
Konzipierung und Ausrichtung
übergeordneter strategischer Maßnahmen
zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in
oberösterreichische Fließgewässer

Endbericht



**Im Auftrag des Amtes der Oberösterreichischen
Landesregierung**

UR-2012-61484/4-Stu



Autoren

TU Wien, Institut für Wassergüte,

Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

Matthias Zessner

Gerold Hepp



wpa Beratende Ingenieure

Max Kuderna

Christine Weinberger

wpa Beratende Ingenieure



Umweltbundesamt

Oliver Gabriel

Georg Windhofer

ENVIRONMENT
AGENCY AUSTRIA **umweltbundesamt**^U

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Einleitung und Zielstellung	5
2 Methodisches Vorgehen	6
2.1 Modelloptimierung - Gasförmige Emissionen	6
2.1.1 Optimierungsansatz	6
2.1.2 Auswirkungen auf die Modellergebnisse	8
2.2 Erweiterte Maßnahmenbetrachtung	11
2.2.1 Maßnahme N12: Düngzeitpunkt zu Mais	12
2.2.2 Maßnahme N13: Erweiterung der Lagerkapazität	15
2.2.3 Maßnahme N14: Abluftreinigung	21
2.2.4 Potenzielle Wirksamkeiten von Einzelmaßnahmen	23
2.3 Teilnahmeszenarien und Maßnahmenpakete	24
2.3.1 Methodische Herangehensweise	24
2.3.2 Teilnahmequoten	24
2.3.3 Maßnahmenkombinationen	27
2.3.4 Maßnahmenpakete	31
2.4 Entwicklungen bei der Verortung von Maßnahmen mittels PhosFate	33
2.4.1 Datengrundlagen	34
2.4.2 Definition von Fließgewässern in PhosFate	35
2.4.3 Neukalibrierung	35
2.4.4 Vor-Ort-Begutachtung	37
2.4.5 Erweiterung des Modells um einen Optimierungsalgorithmus	39
2.4.6 Umlegung optimierter Maßnahmenstrategien auf Feldstücke	40
2.5 Kosteneffektivitäts-Berechnungen	42
2.5.1 Kostenabschätzung	42

2.5.2	<i>Kosten der Einzelmaßnahmen</i>	43
2.5.3	<i>PhosFate</i>	46
2.5.4	<i>MONERIS</i>	47
3	Ergebnisse	51
3.1	Wirksamkeiten von Einzelmaßnahmen unter Berücksichtigung von Teilnahmeszenarien	51
3.1.1	<i>Stickstoff</i>	51
3.1.2	<i>Phosphor</i>	52
3.2	Wirksamkeiten von Maßnahmenpaketen unter Berücksichtigung von Teilnahmeszenarien	54
3.2.1	<i>Stickstoff</i>	54
3.2.2	<i>Phosphor</i>	58
3.3	Möglichkeiten der Zielerreichung durch Maßnahmenpakete	63
3.3.1	<i>Betrachtung der modellierten und gemessenen Grenzwertauslastung</i>	63
3.3.2	<i>Matrix einer möglichen Zielerreichung durch Maßnahmenpakete</i>	67
3.4	Maßnahmenwirksamkeit unter Kosten-Nutzen Gesichtspunkten	73
3.4.1	<i>PhosFate</i>	73
3.4.2	<i>MONERIS</i>	78
4	Diskussion und Schlussfolgerungen	98
4.1	Allgemeines	98
4.2	Stickstoff	98
4.3	Phosphor	101
4.4	Überlegungen zu einer Prioritätenreihung	104
5	Ausblick	105
	Literatur	107

1 Einleitung und Zielstellung

Im Projekt „Analyse der Wirkung von Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in oberösterreichischen Einzugsgebieten nach unterschiedlichen Eintragspfaden für strategische Planungen“ konnte:

- ein an die bestehenden Bedingungen adaptierter Maßnahmenkatalog (Landwirtschaft; Siedlungswasserwirtschaft) erstellt werden
- eine Implementierung der Maßnahmen in das Modell MONERIS über geeignete Schnittstellen durchgeführt und die Validität der Ergebnisse getestet werden
- die Wirkung und potenzielle Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge in einem verallgemeinernden Ansatz dargestellt und verglichen werden.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollen im Weiteren in dem Projekt „Konzipierung und Ausrichtung übergeordneter strategischer Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in oberösterreichische Fließgewässer“ (Kurztitel: „Maßnahmenstrategien“) allgemein für ganz Oberösterreich und im Detail für die Bebielsregionen und die Gebiete mit Überschreitung der Qualitätsziele folgende Schwerpunkte bearbeitet werden:

- Weitergehende Optimierungen (Daten- und Modelloptimierung) am Modell MONERIS Oberösterreich
 - Betrachtungen der gasförmigen Emissionen aus Stallhaltung, Wirtschaftsdüngerlager und Ausbringung
 - Ausweisung weiterer potenziell möglicher Maßnahmen
 - Quantifizierung der potenziellen Wirksamkeit von Maßnahmen, die an die gasförmigen Emissionen gekoppelt sind
- Erstellung von realistischen Umsetzungs- und Teilnahmeszenarien
- Darstellung von Wirkungen und potenziellen Wirksamkeiten von Maßnahmenpaketen in oberösterreichischen Einzugsgebieten mit Qualitätszielverfehlung (Evaluierung der Zielerreichung)
- Verortung von Maßnahmen beim Eintragspfad Erosion anhand von Testgebieten mittels PhosFate
 - Vor-Ort-Begutachtung ausgewählter Standorte im Gelände
 - Verortung von Maßnahmen
 - Darstellung ökonomischer Aspekte bei der Maßnahmensetzung
- Ermittlung von ökonomischen Aspekten und Nebeneffekten bei der Umsetzung von Maßnahmen(paketen).

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Modelloptimierung - Gasförmige Emissionen

Der bislang verwendete Ansatz zur Berechnung der Redeposition gasförmiger N Emissionen aus der Landwirtschaft geht davon aus, dass 30% der gasförmigen N Verluste in direkter Nähe (Umkreis von 2km) wieder zur Redeposition kommt, während 70% der N Verluste in den Ferntransport gelangen. Zur Umsetzung dieser Annahme in der Modellumgebung von MONERIS wurde vereinfachend davon ausgegangen, dass die bei der Ausbringung entstehenden gasförmigen Verluste als Redeposition auf die landwirtschaftliche Nutzfläche des Einzugsgebietes zurückgelangt (Annahme, dass diese etwa 30% der Gesamtverluste ausmachen), während die gasförmigen Verluste aus der Stallhaltung in den Ferntransport gelangen (Annahme, dass diese 70% der Gesamtverluste ausmachen).

Da aus der Literatur ein hoher Schwankungsbereich der Redepositionen der gasförmigen N Verluste von 2-60% dokumentiert wird, sollte:

- Eine Literaturstudie Aufschluss über existierende Modellansätze geben
- Eine machbare und für die Betrachtungsebene von Einzugsgebieten sinnvolle Methode entwickelt werden
- Die Ergebnisse der neu entwickelten Methode mit den Ergebnissen der bisherigen Methode verglichen werden.

Letztendlich dient diese Herangehensweise dazu, die bisherige Methode zu validieren, und bei inakzeptablen Abweichungen der Ergebnisse anzupassen und somit die Genauigkeit der Eingangsdaten deutlich zu verbessern.

2.1.1 Optimierungsansatz

Die Emission von Stickstoff aus Stallgebäuden, von Lagerflächen und beim Aufbringen von Wirtschaftsdünger erfolgt hauptsächlich in Form von Ammoniak (NH_3). Dieser kann in der Atmosphäre in Ammonium (NH_4) umgewandelt werden. Sowohl NH_3 als auch NH_4 werden durch trockene Deposition oder durch nasse Deposition infolge von Niederschlag abgelagert und in den Boden eingetragen. Die durchschnittliche prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Depositionsarten ist wie folgt (Asman & Sutton 1998):

- 44% durch trockene Deposition als NH_3
- 6% durch nasse Deposition als NH_3
- 14% durch trockene Deposition als NH_4
- 36% durch nasse Deposition als NH_4 .

Während NH_4 hauptsächlich in entferntere Regionen verfrachtet wird, erfolgt die Deposition von NH_3 zum größten Teil im näheren Umkreis einer Quelle. Da desweiteren der Haupteintragspfad von Ammoniak die trockene Deposition ist, wird

für die Berechnung des Wiedereintrags der gasförmigen Verluste die trockene Deposition von NH_3 als maßgebend betrachtet.

In Van Jaarsveld (2004) wird folgende Formel für die Ermittlung der trockenen Deposition von Ammoniak angegeben:

$$F = v_d \cdot C$$

wobei v_d die Depositionsgeschwindigkeit in m/s und C die NH_3 -Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ist. v_d hängt ab vom aerodynamischen Widerstand R_a , vom Widerstand der laminaren Grenzschicht R_b und vom Oberflächen- bzw. Bedeckungswiderstand R_c , wobei dieser wiederum von einer Vielzahl pflanzenphysiologischer Widerstände abhängig ist. Da die Ermittlung der Depositionsgeschwindigkeit anhand von Widerständen im Ausmaß der Einzugsbiote in Oberösterreich nicht möglich ist, werden Standardwerte aus der Literatur herangezogen. In Rihm et al. (2009) werden in Abhängigkeit der Landnutzung unterschiedliche Depositionsgeschwindigkeiten angegeben (Tabelle 1).

Tabelle 1: Depositionsgeschwindigkeit v_d in Abhängigkeit der Landnutzung (Rihm et al. 2009)

Landnutzung	Depositionsgeschwindigkeit [mm/s]
Nadelwald	30
Laubwald	22
landwirtschaftliche Flächen	12
Wasserflächen	20
nicht landwirtschaftlich genutzte Grünflächen	20
Siedlungen	8
keine Vegetation	5

Die Berechnung der Konzentration in Abhängigkeit zu der Distanz zur Quelle wird in Rihm et al. (2009) wie folgt beschrieben:

$$C = 15,197 \cdot D^{-1,9332}$$

Die damit errechnete Konzentration C ist die jährliche mittlere Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, welche durch 1 kg NH_3 induziert wird. Die Angabe der Distanz D erfolgt in Meter [m].

In Abbildung 1 wird die anhand der beschriebenen Formeln ermittelte prozentuale Verteilung der Deposition dargestellt. Durch Aufsummieren des prozentualen Eintrags in Abhängigkeit zur Distanz wird bis zu einem Abstand von 2 km zur Quelle und bei einer Landnutzung als Nadelwald eine Deposition der gasförmigen Verluste

von insgesamt 44% berechnet. Auf landwirtschaftlichen Flächen hingegen werden 18% des emittierten Ammoniaks wieder eingetragen, in Siedlungen ca. 12%. Somit konnte die in der Literatur allgemein angegebene Schwankungsbreite der Redeposition von 2% bis 60% auf einen Bereich von 12% bis 44% eingegrenzt werden.

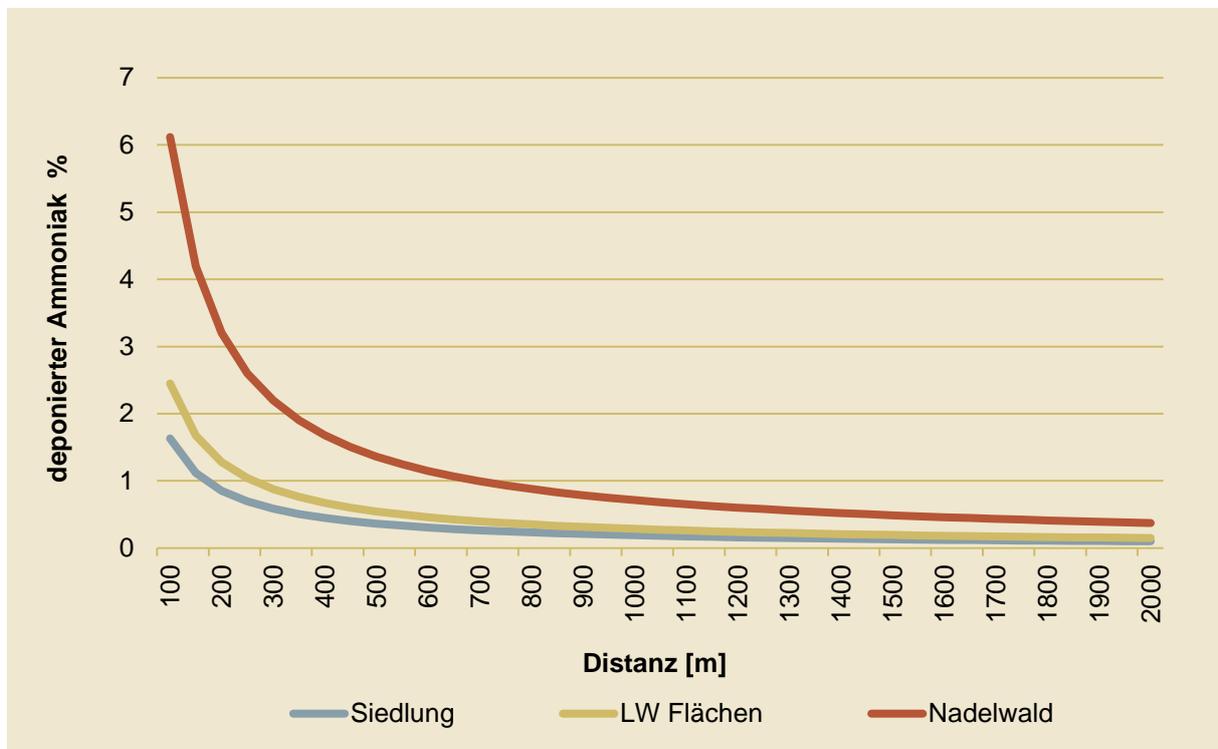


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung des deponierten Ammoniaks in Abhängigkeit der Distanz zur Quelle

2.1.2 Auswirkungen auf die Modellergebnisse

Nach Neuberechnung der Redeposition der gasförmigen Verluste in den Einzugsgebieten unter Verwendung der in Kapitel 2.1 beschriebenen Methodik, erfolgte ein Vergleich mit den Ergebnissen der ursprünglich verwendeten Methodik.

Es zeigte sich, dass die verstärkte Differenzierung des Ansatzes nur in Einzelfällen zu erhöhten Abweichungen der aus der ursprünglich verwendeten Schätzmethode beruhenden Redepositionsraten führt. Statt der ursprünglich angenommenen 30% (der aus den gasförmigen Verlusten in direkter Nähe von 2km wieder auf die Fläche gelangenden Stickstoffes bei Annahme eines 70%igen Ferntransportes) schwanken die in der landnutzungsbedingten Methode für Oberösterreich berechneten Redepositionen der gasförmigen Verluste zwischen 22% und 42%. Ein Großteil der Einzugsgebiete weist Redepositionen der gasförmigen Verluste zwischen 25% und 35% auf (Abbildung 2). Der Mittelwert der Redepositionen aller Einzugsgebiete liegt bei 30% und widerspiegelt die gute Eignung der verwendeten Schätzmethode.

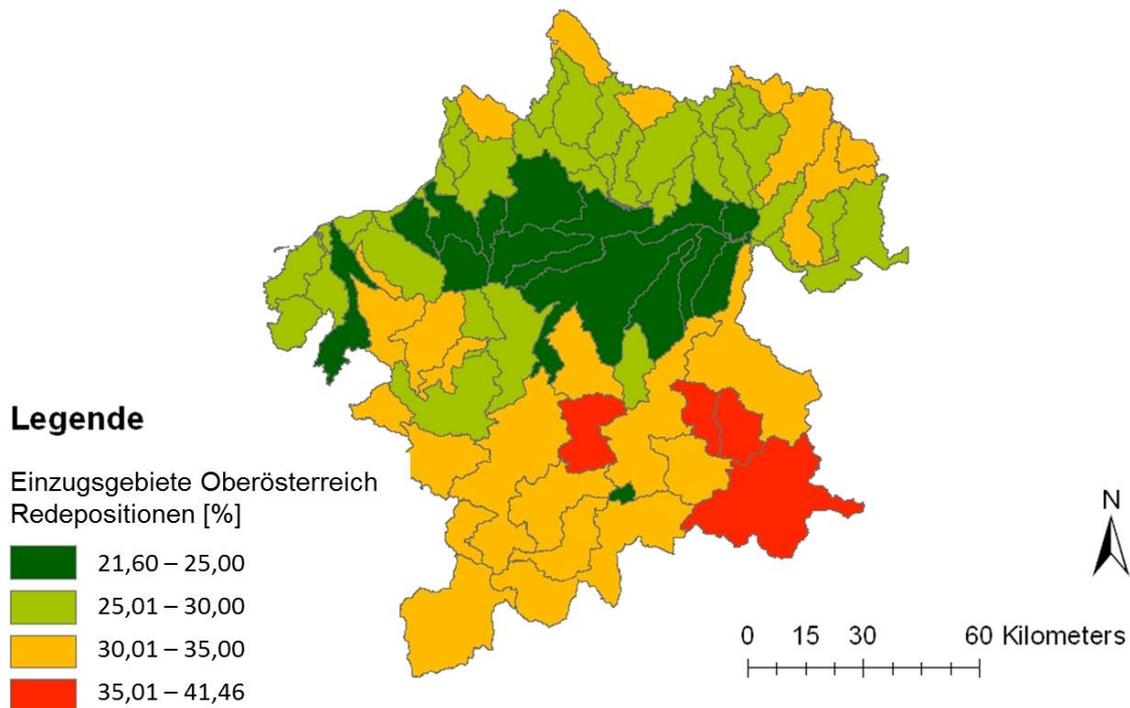


Abbildung 2: Einzugsgebietsbezogene prozentuale Redeposition von gasförmigen N Verlusten in einer Umgebung von 2km

Ein Vergleich zeigt in räumlicher Hinsicht, dass mit der differenzierten Methode für den Norden Oberösterreichs etwas geringere Anteile der Redeposition der gasförmigen N Verluste berechnet werden, wohingegen im Süden leicht erhöhte Anteile ausgewiesen werden. In Teilen der Traun Enns Platte und Teilen des Innviertels werden die geringsten gasförmigen N Redepositionen ermittelt. Dies hängt von der Verteilung der berücksichtigten Landnutzungsparameter (Wald 44%, Landwirtschaftliche Fläche 18% und Siedlung 12% der N Redeposition) ab. Die prozentualen Abweichungen zum ursprünglichen Ansatz liegen zwischen -8,4% und 11,5%.

Die über den differenzierten Ansatz berechneten Redepositionen aus den gasförmigen Verlusten sind in Abbildung 3 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Redepositionen (in der nördlichen und mittleren Region von Oberösterreich (trotz Unterschreitung des ursprünglichen Ansatzes) im Vergleich zu den südlichen Bereichen deutlich erhöht sind und zwischen 2,5 und 7,6 kgN/ha/a erreichen. Die Redepositionen im südlichen Teil von Oberösterreich liegen in einem Bereich von 0,1 bis 2,5 kgN/ha/a. Die erhöhten N Redepositionen im nördlichen und mittleren Teil Oberösterreichs lassen sich durch die Verteilung der Großvieheinheiten (GVE) in Oberösterreich erklären. Der durch geringere Viehdichten bedingte geringe gasförmige N Verlust in den südlichen Regionen führt auch bei erhöhten prozentualen Redepositionen durch die hohen Anteile an Wald zu geringen totalen Redepositionen. Dagegen bedingen die hohen gasförmigen N Verluste im mittleren Teil bei geringeren prozentualen Redepositionen durch hohe Anteile an landwirtschaftlichen Flächen deutlich höhere totale Redepositionen.

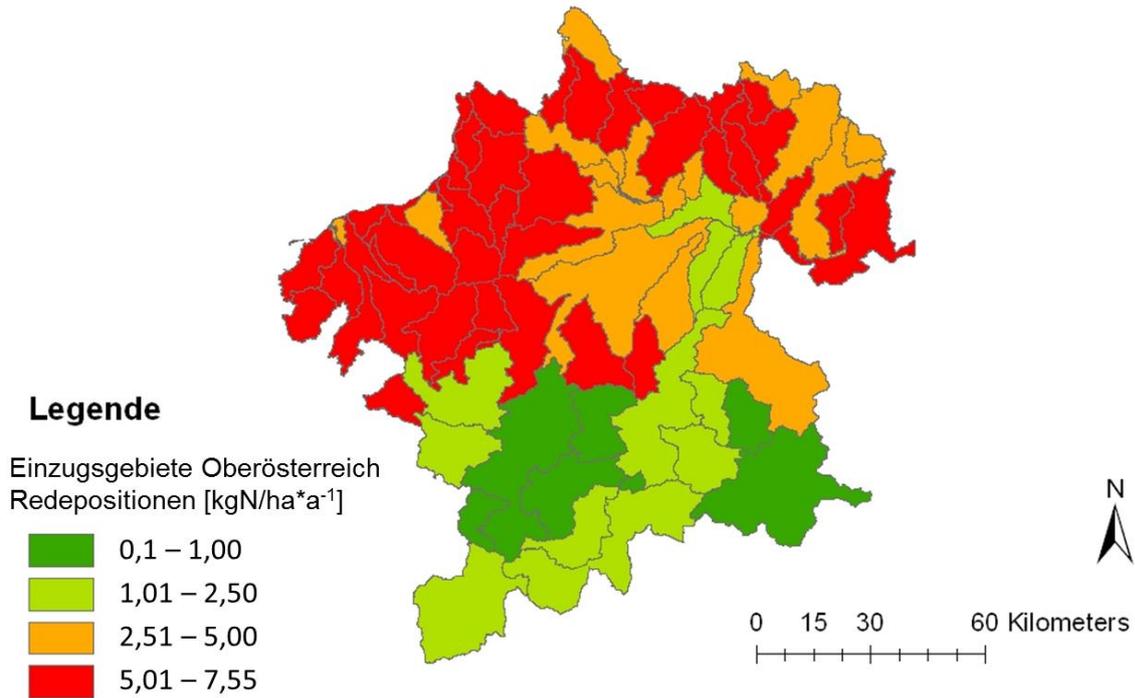


Abbildung 3: Einzugsgebietsbezogene Redeposition von gasförmigen N Verlusten [kgN/ha/a] in einer Umgebung von 2km

Vergleicht man die N Redepositionsraten der Einzugsgebiete aus den unterschiedlichen Ansätzen miteinander fallen zunächst die nur geringen Abweichungen der unterschiedlichen Methoden auf. Insgesamt würde es bei einer Neuberechnung der Redeposition der gasförmigen Verluste zu einer leichten Verringerung der N Überschüsse kommen (Abbildung 4).

