträge in den Einzugsgebieten Oberösterreichs ohne ÖPUL Maßnahmen dargestellt. Die für die landwirtschaftlichen Nutzflächen (LN) für die Einzugsgebiete gemittelten Werte befinden sich im Bereich zwischen 0,28 und 13,48 t/ha LN. Im Vergleich zum Jahr 2013 sind kaum Änderungen zu finden. Einzig im Mühlviertel im EZG 5020 (Donauschlauch) ist der Bodenabtrag um über 60% gesunken. Der Grund für die starke Reduktion ist ein im Vergleich zu 2013 niedrigerer C-Faktor, sprich die Kulturartenverteilung in diesem Einzugsgebiet hat sich positiv verändert.

Der Bodenabtrag in den oberösterreichischen Einzugsgebieten und auf den landwirtschaftlichen Flächen beträgt ohne ÖPUL Maßnahmen insgesamt 3.122.786 t. Der Durchschnitt liegt bei 4,7 t/ha LN.

Der durchschnittliche Bodenabtrag inkl. ÖPUL Maßnahmen in den Einzugsgebieten liegt im Jahr 2016 im Bereich zwischen 0,27 und 11,15 t/ha LN und somit in derselben Größenordnung, wie im Jahr 2013, wo die Werte zwischen 0,38 und 11,11 t/ha LN schwankten. Die räumliche Verteilung des Bodenabtrags inklusive ÖPUL Maßnahmen ist in Abbildung 16 dargestellt. Die Hotspots sind wie auch bereits in der vorhergehenden ÖPUL Periode die EZG 710 (Pram), 680 (Antiesen) und 1320 (Krems Oberlauf). Ein Vergleich mit Abbildung 15 zeigt, dass in den Ackerbauregionen die Wirksamkeiten am höchsten sind.

Im Durchschnitt wird durch die Teilnahme an den ÖPUL Programmen eine Reduktion des Bodenabtrags um ca. 17% in Oberösterreich erreicht. Im Jahr 2013 betrug die Reduktion 18%. Die größte prozentuelle Reduktion wurde im EZG 1630 mit 54% erreicht, wobei der gesamte Bodenabtrag mit weniger als 1 t/ha LN sehr gering ist, und somit schon kleine Reduktionen prozentuell betrachtet eine große Wirkung aufweisen. Die größten absoluten Reduktionen durch das ÖPUL Programm 2015 sind in den EZG 710, 1180 und 1320 mit jeweils über 2 t/ha LN zu finden.

Der Bodenabtrag in den oberösterreichischen Einzugsgebieten und auf den landwirtschaftlichen Flächen beträgt inkl. ÖPUL Maßnahmen insgesamt 2.603.180 t. In Summe nimmt der Bodenabtrag in den oberösterreichischen Einzugsgebieten durch die Teilnahme an ÖPUL 2015 um 519.600 t ab.

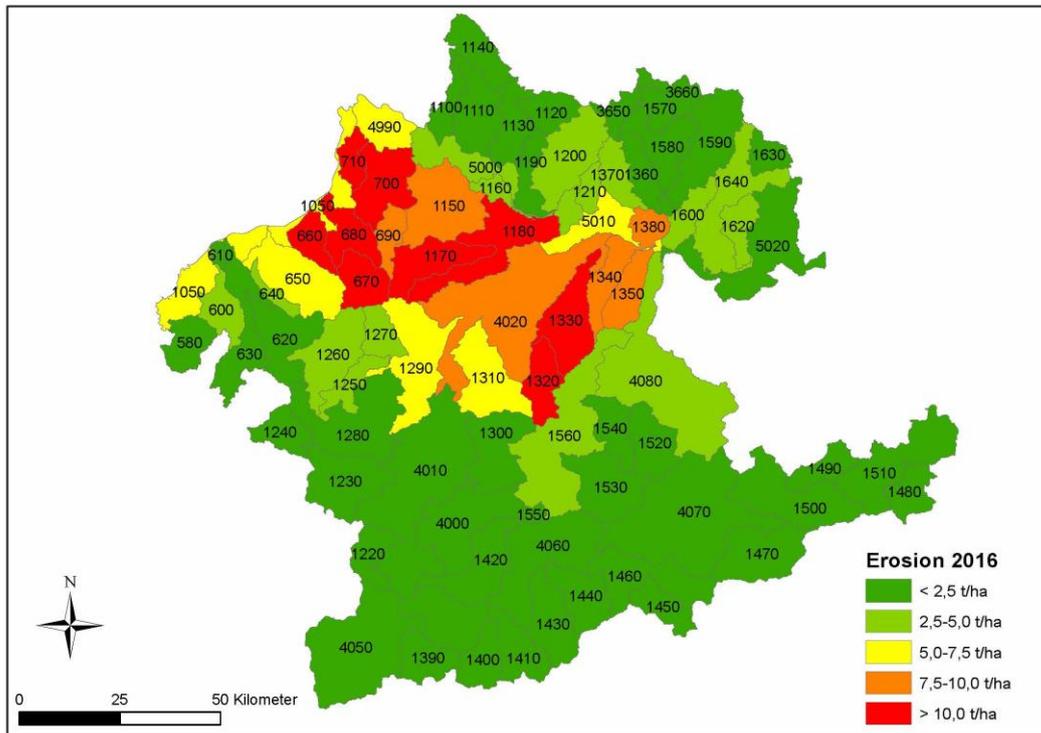


Abbildung 15: Bodenabtrag pro ha LN im Jahr 2016 ohne ÖPUL Maßnahmen.

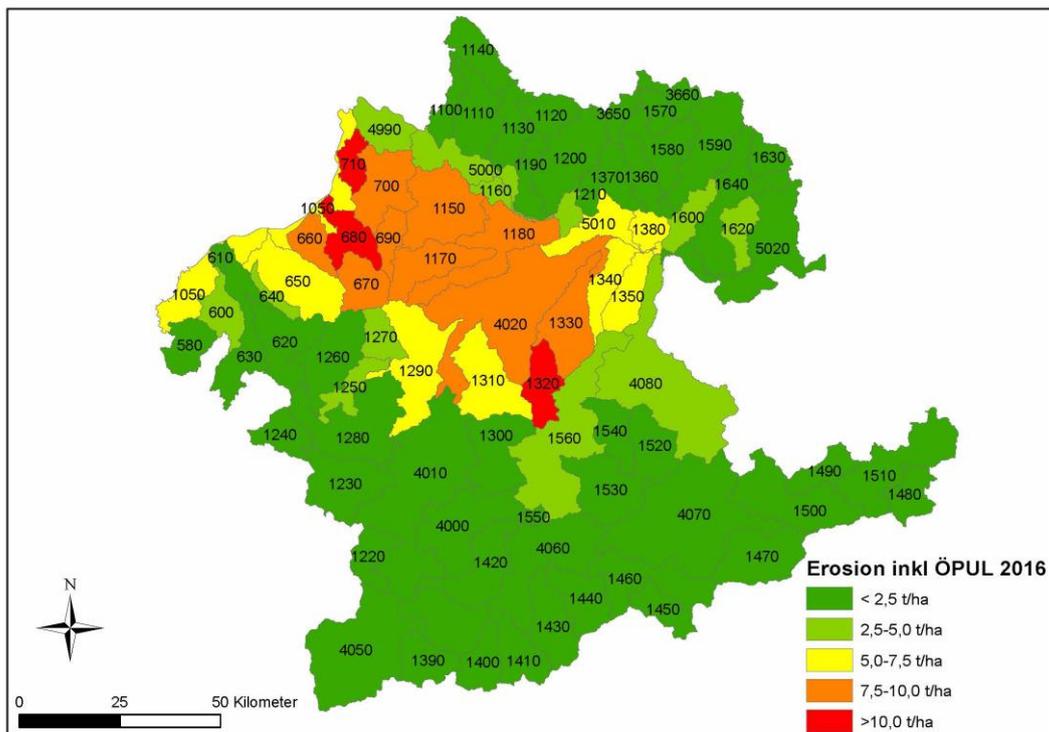


Abbildung 16: Bodenabtrag pro ha LN im Jahr 2016 inkl. aller gesetzten Maßnahmen im ÖPUL 2015.

Die Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen“ wurde im Jahr 2016 auf ca. 55.000 ha umgesetzt, die Maßnahme „Mulch und Direktsaat“ auf über 35.000 ha. Somit wurden auf über 60% der Begrünungen anschließend erosionsmindernde Anbaumethoden eingesetzt. Im Jahr 2013 wurden ca.

38.000 ha im Mulch und Direktsaatverfahren angebaut, jedoch gab es damals keine Einschränkung auf erosionsgefährdete Kulturen.

Im Durchschnitt wird durch diese beiden Maßnahmen eine Reduktion der Erosion um 12% erreicht. Die stärksten Reduktionen sind auf der Traun-Enns-Platte in den Einzugsgebieten 1320-1350 und 4020 zu finden, wo die Erosion bis zu 18% reduziert wird, das entspricht einem Bodenabtrag von 1,3-2,0 t/ha LN.

Generell ist im Vergleich zu 2013 eine Abnahme der Wirkung festzustellen, da die Begrünungen in der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – System Immergrün“ nicht angegeben werden (vgl. Kapitel 2.2.2). Im Westen Oberösterreichs (EZG 600-650) steigt die Wirkung geringfügig.

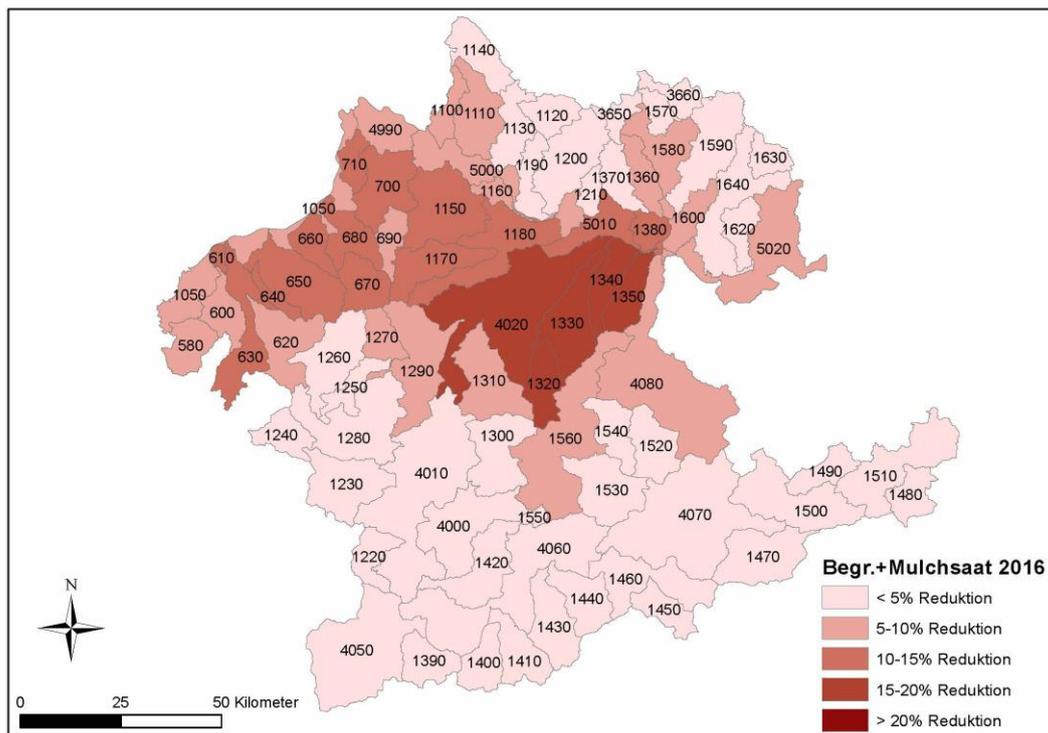


Abbildung 17: Prozentuelle Reduktion des Bodenabtrags durch die ÖPUL Maßnahmen „Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfruchtanbau“ und „Mulch und Direktsaat“.

Die Wirkung der Maßnahme „Begrünung von Ackerflächen – System Immergrün“ wird in Abbildung 18 separat dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Maßnahme hauptsächlich in Regionen angewendet wird, in denen der Anbau von Feldfutter eine große Rolle spielt. Diese sind die Regionen des Mühlviertels sowie die EZG 1250-1270. Im Durchschnitt wird durch diese Maßnahme die Erosion um 0,5% reduziert. Dies entspricht einer absoluten Reduktion von 15.700 t.

In Abbildung 19 werden die Wirkung aller Begrünungsmaßnahmen (Zwischenfruchtanbau, System Immergrün, Mulch und Direktsaat) dargestellt, wodurch eine bessere Vergleichbarkeit mit dem Jahr 2013 hergestellt wird. Trotzdem ist eine Abnahme der Gesamtwirkung der Begrünungsmaßnahmen zu erkennen. Im Durchschnitt liegt die Wirkung bei knapp über 12%. Im Vergleich dazu wurde im Jahr 2013 der Bodenabtrag durch die entsprechenden Maßnahmen um 14% gesenkt.

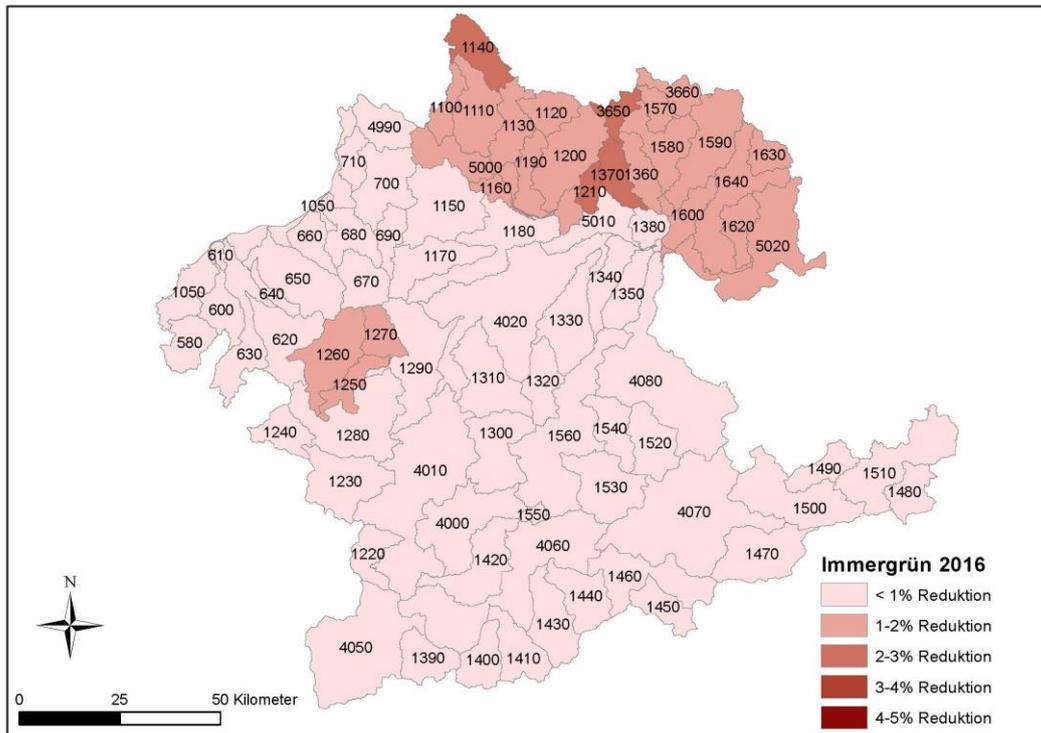


Abbildung 18: Prozentuelle Reduktion des Bodenabtrags durch die ÖPUL Maßnahmen „Begrünung von Ackerflächen – Immergrün“.

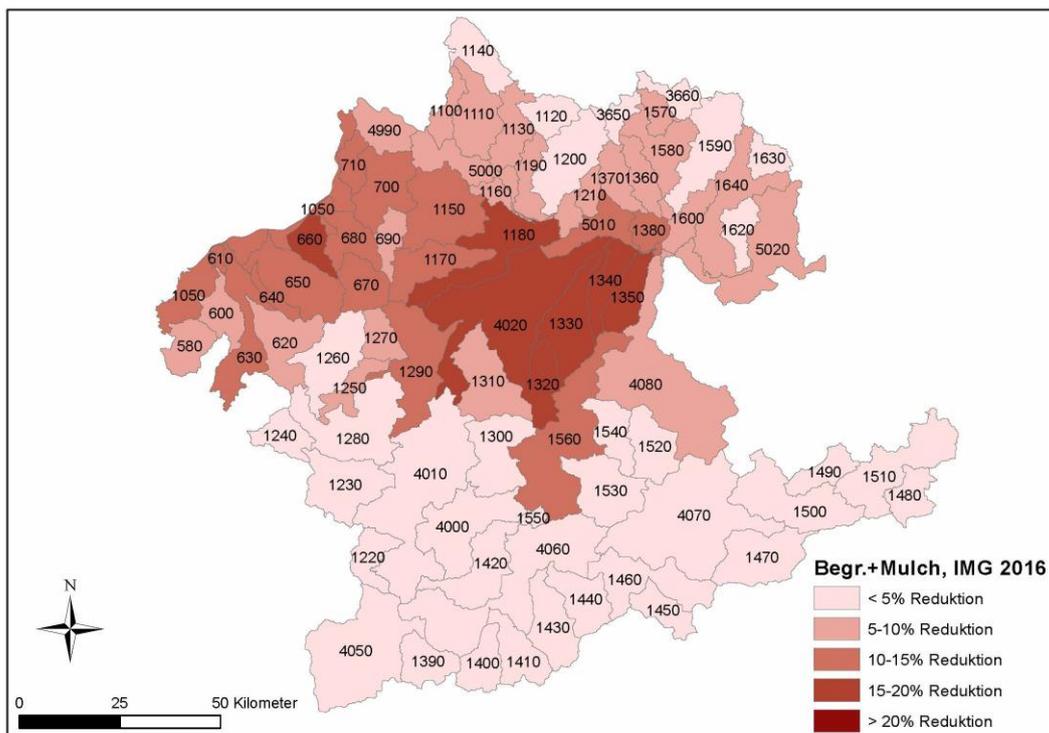


Abbildung 19: Prozentuelle Reduktion des Bodenabtrags durch die ÖPUL Maßnahmen „Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfruchtanbau“, „Mulch und Direktsaat“ und „Begrünung von Ackerflächen – Immergrün“.

Die Maßnahme „Erosionsschutz Obst, Wein, Hopfen“ stellt eine auf bestimmte Kulturen anwendbare und daher lokal wichtige Maßnahme dar. Im Gesamtbild ist die Wirkung jedoch gering und vergleichbar mit der vorhergehenden ÖPUL Periode. Die größten Teilnahmen finden sich im Mühlviertel wo Reduktionen von bis zu 5,4% erreicht werden. Im EZG 4070 (Enns) wurde die stärkste Zunahme von 0 auf 1,6% festgestellt. In Summe nahmen an dieser Maßnahme 735 ha teil, wodurch der Abtrag von 16.700 t Bodenmaterial verhindert werden konnte.

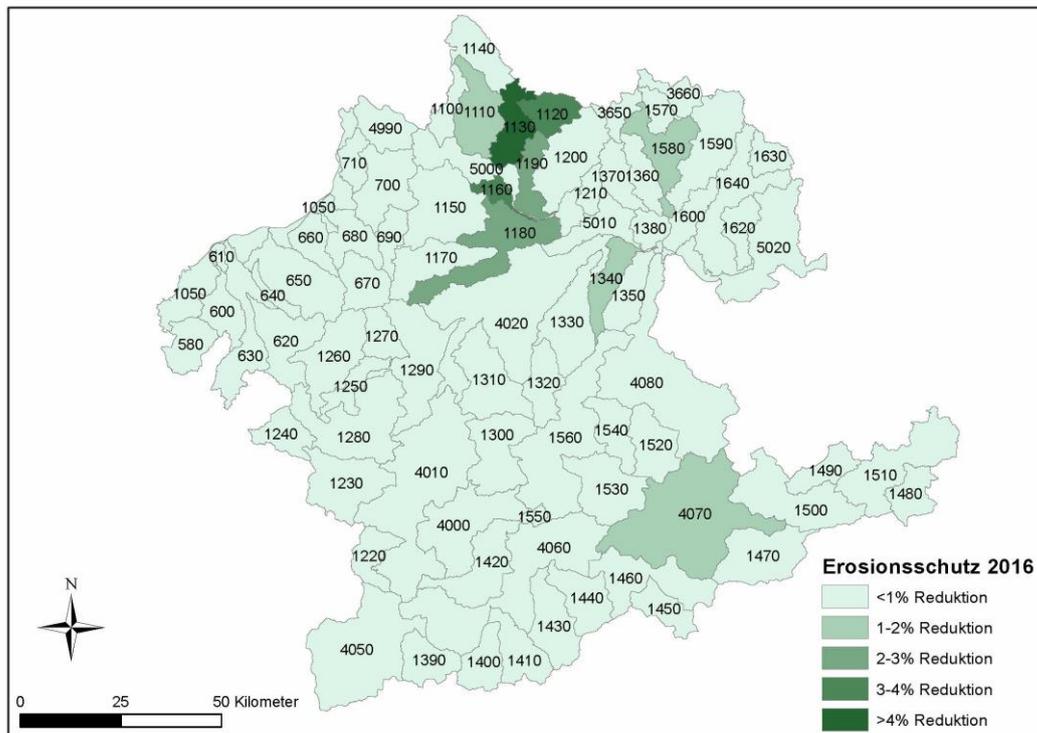


Abbildung 20: Prozentuelle Reduktion des Bodenabtrags durch die ÖPUL Maßnahme „Erosionsschutz Obst, Wein, Hopfen“.

Die Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ spielt ebenfalls hauptsächlich im Mühlviertel eine Rolle. Die Umsetzung erfolgt innerhalb des Projektgebiets auf knapp 114.000 ha, eine klare Steigerung im Vergleich zum Jahr 2013, wo 90.000 ha LN biologisch bewirtschaftet wurden. Großteils erfolgt die Umsetzung dieser Maßnahme in Grünlandregionen, wo der Bodenabtrag ohnehin vergleichbar niedrig ist. Trotzdem werden Reduktionen von durchschnittlich ca. 4% modelliert. Die stärksten relativen und absoluten Reduktionen sind im östlichen Mühlviertel zu finden mit Reduktionen bis 53% (1630, Naarn) und über 0,6 t/ha LN. In den südlichen Bereichen des Projektgebiets nahm die Wirkung der Maßnahme ab, da der Anteil der teilnehmenden Ackerflächen gesunken ist. In Summe reduzierte die biologische Wirtschaftsweise im Modell den Bodenabtrag um 140.400 t.

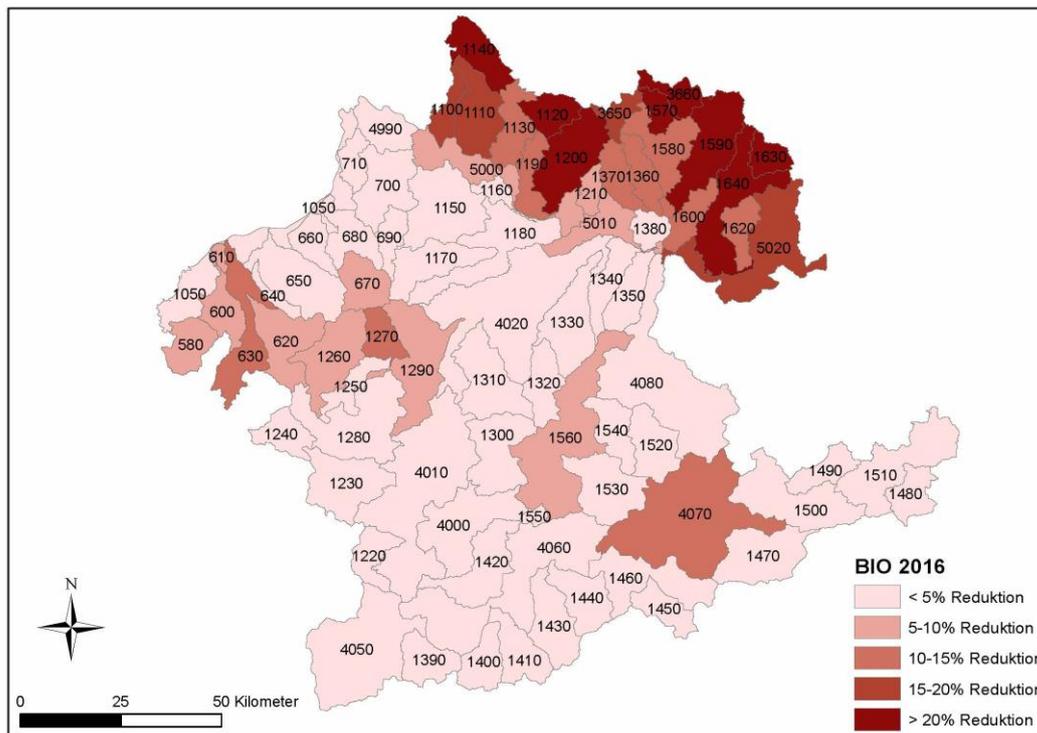


Abbildung 21: Prozentuelle Reduktion des Bodenabtrags durch die ÖPUL Maßnahmen „Biologische Wirtschaftsweise“.