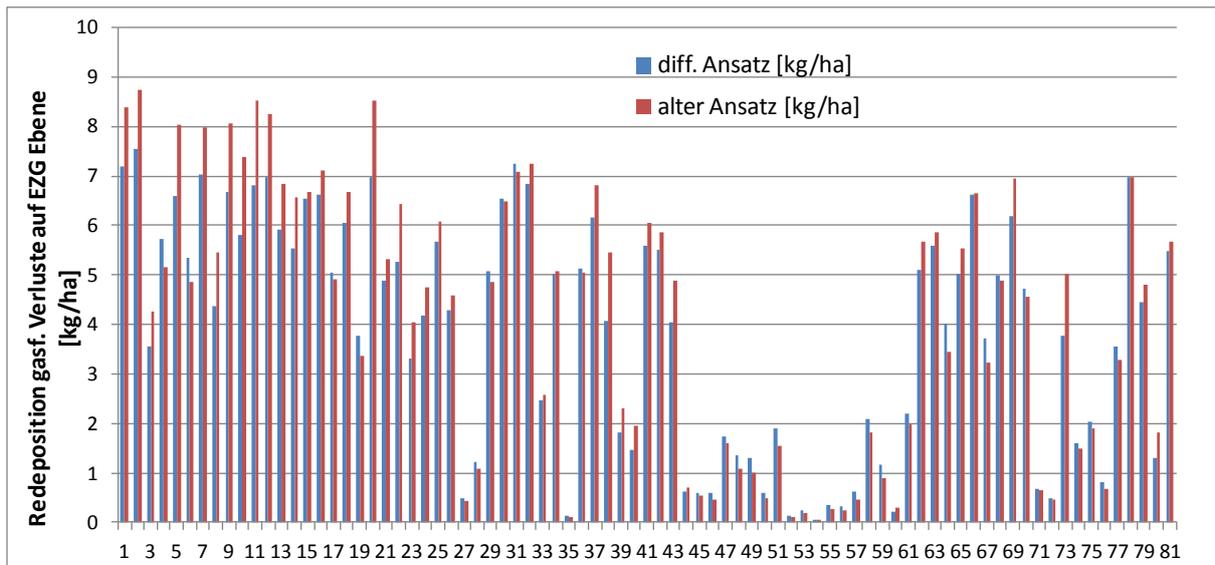


Abbildung 4: Einzugsgebietsbezogener Vergleich der verwendeten Ansätze zur Berechnung der Redeposition von gasförmigen N Verlusten [kgN/ha/a] in einer Umgebung von 2km

Die maximale Reduktion des Überschusses würde bei 1,7kg/ha/a im ID 690 (Pram) liegen. Bei langjährigen N Überschüssen von 60 kg/ha würde dies eine Verringerung des N Überschusses von <3% bewirken und kann damit (im Kontext der hier verwendeten Berechnungsansätze und Skalen) weitgehend vernachlässigt werden.

Da die Implementierung eines neuen und in die Stickstoffbilanz eingreifenden Datensatzes zum jetzigen Zeitpunkt zu einem erheblichen Aufwand (Neuberechnung aller bisherigen Ergebnisse und Szenarien) führen würde und die Abweichungen vom ursprünglichen Ansatz nur sehr gering sind, wird im weiteren Verlauf des Projektes mit dem ursprünglich verwendeten Ansatz weitergerechnet.

Der Vergleich der Ansätze zeigt zum Einen die generellen Möglichkeiten weitergehender methodischer Ansätze auf, zum Anderen bestätigt er die guten Ergebnisse des bisher verwendeten Ansatzes.

2.2 Erweiterte Maßnahmenbetrachtung

In dem vorliegenden Projekt sollten die in dem Projekt „STOBIMO-Maßnahmenwirksamkeit“ ausgewiesenen Maßnahmen ergänzt werden. Während die ursprünglichen Maßnahmen nah an das ÖPUL Programm angelehnt waren und damit mehr oder weniger bereits in Umsetzung befindliche Maßnahmen abbildet, sollten in einem weiteren Schritt sinnvolle und vielversprechende weitergehende Maßnahmen ausgewiesen und ihr Potenzial zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in Fließgewässer quantifiziert werden (Kapitel 2.2.1).

Insgesamt wurden drei weitere Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoff Emissionen abgeleitet:

- „Düngezeitpunkt Mais“ (N12)
- „Erweiterung der Lagerkapazität“ (N13)
- „Abluftreinigung“ (N14).

Die Maßnahme „Düngezeitpunkt Mais“ geht davon aus, dass durch später einsetzende Düngung Anfang Juni (statt häufig Anfang April) bei Maisanbau die N Auswaschung in das Grundwasser um 10kg/ha/a reduziert werden kann.

In der Maßnahme „Erweiterung der Lagerkapazität“ wird angenommen, dass durch eine Vergrößerung des Wirtschaftsdüngerlagerraumes bei Schweinehaltung auf eine Herbstdüngung zu Wintergetreide verzichtet werden kann. Durch die Reduktion des N Überschusses kann ebenfalls die Auswaschung in das Grundwasser reduziert werden (Kapitel 2.2.2).

Bei der Maßnahme „Abluftreinigung“ wird davon ausgegangen, dass durch Reinigung und Absaugung in Ställen mit Zwangslüftung (bei Schweinen und Geflügel) 80% der gasförmigen N Verluste aus der Stallhaltung zurückgehalten werden können (Kapitel 2.2.3).

Für Phosphor wurden die bereits betrachteten Maßnahmen nicht weiter ergänzt.

2.2.1 Maßnahme N12: Düngzeitpunkt zu Mais

Die Düngung zum Maisanbau wird häufig schon zum Anbau (April bis Anfang Mai) abgeschlossen. Da der Mais allerdings als sogenannter „Spätzehrer“ die Nährstoffe erst im Juni/Juli effektiv aufnimmt, kommt es im Zeitraum zwischen Mai bis Juni zu besonders hohen Nitratauswaschungen. Dies konnte anhand jahrelanger Lysimetermessungen in Oberösterreich bestätigt werden (Abbildung 5). Während in Jahren, in welchen Wintergetreide angebaut wurde eine gleichmäßige Nitratauswaschung von insgesamt 13 kg N/ha auftritt, ist in Maisjahren eine besonders ausgeprägte Auswaschungsspitze im Mai-Juni zu sehen. Insgesamt ist die Auswaschung mit 26 kg N/ha im Vergleich zu Jahren mit Wintergetreide um den Faktor 2 erhöht.

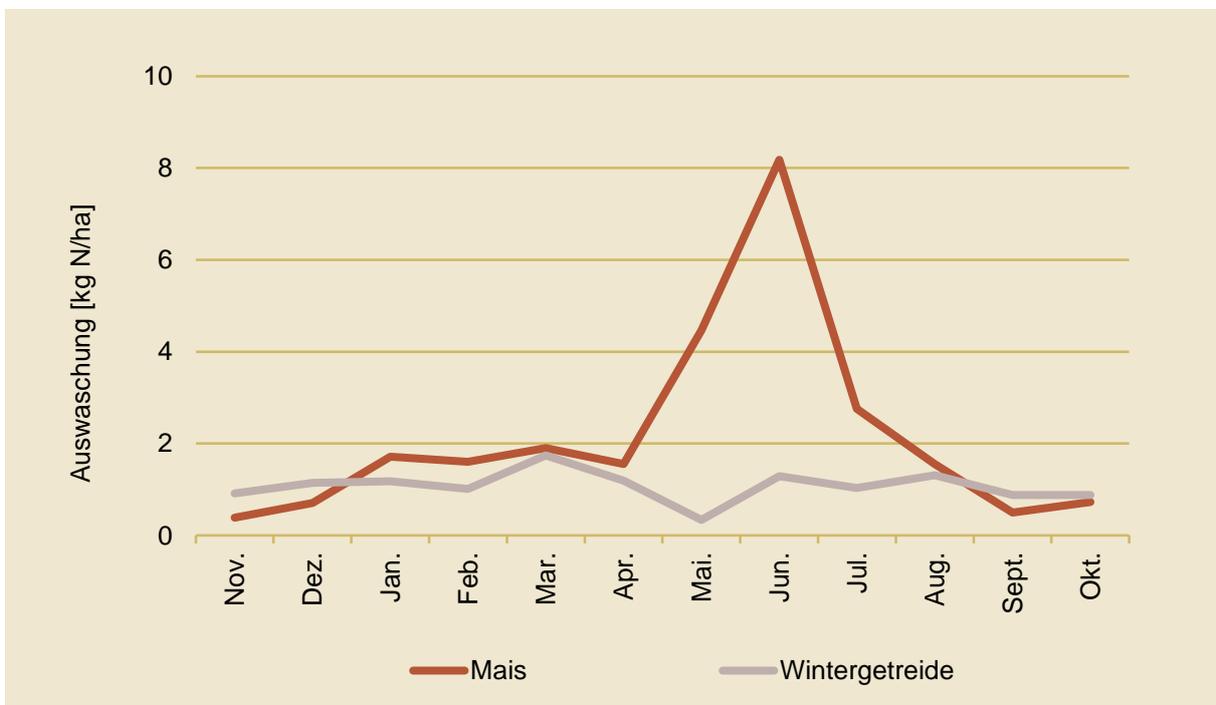


Abbildung 5: Mittlere monatliche Nitratauswaschung in Maisjahren im Vergleich zu Jahren mit Wintergetreide

Wird der Düngzeitpunkt von Mais etwa 2 Monate nach hinten verschoben, kann daher die Differenz in der Auswaschung zwischen den Mais- und Wintergetreidejahren eingespart werden.

Für die Modellrechnung wurde angenommen, dass durch einen späteren Düngzeitpunkt zu Mais 10 kg N/ha weniger ausgewaschen werden.

Potenzielle Wirksamkeit von N12

Da bei der Maßnahme „Düngzeitpunkt Mais“ davon ausgegangen wird, dass die N Emissionen, die über das Sickerwasser in das Grundwasser eingetragen werden auf Flächen mit Maisanbau bei späterer Düngung um 10kgN/ha/a verringert werden, ist

die potenzielle Wirksamkeit der Maßnahme von den Anteilen der Maisflächen im Einzugsgebiet abhängig.

Betrachtet man die Anteile der Maisflächen an der Ackerfläche in den Einzugsgebieten von Oberösterreich fallen maximale Anteile von 20-25% auf der Traun-Enns Platte und im Innviertel auf (Abbildung 6). Im Süden und im Norden Oberösterreichs kommt es zu deutlich geringeren Anteilen von Maisflächen mit 0-2% und 0-5%. Räumlich betrachtet bietet sich entsprechend im mittleren Oberösterreich und insbesondere auf der Traun-Enns Platte und im Innviertel das höchste Reduktionspotenzial für diese Maßnahme.

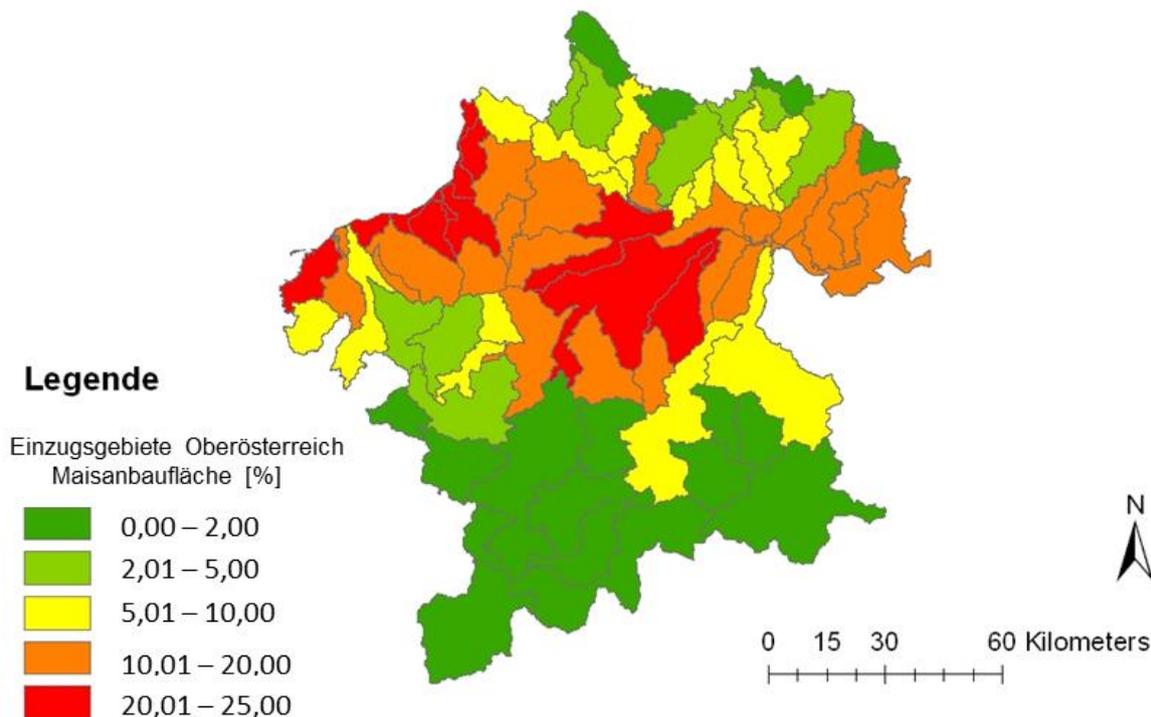


Abbildung 6: Einzugsgebietsbezogene prozentualer Anteil von Mais an den Ackerflächen in Oberösterreich

Aus der räumlichen Verteilung der Maisflächenanteile leitet sich direkt das Reduktionspotenzial für N Einträge aus dem Sickerwasser in das Grundwasser ab.

Um die Maßnahme „Düngezeitpunkt Mais“ in das Emissionsmodell MONERIS zu implementieren muss der berechnete N Überschuss in jedem Teil Einzugsgebiet um einen Anteil gekürzt werden, der aliquot zu der ausgewiesenen Reduktion im Sickerwasser berechnet wird. Entsprechend wirkt sich die Maßnahme im Modell (entsprechend der Realität) auf den Grundwassereintragspfad und auf den Eintragspfad der Drainagen aus.

Ausgangssituation für die Veränderungen der Eingangsdaten (langjähriger N Überschuss) ist das N0 Szenario. Dieses berücksichtigt die Auswirkungen der bereits durchgeführten Maßnahmen, wobei ihre Wirksamkeit bedingt durch die Grundwasseraufenthaltszeiten zeitverzögert wirken.

Abbildung 7 zeigt die durch die Maßnahme potenziell erzielbare Reduktion der Eintragspfade „Drainagen“ und „Grundwasser“ in Prozent.

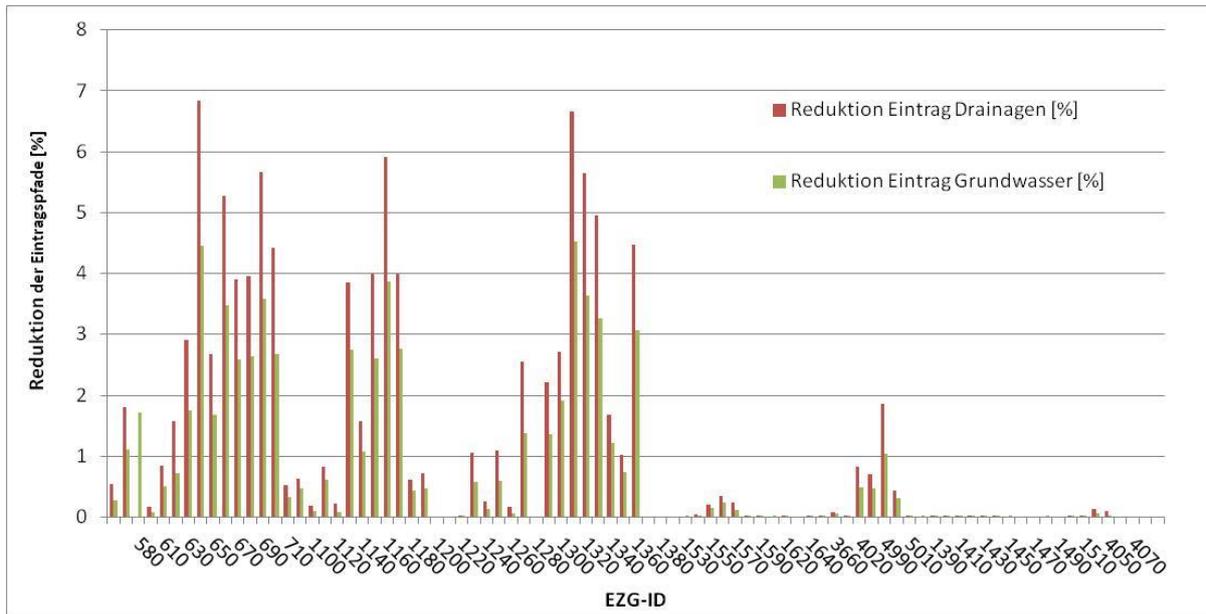


Abbildung 7: Prozentuale maßnahmenbezogene Reduktion der Eintragspfade Drainagen und Grundwasser in den Einzugsgebieten

Entsprechend der Verbreitung von Maisflächen in den Einzugsgebieten kann der Stickstoffeintrag über Drainagen potenziell um bis zu 7% reduziert werden. Im Mittel jedoch nur um 1,2% (2% wenn ausschließlich die Einzugsgebiete berücksichtigt werden, in denen Drainagen ausgewiesen werden konnten).

N Emissionen aus dem Grundwasser können maximal um 4,5% reduziert werden. Die Reduktion im Grundwasser ist nicht nur abhängig vom Vorkommen der Maisfläche, sondern auch vom Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der gesamten Einzugsgebietsfläche, da die N Emission aus dem Grundwasserpfad sich aus der Summe der Emissionen aus der landwirtschaftlichen Nutzfläche und anderen Flächen berechnet.

Durch die Kopplung der Maßnahme an dem Vorkommen von Maisflächen kann die Wirksamkeit der Maßnahme nur in wenigen stark durch den Maisanbau geprägten Einzugsgebieten von Bedeutung für die N Gesamtfracht sein.

Insgesamt können durch diese Maßnahme in 20% der Einzugsgebiete von Oberösterreich potenziell zwischen 1 und 3,8% der gesamten N Emissionen in die Gewässer reduziert werden. In den Einzugsgebieten mit Qualitätszielüberschreitung können in 80% der Fälle potenziell 1 bis 3,8% der N Gesamtemissionen bzw. der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen im Gewässer reduziert werden (Abbildung 10).

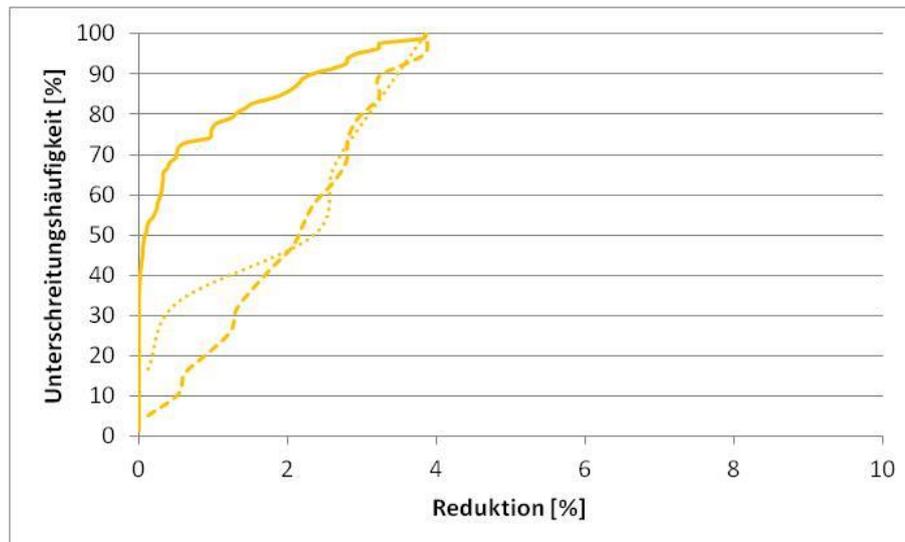


Abbildung 8: Überschreitungshäufigkeiten der Reduktionsmöglichkeiten der N Emissionen in Prozent bei allen Einzugsgebieten (durchgezogene Linie), Einzugsgebieten mit möglicher Qualitätszielüberschreitung aus MONERIS (strichlierte Linie) und gemessener Qualitätszielüberschreitung (punktierte Linie)

Ist auch die Gesamtwirkung der Maßnahme eher klein und auf wenige Einzugsgebiete, aber insbesondere jene mit Qualitätszielüberschreitung für Nitrat, beschränkt, so kann sie doch als zusätzliche Maßnahme herangezogen werden, da sie:

- keinen tiefgreifenden Eingriff in die Bewirtschaftungsweise darstellt, da lediglich der Zeitpunkt der Ausbringung verschoben wird
- durch gezielte Information relativ leicht umsetzbar erscheint.

2.2.2 Maßnahme N13: Erweiterung der Lagerkapazität

Der Wirtschaftsdüngerlagerraum muss laut Aktionsprogramm Nitrat 2012 mindestens die Anfallsmenge für 6 Monate fassen können. Bei rinderhaltenden Betrieben reicht diese Größe aus, da im Laufe des Jahres genügend Grünflächen zur Verfügung stehen, auf welchen der Wirtschaftsdünger sinnvoll verwertet werden kann. Bei Schweinehaltern allerdings ist aufgrund der üblichen Fruchtfolge eine Lagerraumkapazität von 6 Monaten zu gering, so dass im Herbst der Wirtschaftsdünger ausgebracht werden muss um genügend Lagerraum für den Winter sicherzustellen. Die Herbsdüngung erfolgt üblicherweise auf Flächen mit Wintergetreide, welches aus pflanzenbaulicher Sicht keinen Dünger im Herbst benötigt. Der Stickstoff wird daher von der Pflanze nicht aufgenommen, sondern ins Grundwasser ausgewaschen. Wird nun die Lagerkapazität von 6 Monate auf 10 Monate bei Schweinehaltenden Betrieben erweitert, kann auf die Herbsdüngung bei Wintergetreide verzichtet werden, was sich auf die N-Auswaschung ins Grundwasser positiv auswirkt.

Da diese Problematik wie oben beschrieben hauptsächlich auf Schweinebetrieben anzutreffen ist, wurde die Abnahme der jährlichen Auswaschung durch den Verzicht auf Herbsdüngung anhand des Schweine-Besatzes pro Gemeinde eruiert. In

Abhängigkeit des Schweine-Besatzes muss bei beschränktem Lagerraum (6 Monate) im Herbst eine gewisse Düngemenge ausgebracht werden, um ein eventuelles Überlaufen der Güllegruben während des Winters zu vermeiden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Aufzubringende Herbstdüngemenge in Abhängigkeit des Schweinebesatzes

Schweine-Besatz [GVE/ha]	Herbstdüngung [kg N/ha]
0,0	0
0,5	8
1,0	16
1,5	24
2,0	32
>2	45

Die durch die unterschiedlich hohe Herbstdüngung induzierte N-Auswaschung wird anhand der Daten zweier seit über 10 Jahren beobachteter Lysimeter in Oberösterreich ermittelt (Abbildung 9).

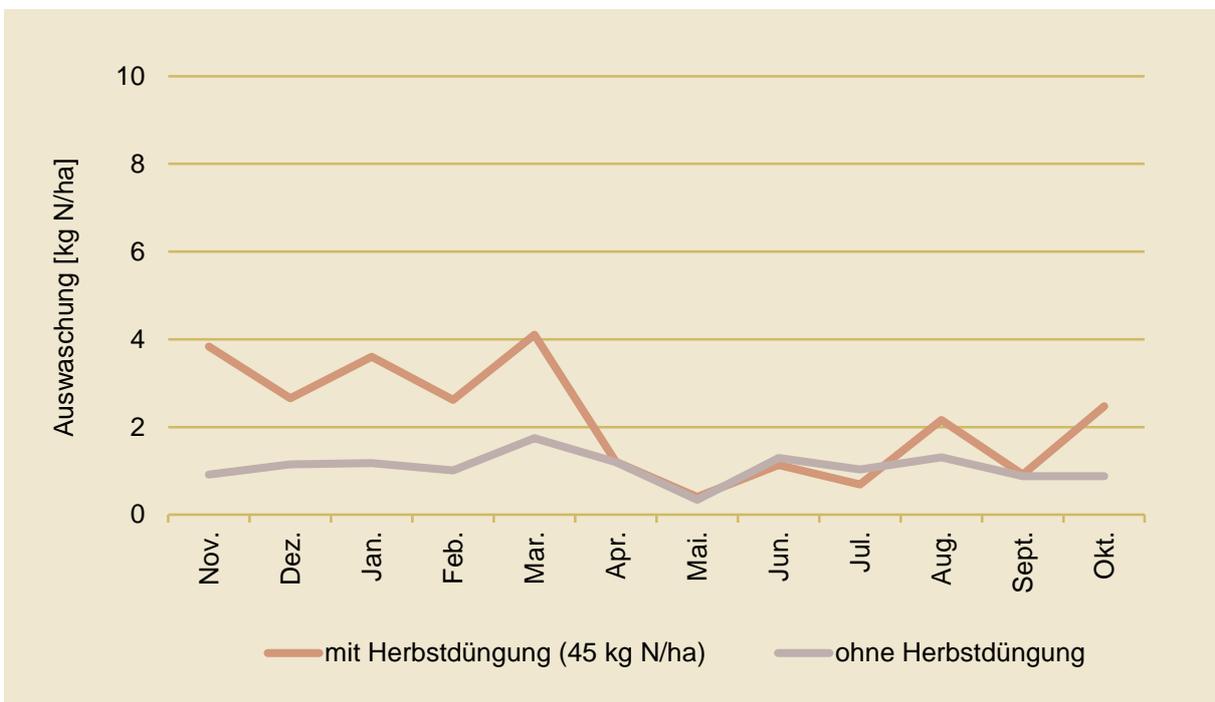


Abbildung 9: Mittlere monatliche Nitratauswaschung für alle Jahre mit Wintergetreide mit und ohne Herbstdüngung

Diese befinden sich auf zwei vergleichbaren tiefgründigen Standorten. Sie unterscheiden sich lediglich in ihrer Bewirtschaftung (Wirtschaftsdünger - Mineraldünger). Am Standort mit Wirtschaftsdünger wurden im Herbst

durchschnittlich 45 kg N/ha in Form von Schweinegülle aufgebracht. Diese Düngung führt im Gegensatz zu einem Mineraldüngerbetrieb (welcher im Herbst nicht düngt) zu einer zusätzlichen Auswaschung von 13 kg N/ha.

Ausgehend von dieser Beobachtung und unter der Annahme einer linearen Abhängigkeit zwischen Herbstdüngemenge und Auswaschung kann in weiterer Folge die zusätzliche Auswaschung bezogen auf den Schweine-Besatz ermittelt werden (Abbildung 10).

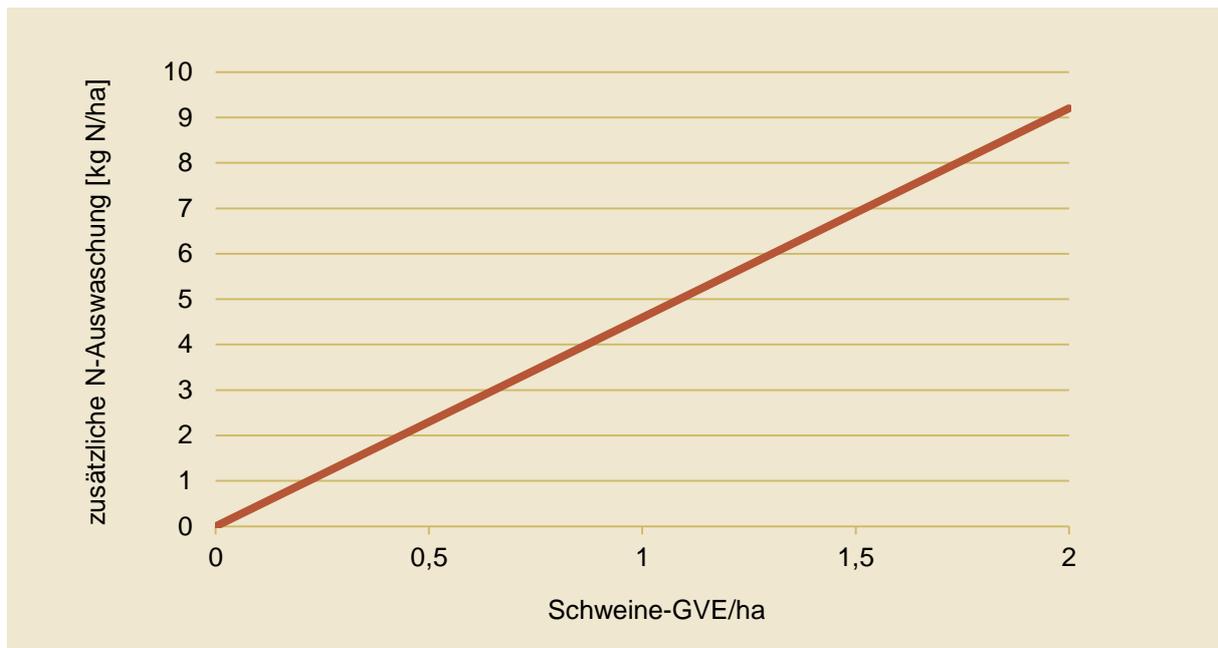


Abbildung 10: Zusätzliche N-Auswaschung durch Herbstdüngung bezogen auf Schweine-GVE/ha

Potenzielle Wirksamkeit von N13

Bei der Maßnahme „Erweiterung der Lagerkapazität“ wird die Herbstdüngung auf Flächen mit Wintergetreide ausgesetzt. Durch die Reduktion des N Überschusses kann wie bei der Maßnahme „Düngezeitpunkt Mais“ die Auswaschung von N in das Grundwasser reduziert werden. Auf Flächen mit Wintergetreide muss keine herbstliche Ausbringung von wertvollem Wirtschaftsdünger erfolgen. Da dies bei Betrieben mit Schweinehaltung in der Regel dennoch geschieht und die Aufbringung mit der Dichte der Schweine korreliert werden kann, schlägt sich zunächst die Höhe der GVE Schwein im Einzugsgebiet auf die pro Hektar im Sickerwasser potentiell zu reduzierende N Menge nieder.

Abbildung 11 zeigt die durch die GVE Schwein bestimmte, maximal zu reduzierende N Rate im Sickerwasser in $\text{kg/ha} \cdot \text{a}^{-1}$.

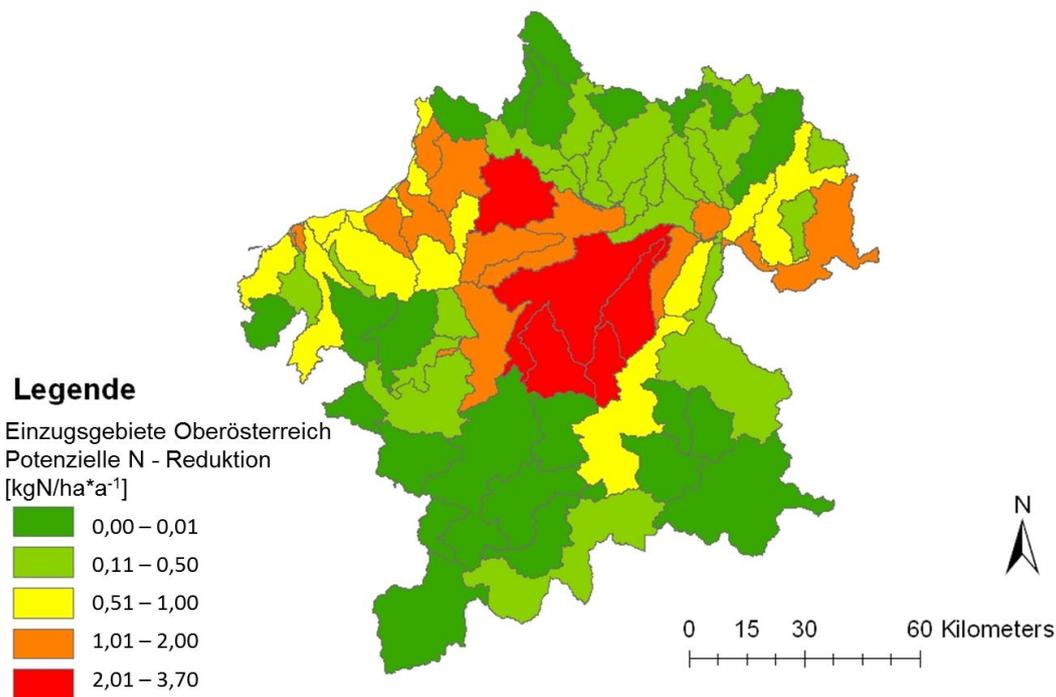


Abbildung 11: Durch GVE Schwein potenziell erreichbare N Reduktionsmöglichkeit im Sickerwasser der Einzugsgebiete

Es zeigt sich, dass aufgrund der hohen Anteile an GVE Schwein in der Traun-Enns Platte und teilweise im Innviertel ein erhöhtes Potenzial zur Reduktion der N Sickerwasserraten gegeben ist, das aber aggregiert auf Einzugsgebietsebene $3,7 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}^{-1}$ nicht überschreitet. Im Mühlviertel und im südlichen Bereich von Oberösterreich ist die Maßnahme aufgrund der geringen Schweinehaltung irrelevant.

Neben der Abhängigkeit von den GVE Schwein ist die potenzielle N Reduktion (Sickerwasser) im Einzugsgebiet von der Fläche abhängig, auf der Wintergetreide kultiviert wird. Abbildung 12 gibt einen Überblick über die Anteile von Wintergetreide an der landwirtschaftlichen Nutzfläche aggregiert auf Einzugsgebietsebene.

Auch beim Anbau von Winterweizen zeigen sich mit 30-40% die höchsten Anteile an der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Traun-Enns Platte. Lediglich im Innviertel werden aggregiert auf Einzugsgebietsebene ebenfalls erhebliche Anteile von 20-30% ermittelt.

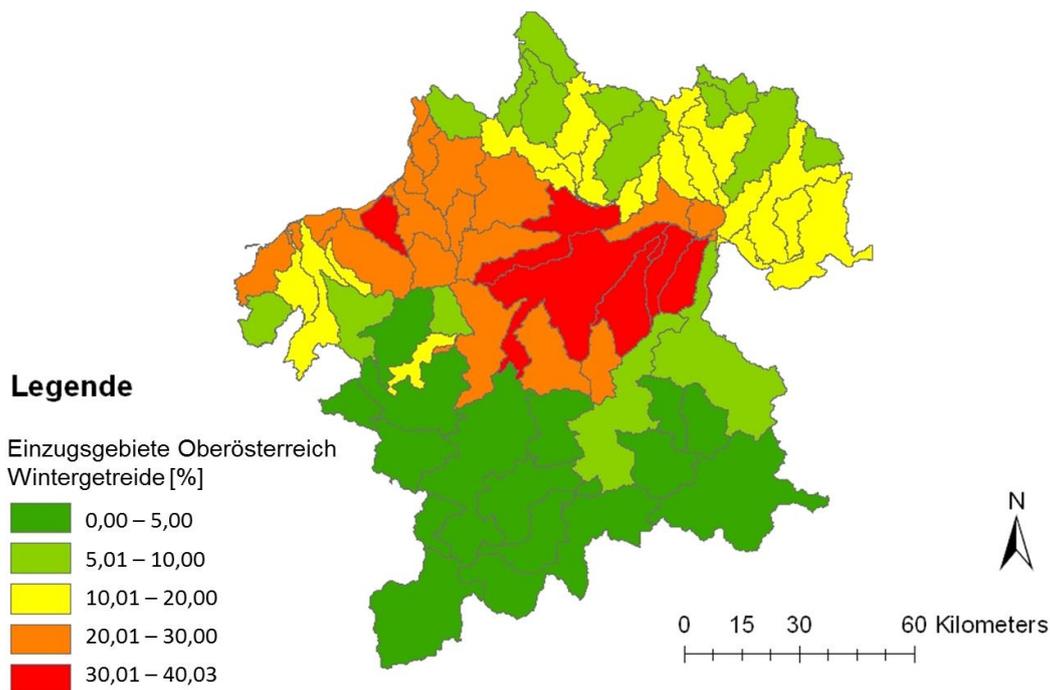


Abbildung 12: Einzugsgebietsbezogener prozentualer Anteil von Wintergetreide an der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Oberösterreich

Über die GVE Schwein und die Flächen mit Nutzung als Wintergetreide wird die potenziell zu reduzierende N Menge im Sickerwasser für jedes Einzugsgebiet bestimmt.

Da sich die Maßnahme „Erweiterung der Lagerkapazität“ wie die Maßnahme „Düngezeitpunkt Mais“ auf eine potenzielle Reduktion der N Sickerwasserraten auswirkt, wird bei der Implementierung in MONERIS (mit entsprechend veränderten Eingangsdaten) ebenso vorgegangen, wie es bereits bei der Maßnahme „Düngemanagement Mais“ ausführlich beschrieben wurde.

Da die potentielle Reduktion der N Sickerwasserraten jedoch bei der Maßnahme „Erweiterung der Lagerkapazität“ mehr als dreimal kleiner sind als bei der Maßnahme „Düngezeitpunkt Mais“, die Flächen auf denen eine solche Maßnahme anwendbar wäre dagegen beim Winterweizen nur in wenigen Einzugsgebieten deutlich erhöht ist, fällt das Potenzial der Maßnahme zur Reduktion von N Emissionen insgesamt deutlich geringer aus. Abbildung 13 zeigt die potenzielle Reduktion der N Emissionen in den Eintragspfaden „Drainagen“ und „Grundwasser“.

Die maximale potenzielle N Reduktion im Eintragspfad Drainagen beträgt 3,5%, die im Grundwasser 2,3%.

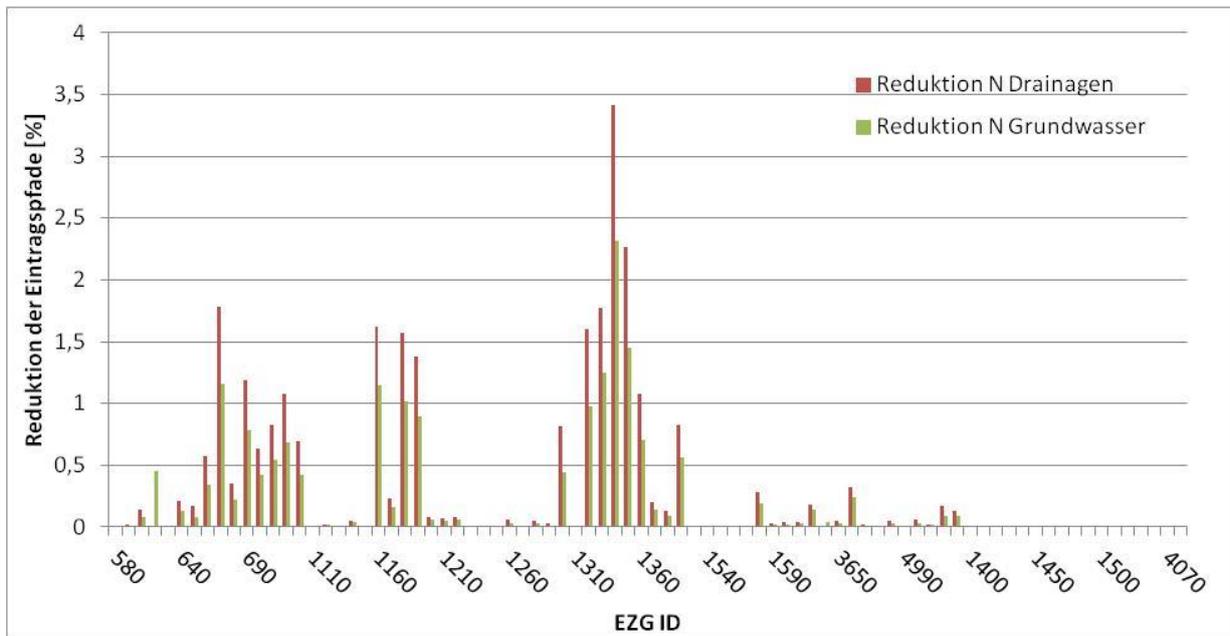


Abbildung 13: Prozentuale maßnahmenbezogene Reduktion der Eintragspfade Drainagen und Grundwasser in den Einzugsgebieten

Entsprechend der geringen N Reduktionspotenziale in den Eintragspfaden „Drainagen“ und „Grundwasser“ fällt die potenzielle Wirksamkeit der Maßnahme „Erweiterung der Lagerkapazität“ in allen Einzugsgebieten sehr gering aus (Abbildung 14). Die Ergebnisse belegen, dass eine einzugsgebietsbezogene Umsetzung dieser Maßnahme wenig sinnvoll ist. Dies bedeutet aber nicht, dass die Maßnahme unter kleinräumigeren Gesichtspunkten bedeutungslos sein muss.

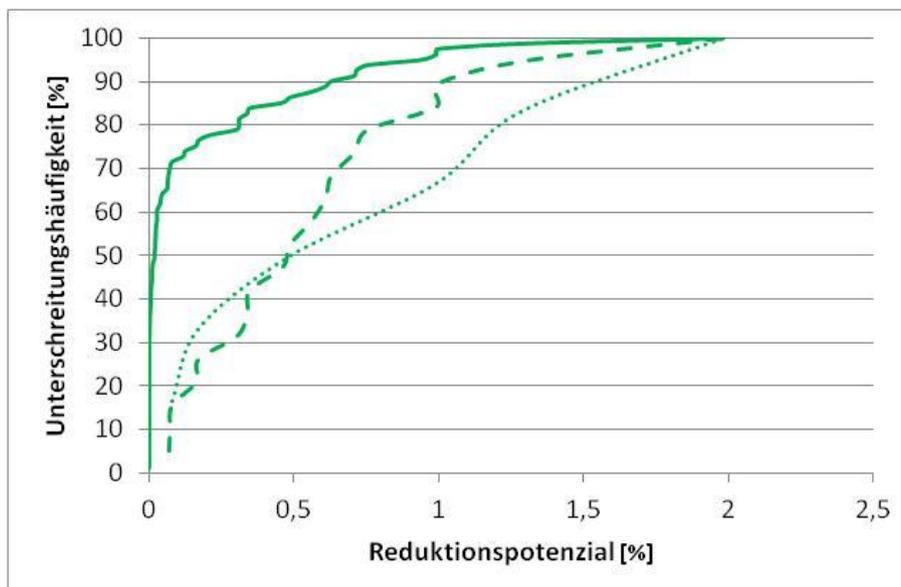


Abbildung 14: Unterschreitungshäufigkeiten der Reduktionsmöglichkeiten der N Emissionen in Prozent bei allen Einzugsgebieten (durchgezogene Linie), Einzugsgebieten mit möglicher Qualitätszielüberschreitung aus MONERIS (strichlierte Linie) und gemessener Qualitätszielüberschreitung (punktierte Linie)

2.2.3 Maßnahme N14: Abluftreinigung

Die Reinigung der Stallabluft bewirkt eine Verminderung der gasförmigen Emission von Ammoniak. Das Anbringen von Abluftreinigungsanlagen ist nur bei Ställen mit Zwangslüftung möglich, da es bei einer freien Lüftung zu diffusen großflächigen Emissionen kommt, welche durch die Abluftreinigung nicht erfasst werden können (Brunner, 2008). Aus diesem Grund ist diese Maßnahme nur bei Schweine- und Geflügelställen anwendbar.

Die Effizienz der Eliminierung des Ammoniaks ist abhängig vom Anlagentyp. Während Biofilter 50-85% des Ammoniaks entfernen, sind Chemowäscher mit Reduktionen zwischen 75-95% effizienter. Auch mithilfe eines Biowäschers kann der Ammoniakgehalt in der Abluft um bis zu 85% herabgesetzt werden.

In der Berechnung wurde daher angenommen, dass im Mittel 80% des Ammoniaks durch die Abluftreinigung eliminiert werden.

Potenzielle Wirksamkeit von N14

Bei der Maßnahme „Stallhaltungsmanagement“ wird davon ausgegangen, dass 80% der gasförmigen (NH_3) Verluste aus der Stallhaltung von Schweine- und Geflügelställen durch weitergehende Abluftreinigung vermieden werden können.

Die Verluste werden berechnet indem in einem ersten Schritt die GVE – für Schweine und Geflügel unabhängig voneinander durch Verschneidung der auf Gemeindeebene vorliegenden INVEKOS Daten, auf Einzugsgebietsebene aggregiert werden. Die betrachteten Tierarten setzen unterschiedliche Mengen an NH_3 pro Großvieheinheit frei, so dass die Berechnungen der aus der Stallhaltung entstehenden N Freisetzung einzeln für Schweine und Geflügel berechnet werden. Danach wird die Summe der N Freisetzung aus der Schweine- und Geflügelhaltung auf Einzugsgebietsebene ermittelt. Die quantifizierten Emissionen aus der Stallhaltung werden um 80% reduziert. Eine Berücksichtigung der Reduzierten NH_3 Emissionen in MONERIS findet in einer adäquaten Verringerung des Stickstoffüberschusses auf der gesamten Fläche statt.