3.3 Entwicklung der Emissionen aus Kläranlagen

Die Entwicklung der Stickstoff- und Phosphor-Emissionen aus kommunalen Kläranlagen in Oberösterreich wird aus dem Emissionsregister für Oberflächengewässer (EmReg-OW) abgeleitet. Registerpflichtig sind im Wesentlichen Wasserberechtigte, Anlageninhaber oder Anlagenbetreiber von Anlagen, die der Industrieemissionsrichtlinie unterliegen und von Abwasserreinigungsanlagen mit einem Bemessungswert nicht kleiner als 2000 EW₆₀ für kommunales Abwasser aus Siedlungsgebieten. Die gemeldeten Daten sind Jahresfrachten, die entsprechend den Vorgaben in der Verordnung (je nach Stoff), durch Messungen, Berechnung oder Schätzung ermittelt werden. Die Richtigkeit der Daten ist durch den Registerpflichtigen zu prüfen. Ein abschließender Plausibilitätscheck findet am Umweltbundesamt im Auftrag des BMNT statt.

Gesamtsituation Oberösterreich

Betrachtet man die für Oberösterreich (ohne Donauschlauch) ermittelten Jahresabwassermengen und Nährstoffemissionen über einen Zeitraum von 2009-2017 zeigen sich schwankende Jahresmengen, die keinem klaren Trend folgen (Abbildung 22). Die aufsummierten Jahres-Maxima und Jahres-Minima schwanken für die Abwasserablaufmengen zwischen 3,3 und 4,1 m³/s, für die TN Emissionen zwischen 801 und 1028 t/a und für die Phosphor-Emissionen von 69 bis 83 t/a. Die Standardabweichungen liegen bei ±7-8%. Die erhöhten, von äußeren Bedingungen und der Genauigkeit der übermittelten Daten abhängigen Schwankungen der Jahresmeldungen machen zumindest einen Vergleich von längeren Zeiträumen nötig, um eine Entwicklung der Emissionen aus Kläranlagen abzuleiten. Auch hier ist eine klare Aussage zu möglichen positiven oder negativen

Entwicklungen jedoch mit hohen Unsicherheiten behaftet, da die Auswahl der Zeiträume die Aussage wesentlich beeinflussen kann.

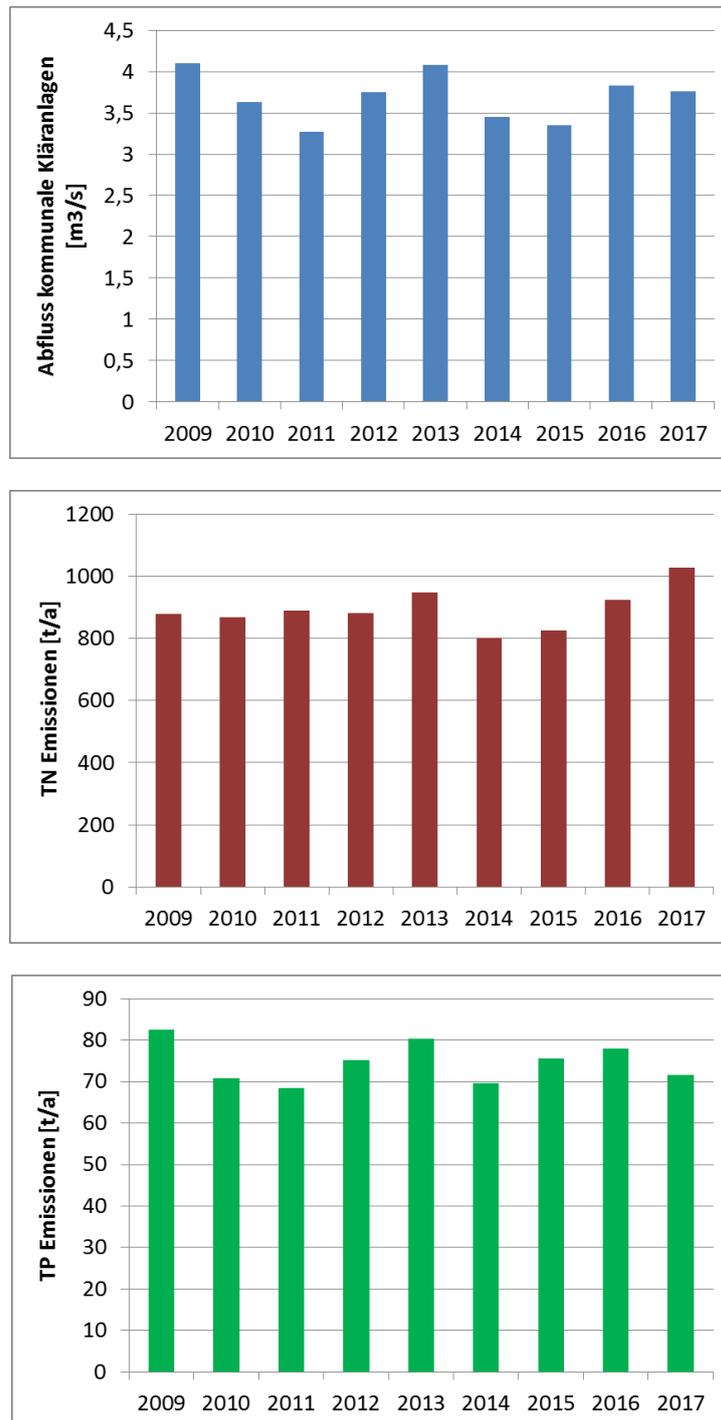


Abbildung 22: Entwicklung der mittleren, jährlichen Ablaufmengen [m³/s], TN- und TP-Emissionen [t/a] in Kläranlagen von Oberösterreich über einen Zeitraum von 2009-2017.

Im Folgenden erfolgt daher eine Gegenüberstellung der unter pragmatischen Gesichtspunkten ausgewählten Zeiträume der Modellperiode 2007-2013 mit Daten, die nach 2013 erfasst worden sind. Bei einem kritischen Vergleich anders gewählter Zeiträume zeigte sich aber, dass die jährlichen Schwankungen der oberösterreichischen Jahresdaten so groß sind, dass direkte Aussagen zu möglichen Entwicklungen wenig sinnvoll sind. Würde das Jahr 2014, das außerhalb des

Prognosezeitraumes von 2015-2020 liegt, ausgelassen, würden sich die in Tabelle 1 dargestellten (ungesicherten!) Tendenzen (höherer Frachten aus Kläranlagen in Oberösterreich) weiter verstärken. Würden jedoch z.B. die Jahre 2009-2013 herangezogen und den Jahren 2014-2017 oder 2015-2017 gegenübergestellt, würden diese Tendenzen überhaupt nicht auftreten.

Was jedoch bei einer Differenzierung der Einzugsgebiete, nach Gebieten mit möglicher Richtwertverfehlung für $\text{NO}_3\text{-N}$ ($n=16$) und sicherer Richtwertverfehlung für $\text{PO}_4\text{-P}$ (Modellergebnis mit $>130\%$ des Richtwertes ($n=22$)) auffällt, ist, dass die für alle Einzugsgebiete dargelegte Tendenz (zunehmender P Frachten) sich hier stark abschwächt (Stickstoff) oder gar umkehrt (Phosphor). Das könnte darauf hinweisen, dass in den Einzugsgebieten mit Richtwertüberschreitungen eine höhere Sensibilität vorliegt und dort vorrangig ein Verbesserungspotential ausgeschöpft wird. Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse zeigt sich jedoch, dass die gemittelten jährlichen Daten in diesen Einzugsgebieten weder einen klaren zeitlichen Trend für systematische Verbesserungen (für $\text{PO}_4\text{-P}$) ausweisen, noch dass die Rückrechnung auf mittlere $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen einen Beleg für eine besondere Berücksichtigung der Fließgewässersituation liefert.

Tatsächlich wird sowohl für ganz Oberösterreich (ohne Donauschlauch), als auch in den Einzugsgebieten mit sicheren Überschreitungen der $\text{PO}_4\text{-P}$ Richtwerte eine mittlere Ablaufkonzentration von $0,7 \text{ mg/l}$ ermittelt (bei Ablaufkonzentrationen von kommunalen Kläranlagen, die als Gesamtphosphor von 2 mg/l ($1000\text{-}5000 \text{ EW}$) und $1,0 \text{ mg/l}$ ($>5000 \text{ EW}$) geregelt sind).

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Kennwerten (Ablaufmenge [m^3/s], TN- und TP-Emissionen [t/a]) für die Zeiträume 2007-2013 und 2014-2017 in Oberösterreich und in EZG mit möglichen Richtwertüberschreitungen.

Zeitraum/Aspekt	Q [m^3/s]	TN [t/a]	TP [t/a]
2007-2013 (Oö)	3,38	764,5	69,7
2014-2017 (Oö)	3,60	894,7	73,7
2007-2013 (Oö mögliche Überschreitung)	0,93/1,16	168,5	24,4
2014-2017 (Oö mögliche Überschreitung)	0,96/1,18	184,1	23,9

Somit kann festgehalten werden, dass die Emissionen aus kommunalen Kläranlagen im Mittel über Oberösterreich (bei jährlichen Schwankungen) weitgehend konstant sind und weder einen positiven noch negativen Gesamt-Trend aufweisen.

Dies gilt gleichermaßen für die mittlere Situation in Einzugsgebieten mit den aus Modellrechnungen ausgewiesenen möglichen Überschreitungen der Richtwerte für $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{PO}_4\text{-P}$, als auch in Einzugsgebieten mit einer insgesamt geringen Belastungssituation. Die ermittelten, auch im Mittel niedrigen Ablaufkonzentrationen für $\text{PO}_4\text{-P}$ weisen aber darauf hin, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Ablaufwerte eingehalten oder unterschritten werden.

Einzugsgebietsbezogene Betrachtung

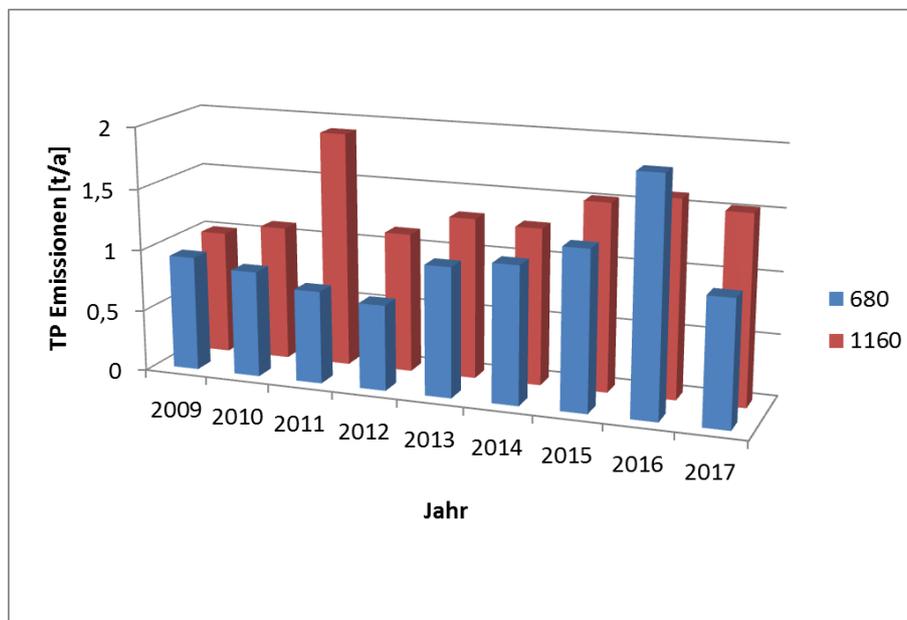
Betrachtet man die Entwicklung der Emissionen aus kommunalen Kläranlagen in den einzelnen Einzugsgebieten zeigen sich dagegen z.T. deutliche Tendenzen und Trends, die exemplarisch für die Einzugsgebiete mit einer Überschreitung der $\text{PO}_4\text{-P}$ Richtwerte aufgezeigt werden sollen. Das gleichzeitige Auftreten von keinen, positiven und negativen Tendenzen in den verschiedenen Einzugsgebieten führt dabei zu einer Überlagerung der Ergebnisse und ist die Ursache dafür, dass bei

der Betrachtung mittlerer gesamtösterreichischer Verhältnisse (s.o.) keine eindeutigen Ergebnisse ausgewiesen werden können.

Von den 22 Einzugsgebieten mit sicheren Überschreitungen für $\text{PO}_4\text{-P}$ sind in 17 Einzugsgebieten Kläranlagen verortet. Insgesamt zeigt sich, dass bei den Einzugsgebieten mit Überschreitungen der Richtwerte für $\text{PO}_4\text{-P}$ die Gebiete ohne Trend oder Tendenz (7) und jene mit einem Trend oder einer Tendenz abnehmender TP Emissionen (8) überwiegen. Einzugsgebiete mit zunehmenden TP Emissionen aus Kläranlagen finden sich nur in zwei Einzugsgebieten.

Exemplarisch werden in Abbildung 23 die Entwicklung der mittleren, jährlichen TP-Emissionen [t/a] von Kläranlagen in Einzugsgebieten mit Richtwertüberschreitung ($\text{PO}_4\text{-P}$) in Oberösterreich über einen Zeitraum von 2009-2017 (steigende Emissionen (oben); fallende Emissionen (Mitte), gleichbleibende Emissionen (unten)) die TP Emissionsentwicklungen von kommunalen Kläranlagen in den Einzugsgebieten zwischen 2009 und 2017 dargestellt. Einen deutlichen Anstieg von 0,9 t/a auf 1,4 t/a zeigt sich in dieser Periode für die Antiesen (680) und für die Aschach (1160) (Heranziehung des gleitenden Mittelwertes über eine Periode von 2 Jahren). Hier steigen die TP Emissionen von 1,0 auf 1,5 t/a.

Zwischen 2009 und 2017 lassen sich leicht sinkende TP Emissionen aus kommunalen Kläranlagen im Innbach (1180) in der Aist (1600) und im Gurtenbach (660) ausweisen. Die stärksten Minderungen finden sich in der Dürren Aschach (1150) von 2,1 auf 1,7 t/a, der Pram (700, Mittellauf) von 0,9 auf 0,6 t/a, in der Krems (1330) von 3,7 auf 3,2 t/a bzw. (1320) von 2,1 auf 1,7 t/a. Sehr geringe Rückgänge finden sich im Oberlauf der Antiesen (670). Hier sinken die Emissionen aus kommunalen Kläranlagen von 3,6 auf 3,3 t/a.



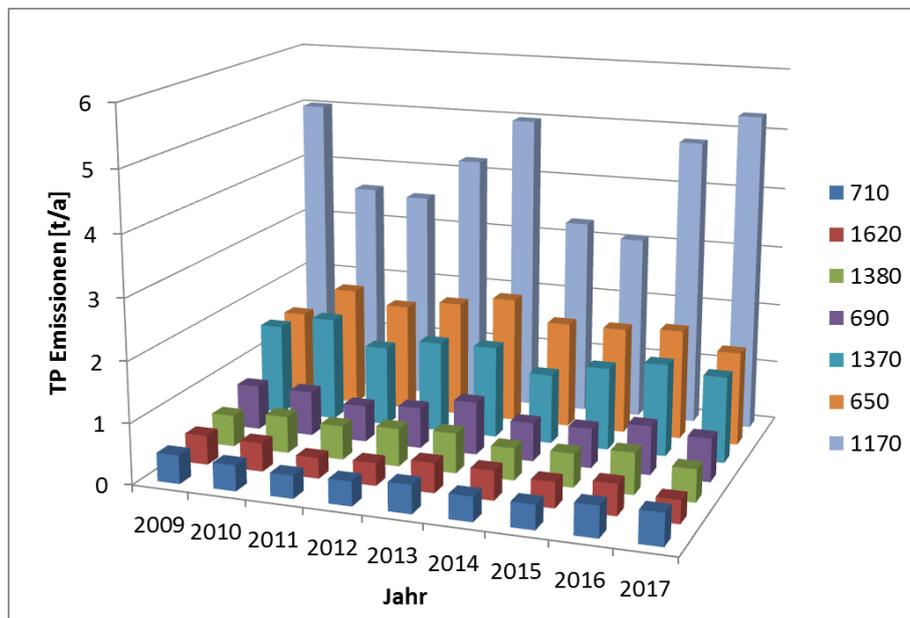
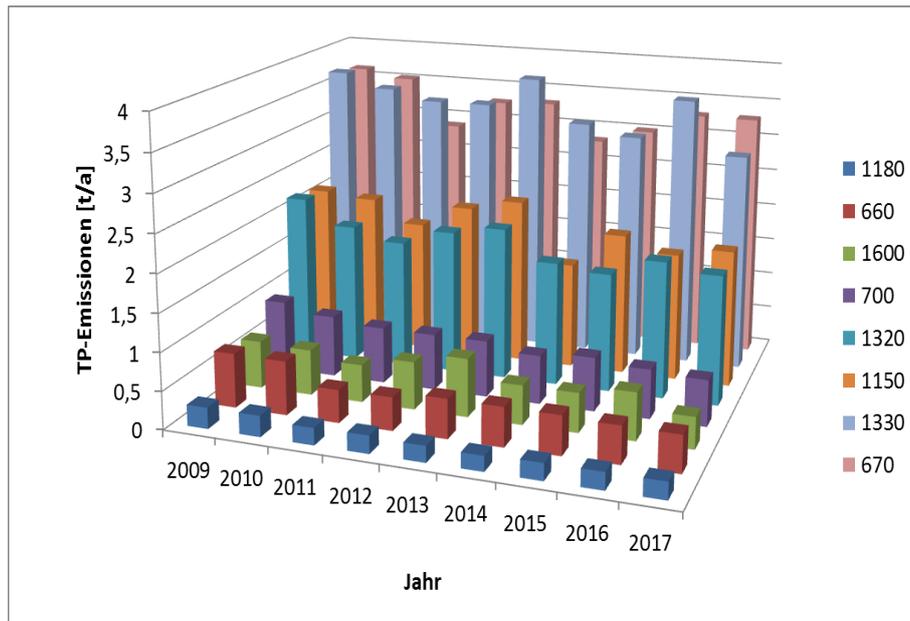


Abbildung 23: Entwicklung der mittleren, jährlichen TP-Emissionen [t/a] von Kläranlagen in Einzugsgebieten mit Richtwertüberschreitung (PO₄-P) in Oberösterreich über einen Zeitraum von 2009-2017 (steigend (oben); fallend (Mitte), gleichbleibend (unten)).

Die Minderung im oberliegenden Teil Einzugsgebiet der Antiesen wird jedoch durch eine Erhöhung der Emissionen aus kommunalen Kläranlagen im unterliegenden Teil Einzugsgebiet (680, s.o.) überkompensiert, so dass es in Summe zu einem leichten Anstieg der TP Emissionen kommt.

Um die Entwicklungen der TP Emissionen aus Kläranlagen und ihre Auswirkungen auf die Richtwerterreichung unter planerischen Gesichtspunkten besser einordnen zu können, wird in Tabelle 2 ein Überblick über die Einzugsgebiete mit Richtwertüberschreitungen von PO₄-P, der Tendenz der Emissionsentwicklung und dem bisherigen Anteil der Kläranlagen-Emissionen an den Gesamtemissionen (im EZG) dargestellt. Die Anteile der Kläranlagen-Emissionen an den Gesamt TP Emissionen wird in 5 Klassen unterteilt: gering (0-3%); mittel (3-10%); hoch (10-20%); sehr hoch (>20%).

Tabelle 2: EZG mit Richtwertüberschreitung (PO₄-P), Emissionstendenz von 2009-2017 und Anteil der Kläranlagenemissionen in den Einzugsgebieten.

EZG (ID)	Emissionstendenz (2009-2017 Anteil der KA P Emissionen (diskret))	
Mühlheimer Ache (650)	gleich	hoch
Pram OL (690)	gleich	hoch
Pram UL (710)	gleich	mittel
Trattnach (1170)	gleich	sehr hoch
Große Gusen (1370)	gleich	hoch
Gusen (1380)	gleich	mittel
Klammbach (1620)	gleich	hoch
Gurtenbach (660)	niedriger	gering
Antiesen OL (670)	niedriger	sehr hoch
Pram (700)	niedriger	mittel
Dürre Aschach (1150)	niedriger	mittel
Innbach (1180)	niedriger	gering
Krems (1320)	niedriger	hoch
Krems (1330)	niedriger	mittel
Aist (1600)	niedriger	hoch
Antiesen (680)	höher	mittel
Aschach (1160)	höher	sehr hoch

Die erhöhten Emissionstendenzen von Kläranlagen in den Einzugsgebieten der Antiesen (Betrachtung des Gesamteinzugsgebiets) und der Aschach führen zu weiteren Belastungen der Gewässer. Der Anteil der TP Emissionen aus kommunalen Kläranlagen im Einzugsgebiet der Aschach steigt von bereits sehr hohen 36% auf 40% weiter an. Dies hat (bei angenommener gleichbleibender Tendenz nach 2017) zur Folge, dass die Richtwertauslastung von ca. 280% (Modellierungsergebnis von 2007-2013) auf ca. 300% ansteigen könnte (Modellergebnisse Prognose 2015-2020). In der Antiesen heben sich die höheren und niedrigeren Emissionen aus kommunalen Kläranlagen im Oberlauf und Unterlauf weitgehend auf.

Weitere Verbesserungen auf kommunalen Kläranlagen wären unter dem Aspekt der Richtwerteinhaltung insbesondere in den oben aufgeführten Einzugsgebieten anzustreben, in denen die Anteile der Emissionen aus Kläranlagen an den Gesamtemissionen hoch oder sehr hoch ausfallen. Dazu gehören die bereits genannte Aschach und die Antiesen, die Trattnach sowie die Mülheimer Ache, die Pram, die Große Gusen, der Klammbach, die Krems und die Aist. Insgesamt deuten sich bislang in den Einzugsgebieten der Krems und der Aist Verringerungen der Phosphor Emissionen durch Kläranlagenemissionen an.

Die Gegenüberstellung von der Belastungssituation durch Kläranlagen und die Emissionstendenz für den Zeitraum von 2009-2017 weist den Bedarf möglicher Verbesserungen aus. Ob die technischen Möglichkeiten der Kläranlagen bereits ausgeschöpft sind, oder ob noch weiteres Potential zur Senkung der Emissionen besteht, muss jedoch im Einzelfall geklärt werden.

3.4 Wirksamkeit von ÖPUL 2015-Maßnahmen auf die Belastungen von Gewässern

3.4.1 Betrachtungen auf der Ebene von Einzugsgebieten

Die Wirksamkeit von ÖPUL 2015 wird für zwei spezifische Fragestellungen betrachtet. Zum einen soll dargestellt werden inwieweit ÖPUL 2015 über das bisherige ÖPUL Programm hinaus wirkt. Zum anderen soll die gesamte Wirksamkeit von ÖPUL 2015 und von ausgesuchten Einzelmaßnahmen (Kapitel 4.1) in Einzugsgebieten mit „wahrscheinlichen“ oder „sicheren“ Richtwertverfehlungen dargestellt werden.

Um die Wirksamkeit von ÖPUL 2015 gegenüber der Wirksamkeit von ÖPUL 2007 auszuweisen, wurde das Modell MONERIS für den Zeitraum 2007-2013 genutzt. Darin sind die mittleren Nährstoffüberschüsse und Bodenabträge von 2007-2013 unter Berücksichtigung der mittleren Wirksamkeit der ÖPUL Maßnahmen parametrisiert. In diesem Modell werden nun die Nährstoffüberschüsse und Bodenabträge unter Berücksichtigung der Wirksamkeit von ÖPUL 2015 (Stichjahr 2016) ersetzt und die Ergebnisse beider Modelle (ÖPUL 2007 und ÖPUL 2015) miteinander verglichen.

Zur Einordnung dieses Vergleiches muss erwähnt werden, dass durch die Verwendung der Daten aus nur einem Jahr (2016) eine höhere Unsicherheit für die Prognose der Wirksamkeit von ÖPUL 2015 besteht, als wenn mittlere Jahresdaten (aus zwei oder mehr Jahren) verwendet werden könnten. Dies war zum Zeitpunkt der Auswertungen jedoch nicht möglich. Zum anderen führen auch Änderungen der Datenstruktur in INVEKOS zu teilweise erheblichen Unterschieden insbesondere bei der Berechnung der Nährstoffüberschüsse, die den Vergleich beider Modellberechnungen beeinflussen. Hier haben sich die Flächenanteile der landwirtschaftlichen Nutzfläche durch die neue Berücksichtigung von Almfutterflächen teilweise stark verändert, was sich in den berechneten N-Salden niederschlägt (Kapitel 3.1, Abbildung 4). Da sich diese Unterschiede aber insbesondere auf das Voralpenland beziehen, in dem es zu keinen Richtwertüberschreitungen kommt, soll trotz der oben gemachten Einschränkungen, ein Vergleich der Wirksamkeit der ÖPUL Programme in Einzugsgebieten mit (möglicher) Richtwertüberschreitungen angestellt werden.

Stickstoff

Weitergehende Minderung der TN Emissionen durch ÖPUL 2015

Geht man davon aus, dass die Teilnahme an ÖPUL 2015 (ermittelt im Jahr 2016) in den Folgejahren nicht abnimmt, sondern konstant bleibt, oder noch leicht ansteigt (s.u.), zeigt sich für das gesamte Oberösterreichische Einzugsgebiet (mit Ausnahme des Donauschlauches) aus oben erwähnten Gründen für die Stickstoff Emissionen keine ausweisbare Veränderung. In beiden Anwendungen kommt es zu TN Emissionen von insgesamt rund 17.000 t/a.