Abbildung 15 zeigt die potentiell durch die Maßnahme der Abluftreinigung aus der Stallhaltung (N14) zu reduzierenden Anteile an den Eintragspfaden Drainagen und Grundwasser für Stickstoff Emissionen. Es wird deutlich, dass die potentielle Reduktion in einem sehr ähnlichen Bereich liegt, wie für Maßnahme N12 „Düngezeitpunkt Mais“. Die möglichen Reduktionen der Stickstoffeinträge über Drainagen können um maximal 6% reduziert werden. Im Mittel der oberösterreichischen Einzugsgebiete aber nur um 1,4%. Der Eintrag von Stickstoff über das Grundwasser kann mit der Maßnahme 14 maximal um 4% und im Mittel der oberösterreichischen Einzugsgebiete um 0,9% reduziert werden.

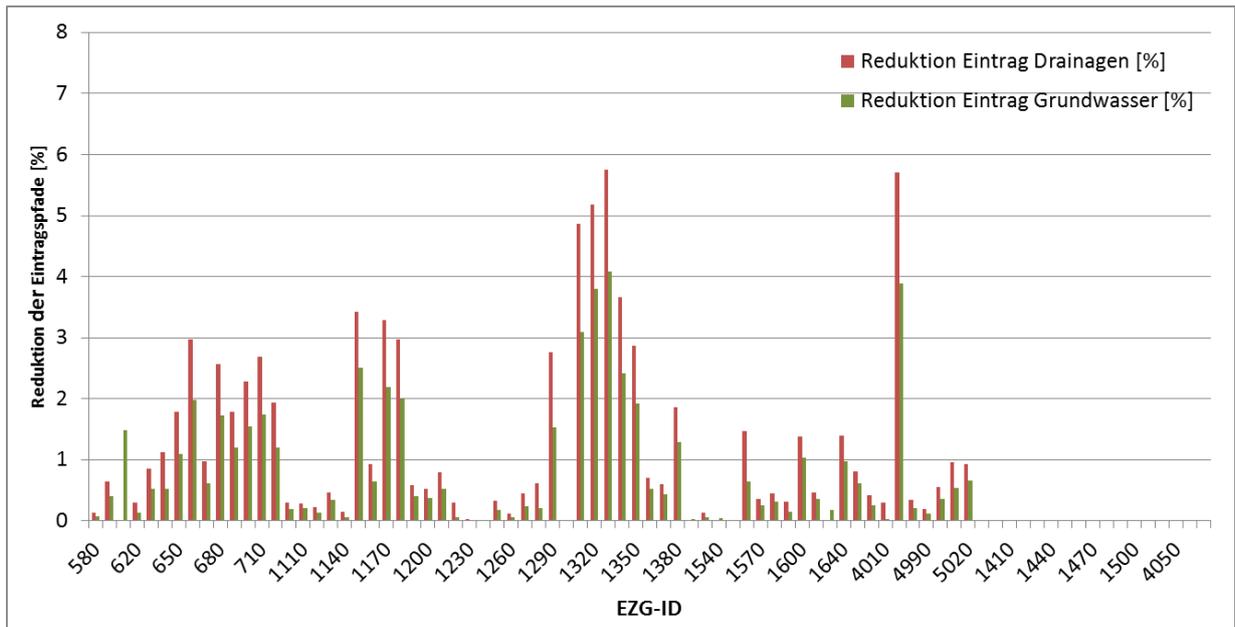


Abbildung 15: Prozentuale maßnahmenbezogene Reduktion der Eintragspfade Drainagen und Grundwasser in den Einzugsgebieten

Insgesamt können durch diese Maßnahme potenziell in 25% der oberösterreichischen Einzugsgebiete zwischen 1% und 3,2% der gesamten Stickstoff Emissionen in die Gewässer reduziert werden (Abbildung 16). In den Einzugsgebieten mit modellierter Grenzwertüberschreitung können die Stickstoff Emissionen in 70% aller Fälle um 1-3,2% und in 20% aller Fälle um über 2% reduziert werden. In den Einzugsgebieten mit gemessener Grenzwertüberschreitung können in 30% aller Fälle >2% reduziert werden.

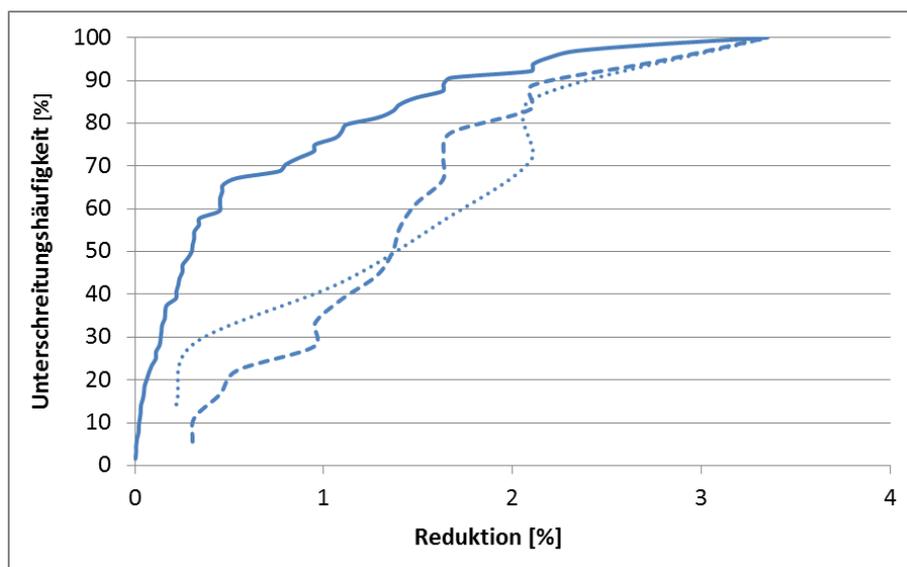


Abbildung 16: Unterschreitungshäufigkeiten der Reduktionsmöglichkeiten der N Emissionen in Prozent bei allen Einzugsgebieten (durchgezogene Linie), Einzugsgebieten mit möglicher Qualitätszielüberschreitung aus MONERIS (strichlierte Linie) und gemessener Qualitätszielüberschreitung (punktierter Linie)

2.2.4 Potenzielle Wirksamkeiten von Einzelmaßnahmen

In Zessner et al., 2012 konnten bereits potenzielle Maßnahmenwirksamkeiten verschiedener Maßnahmen für Phosphor und Stickstoff quantifiziert werden. Die Auswahl der zu bewertenden Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoffemissionen wurde in diesem Bericht um die oben vorgestellten drei Maßnahmen (N12, N13, N14) ergänzt. Somit sind nun für Stickstoff zehn Maßnahmen betrachtet worden. Zusätzlich quantifiziert N0, die 2001-2006 bereits initiierten Maßnahmen und ihre durch die Grundwasseraufenthaltszeiten verzögerten zu erwartenden Wirksamkeiten. Folgende Maßnahmen werden insgesamt betrachtet:

N0: Berücksichtigung der Grundwasseraufenthaltszeit

N1: Durchgehende Bodenbedeckung mit Nutzung (auf 7% der Ackerflächen)

N2: Durchgehende Bodenbedeckung ohne Nutzung (auf 7% der Ackerflächen)

N3o: ohne Winterbegrünung von Acker

N3m: maximale Winterbegrünung von Acker

N6: Düngebeschränkung auf eine mittlere Ertragslage

N7: Düngung nach Bodenvorrat

N11: Stickstoffentfernung > 85% auf allen Kläranlagen

N12: Düngezeitpunkt Mais

N13: Erweiterung der Lagerkapazität

N14: Abluftreinigung.

Die Gesamtwirksamkeit der Maßnahmen für die Einzugsgebiete in Oberösterreich kann aus Tabelle 3 entnommen werden. Es zeigt sich, dass die zusätzlichen Maßnahmen (N12, N13, N14) lediglich zu einer im Verhältnis zu den übrigen Maßnahmen mittleren Reduktion der Gesamt-N Emissionen führen. Somit können sie grundsätzlich als ergänzende Maßnahmen genutzt werden. Da für N14 insgesamt die höchsten Reduktionen der zusätzlich betrachteten Maßnahmen resultieren, wurde diese Maßnahme bei der Ausarbeitung der Maßnahmenpakete (Kapitel 2.3.4) berücksichtigt.

Tabelle 3: Gesamt Stickstoff Emissionen [t/a] und Stickstoff Emissionen über das Grundwasser für den Ist Zustand (2001-2006), bereits umgesetzte Maßnahmen (N0) und bei maximaler Umsetzung von Einzelmaßnahmen (N1-N14)

Szenarien:	2001-2006	N0	N1	N2	N3o	N3m	N6	N7	N11	N12	N13	N14
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a
N-Emissionen über das Grundwasser	11245	10508	10416	10373	10786	10420	10006	9711	10508	10399	10449	10379
Gesamte N-Emissionen	18740	18003	17899	17850	18321	17902	17433	17081	17408	17874	17936	17857

Für Phosphor wurden keine Erweiterungen der bisher bestehenden Maßnahmen, die in Zessner et al., 2012 dokumentiert sind, vorgenommen. Die potenzielle Wirksamkeit der bestehenden Maßnahmen wird in diesem Bericht nicht noch einmal gezeigt und kann dem oben genannten Bericht entnommen werden.

2.3 Teilnahmeszenarien und Maßnahmenpakete

2.3.1 Methodische Herangehensweise

In dem vorliegenden Projekt soll eine Abschätzung möglicher Umsetzungs- und Teilnahmeszenarien an den Maßnahmen erfolgen und mögliche Maßnahmenkombinationen aufgelistet werden. Grundsätzlich wurden die Teilnahmeszenarien in drei Stufen eingeteilt.

In der Stufe 1 werden realistische Teilnahmequoten angegeben, welche anhand von derzeitigen Teilnahmezahlen bei bereits existierenden Maßnahmen abgeschätzt wurden. Bei Maßnahmen, welche aktuell nicht angeboten werden, allerdings in vorhergehenden ÖPUL-Perioden Anwendung fanden bzw. in einzelnen Modellregionen bereits angeboten wurden, erfolgte die Abschätzung der Teilnahmequoten anhand der damals erreichten Teilnahmezahlen.

Die Stufe 2 stellt jene Teilnahmen pro Maßnahme dar, welche durch attraktive Förderung und eine verstärkte Beratung erreicht werden können.

In Stufe 3 wurde angenommen, dass alle potentiell möglichen Flächen im Einzugsgebiet für die betreffende Maßnahme verwendet werden können.

Unter dem Punkt Maßnahmenpakete wurde untersucht, welche Maßnahmen unter Beachtung der Wirkungsweise und der Art der landwirtschaftlichen Fläche, auf welcher die jeweilige Maßnahme angewendet wird, plausibel kombinierbar sind. Teilweise kann eine Kombination nur unter Berücksichtigung diverser Einschränkungen erfolgen, welche gegebenenfalls genauer erläutert werden.

2.3.2 Teilnahmequoten

Im Folgenden werden die angenommenen Teilnahmequoten der Maßnahmen zur Reduktion der N-Emissionen und der Maßnahmen zur Reduktion der P-Emissionen dargestellt.

Maßnahme N0: Berücksichtigung der Grundwasseraufenthaltszeit

Diese Maßnahme wird als Referenzszenario herangezogen und stellt die derzeitige Situation der N-Emission dar. Es werden somit keine Teilnahmezahlen angegeben.

Maßnahme N1: Durchgehende Bodenbedeckung mit Nutzung

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, da zum Zeitpunkt der Bearbeitung für das nächste Agrarumweltprogramm eine verpflichtende Stilllegung von 7% der Ackerflächen diskutiert wurde.

Maßnahme N2: Durchgehende Bodenbedeckung ohne Nutzung

Im Teilnahmeverhalten ist diese Maßnahme mit der Maßnahme N1 gleichzusetzen.

Maßnahme N3o: ohne Begrünung von Acker

Diese Maßnahme stellt eine Negativ-Maßnahme dar. Es wurde angenommen, dass auf jenen Ackerflächen, auf denen zurzeit eine Winterbegrünung erfolgt, diese nicht mehr umgesetzt wird. Es wurden daher keine Teilnahmequoten angenommen.

Maßnahme N3m: Begrünung von Acker

In Stufe 1 der Teilnahmeszenarien wurde die derzeit 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.

Maßnahme N6: Düngebeschränkung mittlere Ertragslage

Diese Maßnahme wurde als „Reduktion ertragssteigernder Betriebsmittel“ in früheren ÖPUL-Perioden angeboten und etwa 1/3 der Ackerflächen nahmen in Oberösterreich (im Gebiet Obere Pettenbachrinne) daran teil. Eine Teilnahmequote von 33% wurde daher in Stufe 1 angenommen. Im Gebiet Pucking-Weißkirchen in Oberösterreich nahm sogar etwa die Hälfte der gesamten Ackerfläche teil (*wpa & IKT, 2003*). In Stufe 2 wird daher eine Teilnahme von 50% angenommen. Als potentiell möglich wurde die Teilnahme von 100% aller Ackerflächen festgelegt (Stufe3).

Maßnahme N7: Düngung nach Bodenvorrat

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).

Maßnahme N11: Stickstoffentfernung >85% auf allen Kläranlagen

In der ersten Stufe der Teilnahmeszenarien wird die derzeitige Situation der Stickstoffentfernung auf den Kläranlagen angenommen, nämlich eine 75%ige Stickstoffentfernung auf allen Kläranlagen >5000 EW. In der Stufe 2 bauen alle Kläranlagen, welche bereits bisher der Pflicht einer Stickstoffentfernung unterliegen (>5000 EW), auf eine Eliminierung von >85% aus. In Stufe 3 wird angenommen, dass auf allen Kläranlagen die Stickstoffentfernung von >85% umgesetzt wird.

Maßnahme N12: Düngezeitpunkt Mais

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.

Maßnahme N13: Erweiterung der Lagerkapazität

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).

Maßnahme N14: Abluftreinigung

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).

Maßnahme P1a: Durchgehende Bodenbedeckung

Diese Maßnahme deckt sich grundsätzlich mit den beiden N-Maßnahmen N1 und N2. Die Teilnahmequoten wurden daher wie oben mit 1% in Stufe 1, 5% in Stufe 2 und 7% aller Ackerflächen in Stufe 3 der Teilnahmeszenarien festgelegt.

Maßnahme P1b: Durchgehende Bodenbedeckung auf steilen Hängen

Im Teilnahmeverhalten ist diese Maßnahme mit der Maßnahme P1a gleichzusetzen. Die Ackerflächen sind vorzugsweise auf steilen Hängen zu wählen.

Maßnahme P1c: Durchgehende Bodenbedeckung auf eintragsrelevanten Flächen

Diese Maßnahme wird auf Grundlage von PhosFate Ergebnissen in ausgewählten Einzugsgebieten veranschlagt. Entsprechend kehrt sich hier die Vorgangsweise um. Anstatt Teilnahmen festzulegen und die Maßnahmenwirksamkeit zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in verschiedenen ambitionierten Phasen darzustellen, soll an konkreten Ergebnissen gezeigt werden, welche Teilnahmen nötig sind, um Zielvorgaben (wenn möglich) zu erreichen. Insgesamt sind es je nach Einzugsgebiet 20 – 25% der Ackerflächen, über die durch eine Umwandlung auf eine durchgehenden Bodenbedeckung insgesamt eine Reduktion des ackerbürtigen Schwebstoffeintrages um 80 % erreicht werden kann, und die damit als relevant in Hinblick auf diese Maßnahme eingestuft wurden. Die Teilnahmequote wurde in Stufe 1 mit 1% der möglichen 20 – 25% der Ackerflächen, in Stufe 2 mit 10% und in Stufe 3 mit 100% der möglichen Ackerflächen (von 20 – 25%) festgelegt.

Maßnahme P2: Durchgehende Bodenbedeckung auf Gewässerrandstreifen (30-50m)

Diese Maßnahme wurde schon einmal angeboten und die Teilnahmequote lag bei unter 1%. In Stufe 1 wurde daher eine Teilnahme von 1% der potentiell möglichen Flächen als Gewässerrandstreifen angenommen. In der zweiten Stufe wurde die Teilnahme mit 10% geschätzt. Potentiell möglich wäre die Teilnahme aller potentiellen Gewässerrandstreifen (100%). Die potentielle Fläche von Gewässerrandstreifen (Acker an Gewässer) ist je nach betrachtetem Einzugsgebiet 2 bis 8 % der Ackerfläche

Maßnahme P3/4o: ohne Begrünung und Bodenbearbeitung von Acker

Vergleichbar mit Maßnahme N3o stellt diese ebenfalls eine Negativ-Maßnahme dar, da angenommen wird, dass die gesamten derzeit ausgeführten Winterbegrünungen nicht umgesetzt werden. Es wurden daher keine Teilnahmequoten zu den 3 unterschiedlichen Szenarien angenommen.

Maßnahme P3/4m: Begrünung von Acker

Vergleichbar mit Maßnahme N3m wurde als Stufe 1 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.

Maßnahme P5: Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hängen

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% angenommen. Potentiell möglich (Stufe 3) wäre die Teilnahme aller steil geneigten Flächen mit Mais (100%).

Maßnahme P11: Phosphorentfernung <0,5mg TP/l auf den Kläranlagen

Bei dieser Maßnahme wird in Stufe 1 die derzeitige Situation angenommen, nämlich dass alle Kläranlagen mit 1000 - 2000 EW den Phosphor auf <2mg TP/l und alle Kläranlagen >2000 EW auf <1mg TP/l im Ablauf entfernen müssen. Die Stufe 2 beschreibt den Fall, dass alle Kläranlagen, welche bisher verpflichtet sind den Phosphor zu entfernen (>1000 EW), diesen auf einen Gehalt von <0,5mg TP/l reduzieren. Als maximales Szenario wird angenommen, dass alle Kläranlagen diese Maßnahme umsetzen (Stufe 3).

2.3.3 Maßnahmenkombinationen

Die Kombinierbarkeit zweier Maßnahmen hängt davon ab, ob sie an jeweils unterschiedlichen Kulturen angewendet werden (z.B. Mais - Wintergetreide) oder ob

sie sich teilweise bzw. zur Gänze flächenmäßig überschneiden. Außerdem spielt die Wirkungsweise der Maßnahme eine Rolle.

Maßnahmenkombinationen zur Reduktion der N-Emissionen

Alle Maßnahmen sind grundsätzlich bereits mit dem Referenzszenario N0 kombiniert. Die Betrachtung geht allerdings über den Effekt der bereits umgesetzten Maßnahmen hinaus. Dadurch ist eine Kombination von N0 mit allen Maßnahmen bereits gegeben.

Aufgrund des unterschiedlichen Ansatzes der beiden Maßnahmen N11 (Kläranlagen) und N14 (Abluftreinigung) können diese mit jeder anderen Maßnahme zur Reduktion der Stickstoffemissionen kombiniert werden. N2 und N1 hingegen sind sich in ihrer Wirkungsweise sehr ähnlich und können daher nicht miteinander plausibel kombiniert werden. Ebenso ist eine Kombination von N3o und N3m nicht möglich, da in N3o die derzeit bestehenden Begrünungen nicht durchgeführt werden, in N3m hingegen der Anteil der Begrünungen angehoben werden soll. Mit jeder anderen Maßnahme kann N3o allerdings uneingeschränkt kombiniert werden.

Da die Maßnahmen N1 und N2 jeweils eine Umwandlung von Ackerland in Grünland vorsehen ist eine uneingeschränkte Kombination mit den auf Ackerland wirkenden Maßnahmen (N3m, N6, N7, N12, N13, N14) nicht möglich. Bei Kombination ist die Ackerfläche jeweils um den in N1 bzw. N2 bereits umgewandelten Flächenanteil zu verringern.

Die Kombination N6 mit N7 ist ebenfalls nicht ohne Einschränkungen möglich, da beide Maßnahmen eine Verringerung der Düngemenge vorgeben. Während N6 eine generelle Düngebeschränkung auf mittlere Ertragslage festlegt, wird bei N7 anhand des vorhandenen N-Bodenvorrats gedüngt. Im Laufe der Projektperiode entwickelte sich die Diskussion zu den ÖPUL Maßnahmen dahingehend, dass eine Umsetzung von N6 unwahrscheinlich wurde, weshalb im weiteren Verlauf mit N7 gerechnet wurde.

Alle anderen Maßnahmen sind bedingungslos miteinander kombinierbar. In Tabelle 7 werden alle Kombinationsmöglichkeiten dargestellt, und die Kombinierbarkeit mit „ja“ bestätigt und mit „nein“ ausgeschlossen. Die Angabe „ja E“ bedeutet, dass eine Kombination möglich ist, allerdings nur mit den oben angeführten Einschränkungen.

Tabelle 4: Plausible Maßnahmenkombinationen zwischen den Maßnahmen zur Stickstoff Reduktion

N-Maßnahmen		N0	N1	N2	N3o	N3m	N6	N7	N11	N12	N13	N14
Berücksichtigung der Grundwasseraufenthaltszeit (Referenzszenario)	N0	-	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
durchgehende Bodenbedeckung mit Nutzung	N1	-	-	nein	ja	ja E	ja E	ja E	ja	ja E	ja E	ja
durchgehende Bodenbedeckung ohne Nutzung	N2	-	-	-	ja	ja E	ja E	ja E	ja	ja E	Ja E	ja
ohne Begrünung von Acker	N3o	-	-	-	-	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Begrünung von Acker	N3m	-	-	-	-	-	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Düngebeschränkung mittlere Ertragslage	N6	-	-	-	-	-	-	ja E	ja	ja	ja	ja
Düngung nach Bodenvorrat	N7	-	-	-	-	-	-	-	ja	ja	ja	ja
Stickstoffentfernung >85% auf allen Kläranlagen	N11	-	-	-	-	-	-	-	-	ja	ja	ja
späterer Düngezeitpunkt zu Mais	N12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ja	ja
Erweiterung der Lagerkapazität	N13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ja
Reinigung der Stallluft	N14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Maßnahmenkombinationen zur Reduktion der P-Emissionen

Die drei Maßnahmen P1a, P1b und P1c sind aufgrund ihres Ansatzes nicht miteinander plausibel kombinierbar. Da alle drei eine Umwandlung von Ackerland in Grünland vorsehen, ist eine Kombination mit anderen Maßnahmen, welche auf Ackerland anzuwenden sind nur unter bestimmten Bedingungen möglich. Als Einschränkung gilt, dass der jeweilige Flächenanteil, welcher durch P1a, P1b bzw. P1c von Ackerland in Grünland umgewandelt wird, bei den Maßnahmen P3/4m (maximale Begrünung von Acker) und P5 (Fruchtfolgeauflagen) abgezogen wird.