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn man den Effekt der hinzugekommenen Alpe Flächen ausblendet und ausschließlich die auf der Traun Enns Platte, dem Innviertel und dem Mühlviertel verorteten Gebiete mit „möglicher“ Überschreitung des Richtwertes betrachtet. Diese sind in Abbildung 24 dargestellt. In diesem Fall ergeben sich durch die ÖPUL 2015 Maßnahmen durchweg weitere leichte Verringerungen der Stickstoff Emissionen, die in einem Bereich von 0,5-2,0% über die Minderungen von ÖPUL 2007 hinaus gehen. In den 17 Einzugsgebieten werden somit bei ursprünglichen

Emissionen in der Höhe von rund 4000 t/a rechnerisch weitere 45t an Stickstoffemissionen in die Fließgewässer vermieden womit sich jedoch keine relevanten Änderungen ergeben.

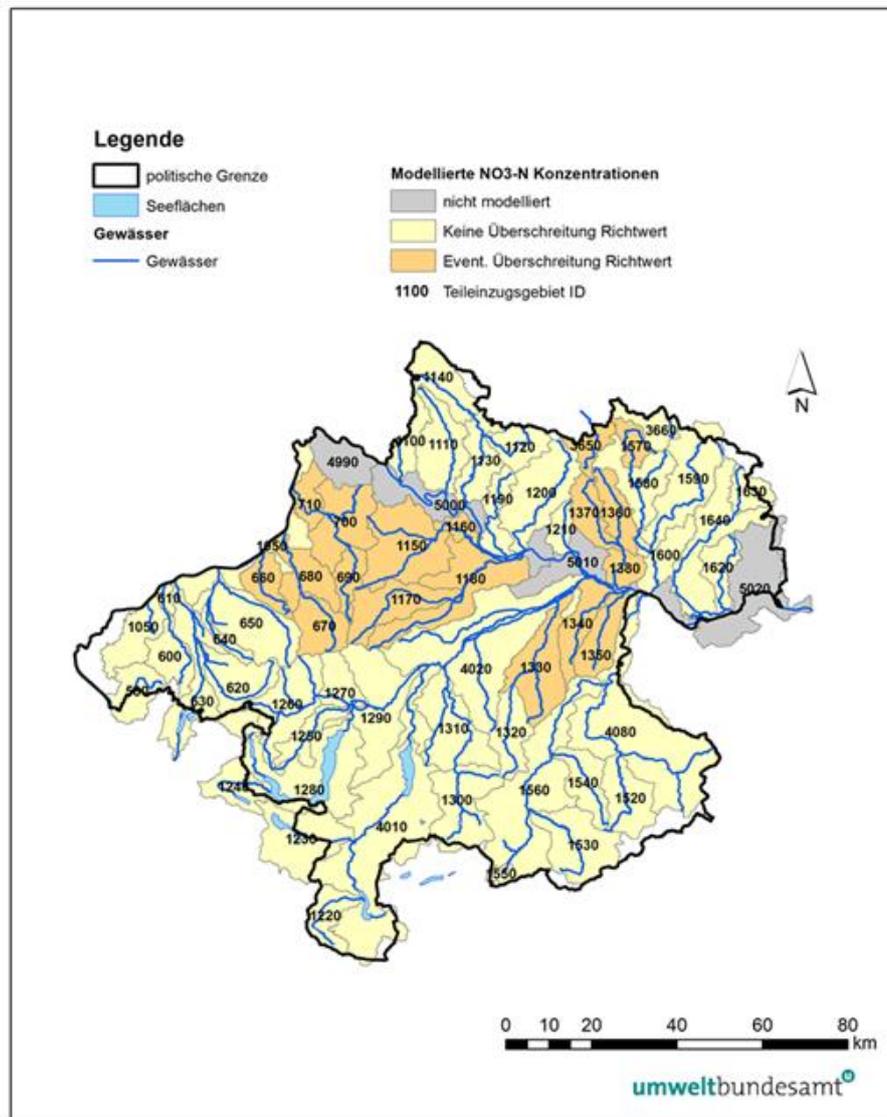


Abbildung 24: Einzugsgebiete mit modellierter NO₃-N Richtwertüberschreitung in Oberösterreich (ohne Donauschlauch) für 2015-2020 (keine Überschreitung <0,7xRW; eventuelle Überschreitung >0,7-1,3xRW).

Die geringfügige Erhöhung der Wirksamkeit von ÖPUL 2015 gegenüber ÖPUL 2007 steht dabei nicht im Widerspruch zu dem in Kapitel 3.2 dargestellten Vergleich der ÖPUL Wirkungen der Jahre 2013 und 2016. Bei diesem Vergleich zeigte sich in den meisten Bereichen ein leichter Rückgang der Wirkungen des Einzeljahres 2016 gegenüber dem Einzeljahr 2013. Der in MONERIS durchgeführte Vergleich der mittleren Wirksamkeit von ÖPUL 2007 (Zeitraum 2007-2013) gegenüber einer Wirksamkeit von ÖPUL 2015 (zum Stichjahr 2016) kommt zu anderen Ergebnissen. Dies impliziert, dass die Teilnehmerzahl im ÖPUL 2007 im Stichjahr 2013 höher war, als dies für den gesamten Maßnahmenzeitraum (2007-2014) der Fall war. Für ÖPUL 2015 könnte man analog den Schluss ziehen, dass mit zunehmender Programmlaufzeit eher mit einer Zunahme der Teilnahme durch die Landwirte zu rechnen ist, was die Wirksamkeit des Maßnahmenprogrammes weiter erhöhen würde.

Gesamtwirksamkeit von ÖPUL 2015 zur Minderung der TN Emissionen

Neben der über das bisherige ÖPUL Programm hinaus gehenden Wirkung von ÖPUL 2015 wird die Gesamtwirksamkeit von ÖPUL 2015 sowie von Einzelmaßnahmen dargestellt und darauf aufbauend eine Prognose für die Güteentwicklung der Fließgewässer für den Zeitraum 2015-2020 erstellt. Dafür werden (im Gegensatz zum Vergleich der ÖPUL Wirksamkeiten 2007 und 2015) die mittleren Klima- und Abflussbedingungen der Jahre 2001-2013 herangezogen.

Es zeigt sich, dass unter Annahme mittlerer Klima- und Abflussbedingungen, die inklusive der Wirksamkeiten von ÖPUL 2015 berechneten Emissionen in Oberösterreich (ohne Donauschlauch) geringfügig ansteigen (17.170 statt 16.930 tN/a). Dieses Ergebnis verdeutlicht zwei wichtige Aspekte. Zum einen wird der Einfluss der klimatischen und hydrologischen Bedingungen auf die anfallenden Stickstoff Emissionen ersichtlich. Zum anderen zeigt es, dass bei mittleren Bedingungen (auf denen die Prognose beruht) eher mit höheren Abfluss induzierten Emissionen zu rechnen ist, als dies in der Periode von 2007-2013 der Fall war. Diese Periode repräsentiert somit einen Zeitraum, der in Bezug auf Niederschlag und Abfluss geringfügig unterhalb des Mittels von 2001-2013 liegt.

Bewertet man die Wirksamkeit unter „mittleren“ Klima- und Abflussbedingungen von 2001-2013 wird deutlich, dass durch ÖPUL 2015 Stickstoff Emissionen von 215 t/a vermieden werden können (eine Minderung von 1,3%). In den ausgewiesenen Einzugsgebieten mit möglichem Risiko werden dabei Stickstoffemissionen von 2,4% oder 100 tN/a vermieden. 84% der vermiedenen Emissionen beziehen sich auf das Grundwasser und 16% auf Einträge aus Drainagen.

Betrachtet man die Wirksamkeit der in ÖPUL 2015 berücksichtigten Einzelmaßnahmen „Begrünung von Ackerflächen“, „Biologische Wirtschaftsweise“ und „Vorbeugender Grundwasserschutz-Acker“ können im Mittel für alle Einzugsgebiete Oberösterreichs (ausgenommen Donauschlauch) und für die 17 Einzugsgebiete mit möglichen Richtwertüberschreitungen (also erhöhten Belastungen der Gewässer durch N), die in Tabelle 3 dargestellten mittleren Minderungen der N Emissionen ermittelt werden. Es zeigt sich, dass die „Begrünung von Ackerflächen“ und der „Vorbeugende Grundwasserschutz-Acker“ im Wesentlichen die Gesamtwirksamkeit von ÖPUL 2015 zur Minderung der Emissionen in die Fließgewässer mit einer Minderung von 0,6 und 0,5% ausmachen. In Gebieten mit möglichem Risiko steigen die mittleren Wirksamkeiten der Maßnahmen auf etwa 2,4% an. Hier kommt es zu einer verstärkten Maßnahmenumsetzung. Die in Tabelle 3 in Klammern aufgeführten Zahlen zeigen dabei die in den Einzugsgebieten erzielten, höchsten Minderungen durch die Maßnahmen.

Maximale Minderungen werden im Ipfbach (ID 1340) mit 7,3% erzielt. Dabei entfällt der höchste Anteil der Minderung auf die Maßnahme „Vorbeugender Gewässerschutz-Acker“ (5,0%), während 2,0% der Emissionen durch Begrünungsmaßnahmen vermieden werden. Die höchsten Wirksamkeiten der „Biologischen Wirtschaftsweise“, mit Vermeidungen von bis zu 0,7% der TN Emissionen finden sich im Klammleitenbach (0,7%) und in der Feldaist (0,5%).

Tabelle 3: Mittlere und maximale (in Klammern) Wirksamkeiten (Minderungen der TN-Emissionen in%) von ÖPUL 2015 und der Einzelmaßnahmen „Begrünung“ inklusive „Immergrün“, „Biologische Wirtschaftsweise“, „Vorbeugender Gewässerschutz-Acker“ in Oberösterreichischen EZG und in Gebieten mit möglichem Risiko.

	ÖPUL 2015 Gesamt	ÖPUL 2015 Begrünung	Bio ÖPUL 2015	vbgd. GW Schutz ÖPUL 2015
alle OÖ EZG (ohne Donau)	1,2 (7,3)	0,6 (2,0)	0,1 (0,7)	0,5 (5,0)
EZG mit möglichem Risiko	2,4 (7,3)	1,1 (2,0)	0,2 (0,5)	1,1 (5,0)

Unter Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der Maßnahmenwirksamkeit von ÖPUL 2015 und der Einzelmaßnahmen ergeben sich in Bezug auf die in Zessner et al. (2017) und die dort aufgeführten Minderungen der TN Emissionen durch ÖPUL 2007 keine wesentlichen Änderungen. Auf eine graphische Darstellung der Ergebnisse wird aus diesem Grund verzichtet.

Minderung der NO₃-N Konzentrationen durch ÖPUL 2015

Die Minderung der NO₃-N Konzentrationen durch ÖPUL 2015 liegt in derselben Größenordnung wie die in Zessner et al. (2017) dokumentierte Minderung durch ÖPUL 2007 und soll an dieser Stelle nur exemplarisch dargestellt werden. Im Mittel liegen die Minderungen der NO₃-N Konzentrationen bei 1% und in Einzugsgebieten mit möglichem Risiko bei 1,9%. Die höchsten NO₃-N Minderungen werden für den Ipfbach ausgewiesen. Hier können etwa 0,5 mg NO₃-N/l durch ÖPUL 2015 vermieden werden. Im Einzugsgebiet des Krsteinerbaches werden 0,3 mg/l NO₃-N vermieden, während die Wirksamkeit von ÖPUL 2015 in der Feldaist mit einer Minderung von 0,1 mgNO₃-N/l nur sehr gering ausfällt (Tabelle 4).

Aus den ermittelten NO₃-N Konzentrationen kann abgeleitet werden, dass auch im Zeitraum von 2015-2020 (bei gleichbleibender Entwicklung) nicht damit zu rechnen ist, dass im Ipfbach die Richtwerte für NO₃-N unterschritten werden können. Gleiches gilt für den Krsteinerbach, bei dem die gemessenen Konzentrationen bei bisherigen Modellanwendungen etwa 1,0 bis 1,5 mg/l NO₃-N über denen der modellierten Konzentrationen lagen. In den aufgeführten Einzugsgebieten liegen die im Modell verwendeten mittleren Grundwasseraufenthaltszeiten bei 10 bzw. 9 Jahren. Bei abnehmenden aktuellen Stickstoffüberschüssen kann daher mit weitergehenden Minderungen der Stickstoffemissionen über den Grundwasserpfad gerechnet werden. Um diesen Effekt abzuschätzen, wurden in dem bestehenden Modell die langfristigen Stickstoffüberschüsse (die die aktuellen noch übertreffen) mit den aktuellen gleichgesetzt (entspricht der weitergehenden Massnahme N0), was bei gleichbleibenden N Überschüssen in 9 bzw. 10 Jahren zutreffen würde. Die Modellergebnisse zeigen durch diesen Effekt zwar eine weitere deutliche Abnahme der c-90 NO₃-N Konzentrationen, die aber noch immer die aufliegenden Richtwerte von 5,5 mg NO₃-N/l überschreiten. Dies spricht dafür, dass auch im Ipfbach und im Krsteinerbach zusätzliche Maßnahmen nötig werden, um spätestens 2027 die typspezifischen Richtwerte zu unterschreiten.

Tabelle 4 zeigt NO₃-N Richtwerte und die prognostizierten Konzentrationen für die Jahre 2015-2010 mit den Maßnahmen von ÖPUL 2015 und ohne ÖPUL Maßnahmen. Aus oben angemerkten Gründen (unterschiedliche Modellgenauigkeiten) wurden die Modellergebnisse anhand der für die Modellierung von 2007-2013 vorliegenden Abweichungen zwischen Modellergebnissen und Messergebnissen korrigiert.

Tabelle 4: Modellerte NO₃-N Konzentrationen für den Zeitraum 2015-2020 in Einzugsgebieten mit gemessenen Richtwertüberschreitungen für die Periode 2007-2013, mit ÖPUL 2015 und ohne ÖPUL 2015.

Einzugsgebiet	Richtwert als NO ₃ -N [mg/l]	Modellierte (korrigierter) NO ₃ -N Konzentration ohne ÖPUL 2015 [mg/l]	Modellierte (korrigierter) NO ₃ -N Konzentration mit ÖPUL 2015 [mg/l]
Ipfbach (ID 1340)	5,5	8,3	7,8
Krsteinerbach (ID 13)	5,5	6,9	6,6
Feldaist (ID 1570)	4	4,4	4,3

Das entspricht einer weiteren Minderung der Emissionen von Phosphor aus der Erosion landwirtschaftlicher Flächen um 6%. In den Einzugsgebieten mit (möglicher) Richtwertüberschreitung liegt der Anteil der Erosion von landwirtschaftlichen Flächen an der Gesamtemission im Mittel bei hohen 58%.

Die Erhöhung der Wirksamkeit von ÖPUL 2015 gegenüber ÖPUL 2007 steht nicht im Widerspruch zu dem in Kapitel 3.2 dargestellten Vergleich der ÖPUL Wirkungen der Jahre 2013 und 2016. Bei diesem Vergleich zeigte sich in den meisten Bereichen ein leichter Rückgang der Wirkungen des Einzeljahres 2016 gegenüber dem Einzeljahr 2013. Der in MONERIS durchgeführte Vergleich der mittleren Wirksamkeit von ÖPUL 2007 (Zeitraum 2007-2013) gegenüber einer Wirksamkeit von ÖPUL 2015 (zum Stichjahr 2016) kommt zu anderen Ergebnissen. Dies impliziert, dass die Teilnehmerzahl im ÖPUL 2007 im Stichjahr 2013 höher war, als dies für den mittleren Maßnahmenzeitraum von 2007-2014 der Fall war. Für ÖPUL 2015 könnte man analog den Schluss ziehen, dass mit zunehmender Programmlaufzeit eher mit einer Zunahme der Teilnahme durch die Landwirte zu rechnen ist, was die Wirksamkeit des Maßnahmenprogrammes weiter erhöhen würde.

Gesamtwirksamkeit von ÖPUL 2015 zur Minderung der TP Emissionen

Die in diesem Bericht berechnete Wirksamkeit von ÖPUL 2015 zur Minderung der Gesamtphosphor Emissionen basiert auf der Vermeidung von Sedimenteinträgen von der landwirtschaftlichen Nutzfläche durch die Teilmaßnahmen „Begrünung“ (inklusive der neu ausgewiesenen Maßnahme „Immergrün“), Biologische Wirtschaftsweise“ und „Erosionsschutz Obst, Wein, Hopfen“. Neben dem Effekt, den diese Maßnahmen auf den Eintrag von Phosphor in die oberösterreichischen Gewässer aufweisen, kommt es darüber hinaus zu einer signifikanten Minderung des Bodenabtrages und somit zu einem deutlichen Beitrag zum Bodenschutz (Kapitel 3.2). Entsprechend liefert ÖPUL auch einen Beitrag zur Vermeidung von Sedimenteinträgen in die Fließgewässer Oberösterreichs. Von potentiellen, jährlichen Sedimenteinträgen von 124.000 t/a von landwirtschaftlichen Nutzflächen können mehr als 17%, das entspricht 22.000 t/a, durch die Umsetzung der hier betrachteten Maßnahmen vermieden werden. Dabei machen die Begrünungsmaßnahmen inklusive „Immergrün“, die für sich genommen nur zu einer Minderung von 2% führt, mit insgesamt 76% den höchsten Anteil an der Minderung der Sedimenteinträge aus. 21% werden durch die „Biologische Wirtschaftsweise“ vermieden und 3% durch den „Erosionsschutz Obst, Wein, Hopfen“.

Die Modellierungen der mittleren Phosphor Emissionen für den Zeitraum 2015-2020 ergeben bei Berücksichtigung mittlerer Klima- und Abflussverhältnisse für Oberösterreich (mit Ausnahme des Donauschlauches) Einträge von 651 t/a. Dabei führt die Umsetzung der hier betrachteten Maßnahmen zu einer Vermeidung von 37,1 tP/a, was eine prozentuale Minderung der gesamten Phosphor Emissionen um 5,4% und bezogen auf die P Emissionen aus der Erosion landwirtschaftlicher Flächen einer Minderung von 13% entspricht.

Betrachtet man die räumliche Verteilung der prozentualen Minderungen der Gesamtphosphor Emissionen in den Einzugsgebieten von Oberösterreich zeigt sich ein relativ heterogenes Bild. Mit Minderungen von 8-12% lassen sich die höchsten Wirksamkeiten von ÖPUL 2015 für die Traun-Enns Platte mit Krems (ID 1320, 1330), Ipfbach (ID 1340) und Krusteinerbach (ID 1380) sowie für das Innviertel mit dem Innbach (ID 1180) und dem Gurtenbach (ID 660) ausweisen. Zudem weist auch die Aist (ID 1600) hohe Minderungen auf. Relativ geringe Minderungen von 2-4% finden sich dagegen in der mit einem sicheren Risiko der Richtwertverfehlung charakterisierten Mühlheimer Ache (ID 650) und dem Mittellauf der Pram (ID 700) (Abbildung 25, rechts).

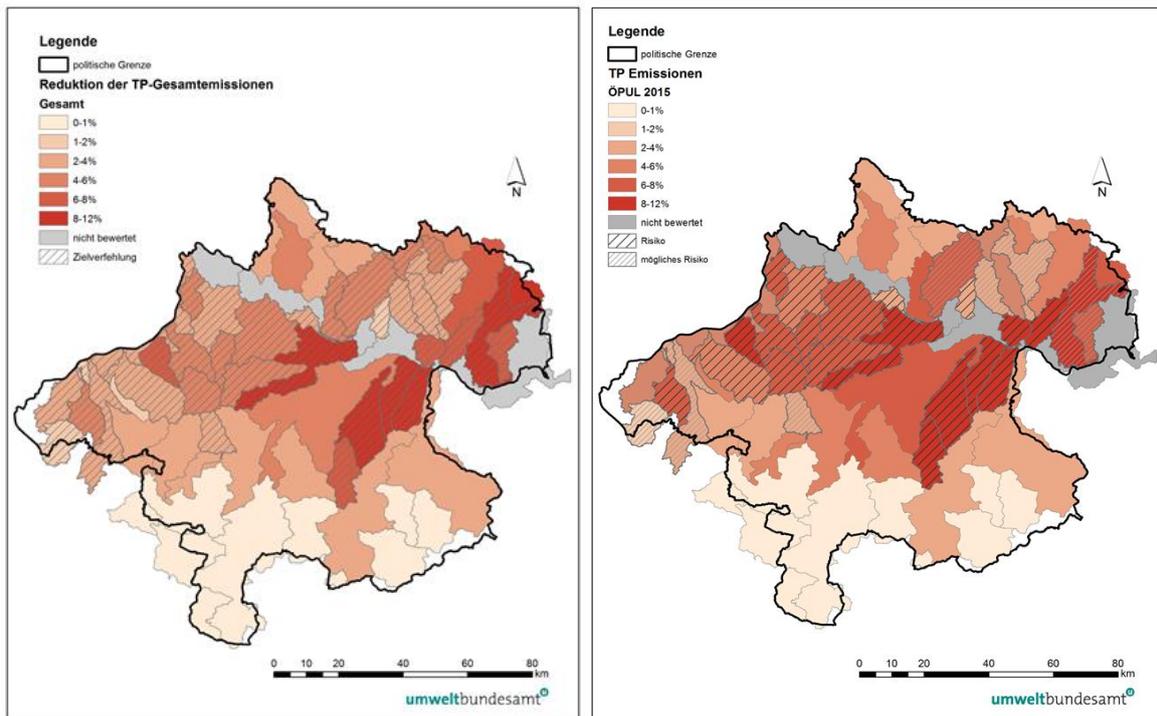


Abbildung 25: Vergleich der prozentuellen Minderung der TP Gesamtemissionen in oberösterreichischen Einzugsgebieten durch ÖPUL 2007 (links) und 2015 (rechts).

Vergleicht man die durch die Maßnahmenprogramme 2007 und 2015 erzielten Minderungen zeigen sich leichte Verbesserungen für den Krasteinerbach und die Aist sowie weite Teile des Innviertels durch ÖPUL 2015.

Die leichten Erhöhungen der Maßnahmenwirksamkeiten im Innviertel sind auf eine leichte Erhöhung der Maßnahmenumsetzung für „Begrünung“ und „Biologische Wirtschaftsweise“ zurückzuführen (Abbildung 26 und Abbildung 27). Grundsätzlich bewirken die Begrünungsmaßnahmen die höchste prozentualen und absoluten Minderungen der Gesamtphosphor Emissionen. Sie werden hauptsächlich im Innviertel und auf der Traun-Enns Platte umgesetzt. Die Maßnahme „Immergrün“ hat dagegen nur eine geringe Wirksamkeit zur Minderung der Phosphor Emissionen, wird jedoch auch im westlichen- und östlichen Mühlviertel, aber kaum auf der Traun-Enns Patte umgesetzt.

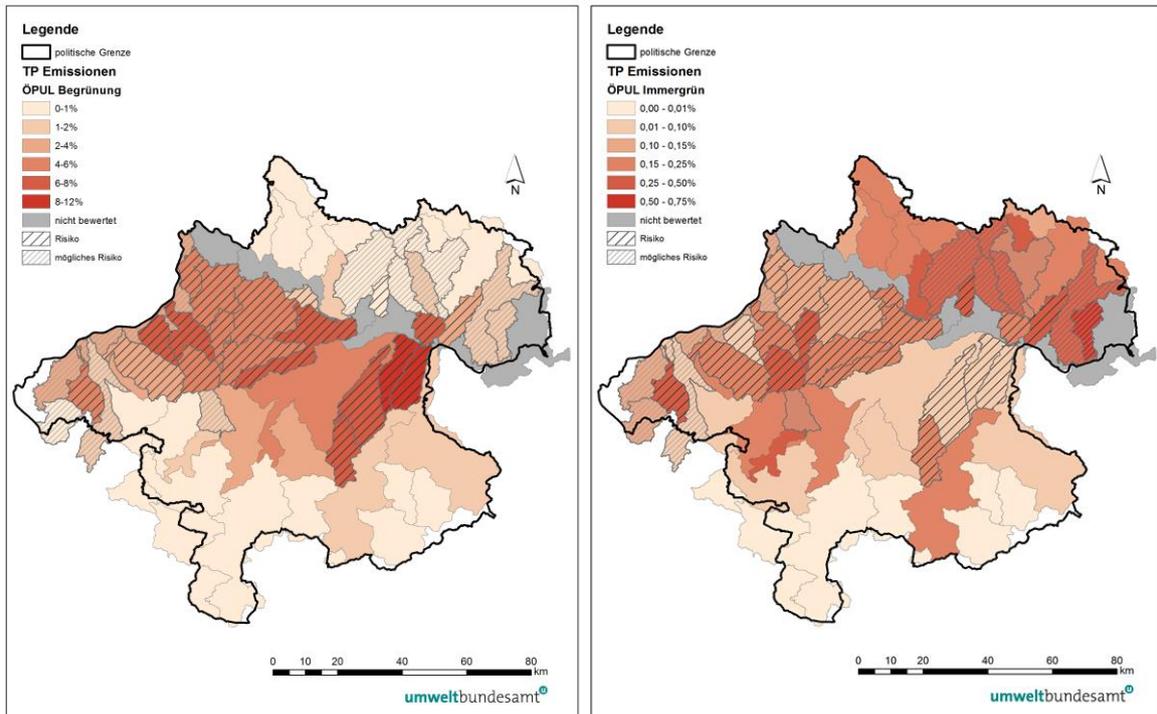


Abbildung 26: Die prozentuellen Minderungen der TP Gesamtemissionen in oberösterreichischen Einzugsgebieten durch ÖPUL 2015, Maßnahme „Begrünung“ (links) und „Immergrün (rechts)“.