Die Maßnahme P2 sieht ebenfalls eine Umwandlung von Ackerland in Grünland vor, allerdings entlang vom Gewässerrand. Bei Kombination von P2 mit P1a, P1b bzw. P1c ist daher zu beachten, dass auf jenem Flächenanteil, auf welchem P2

angewendet wird nicht gleichzeitig P1a, P1b oder P1c angewendet werden kann. Außerdem ist zu beachten, dass bei einer Kombination von P2 mit P3/4m (maximale Begrünung von Acker) bzw. P5 (Fruchtfolgeauflagen) die durch P2 in Grünlandfläche umgewandelten Flächenanteile bei P3/4m bzw. P5 nicht mehr zur Verfügung stehen.

Auf Flächen mit Maßnahme P5 welche eine Fruchtfolgeauflage vorsieht, in welcher statt Körnermais Wintergerste und statt Silomais Klee gras angebaut werden soll, kann keine Begrünung vorgenommen werden. Daher ist die Kombination im Einzugsgebiet von P5 mit P3/4m nur auf jenen Flächen möglich, wo P5 nicht angewendet wird (Flächen ohne Mais).

Die siedlungswasserwirtschaftliche Maßnahme P11 lässt aufgrund ihres Ansatzes eine Kombination mit jeder anderen Maßnahme zu. Die Negativmaßnahme P3/4o kann ebenfalls mit jeder Maßnahme uneingeschränkt kombiniert werden, ausgenommen ist P3/4m. Diese Maßnahmenkombination ist aufgrund der Maßnahmendefinition (ohne Begrünung - maximale Begrünung) nicht möglich.

Tabelle 5: Plausible Maßnahmenkombinationen zwischen den Maßnahmen zur Phosphor Reduktion

P-Maßnahmen		P1a	P1b	P1c	P2	P3/4o	P3/4m	P5	P11
durchgehende Bodenbedeckung	P1a	-	nein	nein	ja E	ja	ja E	ja E	ja
durchgehende Bodenbedeckung auf steilen Hängen	P1b	-	-	nein	ja E	ja	ja E	ja E	ja
durchgehende Bodenbedeckung eintragsrelevant	P1c	-	-	-	ja E	ja	ja E	ja E	ja
durchgehende Bodenbedeckung (Gewässerrandstreifen von 30-50m)	P2	-	-	-	-	ja	ja E	ja E	ja
ohne Begrünung und Bodenbearbeitung von Acker	P3/4o	-	-	-	-	-	nein	ja	ja
Begrünung von Acker	P3/4m	-	-	-	-	-	-	ja E	ja
Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hängen	P5	-	-	-	-	-	-	-	ja
Phosphorentfernung <0,5mg TP/l auf allen Kläranlagen	P11	-	-	-	-	-	-	-	-

Alle anderen Maßnahmen sind bedingungslos miteinander kombinierbar. In Tabelle 5 werden alle Kombinationsmöglichkeiten dargestellt, und die Kombinierbarkeit mit „ja“ bestätigt und mit „nein“ ausgeschlossen. Die Angabe „ja E“ bedeutet, dass eine Kombination möglich ist, allerdings nur mit oben angeführten Einschränkungen.

Kombinationen zwischen Maßnahmen zur Stickstoff und Phosphor Reduktion

Bei der gleichzeitigen Anwendung von Maßnahmen zur Reduktion von N-Emissionen und zur Reduktion von P-Emissionen ist ebenfalls nicht jede Kombination durchführbar bzw. sind einige Maßnahmen als gleichwertig zu betrachten.

So sind N3o und P3/4o in ihrer Definition gleich, genauso wie N3m und P3/4m. Wird eine der Maßnahmen im Einzugsbiet angewendet, kommt es automatisch zur gleichzeitigen Anwendung der vergleichbaren Maßnahme. Folglich resultiert daraus, dass eine Kombination von N3o mit P3/4m und eine Kombination von N3m mit P3/4o aufgrund ihres gegensätzlichen Ansatzes (ohne Begrünung - maximale Begrünung) nicht möglich ist.

Sowohl bei den N-Maßnahmen N1 und N2 als auch bei den P-Maßnahmen P1a, P1b, P1c, P1b und P2 sind Umwandlungen von Ackerland in Grünland vorgesehen. Wird nun eine der N-Maßnahmen angewendet, kommt es an denselben Flächen gleichzeitig auch zu einer Anwendung von einer der P-Maßnahmen, und umgekehrt.

Die Kombination von P5 und N12 ist nicht uneingeschränkt möglich. Bei der Maßnahme P5 werden Maisflächen an steilen Hängen in Wintergerste bzw. Klee gras umgewandelt. Auf diesen Flächen kann die Maßnahme N12 (Düngezeitpunkt zu Mais) daher nicht mehr angewendet werden und müssen vom verfügbaren Flächenanteil abgezogen werden.

2.3.4 Maßnahmenpakete

Für die Auswahl geeigneter Maßnahmenpakete werden Kriterien, wie die potenzielle Wirksamkeit der Einzelmaßnahmen (insbesondere in Einzugsgebieten mit Risiko der Richtwertverfehlung) sowie das Ausmaß ihrer möglichen Umsetzung und ihre Kombinierbarkeit mit anderen Maßnahmen herangezogen.

Die unter den oben genannten Kriterien verwendete optimale Kombination von Maßnahmen zur Reduktion der **Stickstoffemissionen** in die Oberflächengewässer berücksichtigt:

- N2: Durchgehende Bodenbedeckung ohne Nutzung
- N3m: Begrünung von Acker
- N7: Düngung nach Bodenvorrat
- N14: Abluftreinigung Stall.

Die Wirksamkeit der Maßnahme N0 bezeichnet dabei den durch bereits umgesetzte Maßnahmen zu erwartenden Zustand und stellt somit die Ausgangssituation für weitere Maßnahmenwirksamkeiten dar.

Die Maßnahmenpakete wurden unter Berücksichtigung der Teilnahmeszenarien ausgerichtet. Somit ergeben sich folgende Szenariobetrachtungen:

- Maßnahmenpaket 1 (Realistische Teilnahme ohne weitergehende Beratung und Förderung):
 - N2 Grünbrache auf 1% bei potenziell möglichen 7% der Ackerflächen
 - N3m Winterbegrünung auf 21% der Ackerflächen
 - N7 Düngung nach Bodenvorrat auf 23% der Ackerflächen
 - N14 Abluftreinigung Stall in 10% der Schweine- und Geflügelstallungen.

- Maßnahmenpaket 2 (Erweiterte Beratung & Förderung):
 - N2 Grünbrache auf 3,5% bei potenziell möglichen 7% der Ackerflächen
 - N3m Winterbegrünung auf 31% der Ackerflächen
 - N7 Düngung nach Bodenvorrat auf 35% der Ackerflächen
 - N14 Abluftreinigung Stall in 50% der Schweine- und Geflügelstallungen.

- Maßnahmenpaket 3 (Einzugsgebietspotenzial):
 - N2 Grünbrache auf 7% der potenziell möglichen 7% der Ackerflächen
 - N3m Winterbegrünung auf 45% der Ackerflächen
 - N7 Düngung nach Bodenvorrat auf 70% der Ackerflächen
 - N14 Abluftreinigung Stall in 100% der Schweine- und Geflügelstallungen.

Zur Reduktion der **Phosphoremissionen** in die Oberflächengewässer wurde die Kombination folgender Maßnahmen berücksichtigt:

- P1c: Durchgehende Bodenbedeckung auf eintragsrelevanten Flächen (einzugsgebietsspezifisch möglich auf 15 – 20% des Ackers)
- P2: Durchgehende Bodenbedeckung - Gewässerrandstreifen
- P3/4m: Begrünung von Acker (Winterbegrünung auf Ackerfläche und Mulchsaat auf 33% der winterbegrünenden Flächen)
- P5: Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hängen (Hangneigung > 8%)
- P11: Weitergehende P-Elimination auf Kläranlagen (< 0,5 mgTP/l).

Unter Berücksichtigung der Teilnahmeszenarios ergeben sich folgende Maßnahmenpakete:

- Maßnahmenpaket 1 (Realistische Teilnahme):
 - P1c Durchgehende Bodenbedeckung, eintragsrelevant (auf 1% der potentiellen Flächen)
 - P2 Gewässerrandstreifen (auf 1% der potentiellen Gewässerrandstreifen)
 - P3/4m Begrünung von Acker (auf 21% der Ackerflächen)
 - P5 Fruchtfolgeauflagen (auf 31% der Flächen > 8% Neigung).

- Maßnahmenpaket 2 (Erweiterte Beratung & Förderung):
 - P1c Durchgehende Bodenbedeckung, eintragsrelevant (auf 10% der potentiellen Flächen)
 - P2 Gewässerrandstreifen (auf 10% der potentiellen Gewässerrandstreifen)
 - P3/4m Begrünung von Acker (auf 31% der Ackerflächen)
 - P5 Fruchtfolgeauflagen (auf 50% der Flächen > 8% Neigung)
 - P11 Phosphorentfernung (Kläranlagen > 1000 EW).

- Maßnahmenpaket 3 (Einzugsgebietspotenzial):
 - P1c (auf 100% der potenziellen Flächen) + P11 (auf allen Kläranlagen)
 - P2 (auf 100% der potenziellen Flächen) + P11 (auf allen Kläranlagen)
 - P2 (auf 100% der potenziellen Flächen) + P3/4m (31% Ackerflächen bei zusätzlicher Mulchsaat auf 33% dieser Flächen) + P5 (auf 100% der Flächen > 8%) + P11 (auf allen Kläranlagen).

Bei P11 wird im Maßnahmenpaket 1 davon ausgegangen, dass die bestehende Situation nicht verändert wird, deshalb ist P11 dort nicht aufgeführt.

2.4 Entwicklungen bei der Verortung von Maßnahmen mittels PhosFate

In diesem Abschnitt werden die gegenüber der PhosFate-Erstanwendung in Oberösterreich (Zessner et al., 2012) geänderten Datengrundlagen (Kapitel 2.4.1) sowie eine neu entwickelte Methode für die Definition von Fließgewässern in PhosFate (Kapitel 2.4.2) beschrieben. Ebenso wird das Ergebnis der infolge dieser Änderungen notwendig gewordenen Neukalibrierung der vorliegenden, auf den MONERIS-OOE-Einzugsgebieten aufbauenden PhosFate-Beispielregionen dargestellt (Kapitel 2.4.3). Die PhosFate Berechnungen wurden für folgende Beispielregionen durchgeführt:

- **Beispielregion 2** mit den Einzugsgebieten der (Kleinen/Großen) Gusen (IDs 1360, 1370 und 1380), der Feldaist (IDs 1570 und 1580), der Waldaist (ID 1590) und der Aist (ID 1600)
- **Beispielregion 3** mit den Einzugsgebieten der Krems (IDs 1320 und 1330), des Ipfbachs (ID 1340) und des Krusteinerbachs (ID 1350)
- **Beispielregion 4** mit den Einzugsgebieten des Lochbachs (ID 640), der Mühlheimer Ache (ID 650), des Gurtenbachs (ID 660), der Antiesen (IDs 670 und 680) und der Pram (IDs 690, 700 und 710)
- **Beispielregion 5** mit den Einzugsgebieten der (Dürren) Aschach (IDs 1150 und 1160), des Innbachs (ID 1180) und der Trattnach (ID 1170).

Des Weiteren werden Erkenntnisse aus einer Vor-Ort-Begutachtung im Gelände dargelegt (Kapitel 2.4.4) und die Funktionsweise des Optimierungsalgorithmus – einer wesentlichen Erweiterung von PhosFate – erläutert (Kapitel 2.4.5). Den letzten Teil dieses Abschnitts bildet dann die Beschreibung einer Methodik zur Umlegung

der auf Rasterzellen basierenden Optimierungsergebnisse auf die räumliche Einheit Feldstücke (Kapitel 2.4.6).

2.4.1 Datengrundlagen

Die den PhosFate Berechnungen von Zessner et al. (2012) zugrunde liegenden Landnutzungskarten der Beispielregionen auf Basis des SINUS-Datensatzes (Hollaus und Suppan, 2004) wurden für die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Untersuchungen mit PhosFate erneuert. Hierbei wurde die landwirtschaftliche Fläche dieser Karten durch jene des INVEKOS-GIS (AWI et al., 2011) des Jahres 2010 in Abhängigkeit von der Feldstücknutzungsart ersetzt. Daraus ergab sich die Möglichkeit, die mit PhosFate untersuchten Maßnahmen feldstücksscharf abzugrenzen.

Da Teile der Beispielregion 1 im Einzugsgebiet der Großen Mühl nicht auf österreichischem Staatsgebiet liegen und für diese Teile kein mit dem Detailgrad des INVEKOS-GIS vergleichbarer Datensatz über die Verteilung der landwirtschaftlichen Fläche vorliegt, wurde von einer Modellierung dieser Region mit PhosFate im Rahmen dieses Projekts Abstand genommen. Eine Vermischung von unterschiedlich detaillierten Daten desselben Themas innerhalb einer Region würde sich insbesondere auf die effektive Verortung von Maßnahmen negativ auswirken und das Ergebnis verfälschen.

Nachdem die verbleibenden vier Beispielregionen (Abbildung 17) zur Gänze innerhalb Österreichs liegen (der über die oberösterreichische Landesgrenze hinausragende Teil der Beispielregion 2 liegt in Niederösterreich), konnte auch auf die Verwendung von Humusgehaltsdaten aus der European Soil Database (ESDB) verzichtet werden. Die Daten zum Humusgehalt stammen nun ausschließlich aus der Digitalen Bodenkarte von Österreich (BFW, 2010), wobei die nicht erhobenen Werte der nicht landwirtschaftlichen Gebiete mittels einer Nearest-neighbor-Interpolation ergänzt wurden.

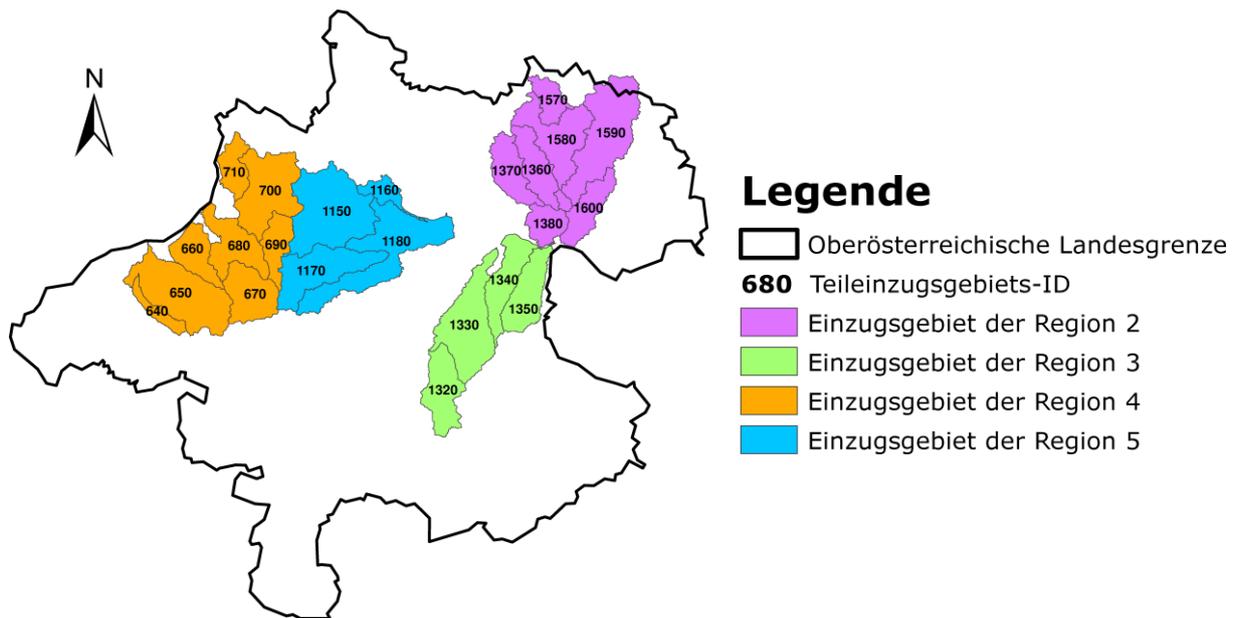


Abbildung 17: Die MONERIS-OOE-Einzugsgebiete der vier mit PhosFate untersuchten Beispielregionen

2.4.2 Definition von Fließgewässern in PhosFate

In PhosFate kann für jede Rasterzelle die Anzahl der oberhalb gelegenen Rasterzellen angegeben werden, die in die jeweilige Rasterzelle entwässern (Abflussakkumulation). Übersteigt diese Abflussakkumulation einen vorgegebenen Schwellenwert, geht das Modell davon aus, dass es sich dabei um den Ursprung eines Fließgewässers bzw. in weiterer Folge ganz allgemein um eine Fließgewässerszelle handelt, wodurch ein Abflussbaum entsteht, der das PhosFate-Gewässernetz definiert.

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde eine einfache Methode entwickelt, die diesen Schwellenwert über einen Längenvergleich des PhosFate-Gewässernetzes mit einem sehr detaillierten, kartierten Gewässernetz (Detailgewässernetz) ableitet. Diese Ableitung wurde für jede der vier untersuchten Beispielregionen getrennt durchgeführt. Dadurch konnte infolge von nicht einheitlichen Schwellenwerten eine bestmögliche Anpassung der PhosFate-Gewässernetze an das Detailgewässernetz der jeweiligen Region erzielt werden. Vor diesen Längenvergleichen wurde noch – um der Rasterstruktur der PhosFate-Gewässernetze mit einer Auflösung von 25 x 25 m Rechnung zu tragen – eine Vereinfachung (kleinräumige Begradigung) des Detailgewässernetzes vorgenommen und so ähnliche Voraussetzungen für einen sinnvollen Abgleich der Gewässernetze geschaffen.

2.4.3 Neukalibrierung

Die beschriebenen Verfeinerungen der Datengrundlagen und die neu angewandte Methodik zur Anpassung des PhosFate-Gewässernetzes erforderten eine Neukalibrierung der PhosFate-Modellierung in den Beispielregionen. Dabei wurde auf die von Zessner et al. (2012) als Mittelwerte der Periode 2001 bis 2006

ermittelten, partikulären Phosphorfrachten der repräsentativen Messstellen des GZÜV-Messstellennetzes für Österreich und des AIM-Messstellennetzes für Oberösterreich zurückgegriffen. In diesem Zusammenhang wurden die Konzentrationen des Gesamtphosphors in der gesamten Probe und des Gesamtphosphors in der filtrierten Probe subtrahiert und die Phosphorfrachten unter Verwendung entsprechender Abflussmessungen auf Bundes- und Landesebene mit Hilfe der ICPDR-Methode bestimmt (ICPDR, 2001).

In Abbildung 18 ist das Ergebnis der Neukalibrierung der vier Beispielregionen als Vergleich zwischen den modellierten und den beobachteten Jahresfrachten dargestellt. Aus dieser Abbildung geht hervor, dass sich die Region 4 mit PhosFate sehr gut abbilden lässt und die höchsten Abweichungen in der Region 5 auftreten. Während in der Region 5 nur eine einzige Messstelle von insgesamt sieben innerhalb des 30%-Vertrauensbereichs liegt, liegt in der Region 4 nur eine einzige von insgesamt 14 außerhalb. Da zwischen den beiden Regionen allerdings kein wesentlicher, naturräumlicher Unterschied besteht, das eigenständige Kalibrierungsergebnis der Region 5 bei deutlich von allen anderen Regionen abweichenden Kalibrierungsparametern aber keine substantiell bessere Übereinstimmung zwischen den beobachteten und modellierten Frachten aufweist sowie das Kalibrierungsergebnis der Region 4 plausibel erscheint, wurden die Kalibrierungsparameter der Region 4 auf die Region 5 übertragen (vgl. Zessner und Hepp, 2014).

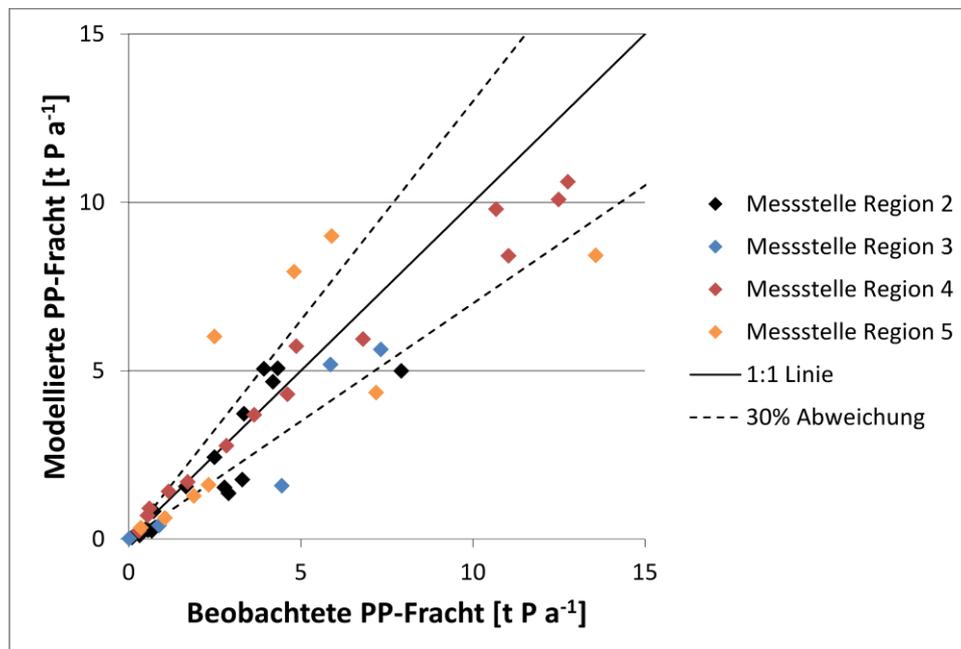


Abbildung 18: Das Ergebnis der Neukalibrierung in Form einer Gegenüberstellung der beobachteten und modellierten Jahresfracht an partikulärem Phosphor (PP) der betrachteten Messstellen in den Beispielregionen

Für die Regionen 2 und 3 wurden jeweils eigene Kalibrierungsparameter abgeleitet, die denen der Region 4 sehr ähnlich bzw. im Fall der Region 3 sogar identisch sind. Das Kalibrierungsergebnis zeigt hierbei, dass in der Region 3 fünf von sieben

Messstellen innerhalb des 30%-Vertrauensbereichs liegen und in der Region 2 sieben von 15. Von den acht Messstellen außerhalb des 30%-Vertrauensbereichs in der Region 2 liegen sieben im Einzugsgebiet der Aist und nur eine einzige im Einzugsgebiet der Gusen, das heißt während die Gusen vom Modell gut abgebildet werden kann, wird die Aist vom Modell systematisch unterschätzt. Gründe für diese Unterschätzung könnten systematische Abweichungen bei den ermittelten, partikulären Phosphorfrachten oder ein unterschiedliches Sedimentretentionsverhalten in den beiden Einzugsgebieten sein.