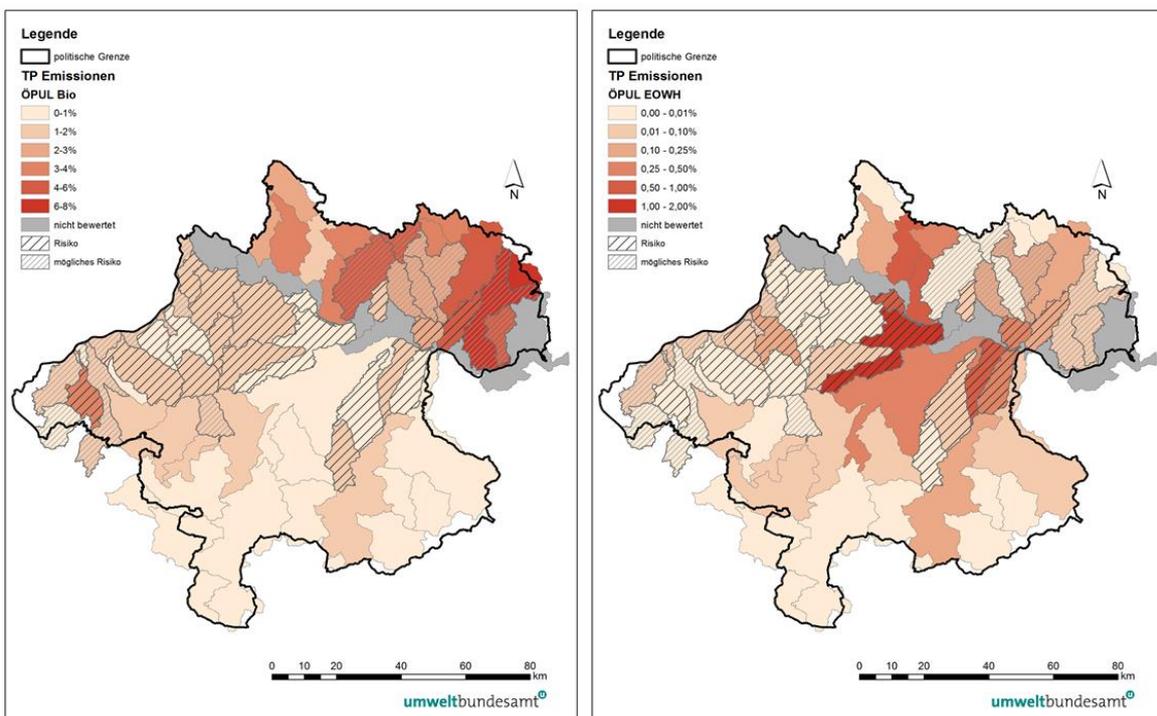


Abbildung 27: Die prozentuellen Minderungen der TP Gesamtemissionen in oberösterreichischen Einzugsgebieten durch ÖPUL 2015, Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ (oben), und „Erosionsschutz“ (unten).

Die Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ findet vorwiegend im Mühlviertel statt. Hier können z.B. in den Einzugsgebieten des Klammleitenbaches und der Großen Naarn Minderungen der TP Emissionen von 5-8% erzielt werden. Die Maßnahme „Erosionsschutz“ hat in Oberösterreich dagegen vorwiegend lokale Bedeutung. Hier kommt es auf Ebene von Flusseinzugsgebieten nur zu Minderungen von maximal 2%.

Werden verschiedene Maßnahmen in demselben Einzugsgebiet wirksam, wie im Kristeinerbach und im Ipfbach können maximale Maßnahmenwirksamkeiten erzielt werden.

Einzugsgebiete mit Risiko der Richtwertverfehlung

Einträge von annähernd 24 t Phosphor/a werden durch ÖPUL 2015 in den 25 Einzugsgebieten mit Richtwertüberschreitung vermieden. Insgesamt zeigen sich in diesen Gebieten deutliche Schwankungen, sowohl was die prozentualen als auch die absoluten Minderungen der Phosphor Emissionen durch ÖPUL betrifft. Die höchsten absolute Minderungen werden in den Einzugsgebieten Innbach (1180) und Krems (1330) mit annähernd 3t Phosphor/a erzielt. Die höchsten prozentualen Minderungen von um die 10% finden sich im Innbach (1180), Kristeinerbach (1350), der Gusen (1380) und im Ipfbach (1340). Die für die Minderungen hauptverantwortlichen Teilmaßnahmen variieren entsprechend der geographischen Lage der Einzugsgebiete. Während im Innviertel und auf der Traun Enns Platte Begrünungsmaßnahmen meist signifikant für die Minderungen der P Emissionen verantwortlich sind, zeigt sich im Mühlviertel eine Dominanz der „Biologischen Wirtschaftsweise“, bei der Vermeidung von P Emissionen in die Gewässer. Im Innbach (1180) und der Aschach (1160) finden sich mit deutlich über 10% auch erhöhte Anteile der Erosionsschutzmaßnahme „Obst, Wein und Hopfen“ (EOWH) (Abbildung 28).

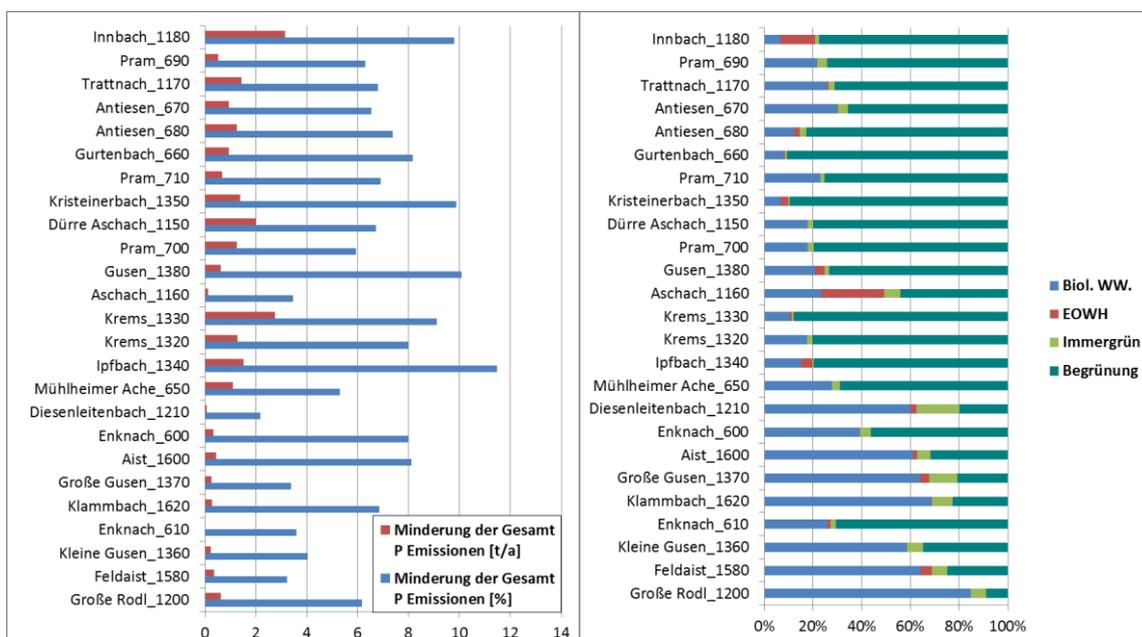


Abbildung 28: Minderung der Gesamt Phosphor Emissionen in [t/a] und [%] (links) durch ÖPUL 2015 und Anteile der Teilmaßnahmen [%] (rechts) in Einzugsgebieten mit modellierter Richtwertauslastung >1.

Minderung der PO₄-P Konzentrationen durch ÖPUL 2015

Bei der Betrachtung der durch ÖPUL 2015 in den Jahren 2015-2020 zu erzielenden PO₄-P Konzentrationen in oberösterreichischen Fließgewässern liegt das Hauptaugenmerk auf der Erreichung der typspezifischen, als 90% Perzentile geregelten Richtwerte. Dementsprechend werden die Einzugsgebiete betrachtet, in denen eine Überschreitung der Richtwerte wahrscheinlich oder sicher ist. Diese unterscheiden sich nicht von den in Zessner et al. (2017), unter Berücksichtigung des ÖPUL 2007 Programmes ausgewiesenen Einzugsgebieten für den Zeitraum 2007-2013.

Ein Vergleich der Emissionsituation ohne Umsetzung und mit Umsetzung von ÖPUL 2015 und den daraus resultierenden und mit Modellabweichungen aus der Periode 2007-2013 korrigierten PO₄-P Konzentrationen zeigt eine prognostizierte Konzentrationsminderung vom im Mittel <0,01 mg PO₄-P/l. Vergleicht man diesen Effekt mit der Höhe der Überschreitung in den Einzugsgebieten, wird deutlich, dass die Wirksamkeit der Maßnahmen im Extremfall mehr als eine Größenordnung unter der notwendigen Wirksamkeit liegt (z.B. Pram und Antiesen) (Abbildung 29). Hier wäre eine weitere Reduktion der Konzentrationen von bis zu 0,2 mg PO₄-P notwendig (Pram), um die vorgeschriebenen Richtwerte zu unterschreiten. Im Mittel müssten die Konzentrationen in vielen der ausgewählten Einzugsgebieten mehr als halbiert werden (z.B. Trattnach, Dürre Aschach, Aschach), in einzelnen Einzugsgebieten müssten die Konzentrationen gar um 70% reduziert werden, um den Richtwert zu erreichen (Gusen, Innbach). Für die Einzugsgebiete des Kristeinerbaches, des Gurtenbaches, der Enknach, des Diesenleitenbaches und des Klammabaches liegen ausschließlich unkorrigierte, modellierte Konzentrationen vor, was die Ungenauigkeit der Aussagen in diesen Einzugsgebieten erhöht. Kommt es entsprechend der Modellergebnisse im Kristeinerbach und im Gurtenbach noch zu erheblichen Überschreitungen des Richtwertes, liegen die modellierten c-90 Konzentrationen für PO₄-P in der Enknach, im Diesenleitenbach und im Klammabach nur mäßig über dem Richtwert. Auch in der Großen Gusen und der Kleinen Gusen (Einzugsgebiete mit höheren PO₄-P Richtwerten) kommt es entsprechend der Prognose noch zu deutlichen Überschreitungen der Richtwerte.

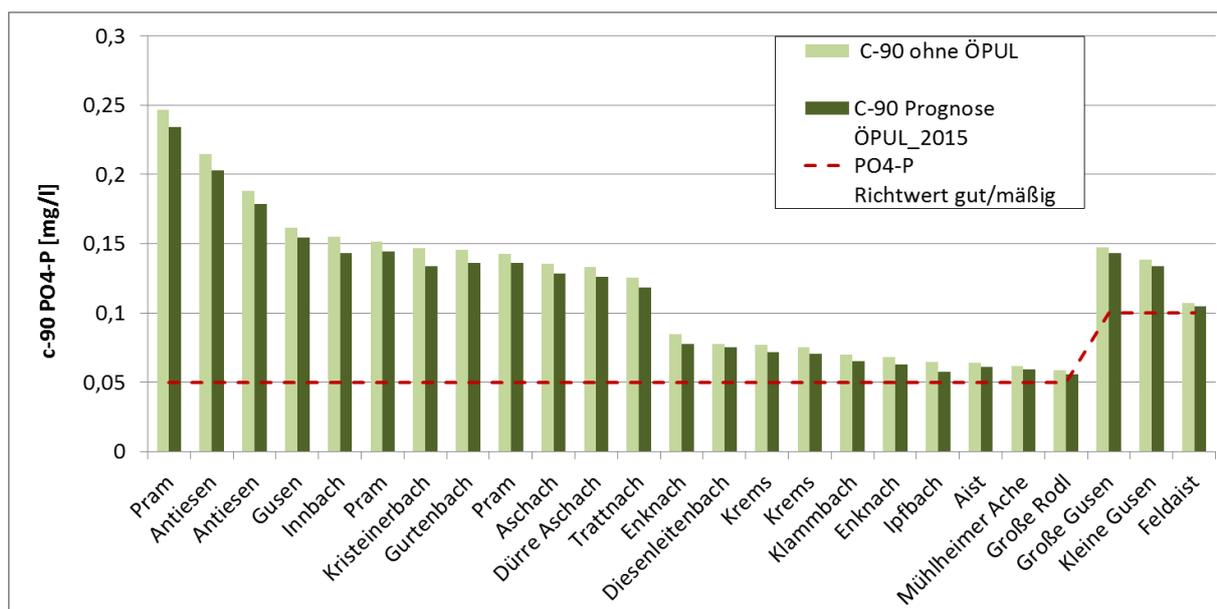


Abbildung 29: Modellerte und mit Modellabweichungen an Messwerten für den Zeitraum 2007-2013 korrigierte c-90 PO₄-P Konzentrationen mit ÖPUL 2007 und ÖPUL 2015 sowie die typspezifischen Richtwerte für PO₄-P.

Betrachtet man die Überschreitungen der Richtwerte wird deutlich, dass die Massnahmenwirksamkeiten in vielen Einzugsgebieten deutlich erhöht werden muss.

Eine solche Steigerung der Maßnahmenwirksamkeit scheint bei Weiterführung der bisherigen Maßnahmen und Maßnahmenstrategien in den Einzugsgebieten kaum machbar. Es wird deutlich, dass weitergehende Maßnahmen und Maßnahmenstrategien notwendig sind, um eine Unterschreitung der Richtwerte zu erzielen.

In den Jahren 2015-2020 werden Richtwertauslastungen von 150% bis > 300%, Minderungen von 4-8% durch ÖPUL 2015 gegenüberstehen, während in Einzugsgebieten mit Richtwertauslastungen von <150% die Minderungen bei 2-8% liegen. Diese Zahlen verdeutlichen erneut die große Diskrepanz für eine Erreichung der Richtwerte durch die bisher umgesetzte Maßnahmenstrategie, zeigen aber auch, dass bislang noch kein klares auf die Erzielung der Richtwerte zugeschnittenes Konzept der Maßnahmen Priorisierung umgesetzt wird.

Betrachtet man die einzugsgebietsbezogene räumliche Verteilung der Maßnahmenwirksamkeit von ÖPUL 2015 unter Berücksichtigung sicherer, möglicher und keiner Richtwertunterschreitung (Abbildung 25 - Abbildung 27), wird die bisherige räumliche Maßnahmenstrategie nach dem „Gießkannenprinzip“ oder einer erhöhten „Machbarkeit bei größerer Akzeptanz“ deutlich. Auch hier muss in Zukunft überlegt werden, wie der Ressourceneinsatz durch die Maßnahmenprogramme besser zu steuern wäre, um eine möglichst effiziente Maßnahmenwirksamkeit zu erzielen.

Ein einfach zu postulierendes aber ebenso schwer in die Praxis umzusetzendes Ziel wäre es zukünftige über das bisherige Programm hinausgehende Maßnahmenaktivitäten in Gebieten mit sicheren Richtwertüberschreitungen zu bündeln und sie den entsprechenden naturräumlichen Gegebenheiten anzupassen. Anstrengungen in diese Richtung sind bereits durch hohe prozentuale Minderungen in Einzugsgebieten, wie der Krems, dem Ipfbach und Kristeinerbach, dem Innbach und der Trattnach spürbar. Eine konsequent umgesetzte Gesamtstrategie wird aber nicht ersichtlich. Zu häufig zeigen Einzugsgebiete mit einem hohen Bedarf an Maßnahmen (Abbildung 26 und Abbildung 27: breite, schwarze Schraffur=sicheres Risiko) nur geringe Minderungen, welche nicht selten von Einzugsgebieten ohne jedes Risiko überschritten werden. Neben einer erhöhten Maßnahmenumsetzung in den Einzugsgebieten mit hohem Risiko (auch durch intensiviertere Beratungstätigkeiten) wäre ebenfalls ein intensiverer Maßnahmeneinsatz in den Einzugsgebieten zu priorisieren, in denen ein mögliches Risiko der Richtwertüberschreitung vorliegt (enge, graue Schraffur). Auch hier zeigt sich für Oberösterreich ein heterogenes Bild mit Einzugsgebieten dieser Kategorie, in denen bereits eine deutliche Minderung der TP Emissionen erzielt werden kann, wie z.B. in der Großen Naarn (ID 1640) und solchen, in denen eher geringe Maßnahmenwirksamkeiten erzielt werden, wie der Feldaist (ID 1580).

Eine solche, stärker richtwertbezogenen Vorgehensweise, wäre als Ergänzung zu den bestehenden Maßnahmenumsetzungen anzulegen. Weitergehende Maßnahmen könnten aber stark auf die genannten Einzugsgebiete fokussiert sein. Wie solche weitergehenden Maßnahmen beschaffen sein könnten und welche Wirksamkeiten hiermit erzielt werden können, soll in Kapitel **Fehler!** **Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 4.2 näher dargelegt werden.

Bei den prozentualen Wirksamkeiten der Vermeidung von PO₄-P in Oberflächengewässern zeigen sich dieselben räumlichen Verteilungen, wie bei der Darstellung der Vermeidung der TP Emissionen in den Abbildung 25 - Abbildung 27. Daher wird an dieser Stelle auf eine Darstellung verzichtet.

3.4.2 Berücksichtigung der Verortung von Maßnahmen

Für die Modellierung der Wirksamkeit von Maßnahmen aus ÖPUL 2015 wurden zwei Szenarien im Rahmen des *vorbeugenden Oberflächengewässerschutzes auf Ackerflächen* angenommen. Zum einen die ÖPUL Maßnahme OG, als dauerhafter und winterharter Gewässerrandstreifen von mindestens 12 m Breite, und zum anderen das Szenario BRACHE, das auf der ÖPUL Maßnahme ökologische Vorrangflächen (OVF) aufbaut. Dieses Szenario umfasst somit OG und zusätzlich Grünbrachen mit einer Ausweisung zur OVF, die aufgrund ihrer Gewässernähe und länglichen Form potentiell ähnlich sind zu Gewässerrandstreifen. Die Modellergebnisse der beiden angenommenen Maßnahmen OG und BRACHE sind in der Tabelle 5 zu sehen. Neben der Reduktion des erosiven Phosphoreintrags und der zur Umsetzung benötigten Fläche, wurde auch die Effizienz der Maßnahmen als Verhältnis der beiden erstgenannten Größen berechnet. Die Emissionsreduktionen beziehen sich auf den Gebietsauslass der jeweiligen Testeinzugsgebiete. Für eine Umsetzung von BRACHE ergeben sich für die drei Einzugsgebiete (EZG) Pram, Gusen und Krems deutlich höhere Emissionsreduktionen mit vierfach erhöhten Werten im Vergleich zur Maßnahme OG. Dies lässt sich auf die höhere Flächenumsetzung für BRACHE zurückführen, wobei insgesamt jedoch beide Maßnahmen auf nur maximal 1,6% aller landwirtschaftlich genutzten Flächen umgesetzt wurden. Die Emissionsreduktionen für BRACHE liegen trotz deutlich höherer Werte als für OG bei nur 1,6% bzw. 3,8% der Gesamteinträge von PP für die Einzugsgebiete Pram und Gusen. Die vergleichsweise hohe prozentuale Emissionsreduktion von 9,8% im EZG der Krems könnte auch auf eine generelle Frachtunterschätzung der Krems zurückzuführen sein, die in weiterer Folge zu einer Überschätzung der prozentualen Maßnahmenwirksamkeit führt und somit einen Modellartefakt darstellt (Zessner et al. 2017). Zusätzlich zeigt sich für alle Einzugsgebiete eine relativ geringe Effizienz im Bereich von 1,6 bis 3,3 kg ha⁻¹ a⁻¹ für beide Maßnahmen, die die generell geringe Wirksamkeit von OG und BRACHE widerspiegelt.

Tabelle 5: Reduktionen des erosiven Phosphoreintrags infolge der Umsetzung der Maßnahmen OG und BRACHE im Rahmen des ÖPUL Programms 2015, die dafür umgesetzte Fläche und die Flächeneffizienz der Maßnahmen als Emissionsreduktion pro umgesetzte Fläche für die drei Testeinzugsgebiete.

	Reduktion (%)		umgesetzte Fläche (%)		Effizienz (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	
	OG	BRACHE	OG	BRACHE	OG	BRACHE
Pram	0,7	3,8	0,4	1,2	1,61	2,99
Gusen	0,3	1,6	0,1	0,6	3,05	3,31
Krems	1,6	9,8	0,2	1,6	2,69	2,47

Eine Unterteilung der Flächen mit einer Maßnahmenumsetzung auf von PhosFate ausgewiesenen Risikoflächen und auf Flächen mit keiner Risikoausweisung zeigt ein durchgehend höheres Ausmaß der Maßnahmen auf Flächen ohne Risikoausweisung sowohl für OG als auch für BRACHE (Abbildung 30). Die geringfügigen Diskrepanzen zwischen den Werten der umgesetzten Fläche in Tabelle 5 und denen in der Abbildung 30 ergeben sich durch die alleinige Berücksichtigung von Feldstücken in der Abbildung 30, wodurch sich für die BRACHE prozentual geringere Flächenanteile ergeben. Diese Beschränkung wurde vorgenommen um Unsicherheiten bei der Berechnung der Risikoflächen auf sogenannten Mischnutzungsflächen zu vermeiden. Mischnutzungsflächen stellen landwirtschaftliche Flächen da, die nicht im Feldstück-Layer des INVEKOS-GIS enthalten sind und daher nicht eindeutig zu einer Acker- oder Grünlandnutzung zugewiesen werden konnten (Zessner et al. 2017, Anhang C,

Landnutzungsklasse 10). Zudem ist erneut ersichtlich, dass prozentual mehr Grünbrachen als OVF (BRACHE) umgesetzt wurden als ausgewiesene Gewässerrandstreifen (OG).

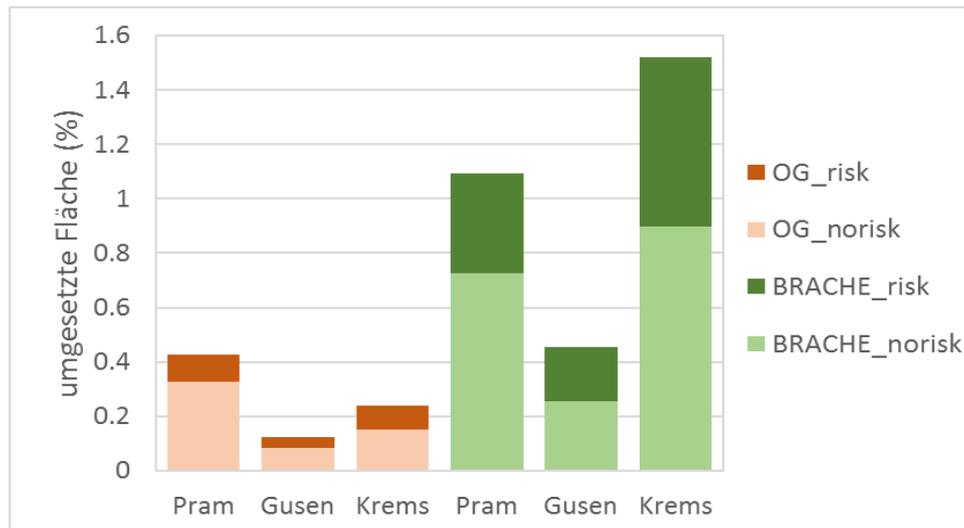


Abbildung 30: Die umgesetzte Fläche der beiden Maßnahmen OG und BRACHE aufgeteilt nach einer Umsetzung auf Risikoflächen und auf keinen Risikoflächen für alle drei Testeinzugsgebiete.

Eine Betrachtung der Emissionsreduktion pro Fläche auf den Feldstücken resultiert für alle drei Einzugsgebiete in einer höheren Effizienz der Maßnahme BRACHE (siehe Abbildung 31).

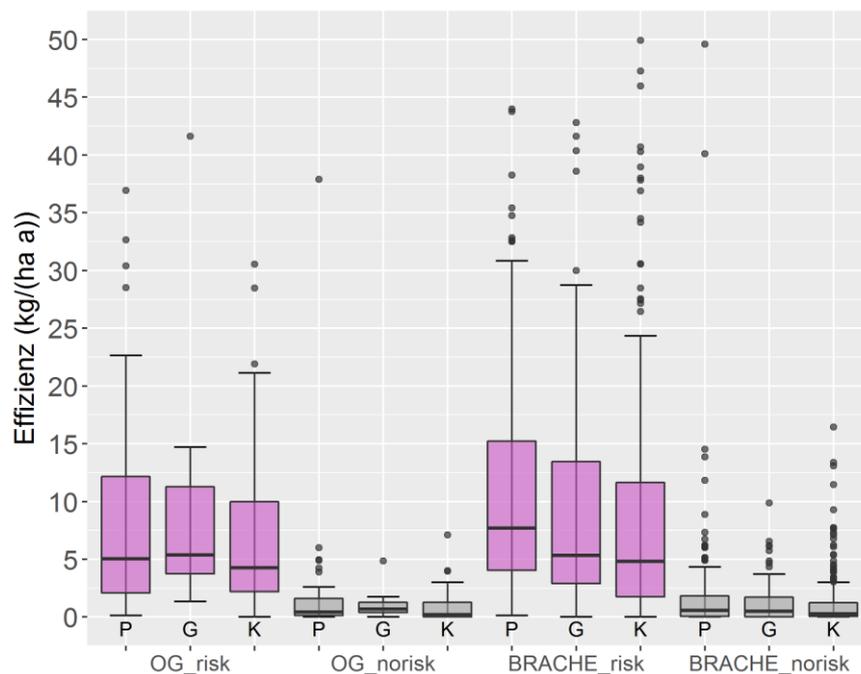


Abbildung 31: Flächeneffizienz der Maßnahmen OG und BRACHE als Verhältnis der Emissionsreduktion (kg a^{-1}) zur umgesetzten Fläche (ha) für die Feldstücke der drei Testeinzugsgebiete Pram (P), Gusen (G) und Krens (K) mit einer Ausweisung zur Risikofläche (violett) und keiner Risikoausweisung.

Zudem zeigt sich eine deutliche Effizienzsteigerung beider Maßnahmen für eine Umsetzung auf Risikoflächen. Für OG ergibt sich eine Effizienz des P-Rückhaltes von bis zu $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf Nicht-Risikoflächen und bis zu $12,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf Risikoflächen für die Hälfte der Feldstücke der drei EZG. Hinsichtlich der Maßnahme BRACHE zeigt sich für die Umsetzung auf Flächen ohne Risikoausweisung eine Effizienz von bis zu $1,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, wohingegen auf Risikoflächen eine Effizienz von bis zu $15,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für 50% der Feldstücke erreicht werden kann.

Eine Verortung der Emissionsreduktionen infolge der Umsetzung von BRACHE und OG ist beispielhaft für das Einzugsgebiet der Pram in der Abbildung **32** zu sehen. Die Mischnutzungsklasse, die aufgrund der fehlenden Datengenauigkeit nicht weiter klassifiziert werden konnte, wurde aus der Analyse ausgeschlossen. Die dargestellten Feldstücke zeigen somit Felder mit Ackerland- oder Grünlandnutzung, die im INVEKOS-GIS-Datensatz des Jahres 2010 enthalten sind. Es ergeben sich Emissionsreduktionen auf Feldstücken oberhalb der Maßnahmen im Bereich von $< 0,1$ bis $14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, wobei vorrangig geringe Reduktionen bis $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auftreten. Zudem ist die potentiell ähnliche Wirkung der als ökologische Vorrangflächen ausgewiesenen Grünbrachen zu Gewässerrandstreifen zu erkennen. Die Bezeichnung OEPUL_BRACHE bedeutet hierbei, dass es sich um die ausgewählten Grünbrachen exklusive der ausgewiesenen Gewässerrandstreifen (OG) handelt.

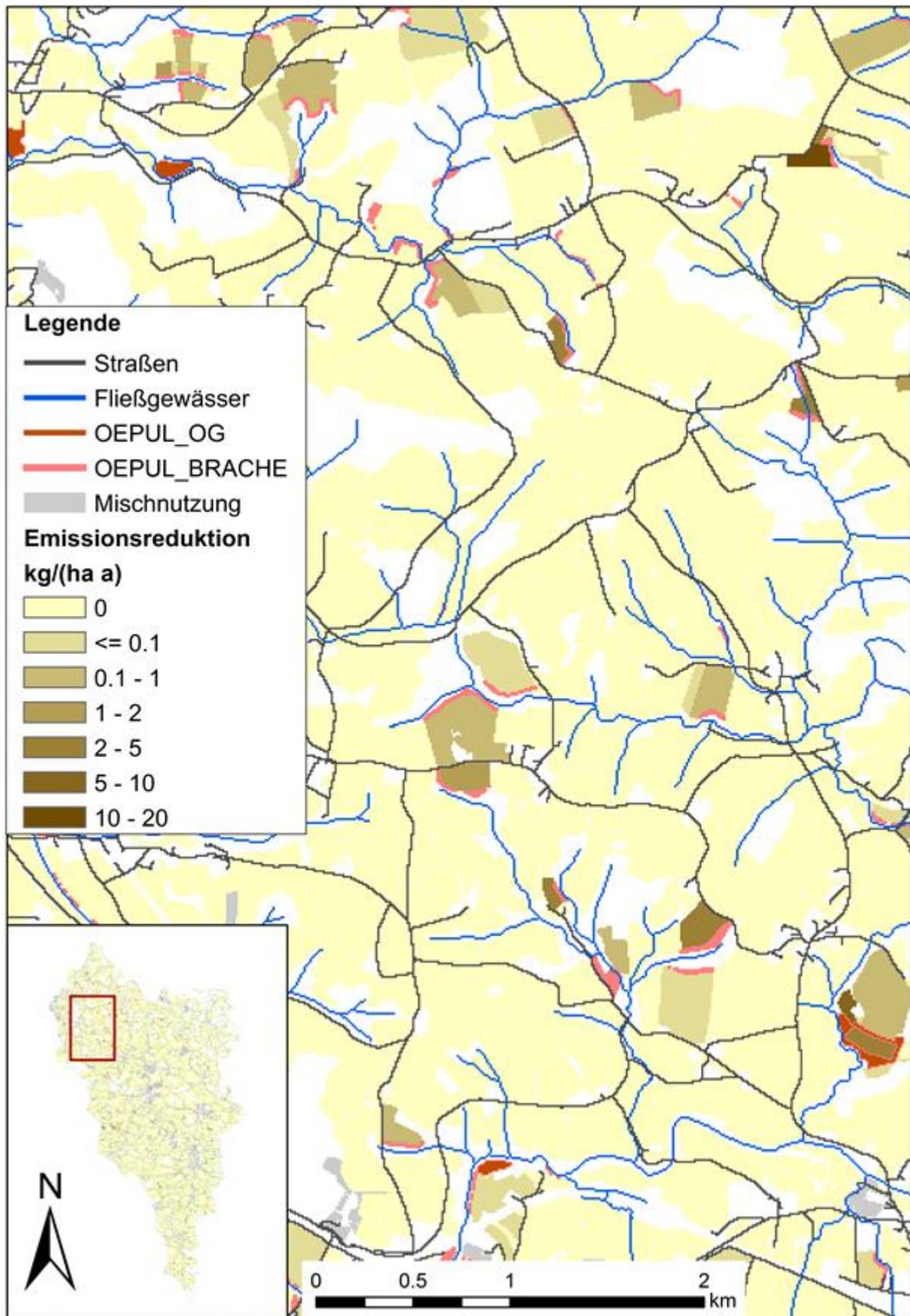


Abbildung 32: Emissionsreduktion infolge der Umsetzung der ÖPUL Maßnahme OG (ÖPUL_OG) sowie ausgewählter Grünbrachen als OVF (ÖPUL_BRACHE) für das Testeinzugsgebiet der Pram.

4 Handlungsoptionen zur weitergehenden Emissionsreduktion

4.1 Szenarien auf Ebene von Einzugsgebieten

Da die Maßnahmenzenarien T1 („realistische Teilnahme“) und T2 („ambitionierte Teilnahme“) in den Einzugsgebieten mit aktueller Richtwertüberschreitung in der Regel nicht zu einer Unterschreitung der Richtwerte führen, werden hier ausschließlich Ergebnisse von T3 („potenziell mögliche Teilnahme“), also die maximal möglichen Wirksamkeiten dargestellt.

Stickstoff

Die Berechnung der Szenarien findet für alle oberösterreichischen Einzugsgebiete statt, wird aber nur für Einzugsgebiete mit möglicher Richtwertverfehlung (Modellergebnisse $>0,7 \cdot RW$ und $<1,3 \cdot RW$) dargestellt (Tabelle 6). Dies sind unter Verwendung langfristiger Klima- und Abflussbedingungen insgesamt 18 Einzugsgebiete. Die modellierten Werte weisen unterschiedliche Genauigkeiten auf, die in der Regel in einem Bereich von $\pm 30\%$ liegen. Um genauere Aussagen über die Erreichung der Richtwerte machen zu können, wurden daher die Modellergebnisse mit den prozentualen Abweichungen von Messwerten der vorangegangenen Modellierung (2007-2013) korrigiert. Prognostizierte Überschreitungen für den Zeitraum 2015-2020 lassen sich für den Ipfbach, den Krusteinerbach und die Feldaist ausweisen.

Tabelle 6: Modellerte, anhand von Modellabweichungen (2007-2013) von Messwerten korrigierte c-90 NO_3-N Konzentrationen in Einzugsgebieten mit möglichem Risiko ($0,7-1,3 \cdot RW$) unter Berechnung weitergehender Maßnahmenzenarien bei potentiell möglicher Teilnahme (gelb = höchste Konzentrationen, grün= niedrigste Konzentrationen).

	Typsp. RW NO_3-N [mg/l]	ÖPUL_2015 [mg/l]	Maßnahmen-T3- potentiell mögliche Teilnahme						
			N0 [mg/l]	N1 [mg/l]	N3m [mg/l]	N7 [mg/l]	N12 [mg/l]	N13 [mg/l]	N14 [mg/l]
Ipfbach (1340)	5,5	7,8	7,6	7,2	7,3	6,7	7,2	7,3	7,2
Krusteinerbach (1350)	5,5	6,6	6,4	6,1	6,1	5,7	6,0	6,2	6,1
Gurtenbach (660)	5,5	5,1	5,1	4,8	4,9	4,5	4,8	5,0	4,9
Kleine Gusen (1360)	5,5	4,8	4,7	4,6	4,7	4,3	4,6	4,7	4,7
Krems (1330)	5,5	4,8	4,7	4,6	4,6	4,2	4,5	4,6	4,5
Große Gusen (1370)	5,5	4,7	4,7	4,5	4,6	4,4	4,5	4,7	4,6
Pram (710)	5,5	4,7	4,7	4,5	4,6	4,1	4,5	4,6	4,5
Gusen (1380)	5,5	4,6	4,5	4,4	4,5	4,1	4,4	4,5	4,5
Pram (700)	5,5	4,5	4,5	4,3	4,5	4,0	4,4	4,5	4,5
Dürre Aschach (1150)	5,5	4,4	4,4	4,2	4,3	3,9	4,2	4,3	4,3
Pram (690)	5,5	3,8	3,7	3,6	3,7	3,4	3,6	3,7	3,7
Innbach (1180)	5,5	3,5	3,5	3,3	3,4	3,1	3,3	3,4	3,4
Antiesen (680)	5,5	3,5	3,5	3,3	3,4	3,1	3,3	3,4	3,4
Trattnach (1170)	5,5	3,1	3,1	3,0	3,1	2,8	3,0	3,1	3,0
Antiesen (670)	5,5	3,1	3,1	3,0	3,0	2,8	3,0	3,1	3,0
Aschach (1160)	5,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,7	2,9	3,0	3,0
Feldaist (1570)	4,0	4,3	4,3	4,2	4,3	4,0	4,2	4,3	4,3
Kartenbach (3650)	4,0	3,7	3,7	3,6	3,7	3,5	3,6	3,7	3,7

Die Szenarien Berechnungen zeigen, dass im Ipfbach und im Krusteinerbach noch mit einer leichten – durch die Aufenthaltszeiten verzögerten – Wirksamkeit bereits vor 2015 durchgeführter Maßnahmen zu rechnen ist (NO). Allerdings reichen die Minderungen (wie bereits erwähnt) bei weitem nicht aus, um die Richtwerte zu unterschreiten. In der Feldaist ist ein solcher Effekt nicht nachweisbar. Generell zeigen hier die betrachteten Maßnahmen kaum zu deutlichen Minderungen der Konzentrationen. Im Falle des Ipfbaches kann auch die Maßnahme N7 „Düngung nach Bodenvorrat“, die wirksamste Maßnahme in allen Einzugsgebieten mit möglichem Risiko der Richtwertüberschreitung, selbst bei maximaler Umsetzung alleine keine Unterschreitung bewirken. Hierzu wäre eine Kombination mit anderen wirksamen Maßnahmen, wie N12 „Späterer Düngezeitpunkt Mais“ oder N14 „Abluftreinigung der Stallluft“ nötig. Ähnliches gilt für den Krusteinerbach und die Feldaist. Bei Letzterer könnte jedoch eine konsequente Umsetzung von N7 ausreichen, um die Richtwerte in Zukunft zu erzielen.

Phosphor

Handlungsoptionen in Form von weitergehenden Maßnahmenszenarien für die weitere Minderung der Phosphor Emissionen und PO₄-P Konzentrationen werden im Folgenden nur für die maximale Teilnahme (T3) und für Maßnahmen mit erhöhter Wirksamkeit vorgestellt. Dazu gehören die Maßnahme P1b „Durchgehende Bodenbedeckung auf steilen Hängen“, P3-4m „Maximale Begrünung von Acker inkl. Mulch- und Direktsaat“ und P5 „Fruchtfolgeaufgabe auf steilen Hängen“ (Kapitel 2.3.2). Die aus den Maßnahmenszenarien resultierenden PO₄-P Konzentrationen werden (als 90 Perzentil) modelliert und den modellierten Konzentrationen für 2015-2020 mit ÖPUL 2015 und ohne ÖPUL 2015 gegenübergestellt (Abbildung 33). Dabei findet erneut eine Korrektur der mit unterschiedlichen Ungenauigkeiten behafteten Modellergebnisse in den Einzugsgebieten statt. Dafür werden die prozentualen Differenzen der vorhandenen Gütemessungen und der modellierten Ergebnisse aus den Jahren 2007-2013 auf die Modellergebnisse umgelegt.

Es zeigt sich, dass die Maßnahme P5 häufig am wirksamsten ist. In Gebieten wie der Enknach, dem Ipfbach und dem Krusteinerbach dagegen wirkt die Maßnahme „Durchgehende Bodenbedeckung auf steilen Hängen“ besser. Insgesamt führt eine maximale Umsetzung der vorgestellten Maßnahmenszenarien jedoch nur zu einer Minderung, die meist geringfügig über der Minderung des bisherigen Maßnahmenprogrammes liegt. Damit können auch bei diesen maximalen Umsetzungen mit Ausnahme weniger Einzugsgebieten die Richtwerte nicht unterschritten werden.

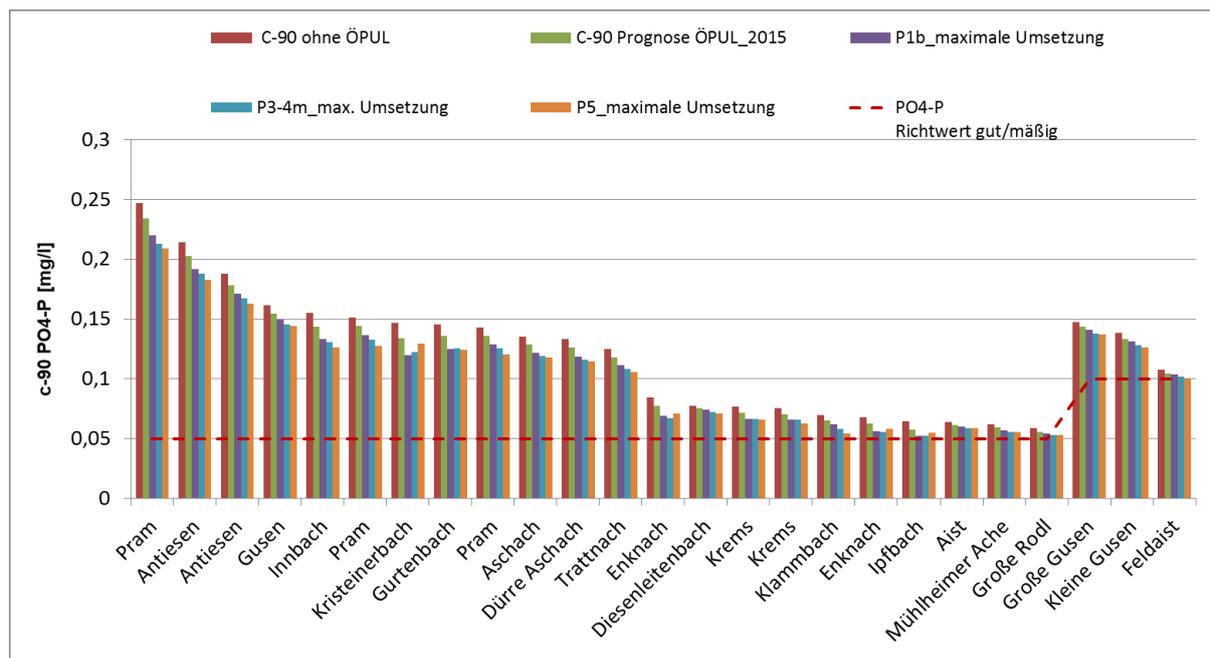


Abbildung 33: Vergleich modellierter und anhand von Abweichungen aus Modell- und Messergebnissen (2007-2013) korrigierter c-90 PO₄-P Konzentrationen unter Berücksichtigung der Maßnahmenwirksamkeit von ÖPUL 2015, ohne ÖPUL sowie von weitergehenden Maßnahmen Szenarien bei maximaler Umsetzung (T3) mit den verordneten Richtwerten.

Zu den angesprochenen Ausnahmen gehören die Große Rodl, die nur eine geringe Richtwertüberschreitung ausweist und mit Abstrichen der Klammnbach, in dem P5 eine große Wirkung entfalten kann. Andere Einzugsgebiete, wie die Feldaist und die Enknach können durch P 3-4m also „Maximale Begrünung von Acker inkl. Mulch- und Direktsaat“ oder P1b „Durchgehende Bodenbedeckung auf steilen Hängen“ mit maximalen Anstrengungen in die Nähe des Richtwertes gebracht werden. In den allermeisten Einzugsgebieten jedoch zeigt sich, dass auch unter Berücksichtigung weitergehender Maßnahmen und Maßnahmenteilnahmen mit der praktizierten Maßnahmenstrategie für PO₄-P auch in Zukunft keine Unterschreitung der Richtwerte zu erwarten ist.

Vorschläge und mit Modellen berechnete Beispiele für weitergehende Maßnahmen und Maßnahmenstrategien, die auf Grundlage einer zielgenauen Verortung (optimierte Teilnahme) erhöhte Wirksamkeiten bei der Minderung der PO₄-P Konzentrationen aufweisen können, werden im folgenden Kapitel aufgezeigt.

4.2 Szenarien mit Verortung von Maßnahmen

Die nachfolgenden Modellergebnisse für Flächen mit keiner Risikoausweisung (norisk) beruhen auf der Differenz der Berechnungen für Risikoflächen (risk) und alle Flächen (all), sodass kein zusätzliches Szenario berechnet wurde. Die prozentualen Reduktionen des PP-Eintrags beziehen sich jeweils auf den Gebietsauslass der Teileinzugsgebiete. Bei dem Einzugsgebiet der Krems kam es infolge der geringen zeitlichen Auflösung und gleichzeitigen hohen Variabilität des zugrundeliegenden Datensatzes für die Frachtberechnung der PP-Gewässerfrachten bei der Modellkalibration zu einer

Fehleinschätzung und somit nachfolgend zu einer Frachtunterschätzung. Dies führt in den Modellergebnissen zu prozentual erhöhten und absolut verringerten Emissionsreduktionen aufgrund der insgesamt zu gering angenommenen Fracht. Letzteres spiegelt sich auch in einer Unterschätzung der Effizienz von Maßnahmen wider. Die Ergebnisse der Emissionsminderung und der Effizienz der Maßnahmen für das EZG der Krems werden aufgrund der relativen Vergleichbarkeit innerhalb der Krems in Tabellenform dargestellt, jedoch grau hinterlegt und in der Auswertung nicht berücksichtigt. Der jeweilige Flächenbedarf einer Maßnahme bleibt von dem Modellartefakt unbeeinflusst und wird daher auch für die Krems dargestellt.

4.2.1 Einzelmaßnahmen

Gewässerrandstreifen

Die Ergebnisse der Modellierung von Gewässerrandstreifen in Form der Reduktion des PP-Eintrags, der benötigten Fläche und der sich daraus ergebenden Effizienz der Maßnahme sind in der Tabelle 7 für die drei Einzugsgebiete Pram, Gusen und Krems dargestellt. Bei einer Breite von 10 m ergibt sich bei einer alleinigen Umsetzung auf Risikoflächen in Summe eine nur geringfügig höhere Emissionsreduktion als auf Flächen mit keiner Risikoausweisung. Die Effizienz der Maßnahme auf Flächen mit einer Risikoausweisung ist jedoch im Mittel wesentlich höher (Faktor 3 - 4), da sich hier eine ähnliche Emissionsreduktion bei der Umsetzung der Maßnahme auf einer wesentlich geringeren Fläche erreichen lässt. Bei einer Breite von 30 m ist zudem auch die insgesamt erreichbare Emissionsreduktion auf Risikoflächen deutlich höher als auf Nicht-Risikoflächen (26,9% bzw. 14,0% anstatt 13,5% bzw. 7,2% für die Einzugsgebiete Pram und Gusen). Die höchste Effizienz ergibt sich für das Szenario mit einer Breite von 10 m Randstreifen und einer Umsetzung auf alleinigen Risikoflächen mit 13,3 bzw. 11,7 kg ha⁻¹ a⁻¹ für die EZG Pram und Gusen. In Bezug auf die Emissionsreduktionen zeigen sich für diese Variation jedoch deutlich geringere als für die Umsetzung von GRS auf einer Breite von 30 m, sodass eine Umsetzung auf 30 m Breite und auf alleinigen Risikoflächen eine wirkungsvollere Maßnahme zur Minderung des PP-Eintrags darstellt und mit 9,0 bzw. 9,8 kg ha⁻¹ a⁻¹ für die EZG Pram und Gusen immer noch eine vergleichsweise gute Effizienz zur Reduktion der partikulären Phosphoreinträge aufweist.

Tabelle 7: Reduktionen des erosiven Phosphoreintrags infolge einer Begrünung von Gewässerrandstreifen auf einer Breite von 10 bzw. 30 m und auf ausgewiesenen Risikoflächen bzw. auf allen Flächen, sowie die dafür umgesetzte Fläche und die Effizienz der Maßnahmen als Emissionsreduktion pro umgesetzte Fläche für die drei Testeinzugsgebiete.

	Reduktion (%)			umgesetzte Fläche (%)			Effizienz (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)		
	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems
GRS_10_risk	7,9	3,5	16,6	0,6	0,4	0,5	13,32	11,70	12,85
GRS_10_norisk	6,4	3,2	15,9	1,4	1,4	1,5	4,34	2,93	4,33
GRS_10_all	14,4	6,7	32,6	1,9	1,7	2,1	6,91	4,81	6,54
GRS_30_risk	26,9	14,0	32,7	2,8	1,8	2,5	9,00	9,78	5,42
GRS_30_norisk	13,5	7,2	23,5	4,9	4,1	5,7	2,55	2,17	1,71
GRS_30_all	40,5	21,3	56,2	7,7	5,9	8,2	4,88	4,45	2,85

Die generell höhere Effizienz einer Emissionsreduktion des PP bei einer Umsetzung der Gewässerrandstreifen auf alleinigen Risikoflächen wird auch in der Abbildung 34 ersichtlich. Im Mittel liegt die Effizienz einer Anwendung von GRS auf einer Breite von 10 bzw. 30 m auf Nicht-Risikoflächen bei bis zu 2,4 bzw. 1,3 kg ha⁻¹ a⁻¹, wohingegen sie auf ausgewiesenen Risikoflächen bei bis zu 15,3 bzw. 11,2 kg ha⁻¹ a⁻¹ für die Hälfte aller Feldstücke der Pram und Gusen liegt.

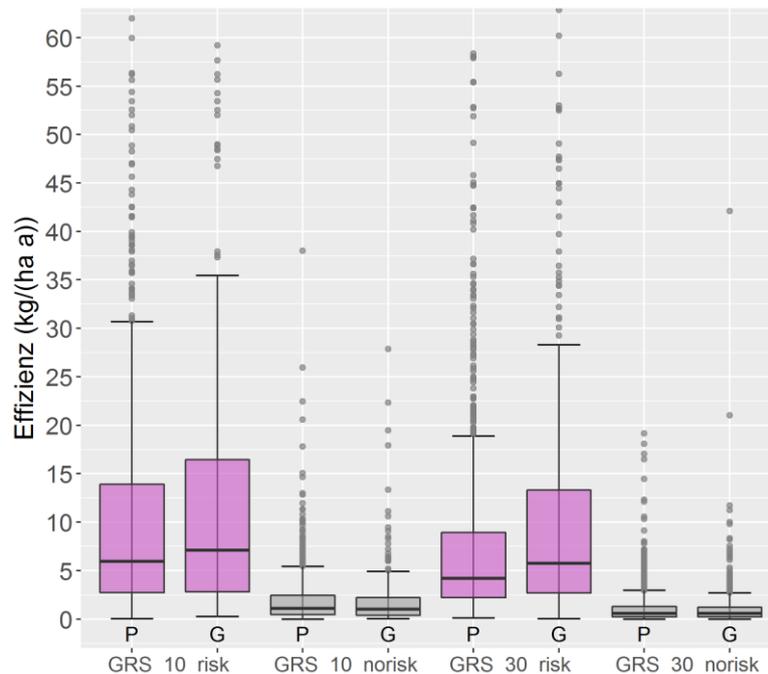


Abbildung 34: Flächeneffizienz bei einer Begrünung der Gewässerrandstreifen (GRS) auf einer Breite von 10 bzw. 30 m als Verhältnis der Emissionsreduktion (kg a⁻¹) zur umgesetzten Fläche (ha) für die Feldstücke der Testeinzugsgebiete Pram (P) und Gusen (G) mit einer Ausweisung zur Risikofläche (violett) und keiner Risikoausweisung.