Nachdem die Kalibrierungsparameter der Region 2 jedoch denen der anderen Regionen ähneln und nur eine etwas höhere Sedimentretention im Gelände aufzeigen, kann auch das Kalibrierungsergebnis der Region 2 als plausibel angesehen werden. Die etwas höhere Sedimentretention im Gelände erscheint angesichts der kleinräumigeren landwirtschaftlichen Struktur dieser Region mit einem Mehr an Ackergrenzen – an denen eine erhöhte Retention stattfinden kann – jedenfalls gerechtfertigt.

Insgesamt gesehen ist das Kalibrierungsergebnis – insbesondere unter Berücksichtigung der Unsicherheiten, die die Phosphorjahresfrachtermittlung aufgrund ihrer lediglich monatlichen Probenahme aufweist – trotz der angeführten Abweichungen und des relativ großen Vertrauensbereichs von 30% akzeptabel.

2.4.4 Vor-Ort-Begutachtung

In den Einzugsgebieten der Antiesen und des Gurtenbachs wurde am Montag, den 27. und Dienstag, den 28. Mai 2013 eine Vor-Ort-Begutachtung durchgeführt. Der Zweck dieser Begutachtung bestand darin, eine prinzipielle Vorstellung der Übertragbarkeit der PhosFate-Ergebnisse in die Natur zu bekommen. Insgesamt wurden dabei 24 Standorte besucht, wobei es sich überwiegend um von PhosFate ausgewiesene Hotspots mit erosivem Phosphoreintrag in die Gewässer handelte. Die restlichen Standorte bestanden aus Flächen ohne einen nennenswert, ausgewiesenen Phosphoreintrag (Negativstandorte).

Infolge eines Niederschlagsereignisses am Montag konnten Erosionserscheinungen wie beispielsweise Rinnen und Spuren von temporären Wasserläufen direkt beobachtet werden. In den Gewässern ließ sich aufgrund des damit zusammenhängenden erosiven Eintrags von Erdreich auch eine intensive Braunfärbung des Wassers feststellen (Abbildung 19).



Abbildung 19: Impressionen der Vor-Ort-Begutachtung

Generell spiegeln die mit PhosFate erzielten Ergebnisse die Situationen in der Realität gut wider. An den meisten Standorten wurden die vom Modell prognostizierten Verhältnisse vorgefunden. Da Vor-Ort-Begehungen mit hohem zeitlichem Aufwand verbunden sind und ein entsprechendes Zeitbudget im Rahmen dieses Projekts nicht vorgesehen war, konnte jedoch keine umfassende und repräsentative Auswahl von Standorten getroffen werden. Somit war es nicht möglich, die Modellergebnisse im Hinblick auf ihre örtliche Aussagekraft eingehend zu validieren. Im Rahmen der Möglichkeiten wurde deshalb lediglich ein erster Eindruck der Plausibilität der von PhosFate ausgewiesenen Hotspots geliefert.

Verbesserungspotential wird vor allem beim Eingangsdatensatz der Landnutzung und der Modellauflösung gesehen. Ufergehölz- und natürliche Gewässerrandstreifen werden vom derzeitigen Landnutzungseingangsdatensatz – einer Kombination aus INVEKOS-GIS für die landwirtschaftlichen Flächen und SINUS-Datensatz für alle übrigen Flächen – in einigen der beobachteten Fälle nicht oder nur unzureichend abgebildet. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn diese Strukturen schmaler als die verwendete Modellauflösung von 25 × 25 m sind. Um eine Verbesserung zu erzielen, müsste die Modellierung mit einer höheren räumlichen Auflösung durchgeführt werden. Hierfür wäre allerdings auch die Verwendung eines detaillierteren Landnutzungseingangsdatensatzes erforderlich. Ein solcher Eingangsdatensatz stand für das vorliegende Projekt jedoch nicht zur Verfügung.

Zusätzlich verkompliziert kann eine Situation durch Längsbauwerke wie Straßendämme und Entwässerungsbauwerke wie Einlaufgitter werden. Während am

Gewässer entlangführende Straßendämme das Abflussgeschehen auf den ersten Blick unterbinden, führen sie bei genauerer Betrachtung hingegen häufig zu einer Konzentration des Abflusses, da das Niederschlagswasser am Damm entlang und an der tiefsten Stelle über einen Durchlass auf die andere Straßenseite geleitet wird. Tritt anstelle eines Durchlasses ein Einlaufgitter mit einer direkten Ableitung in ein Fließgewässer auf, wird die erosive Kraft des Wassers infolge der Abflusskonzentration nachfolgend zwar nicht erhöht, dafür kann allerdings das gesamte, bereits erodierte Material ungefiltert in ein Fließgewässer gelangen.

Entsprechende bauliche Besonderheiten können von PhosFate aber nicht berücksichtigt werden, da sie im zugrunde liegenden Datensatz nicht enthalten sind. Trotzdem weisen die von PhosFate erzielten Ergebnisse auch unter den geschilderten Gegebenheiten in der Regel eine gute Aussagekraft auf. Die für den Phosphoreintrag in ein Gewässer in erster Linie verantwortliche Situation (steile Ackerfläche ohne oder mit einem lediglich sehr schmalen Pufferstreifen am Gewässer) wird nichtsdestotrotz gut erfasst. Nicht abgebildet werden können allerdings Situationen, bei denen der Oberflächenabfluss über einen baulichen Eingriff an beispielsweise einem breiten, natürlichen Gewässerrandstreifen vorbeigeleitet wird. In einem solchen Fall wird der Phosphoreintrag vom Modell deutlich unterschätzt.

2.4.5 Erweiterung des Modells um einen Optimierungsalgorithmus

PhosFate wurde im Zuge einer Weiterentwicklung um einen Optimierungsalgorithmus ergänzt, der eine Reihung der Rasterzellen eines Untersuchungsgebiets basierend auf ihrem effektiven Potential für die Reduktion des erosiven Phosphoreintrags in die Gewässer vornimmt. Das effektive Reduktionspotential einer Zelle wird dabei durch das probeweise Setzen einer Maßnahme ermittelt und ergibt sich aus der Summe der daraus resultierenden Reduktion der Phosphorfracht, die von ihr in ein Gewässer emittiert wird, sowie der Phosphorfracht, die aus oberliegenden Zellen stammt und von ihr in ein Gewässer weitertransportiert wird. Darauf aufbauend kann dann die Zelle mit dem höchsten, effektiven Reduktionspotential ausgewählt und auf ihr die probeweise gesetzte Maßnahme beibehalten werden. Im Anschluss daran müssen die effektiven Reduktionspotentiale der verbleibenden Zellen allerdings erneut ermittelt und gereiht werden, da durch das Setzen einer Maßnahme auf einer Zelle gleichzeitig die effektiven Reduktionspotentiale etwaiger ober- und/oder unterliegender Zellen verringert werden.

Diese Vorgangsweise stellt sicher, dass immer die Zelle für das Setzen einer Maßnahme ausgewählt wird, die den größten Nutzen, das heißt die höchste Reduktion des erosiven Phosphoreintrags in die Gewässer mit sich bringt. Berücksichtigt man zusätzlich Maßnahmenkosten, kann die Zelle mit dem höchsten Kosten-Nutzen-Verhältnis ausgewählt werden.

Voraussetzung ist in beiden Fällen eine Maßnahmenstrategie, die dem Optimierungsalgorithmus für jede Zelle eines Untersuchungsgebiets die gewünschte, gegebenenfalls zu setzende Maßnahme vorgibt. Dadurch kann ein willkürliches (mosaikartiges) Setzen einzelner Maßnahmen verhindert werden und es ist gewährleistet, dass die von den Maßnahmen betroffenen Flächen noch gut zu bewirtschaften sind.

Der hier beschriebene Optimierungsalgorithmus wird erst beendet, wenn ein vorgegebenes Budget für Maßnahmensetzungen verbraucht ist. Je nach Vorgabe (gleich bzw. unterschiedlich hohe Kosten für verschiedene Maßnahmen) stellt das Optimierungsergebnis eine auf Flächeneffektivität oder eine auf Kosteneffektivität optimierte Maßnahmenstrategie dar.

2.4.6 Umlegung optimierter Maßnahmenstrategien auf Feldstücke

Nachdem Maßnahmen üblicherweise nicht verstreut über einzelne Zellen im Raster von z.B. 25 x 25 m, sondern auf räumlichen Einheiten wie beispielsweise Schlägen oder Feldstücken umgesetzt werden, wurde eine einfache Methode entwickelt, mit der die PhosFate-Optimierungsergebnisse auf solche räumliche Einheiten umgelegt werden können. Nach dieser Methode erfolgt die Umlegung über die Häufigkeit der vom Optimierungsalgorithmus ausgewählten Zellen pro räumlicher Einheit (vgl. Zessner und Hepp, 2014).

Für das vorliegende Projekt wurden in diesem Zusammenhang als räumliche Einheit Feldstücke gewählt, was dem Detailgrad der herangezogenen Landnutzungsdaten entspricht, und die folgenden Häufigkeitskriterien für die Umlegung der vom Optimierungsalgorithmus ausgewählten Zellen verwendet:

- ≥ 4 Zellen pro Feldstück für die Maßnahme durchgehende Bodenbedeckung (Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache)
- ≥ 3 Zellen pro Feldstück für die Maßnahme Gewässerrandstreifen
- ≥ 5 Zellen pro Feldstück für die Maßnahme Hackfruchtverzicht.

Eine grafische Veranschaulichung einer solchen Umlegung ist beispielhaft für die Maßnahmen Gewässerrandstreifen und Hackfruchtverzicht in Abbildung 20 zu sehen. Nur wenn die entsprechende Zellenanzahl innerhalb eines Feldstücks liegt – ausschlaggebend ist dabei der Zellenmittelpunkt –, wird die dazugehörige Maßnahme auf dem betroffenen Feldstück umgesetzt, wodurch sich aus der optimierten Maßnahmenstrategie ein optimiertes Managementszenario ergibt.

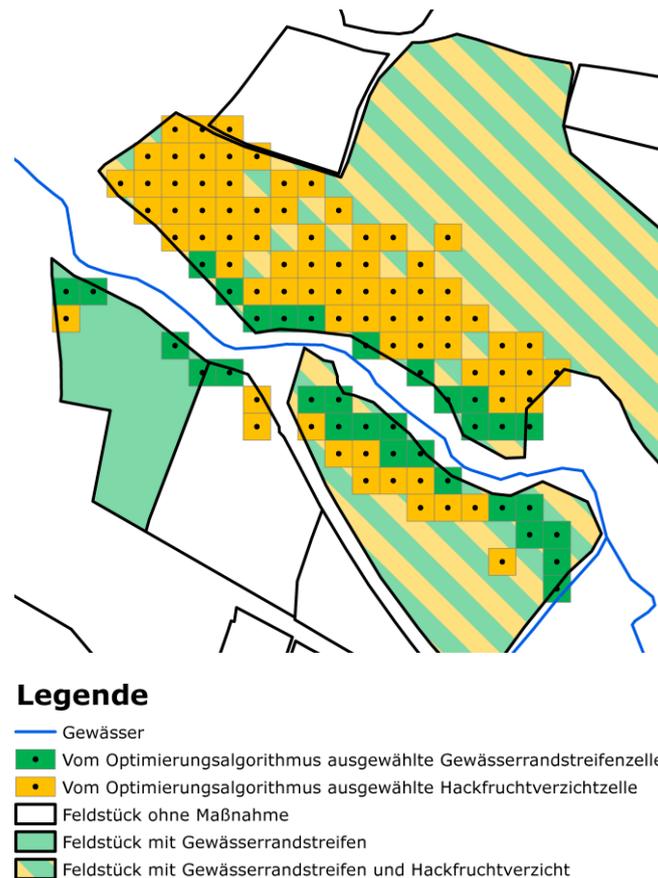


Abbildung 20: Beispiel für eine Umlegung der vom PhosFate-Optimierungsalgorithmus ausgewählten Zellen auf Feldstücke entsprechend den Kriterien ≥ 3 Zellen pro Feldstück für die Maßnahme Gewässerrandstreifen und ≥ 5 Zellen pro Feldstück für die Maßnahme Hackfruchtverzicht

Da infolge der Anwendung der Häufigkeitskriterien üblicherweise einige vom Optimierungsalgorithmus ausgewählte, für die Umsetzung der Maßnahmen sehr effektive Zellen in den Managementszenarien nicht mehr enthalten sind, werden mit ihnen in der Regel niedrigere Reduktionspotentiale der Phosphorgewässerfrachten und damit auch eine geringere Flächen- bzw. Kosteneffektivität als mit den direkten Optimierungsergebnissen erzielt. Die zusätzlichen Flächen durch die komplette Umsetzung der Maßnahmen auf den einzelnen Feldstücken können diesen Wegfall meist nicht kompensieren.

Generell gilt, dass während lockerere Kriterien im Zuge der Umlegung zu höheren Reduktionspotentialen in einem Gebiet führen, bewirken strengere eine höhere Flächen- bzw. Kosteneffektivität und umgekehrt. Ein Kriterium von einer einzigen vom Optimierungsalgorithmus ausgewählten Zelle pro Feldstück würde beispielsweise zu keiner Verringerung der Reduktionspotentiale gegenüber den direkten Optimierungsergebnissen führen. Durch die zusätzlichen Flächen würden die Reduktionspotentiale im Gegenteil sogar – wenn auch wahrscheinlich nur in geringem Umfang – ansteigen. Die Flächen- bzw. Kosteneffektivität würde gleichzeitig aber in einem hohen Maß sinken, da die Verdünnung durch ineffektive Zellen sehr hoch wäre. Andererseits würde ein Kriterium von zehn vom Optimierungsalgorithmus ausgewählten Zellen pro Feldstück aufgrund der weniger

ausgeprägten Verdünnung zu einer hohen Flächen- bzw. Kosteneffektivität führen. Die Anzahl an Feldstücken, auf die dieses Kriterium zutreffen würde, wäre aber eher klein, wodurch wiederum nur relativ geringe Reduktionspotentiale erreicht werden könnten.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die Kriterien in Abhängigkeit der Maßnahme so gewählt, dass sie einen Kompromiss aus den oben erläuterten Zusammenhängen darstellen. Das Kriterium für die Gewässerrandstreifen ist dabei das lockerste (≥ 3 Zellen pro Feldstück). Diese Maßnahme kann allerdings auch nur auf einem kleinen Teil (dem an ein Gewässer angrenzenden Streifen) eines Feldstücks umgesetzt werden. Somit ist eine mögliche Verdünnung dieser Maßnahme von Haus aus relativ gering. Anders sieht es bei der Maßnahme Hackfruchtverzicht aus. Aufgrund ihrer hohen möglichen Verdünnung, wurde das Kriterium in diesem Fall etwas strenger (≥ 5 Zellen pro Feldstück) gewählt. Da die Maßnahme durchgehende Bodenbedeckung vom Optimierungsalgorithmus vornehmlich als mehr oder weniger breiter Streifen in Gewässernähe umgesetzt wird, stellt sie eine Art Mittelding zwischen den beiden anderen Maßnahmen dar und wurde ihr Kriterium deshalb mit ≥ 4 Zellen pro Feldstück festgesetzt.

2.5 Kosteneffektivitäts-Berechnungen

2.5.1 Kostenabschätzung

Die Kosten der Maßnahmen wurden wenn möglich anhand bereits bestehender oder vormals existierender Fördersätze (ÖPUL 2000, ÖPUL 2007) ermittelt. Bei bisher nicht in einem Förderprogramm existierenden Maßnahmen errechneten sich die Kosten aus der Differenz von Deckungsbeiträgen (Kultur nach der Maßnahme – Kultur vor der Maßnahme) oder aus den durch einen Bau einer Anlage bzw. den Kauf eines Gerätes entstehenden Gesamtkosten.

Für die Berechnung der Deckungsbeiträge wurden in erster Linie Daten von der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft über das Internettool „IDB-Internet Deckungsbeiträge“ und aus der Zusammenstellung vom BMLFUW (2008) in den „Deckungsbeiträgen und Daten für die Betriebsplanung 2008“ herangezogen. Die Berechnung der jeweiligen Deckungsbeiträge basiert auf den durchschnittlichen Erträgen in Oberösterreich von 2007-2012 (AWI).

Die Kosten für die Erweiterung der Lagerkapazität bzw. den Bau einer Abluftreinigung wurden der Literatur entnommen (KOLAS, 2013 bzw. BMLFUW, 2008). Die „Richtwerte Online“ des Österreichischen Kuratoriums für Landtechnik (ÖKL 2013) bildeten die Grundlage für die Kosten unterschiedlicher landwirtschaftlicher Geräte.

In Kapitel 2.5.2 werden die Berechnungen je Maßnahme detailliert beschrieben und die Höhe der Kosten tabellarisch dargestellt.

2.5.2 Kosten der Einzelmaßnahmen

In der nachfolgenden Tabelle 6 werden die berechneten Kosten pro Maßnahme aufgelistet. Im Anschluss daran folgt eine detailliertere Beschreibung der Kostenberechnung.

Tabelle 6: Aufstellung der Kosten pro Maßnahme

Maßnahme		Kosten	Einheit
N1	Durchgehende Bodenbedeckung mit Nutzung (Grünland)	314	€/ha
N2	Durchgehende Bodenbedeckung ohne Nutzung (Grünbrache)	816	€/ha
P2 (P1a, P1b, P1c)	Gewässerrandstreifen	565	€/ha
N3m (P3/4m)	Begrünung von Acker (inkl. Mulch- und Direktsaat):		
	Variante A, A1 und C1	160 (200)	€/ha
	Variante B, C und H	130 (170)	€/ha
	Variante D und D1	190 (230)	€/ha
N6	Düngebeschränkung mittlere Ertragslage:		
	Getreide und Ölsaaten	98	€/ha
	Mais	73	€/ha
	Feldgemüse, Heilpflanzen und Gewürzpflanzen: -einkulturig	290	€/ha
	Feldgemüse, Heilpflanzen und Gewürzpflanzen: -2- oder mehrkulturig, Erdbeeren im Freiland	436	€/ha
	Erdäpfel, Mohn, Kümmel, Mariendistel, Lein	218	€/ha
	Vermehrung von Futtergräsern u. kleinkörnigen Leguminosen	116	€/ha
	Hopfen	363	€/ha
N7	Düngung nach Bodenvorrat	100	€/Feldstück
N12	Späterer Düngezeitpunkt zu Mais	2,12	€/ha
N13	Erweiterung der Lagerkapazität:		
	Mastschwein	311	€/ha
	Zuchtschwein und -eber	567	€/ha
	Zuchtschwein (nicht gedeckt)	1133	€/ha
	Jungschwein/Ferkel	286	€/ha
N14	Reinigung der Stallluft	200	€/GVE
P5	Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hängen	407	€/ha

Durchgehende Bodenbedeckung mit Nutzung (Grünland)

Für die Berechnung der Kosten einer Umwandlung von Ackerland in Grünland wurde die Differenz der Deckungsbeiträge zwischen Ackerland und Grünland berechnet. Der Deckungsbeitrag von Ackerland errechnet sich über den Mittelwert der Deckungsbeiträge der wichtigsten Kulturen (Körnermais, Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Zuckerrübe, Kartoffeln) und wurde den IDB (www.agraroekonomik.at) entnommen und beträgt 816€/ha. Für den durchschnittlichen Deckungsbeitrag von Grünland wurde jeweils jener aus Silage und Heu berechnet (BMLFUW, 2008) und beträgt 502€/ha. Als Differenz ergibt sich somit ein Betrag von 314€/ha.

Durchgehende Bodenbedeckung ohne Nutzung (Grünbrache)

Da eine Grünbrache im Gegensatz zum Grünland nicht genutzt werden kann, ist kein Deckungsbeitrag für Grünbrache berechenbar. Demnach entspricht der Deckungsbeitrag von Ackerland mit 816€/ha (siehe oben) den Kosten dieser Maßnahme.

Gewässerrandstreifen

Die Umwandlung von Ackerland in einen Gewässerrandstreifen kann sowohl als Grünland als auch als Grünbrache erfolgen. Die Kosten dieser Maßnahme wurde als Mittelwert der Maßnahmen „Durchgehende Bodenbedeckung mit Nutzung (Grünland)“ und „Durchgehende Bodenbedeckung ohne Nutzung (Grünbrache)“ berechnet und beträgt 565€/ha.

Begrünung von Acker (inkl. Mulch- und Direktsaat)

Diese Maßnahme wurde als „Begrünung von Ackerflächen“ bereits im ÖPUL 2007 gefördert. Die Höhe des Förderungssatzes wurde daher daraus übernommen. Da im ÖPUL 2007 die Förderhöhe auf mehrere Begrünungsvarianten unterteilt wird, wurde die anteilmäßige Verteilung der unterschiedlichen Varianten pro KG für die Berechnung der Kosten herangezogen. Eine zusätzliche Anwendung von Mulch- und Direktsaat wird im ÖPUL 2007 mit einem Betrag von 40€/ha gefördert. Die Kosten für eine Begrünung von Ackerflächen inkl. Mulch- und Direktsaat steigen daher je Begrünungsvariante um 40€.

Düngebeschränkung mittlere Ertragslage

Im ÖPUL 2000 wurde die Maßnahme „Reduktion ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerflächen“ gefördert. Die Kosten für eine Düngebeschränkung auf mittlere Ertragslage orientieren sich an den damals gebotenen Fördermengen. Diese variieren zwischen den Kulturen. Je Katastralgemeinde wurde die Verteilung der Kulturen erhoben und demnach die durchschnittlichen Kosten ermittelt.

Düngung nach Bodenvorrat

Für die Düngung nach Bodenvorrat ist eine Nmin-Beprobung notwendig. Die Kosten für eine Beprobung beträgt etwa 100€ pro Feldstück. Die durchschnittlichen Feldstückgrößen wurden pro Katastralgemeinde ermittelt und daraus die gemittelten Kosten pro ha.

Späterer Düngezeitpunkt zu Mais

Um den Mais zu einem späteren Zeitpunkt düngen zu können, muss anstatt eines Schleuderdüngerstreuers ein pneumatischer Düngerstreuer verwendet werden. Die dafür benötigten Kosten pro ha wurden den Zahlen vom ÖKL 2013 entnommen (Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung). Die Differenz zwischen den Kosten der beiden Streuer entspricht den Kosten der Maßnahme und beträgt 2,12 €/ha.