Straßenrandstreifen

In der Tabelle 8 sind die Modellergebnisse für die verschiedenen Variationen einer Umsetzung von Straßenrandstreifen als Reduktion des PP-Eintrags, der benötigten Fläche und der sich daraus ergebenden Effizienz aufgelistet. Sowohl für eine Straßenrandbreite von 10 m als auch für 30 m ergibt sich für eine Umsetzung auf Risikoflächen eine höhere Reduktion des PP-Eintrags als auf Flächen mit keiner Risikoausweisung. Die höchsten Emissionsminderungen auf Risikoflächen werden bei SRS mit einer Breite von 30 m mit 17,3 bzw. 12,8% Reduktion des PP für die EZG Pram und Gusen erreicht. Zudem erfordert eine Anwendung auf Risikoflächen einen geringeren Flächenbedarf als auf Nicht-Risikoflächen. Dieser führt in Kombination mit den höheren Emissionsreduktionen zu einer wesentlich höheren Effizienz der Maßnahme (Faktor 4 - 5) als bei einer Anwendung auf Flächen ohne Risikoausweisung. Die höchste Effizienz im Pram bzw. Gusen EZG lässt sich bei einer Breite von 10 m auf alleinigen Risikoflächen mit 7,5 bzw. 5,3 kg ha⁻¹ a⁻¹ erzielen. Bei einer Umsetzung auf allen Flächen wird der Eintrag des PP insgesamt am stärksten reduziert, jedoch nimmt aufgrund des steigenden Anteils der dafür benötigten Fläche die Effizienz im Vergleich zur alleinigen Umsetzung auf Risikoflächen erheblich ab.

Tabelle 8: Reduktionen des erosiven Phosphoreintrags infolge einer Begrünung von Straßenrandstreifen auf einer Breite von 10 bzw. 30 m und auf ausgewiesenen Risikoflächen bzw. auf allen Flächen, sowie die dafür umgesetzte Fläche und die Effizienz der Maßnahmen als Emissionsreduktion pro umgesetzte Fläche für die drei Testeinzugsgebiete.

	Reduktion (%)			umgesetzte Fläche (%)			Effizienz (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)		
	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems
SRS_10_risk	9,2	5,0	14,7	1,1	1,2	1,1	7,51	5,25	5,74
SRS_10_norisk	6,2	3,7	11,7	3,8	4,6	4,6	1,52	0,99	1,04
SRS_10_all	15,4	8,6	26,4	4,9	5,8	5,7	2,90	1,85	1,92
SRS_30_risk	17,3	12,8	20,4	3,4	3,6	3,0	4,73	4,45	2,79
SRS_30_norisk	10,3	8,2	14,9	10,6	12,9	12,8	0,90	0,78	0,48
SRS_30_all	27,6	21,0	35,3	14,0	16,5	15,8	1,82	1,57	0,93

Wie bereits in Tabelle 8 ersichtlich, zeigt auch die Abbildung 35 den deutlichen Unterschied in der Maßnahmeneffizienz für eine Umsetzung auf Risikoflächen und auf Flächen ohne ein erhöhtes Risiko hoher PP-Einträge, mit einer deutlich höheren Effizienz für die violett gekennzeichneten Bereiche. Die Effizienz erreicht auf Nicht-Risikoflächen im Mittel für die Hälfte der Feldstücke der beiden EZG Pram und Gusen einen Wert von bis zu 1,0 bzw. 0,6 kg ha⁻¹ a⁻¹ bei einer Breite von 10 bzw. 30 m Straßenrandstreifen, wohingegen bei einer Umsetzung auf alleinigen Risikoflächen Werte von bis zu 7,7 bzw. 5,8 kg ha⁻¹ a⁻¹ für 10 bzw. 30 m Breite erzielt werden.

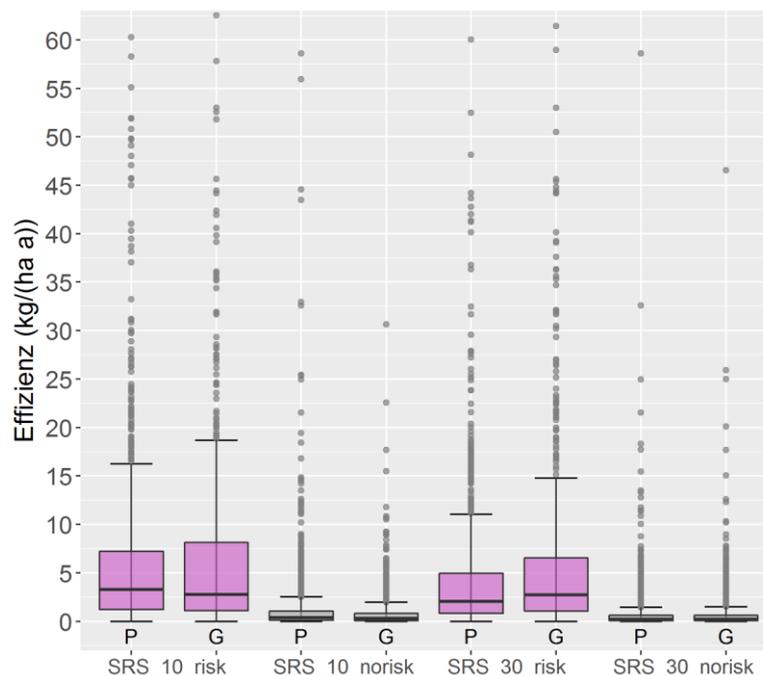


Abbildung 35: Flächeneffizienz bei einer Begrünung der Straßenrandstreifen (SRS) auf einer Breite von 10 bzw. 30 m als Verhältnis der Emissionsreduktion (kg a⁻¹) zur umgesetzten Fläche (ha) für die Feldstücke der Testeinzugsgebiete Pram (P) und Gusen (G) mit einer Ausweisung zur Risikofläche (violett) und keiner Risikoausweisung.

Begrünung bevorzugter Abflusswege

Die Modellergebnisse für die Annahme einer Begrünung von bevorzugten Abflusswegen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sind in der Tabelle 9 zu sehen. Die Maßnahmenmodellierung der begrüneten Abflusswege ab einer Abflussakkumulation von 1 kg a⁻¹ PP mit einer direkten Anbindung an das Gewässer (BAW_rip_1) weist von allen Maßnahmen die bei weitem höchste Effizienz auf (im Mittel der Einzugsgebiete Pram und Gusen 33 – 45 kg PP ha⁻¹ a⁻¹ Emissionsreduktion). Allerdings tritt diese Abflussakkumulation nur auf einem sehr kleinen Anteil der Flächen auf und die gesamte Wirksamkeit der Maßnahme in einem Einzugsgebiet ist damit gering. Erweitert man das Kriterium auf begrünete Abflusswege ab einer Abflussakkumulation von 0,1 kg a⁻¹ PP, geht die Effizienz der Maßnahme zurück, allerdings werden deutlich mehr Flächen erfasst, sodass die Wirksamkeit im Einzugsgebiet steigt. Bei einer weiteren Erweiterung des Kriteriums begrüneter Abflusswege ab einer Abflussakkumulation von 0,01 kg a⁻¹ PP, geht die Effizienz der Maßnahme weiter zurück und die erfassten Flächen steigen nur noch gering, sodass die Emissionsreduktion im Einzugsgebiet nur geringfügig steigt.

Insgesamt ergibt sich für Flächen mit direkter Gewässeranbindung (rip) eine höhere Effizienz als für Flächen mit indirektem Gewässeranschluss über unterirdische Ableitungen (inl). Diese spiegelt sich bei einem ähnlichen Flächenbedarf beider Variationen (rip und inl) auch in einer höheren Emissionsreduktion bei einer Umsetzung auf Flächen mit direktem Gewässeranschluss auf Einzugsgebietsebene wider. Ähnlich wie bei der Anwendung auf Flächen mit indirekter Gewässeranbindung, steigt auch bei einer direkten Anbindung die Effizienz deutlich mit zunehmender Abflussakkumulation (siehe auch Abbildung 36).

Tabelle 9: Reduktionen des erosiven Phosphoreintrags infolge einer Begrünung bevorzugter Abflusswege (BAW) mit den Variationen einer direkten bzw. indirekten Gewässeranbindung und ab einer Erreichung eines jährlichen, kumulierten PP-Transports von 0,01, 0,1 bzw. 1 kg, sowie die dafür umgesetzte Fläche und die Effizienz der Maßnahmen als Emissionsreduktion pro umgesetzte Fläche für die drei Testeinzugsgebiete.

	Reduktion (%)			umgesetzte Fläche (%)			Effizienz (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)		
	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems
BAW_rip_1	7,1	9,6	9,2	0,1	0,4	0,04	45,26	33,15	87,94
BAW_rip_0,1	8,9	10,5	13,1	0,4	0,6	0,2	23,61	21,33	31,70
BAW_rip_0,01	9,2	10,6	13,8	0,5	0,8	0,3	16,81	17,45	18,39
BAW_inl_1	2,8	5,1	3,3	0,1	0,3	0,03	24,41	20,11	52,48
BAW_inl_0,1	4,0	5,9	6,3	0,3	0,6	0,1	11,04	11,61	17,83
BAW_inl_0,01	4,2	6,1	6,7	0,5	0,8	0,3	7,42	9,36	9,16

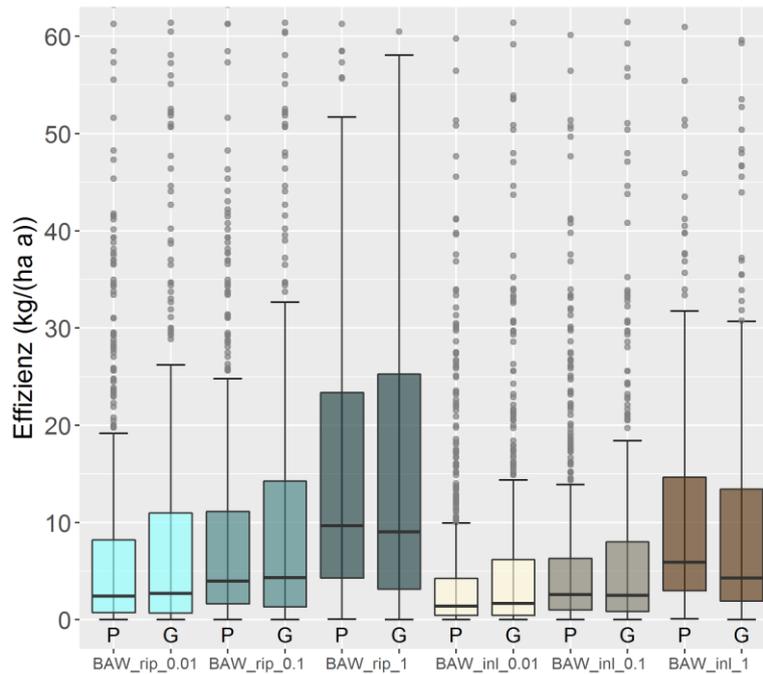


Abbildung 36: Flächeneffizienz bei einer Begrünung bevorzugter Abflusswege (BAW) ab einer Erreichung des kumulierten PP-Transports von 0,01, 0,1 bzw. 1 kg als Verhältnis der Emissionsreduktion (kg a^{-1}) zur umgesetzten Fläche (ha) für die Feldstücke der Testeinzugsgebiete Pram (P) und Gusen (G) mit direkter (rip) und indirekter Gewässeranbindung über unterirdische Ableitungen an Straßendämmen (inl).

Limitierung des C-Faktors

Die Tabelle 10 zeigt die Modellergebnisse für die Annahme einer Limitierung des C-Faktors auf den Ackerflächen der Einzugsgebiete und somit einer Reduzierung des Bodenabtrags. Auffällig ist die vergleichsweise geringe Effizienz für alle Variationen der Maßnahmenumsetzung mit im Mittel $0,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die Einzugsgebiete Pram und Gusen. Dem gegenüber stehen vergleichsweise hohe Emissionsreduktionen im Bereich von 10,0% bis 19,3% für eine Anwendung auf Risikoflächen und bis zu 23,9% bei einer Anwendung auf allen Flächen. Unter Beachtung der dafür benötigten Fläche, die für eine Umsetzung auf allen Flächen zwischen 39,9% und 53,4%, und für eine alleinige Umsetzung auf Risikoflächen im Bereich von 10,2% bis 16,2% aller landwirtschaftlich genutzten Flächen im EZG der Pram und Gusen liegt, ergibt sich eine deutlich höhere Effizienz für die Risikoflächen. Zudem zeigt sich eine generell höhere Emissionsreduktion und höhere Effizienz auf Flächen mit direkter Gewässeranbindung. Somit ergibt sich bei einer Kombination des direkten Gewässeranschlusses und einer Risikoausweisung der umgesetzten Flächen ein günstiges Verhältnis von einer maximalen Reduktion bei gleichzeitiger möglichst hoher Effizienz.

Tabelle 10: Reduktionen des erosiven Phosphoreintrags infolge einer Limitierung des C-Faktors (Climit) mit den Variationen einer direkten bzw. indirekten Gewässeranbindung und auf ausgewiesenen Risikoflächen bzw. auf allen Flächen, sowie die dafür umgesetzte Fläche und die Effizienz der Maßnahmen als Emissionsreduktion pro umgesetzte Fläche für die drei Testeinzugsgebiete.

	Reduktion (%)			umgesetzte Fläche (%)			Effizienz (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)		
	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems
Climit_rip_risk	19,3	16,8	17,1	16,2	12,8	12,1	1,11	1,63	0,59
Climit_rip_norisk	4,6	3,4	9,5	37,3	27,1	41,1	0,11	0,16	0,10
Climit_rip_all	23,9	20,2	26,6	53,4	39,9	53,2	0,42	0,63	0,21
Climit_inl_risk	10,0	10,2	10,1	10,2	10,2	7,7	0,91	1,24	0,54
Climit_inl_norisk	3,9	4,1	5,9	35,9	30,8	41,2	0,10	0,16	0,06
Climit_inl_all	13,9	14,3	16,0	46,1	41,1	48,9	0,28	0,43	0,14

Die Abbildung 37 zeigt die vergleichsweise geringe Effizienz aller Variationen der Maßnahme Climit in den EZG der Pram und Gusen. Im Vergleich tritt bei einer alleinigen Umsetzung auf ausgewiesenen Risikoflächen eine deutlich höhere Effizienz auf als bei Flächen die nicht als solche ausgewiesen wurden. Nichtsdestotrotz werden hinsichtlich der Effizienz bei der Umsetzung der Maßnahme auf der Hälfte aller Risikoflächen nur geringe Werte von bis 2,0 bzw. 1,7 kg ha⁻¹ a⁻¹ für Flächen mit direkter bzw. indirekter Gewässeranbindung erreicht.

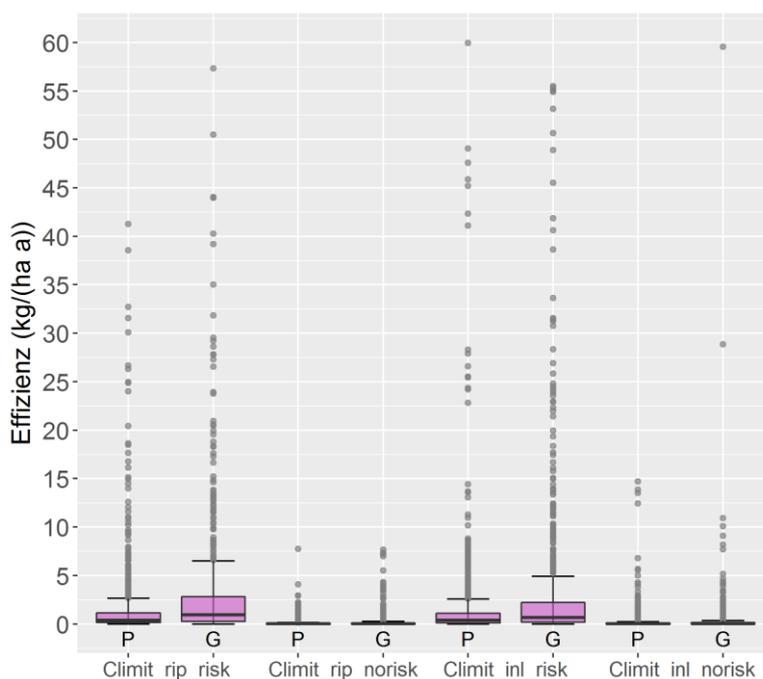


Abbildung 37: Flächeneffizienz bei einer Limitierung des C-Faktors (Climit) auf Feldstücken mit direkter (rip) bzw. indirekter (inl) Gewässeranbindung als Verhältnis der Emissionsreduktion (kg a⁻¹) zur umgesetzten Fläche (ha) für die Feldstücke der Testeinzugsgebiete Pram (P) und Gusen (G) mit einer Ausweisung zur Risikofläche (violett) und keiner Risikoausweisung.

Querstreifenbegrünung

Die Tabelle 11 zeigt die Modellergebnisse bei einer Annahme von Querstreifenbegrünungen innerhalb ausgewählter Feldstücke für die drei Testeinzugsgebiete (s. Kapitel 2.4). Mit einer maximalen Emissionsreduktion aller Umsetzungsvariationen dieser Maßnahme von 0,9%, zeigt sich generell eine sehr geringe Reduktion des Eintrags von PP. Dem gegenüber steht ein ebenfalls geringer Flächenbedarf von 0,2 bis 1,0% innerhalb der drei EZG sowie eine insgesamt niedrige Effizienz von maximal 2,9 kg ha⁻¹ a⁻¹.

¹ a⁻¹, die für das EZG der Gusen bei einer Umsetzung auf alleinigen Risikoflächen mit direktem Gewässeranschluss auftritt. Infolgedessen ergibt sich für die letztgenannte Variation der Maßnahme die höchste Effizienz bei gleichzeitiger, vergleichsweise hoher Emissionsreduktion von 0,6 bis 0,8% für die beiden EZG Pram und Gusen.

Tabelle 11: Reduktionen des erosiven Phosphoreintrags infolge einer Querstreifenbegrünung (longSlopes) mit den Variationen einer direkten bzw. indirekten Gewässeranbindung und auf ausgewiesenen Risikoflächen bzw. auf allen Flächen, sowie die dafür umgesetzte Fläche und die Effizienz der Maßnahmen als Emissionsreduktion pro umgesetzte Fläche für die drei Testeinzugsgebiete.

	Reduktion (%)			umgesetzte Fläche (%)			Effizienz (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)		
	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems	Pram	Gusen	Krems
longSlopes_rip_risk	0,8	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	1,91	2,88	0,48
longSlopes_rip_norisk	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,6	0,20	0,21	0,03
longSlopes_rip_all	0,9	0,7	0,4	0,9	0,8	1,0	0,90	1,13	0,18
longSlopes_inl_risk	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	1,16	2,52	0,51
longSlopes_inl_norisk	0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	0,4	0,15	0,26	0,08
longSlopes_inl_all	0,5	0,6	0,4	0,9	0,9	0,7	0,50	0,89	0,22

Die Abbildung 38 verdeutlicht erneut die generell geringe Effizienz von Querstreifenbegrünungen auf Feldstücken. Die dafür verantwortlichen geringen Emissionsreduktionen könnten u.a. auf die Lage der Begrünungen zurückzuführen sein, da infolge des kumulierten PP-Transports am unteren Feldrand deutlich höhere Frachten zu erwarten sind und somit auch ein höheres Reduktionspotential besteht als im mittleren Bereich der Feldstücke.

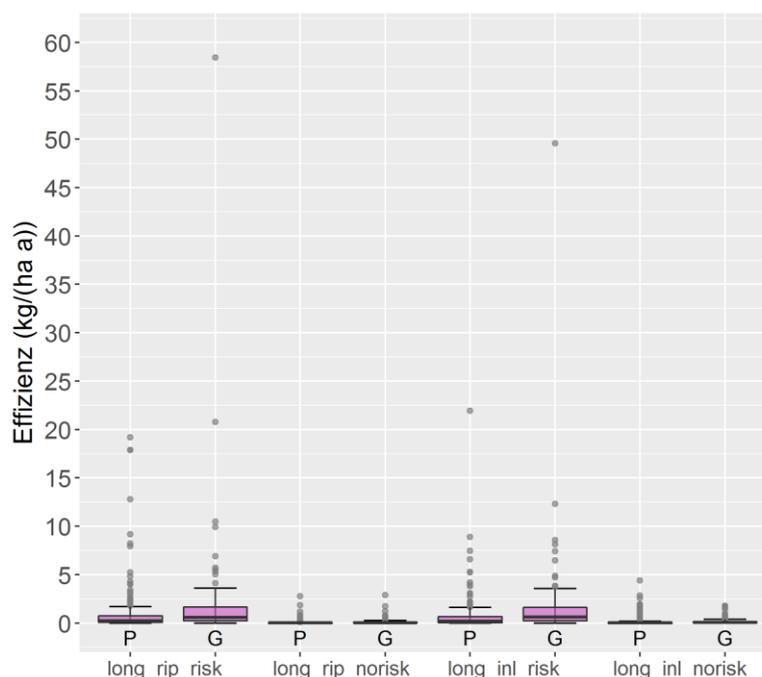


Abbildung 38: Flächeneffizienz bei einer Querstreifenbegrünung (long) auf Feldstücken mit direkter (rip) bzw. indirekter (inl) Gewässeranbindung als Verhältnis der Emissionsreduktion (kg a⁻¹) zur umgesetzten Fläche (ha) für die Feldstücke der Testeinzugsgebiete Pram (P) und Gusen (G) mit einer Ausweisung zur Risikofläche (violett) und keiner Risikoausweisung.

Zudem kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Berücksichtigung der Infiltration im Modell höhere Emissionsreduktionen und folglich auch eine höhere Effizienz berechnet werden könnten. Eine Infiltration von Wasser auf Querstreifen ist jedoch modelltechnisch nicht umgesetzt und kann damit nicht abgebildet werden. Die reale Emissionsreduktion könnte durch die hier angewandte Modellierung deutlich unterschätzt werden, wodurch eine belastbare Bewertung dieser Maßnahme derzeit mit PhosFate nicht möglich ist.

4.2.2 Maßnahmenkombinationen

Basierend auf einer Vorauswahl der unterschiedlichen Variationen der untersuchten Maßnahmen, wurden zusätzlich Maßnahmenkombinationen berechnet. Die Vorauswahl wurde aufgrund eines ansonsten hohen Rechenaufwands aller Variationen getroffen. Sie beruht auf dem Kriterium einer relevanten Emissionsreduktion bei gleichzeitiger hoher Effizienz der Maßnahnumsetzung. Infolgedessen ergibt sich sowohl für die Gewässerrandstreifen als auch für die Straßenrandstreifen die Kombination aus einer Breite des Randstreifens von 30 m und einer Umsetzung auf alleinigen Risikoflächen (GRS_30_risk, SRS_30_risk; siehe Tabelle 7 bzw. Tabelle 8). Für eine Begrünung von bevorzugten Abflusswegen zeigt sich eine relevante Emissionsreduktion sowie eine gute Effizienz für Flächen mit einer direkten Gewässeranbindung. Zudem treten bei einer Anwendung der Maßnahme ab einer Erreichung des PP-Transports von 0,01 kg und 0,1 kg ähnlich hohe Reduktionen auf, wobei eine höhere Effizienz bei einer Begrünung ab 0,1 kg PP erreicht wird (siehe Tabelle 9). Somit wurde hierbei die Variation einer Begrünung von bevorzugten Abflusswegen auf Feldstücken mit direkter Gewässeranbindung und ab einem PP-Transport von 0,1 kg gewählt (BAW_rip_0.1). In Bezug auf die Limitierung des C-Faktors ergab sich die beste Variation für eine Umsetzung auf Risikoflächen mit direkter Gewässeranbindung (Climit_rip_risk; siehe Tabelle 10). Die Modellergebnisse für die Annahme einer kombinierten Umsetzung von Gewässerrandstreifen und Straßenrandstreifen (GS), einer Hinzunahme der Begrünung bevorzugter Abflusswege (GSB) und einer Kombination aus Gewässerrandstreifen, Straßenrandstreifen, Begrünung bevorzugter Abflusswege und einer Limitierung des C-Faktors (GSBC) sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Unter Berücksichtigung der beiden Einzugsgebiete Pram und Gusen zeigt sich eine graduelle Zunahme der Emissionsreduktion von 43% auf 55% bzw. 27% auf 43% bei einer Umsetzung von GS über GSB zu GSBC. Dabei steigt der Flächenbedarf bei einer Anwendung von GS zu GSB nur geringfügig von 6,1 auf 6,4% bzw. 5,3 auf 5,8% an, wohingegen ein starker Anstieg auf 19,9% bzw. 16,0% bei Hinzunahme der Maßnahme Climit zu sehen ist. Der deutlich erhöhte Flächenbedarf zeigt sich auch in der wesentlich geringeren Effizienz von 0,1 bzw. 0,09 kg ha⁻¹ a⁻¹ für die Maßnahmenkombination GSBC im Vergleich zu einer Effizienz im Bereich von 6,24 bis 7,32 kg ha⁻¹ a⁻¹ für die beiden Maßnahmen GS und GSB. Insgesamt wird für die Kombination aus GRS, SRS und BAW die höchste Effizienz und für die Maßnahmenkombination GSBC die höchste Emissionsreduktion erreicht.

Tabelle 12: Reduktionen des erosiven Phosphoreintrags infolge der Umsetzung von Maßnahmenkombinationen der weiterführenden Maßnahmen GRS_30_risk, SRS_30_risk, BAW_rip_0.1 und Climit_rip_risk, sowie die dafür umgesetzte Fläche und die Effizienz der Maßnahmenkombination als Emissionsreduktion pro umgesetzte Fläche für die drei Testeinzugsgebiete.

	Reduktion (%)			umgesetzte Fläche (%)			Effizienz (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)		
	GS	GSB	GSBC	GS	GSB	GSBC	GS	GSB	GSBC
Pram	43,4	48,5	54,7	6,1	6,4	19,9	6,62	7,05	0,10
Gusen	26,7	34,6	42,7	5,3	5,8	16,8	6,24	7,32	0,09
Krems	51,4	57,8	58,6	5,5	5,6	15,3	3,90	4,29	0,06

Die Abbildung 39 (kleines Bild links unten) zeigt eine Verortung der modellierten PP-Einträge auf Feldstückebene beispielhaft für das Einzugsgebiet der Pram. Dabei wurden lediglich diejenigen Feldstücke berücksichtigt, die im INVEKOS-GIS-Datensatzes des Jahres 2010 enthalten sind. Feldstücke mit einer Zuweisung zur Mischnutzung aufgrund fehlender Datengenauigkeit sind hier grau dargestellt und aus der Analyse herausgenommen worden. Die höchsten Emissionen treten vorrangig an den Einzugsgebietsrändern auf mit Ausnahme des Nordwestens. Für einen detaillierten Vergleich der PP Emissionen nach der Anwendung der ÖPUL Maßnahme OG inklusive ausgewählter Grünbrachen als OVF, und nach der zusätzlichen Umsetzung der Maßnahmenkombination GSBC wurde daher ein Ausschnitt im Nordwesten des Einzugsgebiets der Pram gewählt (siehe Abbildung 39 und Abbildung 40 großes Bild).

Die Emissionen sind ausschließlich für Feldstücke mit einer Ackerland- oder Grünlandnutzung dargestellt. Ein Vergleich der PP-Einträge vor und nach der zusätzlichen Umsetzung der Maßnahmenkombination GSBC verdeutlicht besonders die Emissionsreduktionen auf bzw. unterhalb von Feldstücken mit einer vorherigen hohen Emission. Insgesamt kann bei einer Umsetzung von OG inklusive der ausgewählten OVF sowie der Maßnahmenkombination GSBC eine Emissionsreduktion von 55% am Gebietsauslass der Pram erreicht werden. Davon entfallen 3,8% der Reduktion des PP-Eintrags auf die alleinige Umsetzung der ÖPUL Maßnahme OG inklusive der OVF, wodurch die Umsetzung der Maßnahmenkombination eine deutlich höhere Wirksamkeit aufweist. Hinsichtlich der OVF als Grünbrache fällt zudem dessen funktionale Ähnlichkeit zu Gewässerrandstreifen und die häufigere Umsetzung im Vergleich zu OG auf.

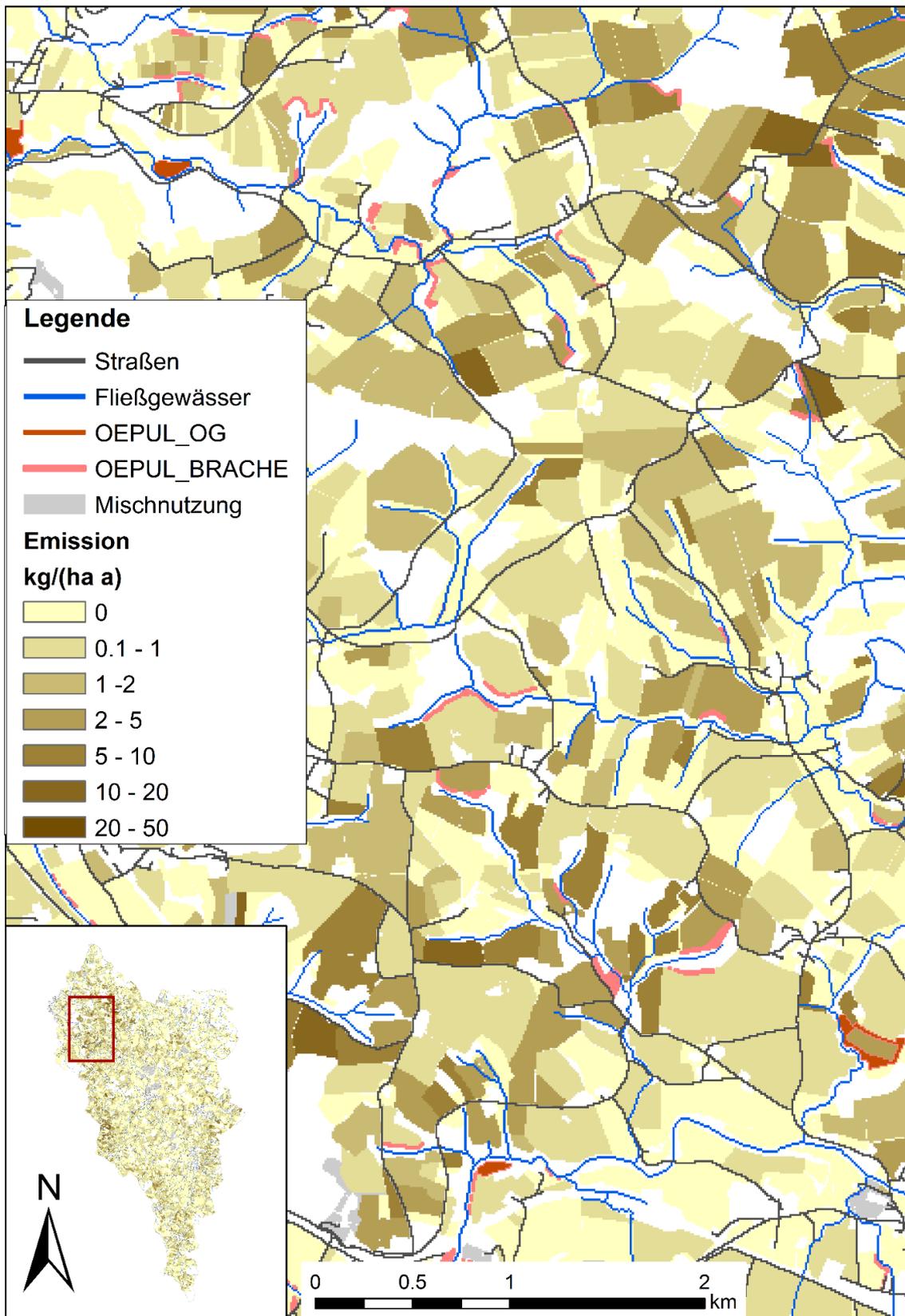


Abbildung 39: Der PP-Eintrag ($\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) der Feldstücke nach der Umsetzung der ÖPUL Maßnahme OG (ÖPUL_ÖG) inklusive ÖVF als Grünbrache (ÖPUL_BRACHE) für das Testeinzugsgebiet der Pram.

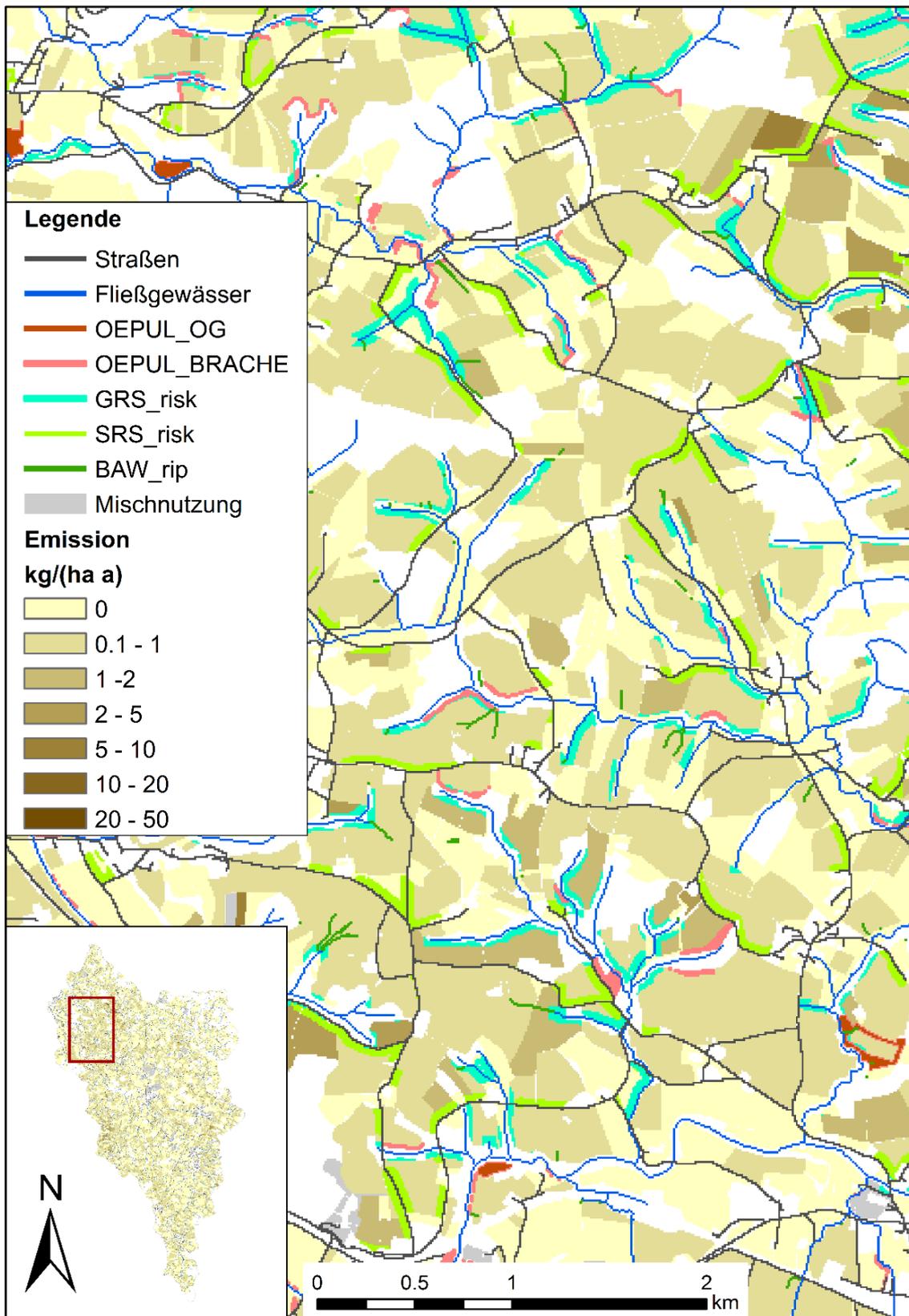


Abbildung 40: Der PP-Eintrag ($\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) der Feldstücke bei einer Umsetzung der ÖPUL Maßnahme OG inklusive ausgewählter Grünbrachen als OVF sowie einer Umsetzung der Kombination der weitergehenden Maßnahmen GRS_30_risk, SRS_30_risk, BAW_rip_0.1 und Climit_rip_risk für das Testeinzugsgebiet der Pram.

Eine räumliche Verteilung der von PhosFate ausgewiesenen Risikoflächen sowie deren Änderung zum Ist-Zustand ohne eine Maßnahmenumsetzung (2007 – 2013) ist jeweils für die Umsetzung von OG inklusive der OVF bzw. von den ÖPUL Maßnahmen sowie der zusätzlichen Maßnahmenkombination GSBC beispielhaft für das Pram EZG in der Abbildung **41** bzw. Abbildung **42** zu sehen. Die Änderung zeigt einen Wechsel von einer vorherigen Risikofläche (im Ist-Zustand) zu keiner Risikofläche nach Anwendung der Maßnahme(n). Da die Risikoflächen basierend auf den höchsten, mittleren PP-Emissionen berechnet werden, treten ähnlich wie in der Darstellung zur Verortung der PP-Emissionen (Abbildung 9) vermehrt Feldstücke mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zur hohen Beitragsfläche (stark violette Flächen) im Westen und Nordwesten des Einzugsgebiets auf.

Die Änderung von vorherigen Risikoflächen zu Flächen ohne ein erhöhtes Risiko hoher PP-Einträge beträgt infolge der Umsetzung von OG inklusive OVF 1% mit einer Verringerung des Risikoflächenanteils von 18 auf 17% der Feldstücke im Pram EZG. Nach der Anwendung der ÖPUL Maßnahmen und der weitergehenden Maßnahmenkombination verringert sich der Anteil der Risikoflächen im Vergleich zum Ist-Zustand deutlich von 18 auf 3% der Feldstücke. Zudem zeigt sich für den Großteil der verbliebenen Risikoflächen (Abbildung **42**) eine deutlich schwächere Violett-Färbung und folglich ein geringeres Risiko hoher PP Einträge. Die verbliebenen Risikoflächen sind vor allem in den westlichen und nordwestlichen Regionen des Einzugsgebiets zu finden. Ein Grund für die anhaltende Ausweisung zu einer Risikofläche und die sich daraus ergebenden hohen PP-Emissionen dieser Flächen, könnte die hohe Hangneigung in diesen Gebieten sein und der somit generell, geringere Wirkungsgrad der Maßnahmen. Die Emissionen (und damit das Ausmaß des Risikos) wird jedoch auch auf diesen Flächen deutlich verringert.

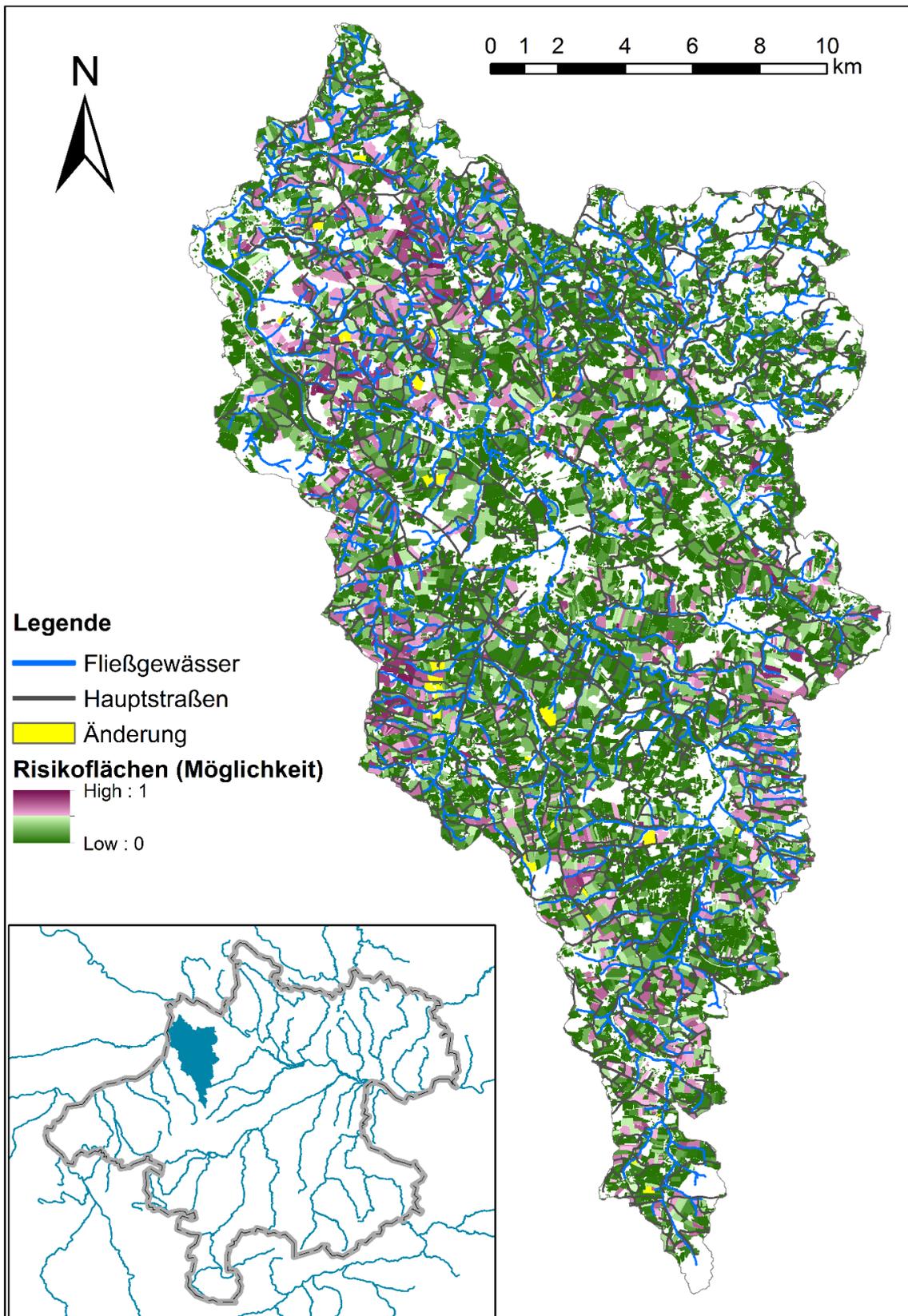


Abbildung 41: Die ausgewiesenen Risikoflächen (violetter Farbverlauf) sowie deren Änderung zu keiner Risikofläche (gelbe Färbung) nach der Umsetzung der ÖPUL Maßnahme OG inklusive der OVF als Grünbrache im Einzugsgebiet der Pram.

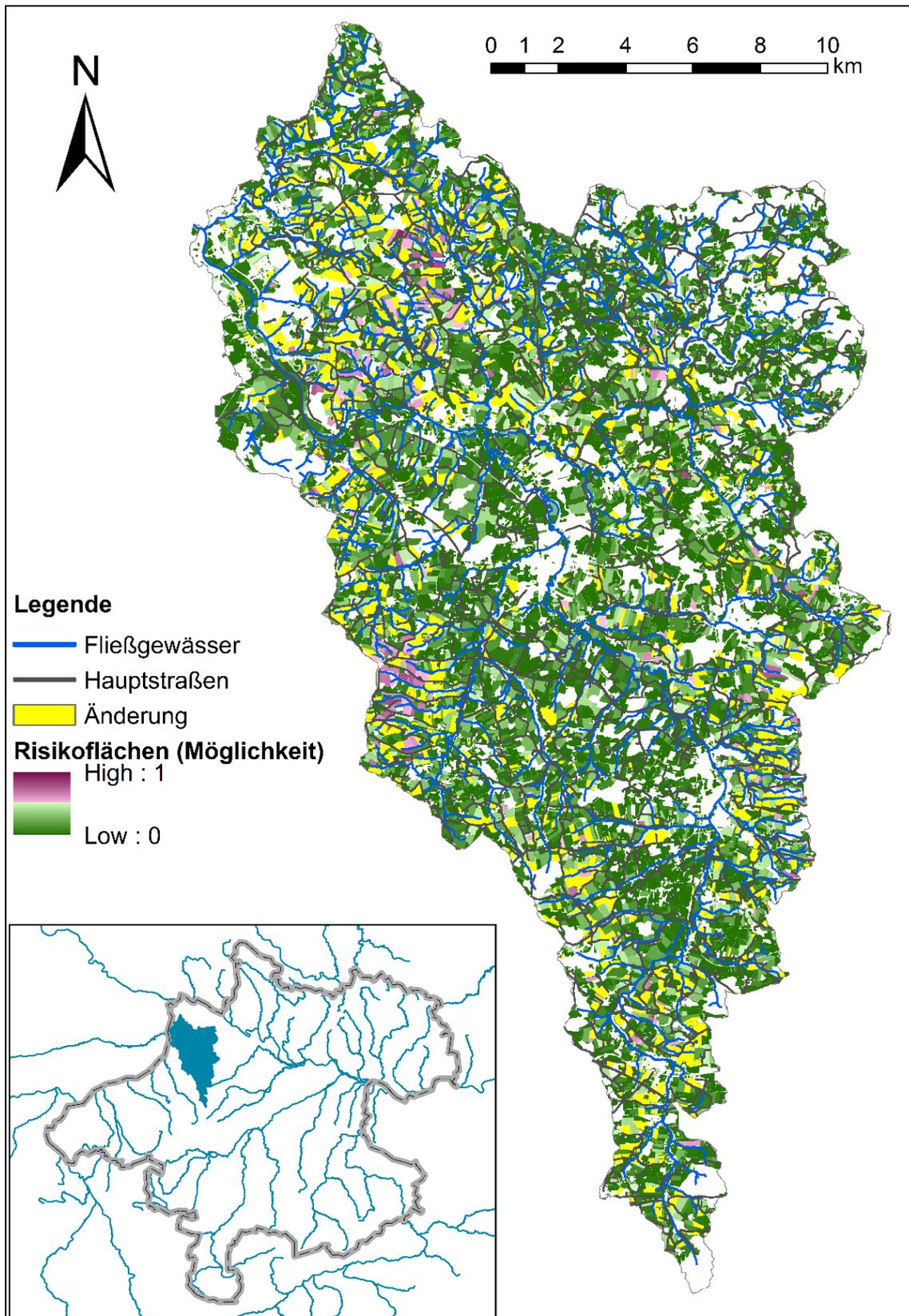


Abbildung 42: Die ausgewiesenen Risikoflächen (violetter Farbverlauf) sowie deren Änderung (von einer Risikofläche in keine Risikofläche) nach der Umsetzung der ÖPUL Maßnahmen OG inklusive OVF sowie der Maßnahmenkombination GRS_30_risk, SRS_30_risk, BAW_rip_0.1 und Climit_rip_risk im Einzugsgebiet der Pram.

4.2.3 Vergleich von ÖPUL 2015 sowie der erweiterten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen

Die Abbildung 43 zeigt einen Vergleich zwischen den Szenarien der ÖPUL Maßnahme OG, den als OVF ausgewiesenen Grünbrachen sowie den zusätzlichen in Szenarien betrachteten Maßnahmen und den ausgewählten Maßnahmenkombinationen in Hinblick auf die Reduktion des PP-Eintrags und der dafür benötigten Fläche beispielhaft am Einzugsgebiet der Pram. Im Anhang findet sich die Abbildung für das Einzugsgebiet der Gusen, die vergleichbare Ergebnisse zeigt (Anhang, Abbildung A44).

In Bezug auf die Umsetzung einzelner, erweiterter Maßnahmen zeigen sich die höchsten Emissionsreduktionen bei einer Umsetzung von Gewässerrandstreifen. Bei einer Anwendung von Straßenrandstreifen sind insgesamt niedrigere Emissionsreduktionen zu sehen. Gründe hierfür sind u.a. die Festlegung eines Weiterleitungsgrads von Phosphor von 0,6 und folglich die pauschale Annahme einer Retention von 40% zwischen dem Austritt an Feldstückrändern und dem Einlauf in unterirdische Ableitungen sowie die generelle Topographie mit einem häufigen einseitigen Abflusszulauf entlang von Straßenrändern. Bei einer Begrünung von bevorzugten Abflusswegen ergibt sich eine deutliche Separation der Emissionsreduktion für eine Umsetzung auf Flächen mit direkter oder indirekter Gewässeranbindung. Dabei treten die höchsten Emissionsreduktionen bei einer Umsetzung auf Flächen mit direkter Gewässeranbindung und ab einem akkumulierten PP-Transport von 0,01 kg und 0,1 kg auf. Die generell verhältnismäßig hohen Reduktionen des PP-Eintrags bei einem gleichzeitigen, sehr geringen Flächenbedarf lassen auf die sehr hohe Effizienz der Maßnahme schließen. Eine Limitierung des C-Faktors führt insgesamt zu einer vergleichsweise geringen Emissionsreduktion, die mit der Einschränkung einer Umsetzung von Climit auf alleinigen Flächen mit einem C-Faktor von über 0,1 zusammenhängen könnte. Unabhängig davon ergibt sich auch hier eine deutliche Unterscheidung für Flächen mit direktem oder indirektem Gewässeranschluss mit einer höheren Reduktion bei direkter Anbindung. Der Flächenbedarf ist für alle Variationen dieser Maßnahme vergleichsweise hoch, allerdings ist auch die Nutzungseinschränkung weniger weitreichend als z.B. bei Gewässerrandstreifen oder begrüneten Abflusswegen. Zudem ist für diese Maßnahme zu beachten, dass die erreichte Reduzierung des Bodenabtrags nicht nur die Gewässerfracht des PP verringert, sondern auch einen wichtigen Beitrag zum Bodenschutz leisten kann, da diese Maßnahme direkt auf der Fläche wirkt und nicht nur den Transport in ein Gewässer unterbindet. Eine Begrünung von Querstreifen resultiert mit der derzeit verwendeten Version von PhosFate in keiner nennenswerten Emissionsreduktion.

Ein Vergleich zu den beiden angenommenen ÖPUL Maßnahmen zeigt einerseits die geringflächige Umsetzung der Gewässerrandstreifen (OG) und des Gewässerrandstreifen-ähnlichen Szenarios (BRACHE), und andererseits die insgesamt und im Verhältnis zur benötigten Fläche geringe Emissionsreduktion. Bei den Kombinationen der erweiterten Maßnahmen kann hingegen eine wesentliche Reduktion des PP-Eintrags erreicht werden. Bei einer Hinzunahme von BAW zur Maßnahmenkombination GS steigt diese von 43,4 auf 48,5% der Gesamteinträge, wobei eine nur geringe Steigerung der benötigten Fläche von 0,3% zu sehen ist. Durch eine weitere Ergänzung mit der Maßnahme Climit ergibt sich ebenfalls eine Verbesserung der Emissionsreduktion auf insgesamt 54,7% der Gesamteinträge, die jedoch mit einem zusätzlichen Flächenbedarf von 13,5% der Ackerflächen einhergeht.