Erweiterung der Lagerkapazität

Bei dieser Maßnahme wird eine Erweiterung der Lagerkapazität bei Schweinehalten von 6 auf 10 Monate gefordert. Die Kosten für die dafür benötigten Baumaßnahmen wurden den Angaben in den „Deckungsbeiträgen und Daten für die Betriebsplanung 2008“ (ca. 100€/m³) und den „Richtlinien für die Sachgerechte Düngung“ (benötigte Lagerkapazität pro Stallplatz) entnommen und pro GVE berechnet. Durch die unterschiedlich hohe Lagerkapazität je Mastschwein, Zuchtschwein bzw. Jungschwein variieren die Kosten zwischen 285 € und 1133 €.

Abreinigung der Stallluft

Die Jahresgesamtkosten für eine Stallablufreinigung betragen bei Mastschweinen ca. 30 €/Tierplatz (KOLAS & BLW, 2013). Laut den Angaben in den „Richtlinien für die Sachgerechte Düngung“ entspricht 1 Mastschwein 0,15 GVE, womit Jahresgesamtkosten von 200 €/GVE entstehen. Als GVE (Großvieheinheit) wird ein Umrechnungsschlüssel zum Vergleich unterschiedlicher Nutztiere auf Basis ihres Lebendgewichtes verstanden (1 GVE=500 kg). Die Kosten pro GVE sind demnach weitgehend auch auf Geflügelstallungen übertragbar.

Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hängen

Für die Berechnung der Kosten dieser Maßnahme wurden die Differenzen der Deckungsbeiträge von Körnermais und Winterweizen bzw. Silomais und Klee gras herangezogen. Die Deckungsbeiträge von Körnermais und Winterweizen wurden den Angaben in den IDB entnommen und die Differenz beträgt 195€/ha. Die Deckungsbeiträge von Silomais und Klee gras stammen aus den „Daten für die Betriebsplanung 2008“ (BMLFUW, 2008), wobei beim Klee gras 4 Schnitte und eine 3-jährige Nutzung angenommen wurden. Die Deckungsbeitragsdifferenz beträgt 620€/ha. Im Durchschnitt ergibt sich daher aus den beiden Deckungsbeitragsdifferenzen (195€/ha und 620€/ha) ein Betrag von 407€/ha, was den mittleren Kosten dieser Maßnahme entspricht.

2.5.3 PhosFate

Mit PhosFate wurden im Rahmen dieses Projekts zwei unterschiedliche Maßnahmenstrategien optimiert. Die eine befasst sich mit der Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache, was der Maßnahme P1c entspricht, und die andere mit der Anlage von 25 m breiten Gewässerrandstreifen sowie Hackfruchtverzicht. Letztere stellt eine Kombination aus einer Variante der Maßnahme P2 (Gewässerrandstreifen mit einer Breite von 30 bis 50 m) und einer Variante der Maßnahme P5 (Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hängen) dar. Hierbei bedeutet Hackfruchtverzicht analog zur Maßnahme P5 im Wesentlichen einen Verzicht auf den Anbau von Mais. Im Unterschied zur Maßnahme P5, die sich auf steile Hänge bezieht, bezieht sich der Hackfruchtverzicht in PhosFate allerdings auf eintragsrelevante Flächen. Diese Flächen können, müssen aber nicht zwangsläufig mit steilen Hängen deckungsgleich sein.

Optimierung der Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache

Für die Optimierung der Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache wurde dem Optimierungsalgorithmus das gesamte Ackerland einer Region zur Verfügung gestellt. Das Ziel war in diesem Zusammenhang, den Anteil des Ackerlands zu ermitteln, mit dem die partikuläre Phosphorgewässerfracht möglichst effektiv um ca. 80% reduziert werden kann. Aufgrund der Umlegung der Optimierungsergebnisse auf Feldstücke nach dem Kriterium ≥ 4 vom Optimierungsalgorithmus ausgewählte Zellen pro Feldstück und den damit verbundenen Änderungen der beteiligten Flächen, handelte es sich dabei um einen iterativen Prozess.

Optimierung der Anlage von Gewässerrandstreifen und des Hackfruchtverzichts

Die zweite Optimierung basiert auf der Anlage von 25 m breiten Gewässerrandstreifen auf allen an die Gewässer angrenzenden Zellen des Ackerlands sowie einem Hackfruchtverzicht auf allen anderen Ackerlandzellen einer Region. Von Zessner und Hepp (2014) wurde diese Optimierung für die Regionen 4 und 5 bereits ohne Berücksichtigung unterschiedlicher Maßnahmenkosten durchgeführt. Für das vorliegende Projekt wurde diese Optimierung auf Flächeneffektivität in beiden Regionen um eine Optimierung auf Kosteneffektivität erweitert, wobei unterschiedlich hohe Kosten für die Anlage der 25 m breiten Gewässerrandstreifen (EURO 565,- pro Hektar) und den Hackfruchtverzicht (EURO 407,- pro Hektar) berücksichtigt wurden (siehe auch Kapitel 2.5.2).

Im Zuge der Erstellung der PhosFate-Eingangskarten mit den Maßnahmenkosten für den Optimierungsalgorithmus wurden hierbei die Kosten für den Hackfruchtverzicht ins Verhältnis zum jeweiligen Hackfruchtanteil auf den in MONERIS verwendeten Gefälleklassen der Katastralgemeinden gesetzt. Daraus folgt, dass es in Bereichen mit einem geringen durchschnittlichen Hackfruchtanteil günstiger ist, diese Maßnahme umzusetzen, als in Bereichen mit einem hohen durchschnittlichen Hackfruchtanteil. Dies ist insofern gerechtfertigt, als die Höhe der C-Faktoren und

Rauheitsbeiwerte nach Manning von denselben Gefälleklassen abhängen und in Bereichen mit einem geringen durchschnittlichen Hackfruchtanteil die durchschnittlich erzielbare Reduktion der partikulären Phosphorgewässerfracht somit auch geringer ist.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde darüber hinaus angenommen, dass der Flächenbedarf des Hackfruchtverzichts der gesamten, von PhosFate für die Umsetzung der Maßnahme ausgewiesenen Ackerfläche einer Region entspricht, die Kosten jedoch nur im Ausmaß des jeweiligen Hackfruchtanteils anfallen. Das heißt, wenn auf einem Feldstück in der Vergangenheit auf der halben Feldstückfläche Hackfrüchte angebaut wurden, wird die finanzielle Abgeltung im Zuge der Förderung ebenfalls nur für die halbe Feldstückfläche ausbezahlt, und bezieht sich die Verpflichtung, in Zukunft auf den Anbau von Hackfrüchten zu verzichten, trotzdem auf die gesamte Feldstückfläche.

In Analogie zur Optimierung auf Flächeneffektivität wurden die Ergebnisse der Optimierung auf Kosteneffektivität in drei Kosten-Effektivitätsklassen eingeteilt (vgl. Zessner und Hepp, 2014). Die Einteilung basiert hierbei auf der potentiell erzielbaren Reduktion des partikulären Phosphoreintrags über Erosion in die Gewässer pro investiertem Euro und ist unter Verwendung der folgenden logarithmischen Klassengrenzen entstanden:

- Kosten-Effektivitätsklasse 1 bestehend aus den vom Optimierungsalgorithmus ausgewählten Zellen mit einem Reduktionspotential $\geq 0,1$ kg PP/EURO
- Kosten-Effektivitätsklasse 2 bestehend aus den Zellen mit einem Reduktionspotential $\geq 0,01 < x < 0,1$ kg PP/EURO
- Kosten-Effektivitätsklasse 3 bestehend aus den Zellen mit einem Reduktionspotential $\geq 0,001 < x < 0,01$ kg PP/EURO.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde allerdings eine kumulierte Form gewählt. Dafür wurden die drei Kosten-Effektivitätsklassen wiederum drei Kosten-Effektivitätsklassenkombinationen zugeordnet:

- Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1 bestehend aus dem alleinigen Reduktionspotential der Kosten-Effektivitätsklasse 1
- Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2 bestehend aus den kumulierten Reduktionspotentialen der Kosten-Effektivitätsklassen 1 und 2
- Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2+3 bestehend aus den kumulierten Reduktionspotentialen der Kosten-Effektivitätsklassen 1, 2 und 3.

2.5.4 MONERIS

Die Kosten-Effektivitäts-Betrachtungen mit MONERIS stellen den Zusammenhang zwischen den Kosten und der Effektivität unterschiedlicher Maßnahmen und Maßnahmenpakete dar. Während PhosFate den Eintrag von partikulär gebundenem Phosphor in die Gewässer in seiner räumlichen Verteilung betrachtet und die Kosten-Effektivität in Hinblick auf eine optimierte lokale Anordnung von Maßnahmen

ermittelt, können bei MONERIS Kosten und Effektivität für Maßnahmen zur Reduktion von Einträgen über alle Eintragspfade betrachtet werden. Die räumliche Auflösung ist dabei jedoch auf die Betrachtung von Teileinzugsgebieten begrenzt.

Im Folgenden werden die erforderlichen Schritte für die Kosten-Effektivitäts-Betrachtungen mit MONERIS zuerst kurz aufgezählt und dann näher erläutert.

- Bestimmung der Einheitskosten (pro Hektar, Großvieheinheit oder Einwohnerwert)
- Festlegung des Ausmaß der Maßnahmenumsetzung (Hektar, Großvieheinheiten oder Einwohnerwerte)
- Ermittlung der Wirksamkeit der Einzelmaßnahme oder des Maßnahmenpaketes inklusive Umsetzungsszenarien
 - Wirksamkeit in Form einer Emissionsreduktion
 - Wirksamkeit in Form einer Reduktion der Gewässerkonzentration.

Die Kostenberechnung basiert zum einen auf der Erhebung der Einheitskosten pro Hektar, Großvieheinheit oder Einwohnerwert (Kapitel 2.5.2) und zum anderen auf dem Ausmaß, in dem eine Maßnahme umgesetzt wird. Das Ausmaß der Maßnahmenumsetzung wird durch das Potential für die Umsetzung (Zessner *et al.*, 2012) sowie die Definition im jeweiligen Maßnahmenpaket bestimmt. So kann z.B. die Maßnahme Düngung nach Bodenvorrat bei allen Hauptkulturarten angewandt werden (70-80% der Ackerflächen). Je nach Definition des Maßnahmenpaketes (leicht, ambitioniert, maximal) wird jedoch nur die Umsetzung für einen Teil der möglichen Flächen angesetzt (Kapitel 2.3.2).

Für die Maßnahmen P1c (Acker wird auf allen eintragsrelevanten Flächen in Grünland umgewandelt) und P2 (Gewässerrandstreifen), wurde bei Zessner *et al.* (2012) das Ausmaß der benötigten Fläche noch nicht ausgewiesen, da diese Maßnahmen ursprünglich nur über deren Wirkung auf den Eintrag in die Gewässer definiert wurden und damit nicht automatisch das Ausmaß der Flächen, welches für die Umsetzung der Maßnahme erforderlich ist, dargestellt werden kann.

Zur Ausweisung der Flächen, auf denen potentiell Gewässerrandstreifen als Maßnahme gegen erosive Phosphoreinträge etabliert werden könnten, wurde über eine GIS Auswertung für jedes Teileinzugsgebiet die Länge der an Gewässer angrenzenden Ackerflächen ermittelt. Die Fläche, auf welcher potentiell Gewässerrandstreifen eingerichtet werden könnten, ergibt sich über eine Multiplikation mit der angenommenen Breite der Gewässerrandstreifen von 30 m. Je nach Annahme im jeweiligen Maßnahmenpaket, wurde dann mit einem entsprechenden Prozentsatz gerechnet, auf dem die Maßnahme Gewässerrandstreifen tatsächlich angesetzt wird.

Zur Ableitung der erforderlichen Fläche um die Maßnahme P1c (Acker wird auf allen eintragsrelevanten Fläche in Grünland umgewandelt) umzusetzen, war es erforderliche, dass Ausmaß der eintragsrelevanten Ackerflächen abzuschätzen. Dies

wurde mit Hilfe der Optimierungsfunktion von PhosFate durchgeführt (siehe auch Kapitel 2.4.6). Über ein Szenario, welches die Umwandlung von Acker in Grünland vorsieht, wurde das Mindestausmaß der erforderlichen Flächen ermittelt, um durch Umwandlung von Acker in Grünland eine 80% Reduktion des P-Eintrags über Erosion aus Ackerflächen zu erreichen. Diese Vorgangsweise war nur für die Beispielregionen, für die PhosFate angewendet wurde möglich. Für die übrigen Teileinzugsgebiete wurden angesetzt, dass 25% der Ackerflächen „eintragsrelevant“ sind. Dies ist ein typischer Wert, der aus den PhosFate Berechnungen für die Beispielregionen ermittelt wurde.

Die Effektivität der Maßnahmen wird zum einen über die Reduktion von Emissionen in die Gewässer ausgewiesen. Dies erfolgt über eine Betrachtung auf der Ebene von Teileinzugsgebieten (Zwischengebieten). Das heißt Maßnahmen werden nur in dem betrachteten Teileinzugsgebiet durchgeführt. Durch die Aufsummierung aller Teileinzugsgebiete bis zu einem Gebietsauslass kann dann die Maßnahmenwirksamkeit von Gesamteinzugsgebieten berechnet werden. Sind Maßnahmenwirksamkeiten für Gesamteinzugsgebiete bekannt, kann unter Berücksichtigung der Retention bzw. Denitrifikation in Grundwasser und Fließgewässer mit Hilfe der Ansätze in MONERIS, die Effektivität von Maßnahmen auch über die erreichbare Verringerung der Gewässerkonzentration dargestellt werden.

In diesem Falle ergibt sich eine Problematik daraus, dass aufgrund von Unsicherheiten bei der Modellierung, die modellierten Konzentrationen des Ist-Zustandes von den gemessenen abweichen. Für die Berechnung der Konzentrationen nach Umsetzung der Maßnahmen kann daher entweder von den modellierten oder den gemessenen Konzentrationen ausgegangen werden (Kapitel 3.3 und 3.4.2). Um die Unsicherheiten der Berechnungen darzustellen wurden beide Ansätze verfolgt. Einerseits wurde ausschließlich aufgrund der Modellergebnisse, eine erreichbare Gewässerkonzentration ausgehend von modellierten Gewässerkonzentrationen errechnet. Andererseits wurde eine Verringerung der Gewässerkonzentrationen über die Reduktion von Emissionen ausgehend von den gemessenen Konzentrationen berechnet. Dabei wurde die Wirksamkeit der Maßnahmen proportional zur Abweichung der gemessenen zu der modellierten Konzentration angepasst. Beträgt die gemessene Konzentration z.B. 0,8 mal die modellierte Konzentration wurde für die Wirksamkeit der Maßnahme ausgehend von der gemessenen Konzentration 0,8 mal der ursprünglich modellierten Konzentration angesetzt. Diese Vorgangsweise geht von der Annahme aus, dass sich die Abweichungen der Modellierung gleichmäßig auf alle betrachteten Eintragspfade verteilen.

Die Maßnahmenwirksamkeit von Einzelmaßnahmen wurde bereits bei Zessner et al. (2012) dargestellt und für das vorliegende Projekt übernommen. Im Rahmen dieses Projektes wurde ergänzend die Wirksamkeit von Maßnahmenkombinationen für unterschiedliche Teilnahmeszenarien erhoben (Kapitel 2.3.4). Weiters wurde auch für

jedes Teileinzugsgebiet eine Optimierung der Maßnahmenumsetzungen nach Kosten-Effektivitätskriterien durchgeführt. Dazu wurde für jedes Teileinzugsgebiet vorerst eine komplette Umsetzung jener Maßnahme mit der höchsten Kosteneffektivität (geringste Kosten pro kg reduzierter Nährstoffeintrag) angesetzt. Daran anschließend wurde eine Umsetzung der Maßnahme mit der zweithöchsten Kosteneffektivität angenommen usw.. Für diese Vorgangsweise wurden alle Maßnahmen mit einer relevanten Wirksamkeit im Gesamtzusammenhang betrachtet (siehe Kapitel 2.3.4).

Auf eine nähere Betrachtung der Maßnahme N6 wurde in diesem Zusammenhang verzichtet, da die während der Projektbearbeitung laufende Diskussion zur Maßnahmengestaltung im neuen ÖPUL, „eine Düngung auf mittlere Ertragslage“ als Maßnahme in Oberösterreich nicht erwarten ließ.

Die für Phosphor betrachteten Maßnahmen sind in Kapitel 2.3.4 zusammengefasst.

Für die Darstellung der Ergebnisse der Kosteneffektivitäts-Betrachtungen wurden mehrere Formen gewählt. Vorerst wurde die Kosteneffektivität der unterschiedlichen Maßnahmen als Verhältnis von Kosten zur erreichbaren Emissionsreduktion (€/kg Nährstoff reduziert) dargestellt. Um die Bedeutung der regionalen Bedingungen für die Kosteneffektivität der Maßnahmen zu veranschaulichen, wurde diese Darstellung als Unterschreitungshäufigkeiten der Kosteneffektivität der Maßnahmen in den unterschiedlichen Teileinzugsgebieten dargestellt (siehe z.B. Abbildung 39).

Mit dieser Darstellung lässt sich zwar die Kosteneffektivität der Maßnahmen vergleichen, die Information, in welchem Ausmaß die Belastung durch die jeweilige Maßnahme reduziert werden kann, ist in dieser Darstellung jedoch nicht enthalten. Aus diesem Grund wurden weitere Darstellungsformen gewählt. Dazu wird die Summe der Wirksamkeiten von Maßnahmen oder Maßnahmenpaketen in der Reihenfolge ihrer Umsetzung gegen die Summe der Kosten der Maßnahmen oder Maßnahmenpakete in einem Diagramm aufgetragen. Dies ermöglicht es die zur Erreichung einer gewünschten Maßnahmenwirksamkeit erforderlichen Kosten zu visualisieren. Zum einen können die Kosten gegen die Emissionsreduktion (z.B. Abbildung 40) und zum anderen die Kosten gegen die erreichbare Gewässerkonzentration (z.B. Abbildung 41) aufgetragen werden.

3 Ergebnisse

3.1 Wirksamkeiten von Einzelmaßnahmen unter Berücksichtigung von Teilnahmeszenarien

Die potenzielle Wirksamkeit von Einzelmaßnahmen wurde bereits in Zessner et al., 2012 dargestellt und wird in diesem Projekt in Form der Annahme einer maximal möglichen Teilnahme (Teilnahme 3) abgebildet. Darüber hinaus werden spezifische Maßnahmenwirksamkeiten unter Berücksichtigung von plausiblen Teilnahmequoten berechnet (Kapitel 2.3.2).

Im Folgenden sollen die möglichen Wirksamkeiten von Einzelmaßnahmen bei ausgesuchten Teilnahmequoten betrachtet werden. Teilnahmequote 1 stellt jeweils eine erwartbare Situation ohne Verbesserung der Beratung und Förderbedingungen und Teilnahmequote 2 eine mögliche Situation bei einer Verbesserung der Beratung und der Förderbedingungen dar. Abschließend wird die maximale Reduktionsmöglichkeit der Einzelmaßnahmen dargestellt (Teilnahmequote 3). Maßnahme N6 „Düngebeschränkung auf mittlere Ertragslage“ wird nicht weiter betrachtet, da diese Maßnahme flächendeckend kaum umsetzbar ist, ebenso wird N11 „N-Reduktion >85% auf allen Kläranlagen“ nicht näher dargestellt, da hier nur in vereinzelt Einzugsgebieten mit einer erhöhten Wirksamkeit dieser Maßnahme zu rechnen ist. Bei den ausgewiesenen Maßnahmen zur Reduktion der Phosphor Konzentrationen in den Fließgewässern wird auf eine Darstellung der Maßnahmen P1a „durchgehende Bodenbedeckung“ und P1b „durchgehende Bodenbedeckung auf steilen Hängen“ verzichtet. Dagegen wird die optimierte Maßnahme zur Bodenbedeckung P1c „durchgehende Bodenbedeckung auf eintragsrelevanten Flächen“ dargestellt.

3.1.1 Stickstoff

Die Darstellung der Wirksamkeit ausgewählter Einzelmaßnahmen auf die Reduktion der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen in den Fließgewässern unter Berücksichtigung unterschiedlicher Teilnahmequoten (T1, T2, T3) (Abbildung 21) verdeutlicht, dass die Maßnahmen mit Ausnahme von N7 „Düngung nach Bodenvorrat“ auch bei maximaler Teilnahme eine zusätzliche Reduktion der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen (zu N0) von nur weniger als 5% bewirken würden. Auch die Umsetzung der Maßnahme Düngung nach Bodenvorrat würde in den meisten Einzugsgebieten bei gängiger oder durch verstärkte Beratung und finanzielle Anreize gesteigerten Teilnahmen Reduktionen von unter 5% bewirken. Erst eine maximale Umsetzung würde in vielen Einzugsgebieten zu deutlich erhöhten Reduktionen von 5% bis 10%, in einzelnen Einzugsgebieten sogar zu 10 – 17% führen.