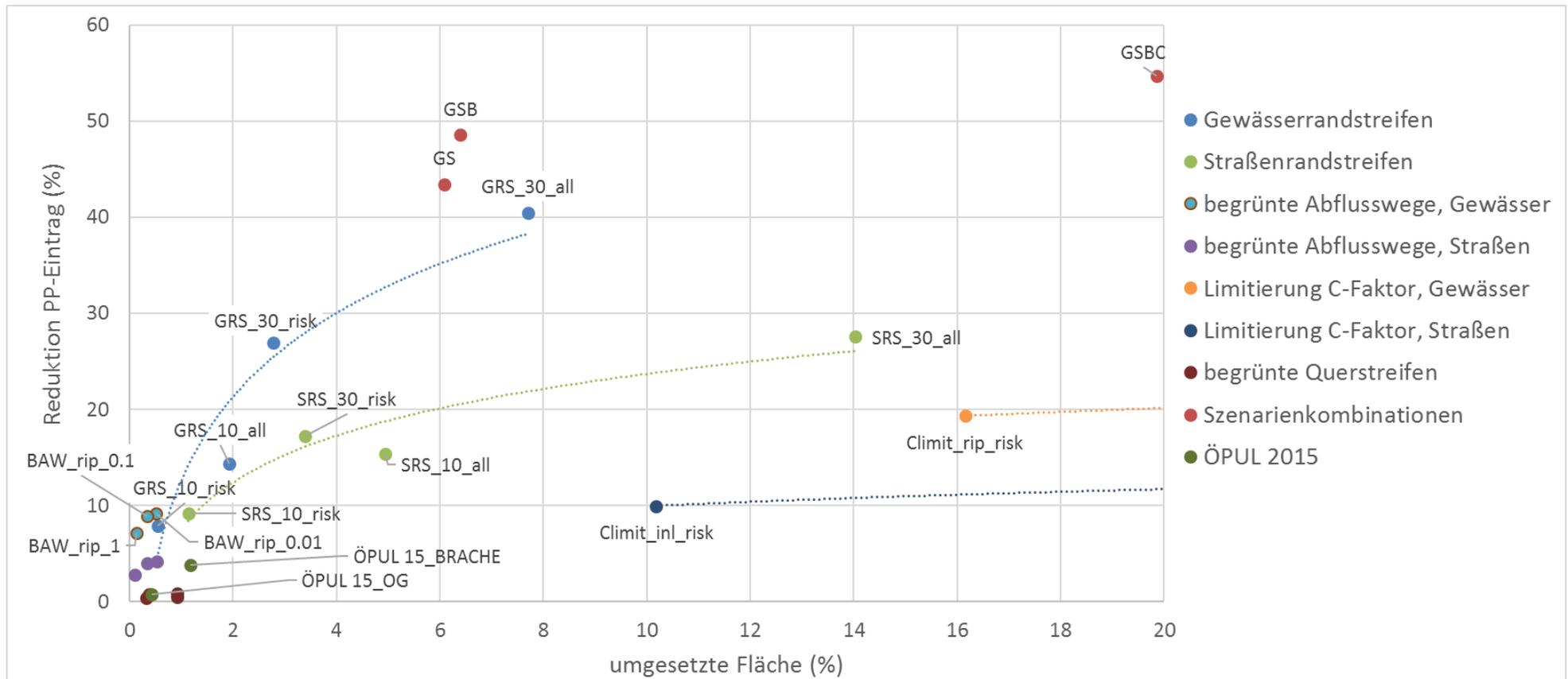


Abbildung 43: Vergleich der Wirksamkeit und des Flächenbedarfes der Maßnahmen OG und BRACHE als Teil des ÖPUL Programms 2015 sowie weitergehender Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen für das Einzugsgebiet der Pram.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Mit dem Modellverbund aus Flexiblen Inputdatenmodell, MONERIS und PhosFate wurde eine Prognose der Nährstoffentwicklung für die Jahre 2015-2020 unter Berücksichtigung der Wirksamkeit von ÖPUL 2015 erstellt. Dafür waren methodische Anpassungen bei der Aufbereitung der Inputdaten (durch Veränderung der INVEKOS Datenstruktur und Ernteerträge von 2016) nötig, die in einer Veränderung der Datenabfrage des Inputdatenmodells realisiert wurden. Durch die zusätzliche Erfassung von Almfutterflächen in INVEKOS (ca. 75.000 ha sind im Datensatz 2016 für Oberösterreich hinzugekommen) ist ein direkter Vergleich mit dem vorangegangenen ÖPUL 2007 nur unter Einschränkungen möglich. Die Auswirkungen der Unterschiede beziehen sich aber insbesondere auf das Voralpenland und Einzugsgebiete, in denen es zu keiner Überschreitung der Richtwerte für $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{PO}_4\text{-P}$ kommt.

Die Stickstoff Emissionen in den oberösterreichischen Einzugsgebieten werden in der Regel durch den Grundwasserpfad dominiert. Die Maßnahme „Vorbeugender Grundwasserschutz-Acker“ entfaltet dementsprechend in den Einzugsgebieten mit erhöhter Umsetzung die höchsten Minderungen der Gesamt Stickstoff Emissionen in die Fließgewässer von maximal 5% (Ipfbach). In Kombination mit der Wirksamkeit der Maßnahme „Begrünung“ können hier in Summe 7% der Gesamt Stickstoff Emissionen vermieden werden.

In Bezug auf die Zielerreichung der $\text{NO}_3\text{-N}$ Richtwerte ist in Oberösterreich für den Ipfbach, den Krusteinerbach und die Feldaist auch in der Periode 2015-2020 mit Überschreitungen zu rechnen. Zwar bewirkt ÖPUL 2015 laut Prognose in Ipfbach und Krusteinerbach weitere Konzentrationsrückgänge der c-90 Konzentrationen um etwa 0,5 bzw. 0,3 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$, doch reichen diese nicht aus, um die erhöhten Konzentrationen soweit zu reduzieren, dass sie unter den Richtwert von 5,5 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ fallen. In den übrigen Einzugsgebieten, für die das Modell ein mögliches Risiko für Überschreitungen der Richtwerte ausweist (0,7 – 1,3x Richtwert) liegen die prognostizierten Konzentrationen unter dem Richtwert. Mit einer Richtwertunterschreitung ist in diesen Einzugsgebieten auch dann zu rechnen, wenn man mögliche Unterschätzungen der Konzentrationen durch die Modellrechnungen berücksichtigt. Im Falle der Feldaist (ID 1570) befinden sich die modellierten Konzentrationen für den Zeitraum 2015-2020 nahe der mit 4,0 mg/ $\text{NO}_3\text{-N/l}$ vorgeschriebenen Richtwertgrenze des guten Zustandes. Im Mittel ist hier mit einer knappen Überschreitung des Richtwertes zu rechnen.

Die Wirksamkeit von weitergehenden Maßnahmen zur Minderung der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen konnten anhand von Szenarien Berechnungen unter Annahme von steigenden Teilnahmen (T1, T2, T3) für sieben konkrete Einzelmaßnahmen mit dem Modell MONERIS quantifiziert werden. Es zeigt sich, dass die Maßnahme N5 („Düngung nach Bodenvorrat“) die größte Wirksamkeit entfalten könnte. Im Ipfbach und im Krusteinerbach wird sie jedoch alleine auch bei maximaler Umsetzung keine Unterschreitung der Richtwerte bewirken können. Hierzu wären zusätzlich Kombinationen mit anderen wirksamen Maßnahmen, wie N12 „Späterer Düngezeitpunkt Mais“ oder N14 „Abluftreinigung der Stallluft“ nötig. In der Feldaist könnte dagegen eine konsequente Umsetzung von N7 ausreichen, um die Richtwerte in Zukunft zu unterschreiten.

Für Phosphor sieht die Prognose für eine mögliche Zielerreichung deutlich schlechter aus. Zwar bewirkt ÖPUL 2015 einen signifikanten Rückgang des Bodenabtrages und leistet damit einen

erheblichen Beitrag zum Bodenschutz und damit auch für den Gewässerschutz. Allerdings ist dies auch in Kombination mit einem bereits erzielten hohen technischen Level bei der Abwasserreinigung in Problemgebieten bei weitem nicht ausreichend um die Gewässerschutzziele zu erreichen. So kann zwar quantifiziert werden, dass ÖPUL 2015 eine weitere Reduktion der TP Emissionen und $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen über die bisherigen ÖPUL Programme hinaus bewirkt, jedoch fallen die Gesamtwirksamkeiten nicht viel höher aus, als bei den Vorgängerprogrammen. Damit reichen diese Minderungen nicht aus, um die typspezifischen c-90 Richtwerte in einer Reihe von belasteten Gewässern zu unterschreiten. Liegen die durch ÖPUL vermiedenen $\text{PO}_4\text{-P}$ c-90 Konzentrationen in einem Bereich von 0,002 bis 0,01 mg/l, so liegt die notwendige Reduktion häufig bis zu einer Größenordnung darüber (maximal bei bis 0,2 mg/l in der Pram). Betrachtet man Einzugsgebiete mit sicherem Risiko mit wahrscheinlichem Risiko und ohne Risiko und vergleicht die darin erzielten Minderungen durch ÖPUL wird deutlich, dass die ÖPUL Maßnahmen (Teilnahme und Wirksamkeit) bislang weder an eine vorliegende Richtwertüberschreitung noch an dessen Ausmaß angepasst sind. Zudem werden weiterhin mögliche Wirksamkeiten von ÖPUL 2015 durch steigende Bodenabträge (Kulturartenwechsel, steigende LW Fläche) konterkariert (etwa halbiert!). Die mit MONERIS berechneten Handlungsoptionen in Form von Szenarien Berechnungen weitergehender Maßnahmen würden selbst bei maximal möglicher Teilnahme nur zu weiteren $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationsminderungen innerhalb der Größenordnung des jetzigen ÖPUL Programmes führen. Die Ergebnisse belegen eindrucksvoll, dass vor dem Hintergrund einer möglichen Erreichung der $\text{PO}_4\text{-P}$ Richtwerte weitere, deutlich wirksamere Maßnahmen(strategien) nötig sind. Diese könnten insbesondere in der zielgenauen Verortung von Maßnahmen liegen, die aus Sicht der Autoren zwar vielversprechend ist, aber eine neue Herangehensweise bei der Maßnahmenumsetzung mit sich bringen würde. Die Erprobung und Adaptierung einer solchen, neuen zusätzlichen Maßnahmenstrategie hängt jedoch vom politischen Willen ab. Beispiele einer solchen stark priorisierenden Herangehensweise werden in diesem Bericht unter Nutzung des Modells PhosFate aufgezeigt.

Das rasterbasierte Emissions- und Transportmodell PhosFate wurde im Zuge des Modellverbundes zur Bewertung von Maßnahmen, bei denen die Verortung eine wesentliche Rolle spielt, in den ausgewählten Einzugsgebieten von Pram, Gusen und Krems eingesetzt. Als Maßnahmen wurden zum einen die in ÖPUL 2015 umgesetzte Maßnahme zum vorbeugenden Oberflächengewässerschutz auf Ackerflächen als dauerhafte und winterharte Gewässerrandstreifen von mindestens 12 m Breite (OG) betrachtet sowie zusätzlich ausgewiesene ökologische Vorrangflächen (OVF) als Grünbrachen, wenn diese aufgrund ihrer Gewässernähe und länglichen Form Ähnlichkeiten zu Gewässerrandstreifen aufweisen. Zum anderen wurden weitere, über die derzeitige Umsetzung in ÖPUL 2015 hinausgehende Maßnahmen zum Erosionsschutz mit spezifischer örtlicher Zuordnung im Modell abgebildet, um deren Effektivität (Emissionsreduktion auf Einzugsgebietsebene) und Effizienz (Emissionsreduktion pro Fläche, auf der die Maßnahme umgesetzt wird) zu evaluieren.

Die Ergebnisse zeigen die geringe Umsetzung der beiden ÖPUL-2015 Maßnahmen OG und OVF. Damit wird auch nur eine Emissionsminderung infolge dieser Maßnahmen im unteren einstelligen Prozentbereich der Gesamtemissionen an partikulärem Phosphor ermittelt. Die Auswirkung von OVF als Grünbrache dominiert dabei über OG. Die Anwendung beider Maßnahmen fand größtenteils unterhalb von Flächen ohne Risikoausweisung und somit Flächen mit geringeren, potentiell erosiven PP Einträgen, statt. Dies sowie die allgemein geringe Umsetzung führen zur insgesamt niedrigen Emissionsreduktion und im Durchschnitt geringen Effizienz beider Maßnahmen. Der Erfolg dieser beiden Maßnahmen für die Reduktion von P-Einträgen in Gewässer ist daher begrenzt. Im Sinne des

Oberflächengewässerschutz ist daher eine Neuorientierung bei der Umsetzung dieser Maßnahmen erforderlich.

Eine Modellierung von Maßnahmenerweiterungen durch zusätzliche Randstreifen und Erosionsschutzmaßnahmen zeigt das Potential dieser Maßnahmen bei strategisch optimierter Programmausrichtung. So ergibt sich die höchste Emissionsminderungen auf Ebene der Einzugsgebiete bei der Anlegung von Gewässer- und Straßenrandstreifen (GRS bzw. SRS mit 30 m Breite) mit bis zu 40% bzw. bis zu 30% der derzeitigen Gesamtemissionen von partikulärem Phosphor (PP). Die höchste Effizienz wird dagegen bei einer Begrünung bevorzugter Abflusswege (BAW) erreicht (bis zu 45 kg PP ha⁻¹ a⁻¹). Die gesamte Emissionsminderung dieser Maßnahme ist dagegen nur gering, da das Flächenpotential für die Umsetzung gering ist.

Eine gute Emissionsreduktion bei relativ geringem Flächenbedarf ergibt sich für die Kombination der Maßnahmen GRS (30 m Breite unterhalb von Risikoflächen), SRS (30 m Breite unterhalb von Risikoflächen) und BAW (ab Abflussakkumulationen von 0,1 kg PP a⁻¹) mit einer Reduktion von etwa 50 % der PP Gesamtemissionen bei einem für die Maßnahmenumsetzung benötigten Flächenanteil von ca. 6 %. Eine zusätzliche Limitierung des C-Faktors auf Risikoflächen mit direkter Gewässeranbindung führt zu einer weiteren Steigerung der Emissionsreduktion, resultiert aber auch in einem deutlich ansteigenden Flächenbedarf auf insgesamt ca. 20% der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Nichtsdestotrotz stellt diese Begrenzung im Bereich der Kulturartenverteilung eine geringere Einschränkung der Nutzungsmöglichkeit der landwirtschaftlichen Flächen dar als beispielsweise Randstreifen und kann neben dem Schutz vor PP Einträgen in Oberflächengewässer auch wesentlich zur Vermeidung des Erosionsverlustes der Böden von Ackerstandorten beitragen.

6 Ausblick

Mit dem Modellverbund von Flexiblen Inputdatenmodell, MONERIS und PhosFate konnte gezeigt werden, dass das Ausmaß der Nährstoffimmissionen in Oberflächengewässer mit dem derzeitigen Umweltprogramm ÖPUL 2015 nur in beschränktem Umfang vermindert werden kann. Die Berechnung unterschiedlicher Szenarien ergab darüber hinaus, dass sich auch durch eine Erhöhung der Teilnahme keine ausreichende Verbesserung der Situation ergeben würde. Die Einstufung entsprechend der Richtwerte würde sich nur in einzelnen Fällen ändern und die Wirkung wäre insbesondere bei den am stärksten belasteten Einzugsgebieten unzureichend. Auch Maßnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft würden nur mehr punktuell Verbesserungen bringen, weil dieses Potenzial bereits weitgehend ausgeschöpft ist.

Da insbesondere die Phosphatgehalte in den Oberflächengewässern die Richtwerte zum Teil um ein Mehrfaches überschreiten, ist ein Strategiewechsel zur Verminderung der Emissionen aus dem Bereich der Landwirtschaft erforderlich. Die bisherigen Untersuchungen zeigen auf, welche Handlungsoptionen ein erhebliches, bisher weitgehend ungenutztes Potenzial aufweisen, wie zum Beispiel:

- Die Wahl der landwirtschaftlichen Kultur bzw. Nutzungsart auf erosionsgefährdeten Hängen kann sich auf die Emissionen stärker auswirken als (andere) Schutzmaßnahmen. Maßnahmen zur Beschränkung der Wahlfreiheit der Ackerkultur im laufenden ÖPUL sind jedoch nicht auf diesen Aspekt hin ausgerichtet und entfalten daher in diese Richtung auch keine Wirkung.
- Die sich aus der Nutzung ergebende Hanglänge hat einen starken Einfluss auf die Erosion und damit die P-Emissionen von diesen Flächen. Mehrere Handlungsoptionen bestehen, um diese zu reduzieren, wobei u.U. eine Abstimmung zwischen mehreren untereinander liegenden Nutzern erforderlich sein kann.
- Erosionsmindernde Maßnahmen werden bisher überwiegend auf Flächen umgesetzt, die keinen nennenswerten Beitrag zur Verminderung der P-Einträge in Oberflächengewässer liefern. Demgegenüber bleiben Risikoflächen weitgehend ungeschützt. Dies gilt nicht nur für Maßnahmen im laufenden Umweltprogramm, für die von vorneherein keine Gebietskulisse vorgegeben ist (wie zum Beispiel Mulch- und Direktsaat) sondern auch für Maßnahmen, die nur auf bestimmten Flächen umgesetzt werden, wie zum Beispiel die sehr spezifische Maßnahme „Vorbeugender Oberflächengewässerschutz“.
- Die Teilnehmeraten (definiert als der Anteil der Fläche, wo die Maßnahme umgesetzt wird im Vergleich zur gesamten Fläche, auf der die Umsetzung förderfähig wäre) an flächenspezifische Maßnahmen, wie der zuletzt genannte „Vorbeugende Oberflächengewässerschutz“ reichen bei weitem nicht an die Teilnehmeraten von Maßnahmen heran, die auf beliebigen Flächen umgesetzt werden können.

Die genannten Beispiele zeigen, dass ein zukünftiges „Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft“ anders ausgerichtet werden müsste, wenn die im Titel genannten Ziele ihre Wirkung auch im Bereich des Oberflächengewässerschutzes entfalten sollen oder allenfalls andere Instrumente zu entwickeln sind,

um einen effektiven Oberflächengewässerschutz zu verwirklichen. Strategischer Ansatzpunkt wäre in jedem Fall eine wesentlich stärkere Ausrichtung an den jeweils lokalen Erfordernissen einzelner Teileinzugsgebiete, wobei die zielgerichtete Umsetzung von Maßnahmen ohne aktive Einbindung der lokalen Akteure schwer vorstellbar ist. In diesem Zusammenhang wäre auch die landwirtschaftliche Beratung neu zu fokussieren.

Es ist offensichtlich, dass diese Änderungen einen längeren, strategisch gesteuerten Prozess zur Voraussetzung haben. Im Bereich des Grundwasserschutzes wurden vor dem Hintergrund einer ähnlichen Situation vor 20 Jahren in Oberösterreich Pilotprojekte gestartet, die später erfolgreich zur Umsetzung zielgerichteter Maßnahmen und deren Integration in die bestehende Förder- und Beratungslandschaft geführt haben. In adaptierter Form könnte das auch im Bereich des Oberflächengewässerschutzes zum Ziel führen. Mit dem bestehenden Instrumentarium von MONERIS und Phosphate können fachlich fundierte Entscheidungsgrundlagen geschaffen und Handlungsoptionen bewertet werden, deren Umsetzung in einzelnen, stark belasteten Einzugsgebieten auf Risikoflächen versucht werden könnte und deren Auswirkungen mit einem begleitenden Messprogramm untersucht werden könnten. Aus den Erkenntnissen der praktischen Umsetzbarkeit und daraus folgenden Weiterentwicklung gezielter Maßnahmen könnte in Folge ein Instrumentarium entwickelt werden, dass in weiteren Einzugsgebieten zur Anwendung kommt.

7 Literatur

Huber, Umweltbundesamt GmbH (2004): Wirkung und Effizienz von Erosionsschutzmaßnahmen im ÖPUL 2000. Forschungsprojekt Nr. 1299.

Umweltbundesamt in Kooperation mit wpa (2005): Wirksamkeit der Maßnahme Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter und der Maßnahme Erosionsschutz im Weinbau des ÖPUL 2000 auf das Erosionsrisiko. Bericht im Rahmen der ÖPUL Evaluierung an das BMLFUW, Wien.

Wpa und BAW (2003a): Evaluierung der Auswirkungen der Maßnahme 2.31 aus ÖPUL (Regionalprogramm Grundwasser 2000 NEU) für die Verbesserung der Grundwasserqualität am Beispiel von zwei Grundwassergebieten Oberösterreichs. Bericht im Rahmen der ÖPUL Evaluierung an das BMLFUW, Wien.

Wpa und BAW (2003b): ÖPUL Evaluierung Themenbereich Grundwasserschutz; Nutzung des STOTRASIM/SIMWASSER Modellansatzes zur Nitrataustragsgefährdung zur Beantwortung des wasserspezifischen Evaluierungsfragen VI.1.B.1/ VI.1.B.2/ VI.1.B.3/ VI.1.B.4; Bericht im Rahmen der ÖPUL Evaluierung an das BMLFUW, Wien.

Wpa (2012): OÖ Regionalprojekt, Grundwasser 2010, Monitoring 5.Jahr, 2011. Land Oberösterreich, Linz.

Zessner M., Gabriel O., Hochedlinger G., Kovacs A., Kuderna M., Schilling C., Windhofer G. (2012): Analyse der Wirkung von Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in oberösterreichischen Einzugsgebieten nach unterschiedlichen Eintragspfaden für strategische Planungen. Endbericht. Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien, Umweltbundesamt, wpa Beratende Ingenieure, Wien.

Zessner M., Hepp G., Kuderna M., Weinberger C., Gabriel O., Windhofer G. (2014): Konzipierung und Ausrichtung übergeordneter strategischer Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in oberösterreichische Fließgewässer. Technischer Bericht, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Wien.

Zessner, M., Hepp, G., Zoboli, O., Mollo Manonelles, O., Kuderna, M., Weinberger, C., Gabriel, O., (2016a). Erstellung und Evaluierung eines Prognosetools zur Quantifizierung von Maßnahmenwirksamkeiten im Bereich der Nährstoffeinträge in oberösterreichische Oberflächengewässer. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Wien.

Zessner, M., Zoboli, O., Hepp, G., Kuderna, M., Weinberger, C., Gabriel, O. (2016b): Shedding Light on Increasing Trends of Phosphorus Concentration in Upper Austrian Rivers. Water 2016, 8, 404

Zessner, M., Hepp, G., Kudern, M., Weinberger, Ch., Gabriel, O. (2017): Zustandserfassung, Nährstoffentwicklung und Quantifizierung der Maßnahmenwirksamkeit von ÖPUL 2007 in oberösterreichischen Einzugsgebieten. Endbericht im Auftrag des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, Wien.

8 Anhang

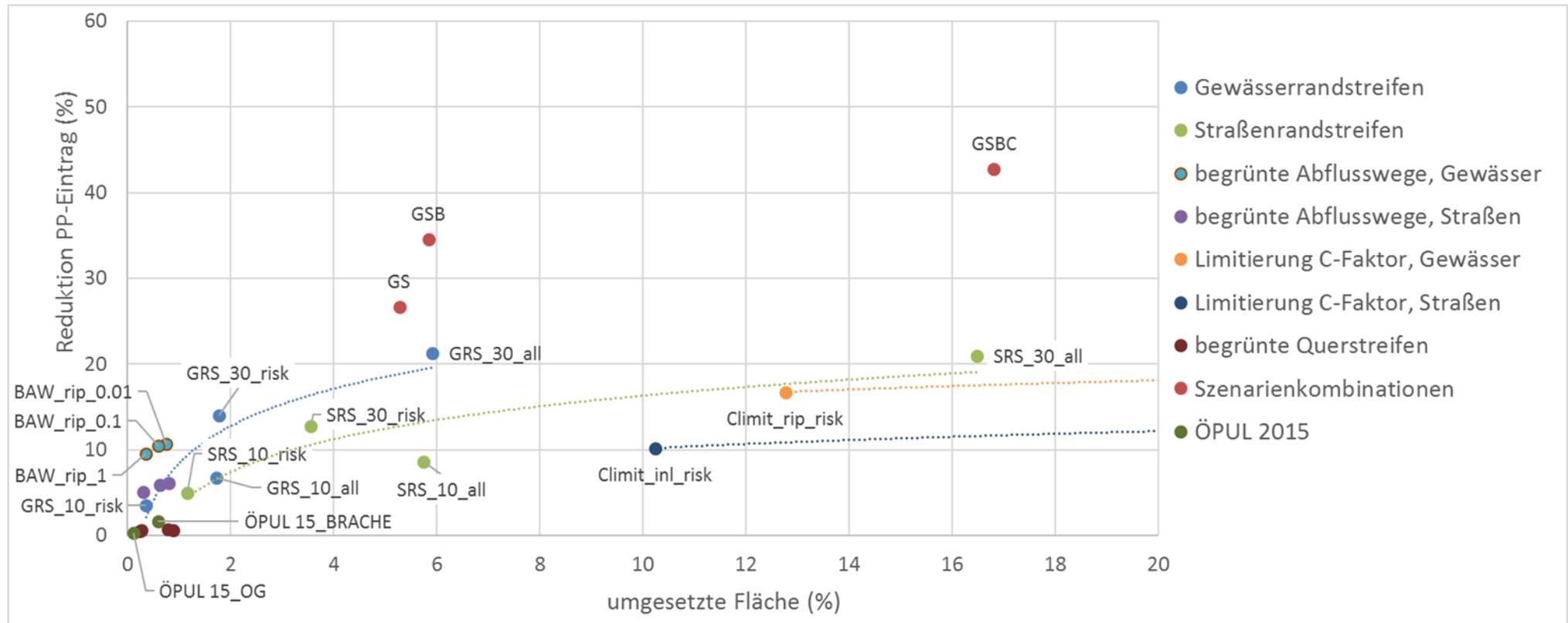


Abbildung 44: Vergleich der Wirksamkeit und des Flächenbedarfes der Maßnahmen OG und BRACHE als Teil des ÖPUL Programms 2015 sowie weitergehender Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen für das Einzugsgebiet der Gusen.