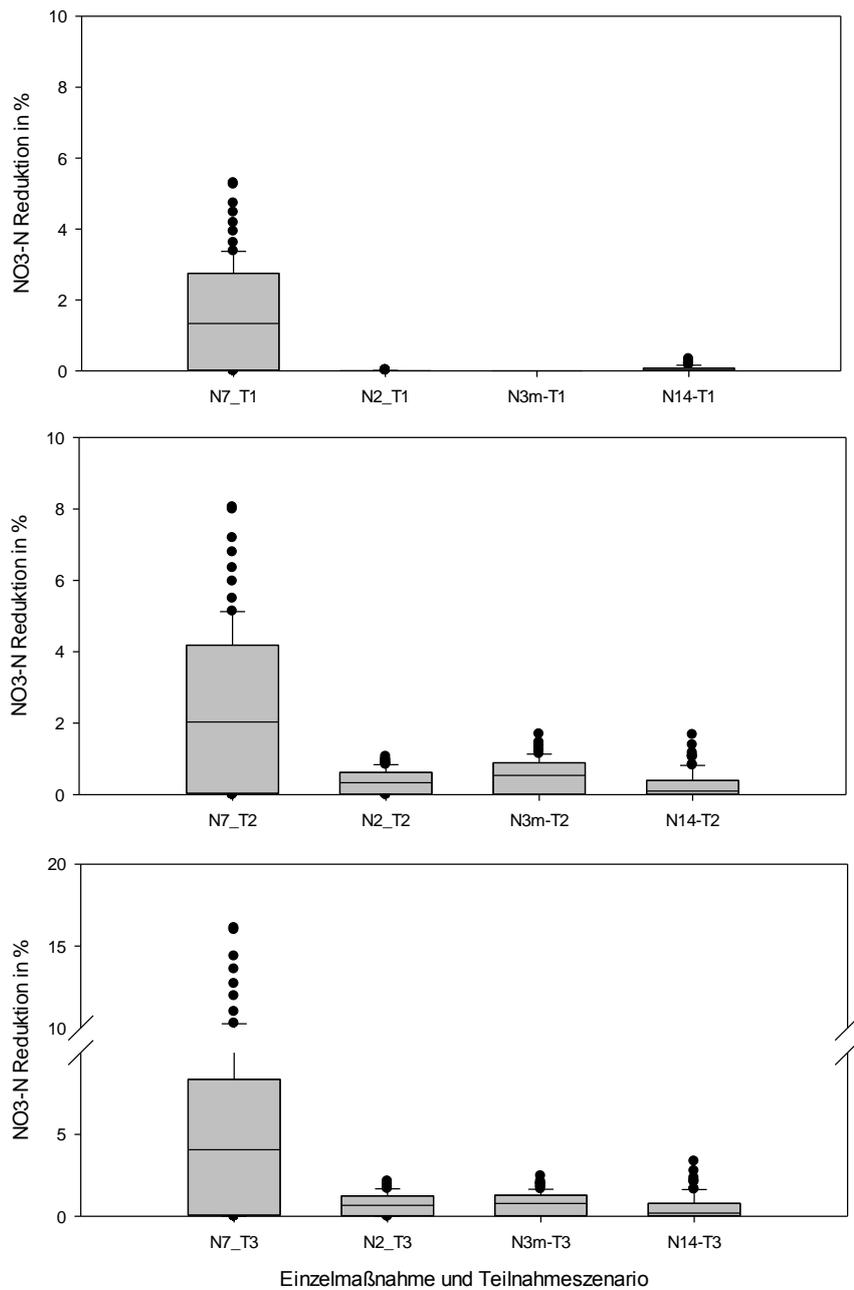


Abbildung 21: Darstellung der erzielbaren Reduktionen [% $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen] ausgewählter Einzelmaßnahmen (N7, N2, N3m, N14) bei unterschiedlichen Teilnahmequoten (T1, T2 bzw. T3)

3.1.2 Phosphor

In Abbildung 21 ist die Reduktion der TP Konzentrationen in Prozent durch die Umsetzung von Einzelmaßnahmen unter Annahme unterschiedlicher Teilnahmequoten (T1, T2, T3) dargestellt.

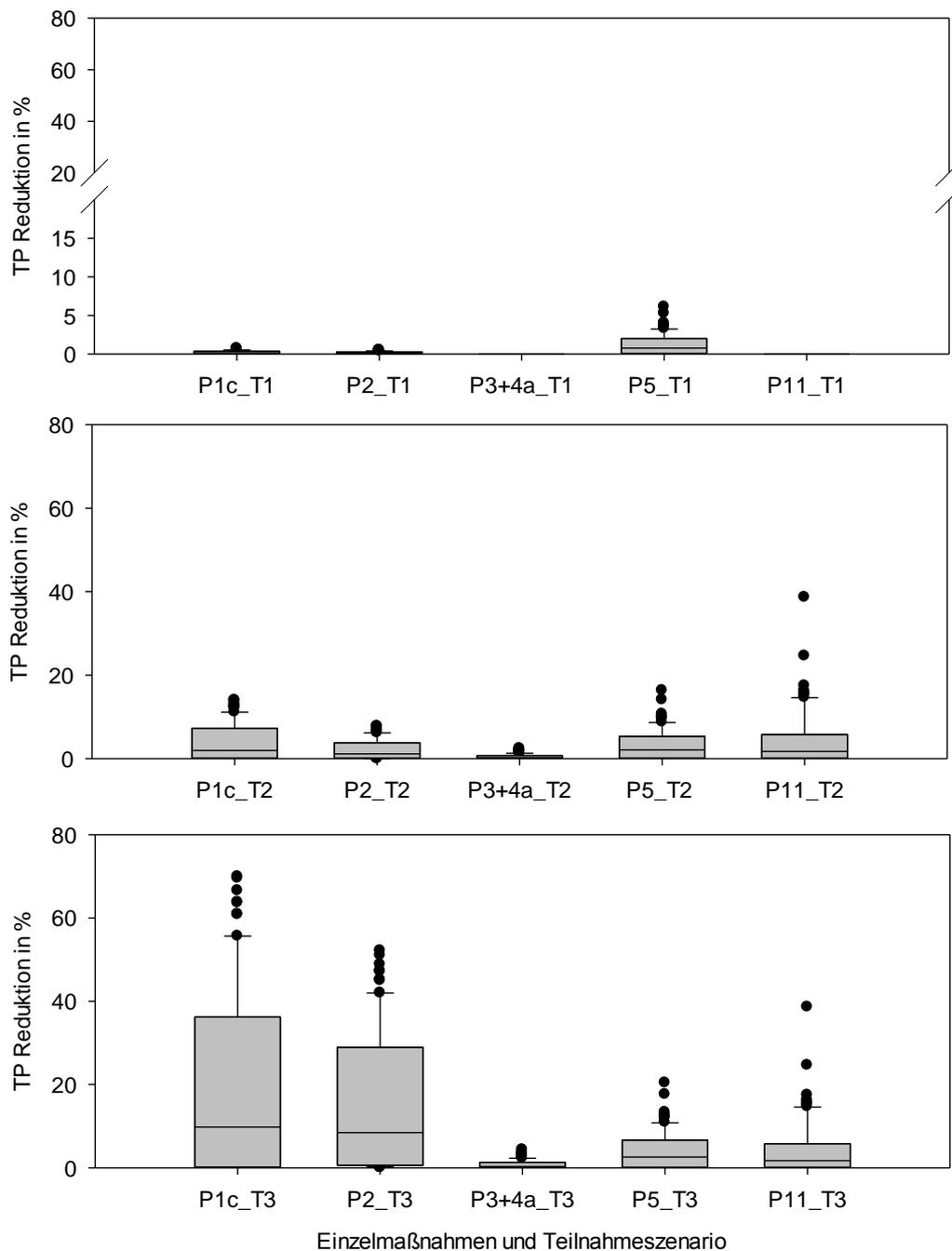


Abbildung 22: Darstellung der erzielbaren Reduktionen [% TP Konzentrationen] ausgewählter Einzelmaßnahmen (P1c, P2a, P3+4a, P5a, P11a) bei unterschiedlichen Teilnahmequoten (T1, T2, bzw. T3)

Erst bei einer erhöhten Teilnahme (bedingt durch verstärkte Beratung und Anreize), zeigt sich eine Wirksamkeit der Einzelmaßnahmen in einem Bereich von 5-10%. In diesem Fall zeigen die Maßnahmen P1c "Umwandlung von Acker in Grünland auf eintragsrelevanten Flächen", P5 "Fruchtfolge auf steilen Hängen >8%" und P11 "Weitergehende P-Elimination auf Kläranlagen (<0,5mg/l)" die höchsten Wirksamkeiten. Insbesondere in den wenigen Einzugsgebieten, in denen der Anteil

der Einträge aus Kläranlagen sehr hoch ist, kann die TP Konzentration durch Maßnahme P11 erheblich reduziert werden. Vereinzelt können hier Reduktionen von 10% bis zu fast 40% erzielt werden.

Bei einer maximalen Teilnahme an den Einzelmaßnahmen zeigen neben P5 mit vereinzelt Reduktionswirksamkeiten von bis zu 20% und P11, wie oben beschrieben, die Maßnahmen P1c und P2 „Gewässerrandstreifen“ maximale Wirksamkeiten. Beide Maßnahmen können in Abhängigkeit der Bedingungen in den einzelnen Einzugsgebieten Reduktionen der TP Konzentrationen von bis zu 50% (P2) oder gar 70% (P1c) erzielen. Dabei darf nicht vergessen werden, dass es bei Teilnahme 3 um die Darstellung einer maximal zu erzielenden Wirkung (durch maximale Teilnahme) geht, die je nach Maßnahme mehr oder weniger realistisch ist.

3.2 Wirksamkeiten von Maßnahmenpaketen unter Berücksichtigung von Teilnahmeszenarien

3.2.1 Stickstoff

Die quantifizierten Maßnahmenpakete zur Reduktion der Stickstoffemissionen in Oberflächengewässer berücksichtigen die Maßnahmen N2 „Grünbrache auf Ackerflächen“, N3m „Winterbegrünung auf Ackerflächen“, N7 „Düngung nach Bodenvorrat“ und N14 „Abluftreinigung Stall“.

Dabei nimmt die mögliche Teilnahme an den Maßnahmen entsprechend den Teilnahmequoten (1-3) von Maßnahmenpaket 1 bis 3 zu (Kapitel 2.3.4). Maßnahmenpaket 3 bezeichnet die über die betrachtete Kombination von Maßnahmen maximal mögliche Reduktion der Stickstoffemissionen.

Betrachtet man die Unterschreitungshäufigkeiten möglicher maßnahmenpaketbedingter N Reduktionen in allen Einzugsgebieten (durchgezogene Linie) bzw. in Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung (gestrichelte Linie), zeigt sich, dass das leicht umzusetzende Maßnahmenpaket 1 zu einer weiteren Verbesserung der Ausgangssituation N0 von weniger als 5% führt. Eine durch erweiterte Beratung und Förderung zu erzielende Reduktion von Stickstoff über das Maßnahmenpaket 2 beläuft sich auf deutlich über 5% (Abbildung 23). Die Unterschreitungshäufigkeiten (y-Achse) geben den prozentualen Anteil der betrachteten Stichmenge (alle Einzugsgebiete, oder Einzugsgebiete mit Risiko) an, die die Reduktion z.B. der DIN-Konzentrationen in Prozent (x-Achse) unterschreiten. Der Bezugspunkt ist der Schnittpunkt von X- und y-Achse. Eine Reduktion der DIN Konzentrationen um <5% liegt bezogen auf alle Einzugsgebiete für die Maßnahme N0 für etwa 45% der Einzugsgebiete vor. Bei Einzugsgebieten mit Risiko ist nur in 20% der betrachteten Einzugsgebieten mit einer Reduktion von <5% zu rechnen.

Unter Nutzung der einzugsgebietspezifischen Potenziale könnte gegenüber der zu erwartenden Reduktion von N0 auch zukünftig mit einer weiteren Reduktion der

Konzentrationen um 10% in den Einzugsgebieten gerechnet werden. Im Verhältnis zur auftretenden Situation von 2001-2006 wäre hier insgesamt mit einer Reduktion von 10 – 30% in Einzugsgebieten mit Risiko zu rechnen.

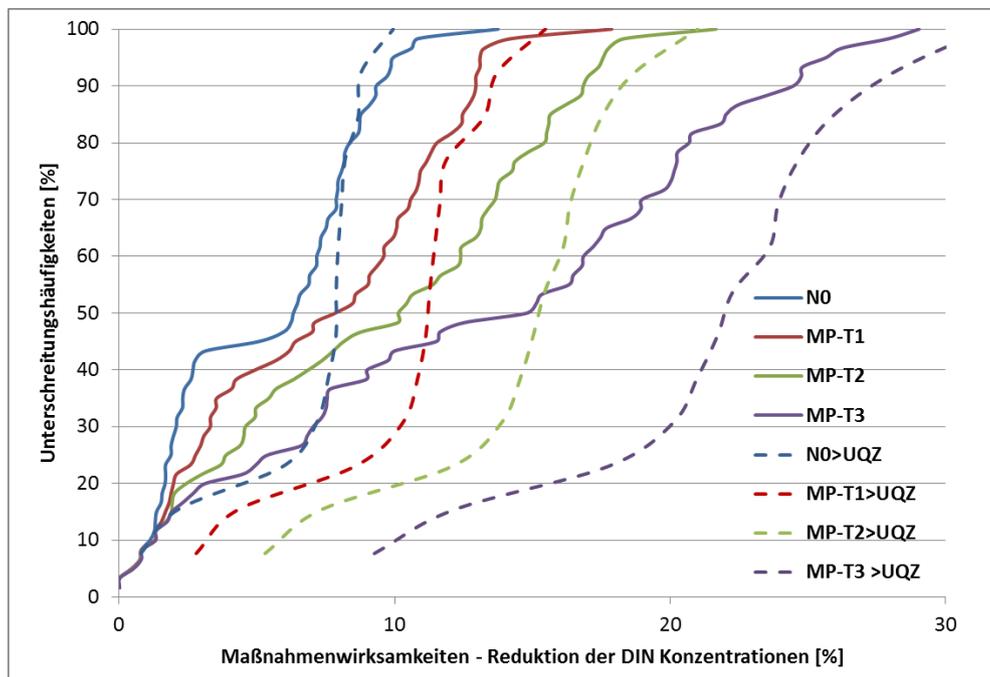


Abbildung 23: Überschreitungshäufigkeiten der möglichen Reduktionen der DIN Konzentrationen [%] durch die Umsetzung von Maßnahmenpaketen in allen Oberösterreichischen Einzugsgebieten (durchgezogene Linie) und in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertverfehlung

Betrachtet man die regionale Verteilung der Wirksamkeiten der Maßnahmenpakete, verdeutlicht sich die erhöhte Wirksamkeit in den Gebieten mit Risiko der Zielverfehlung (Abbildung 24). Zunächst ist noch einmal die aufgrund der Verzögerung durch die Grundwasseraufenthaltszeiten zu erwartende Reduktion der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen durch Maßnahmen vor 2001-2006 dargestellt (N0). Wie bereits in Zessner et al., 2012 festgehalten, ist in Gebieten mit Zielverfehlung (rote Gewässer) mit Reduktionen zwischen 5% und 10% zu rechnen. Nur in einzelnen Einzugsgebieten kann durch bereits umgesetzte Maßnahmen in Zukunft noch mit erhöhten $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationsreduktionen zwischen 10% und 15% gerechnet werden (Große Gusen, Kleine Gusen und Klamm bach).

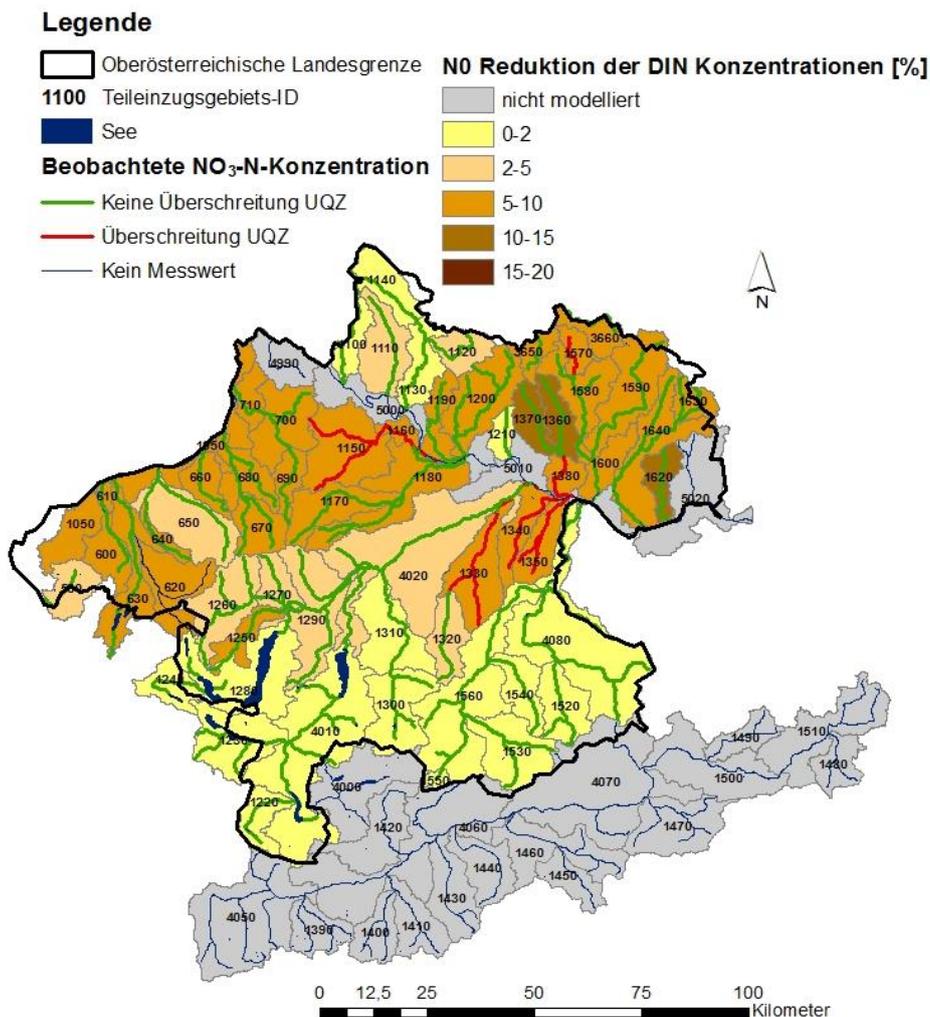


Abbildung 24: Räumliche Darstellung der Reduktion der DIN Konzentrationen [%] durch N0 in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertüberschreitung (rote Flussläufe) und Einzugsgebieten ohne Risiko (grüne Flussläufe)

Die Umsetzung von Maßnahmenpaket 1, das von realistischen Teilnahmen unter den jetzt herrschenden Bedingungen ausgeht, führt zu einer nur geringen weiteren Reduktion der NO₃-N Konzentrationen in den betrachteten Einzugsgebieten. Mit Ausnahme der Kreams könnte in den Einzugsgebieten mit Risiko durch Maßnahmenpaket 1 eine weitere Reduktion der NO₃-N Konzentrationen um 2% - 5% erzielt werden. In der Dürren Aschach und Aschach sowie in der Pram (ID 700) könnten 5% bis 10% der Emissionen in die Fließgewässer reduziert werden (nicht dargestellt).

Maßnahmenpaket 2, das von einer verstärkten Beratung und verstärkten Anreizen für Maßnahmensetzungen ausgeht, könnte eine weitere Reduktion der bestehenden NO₃-N Konzentrationen in den Gewässern von 2% bis 15% bewirken (Abbildung 25).

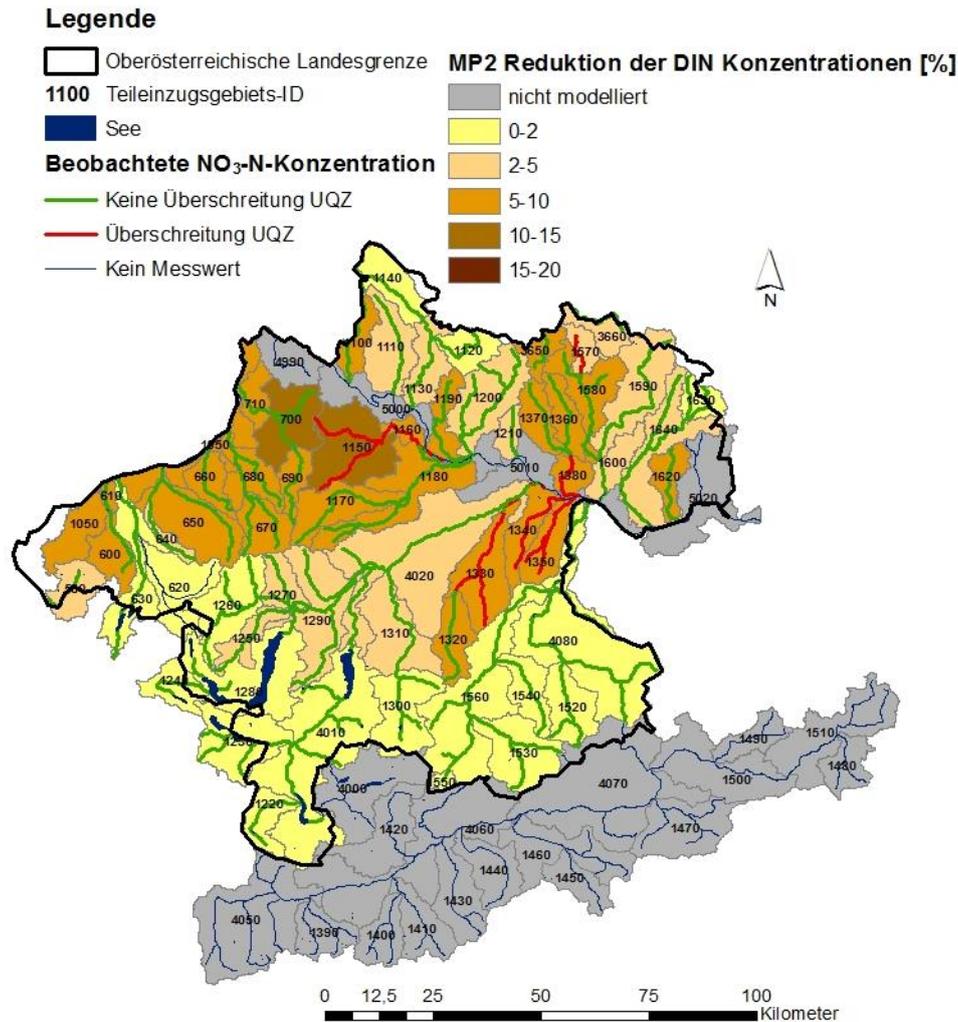


Abbildung 25: Räumliche Darstellung der Reduktion der DIN Konzentrationen [%] durch das Maßnahmenpaket MP2 in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertüberschreitung (rote Flussläufe) und Einzugsgebieten ohne Risiko (grüne Flussläufe)

In den Gebieten mit Grenzwertüberschreitung wäre die Wirksamkeit des Maßnahmenpaketes 2 sogar höher und würde eine Reduktion von 5% bis 15% erzielen. Ausnahme ist das Einzugsgebiet der Feldaist (ID-1570). Hier liegt die Reduktion der NO₃-N Konzentrationen bei nur 2% bis 5%.

Hohe, über die Verminderung von N₀ hinausgehende Reduktionen der DIN Konzentrationen in den Einzugsgebieten, insbesondere mit Überschreitungen des Grenzwertes werden erst mit dem von einer maximalen Teilnahme ausgehenden Maßnahmenpaket 3 möglich. Hier können weitere 10% bis 20% der DIN Konzentrationen in den Einzugsgebieten mit Risiko reduziert werden (Abbildung 26). In der Feldaist noch 5% bis 10%.

Da die Grenzwertüberschreitungen in den Einzugsgebieten mit Risiko mit Ausnahme weniger Einzugsgebiete nicht sehr hoch ist, reicht eine Reduktion der DIN Konzentrationen in den erzielten Bereichen meistens aus, um eine Grenzwertunterschreitung zu erzielen (Kapitel 3.3.1)

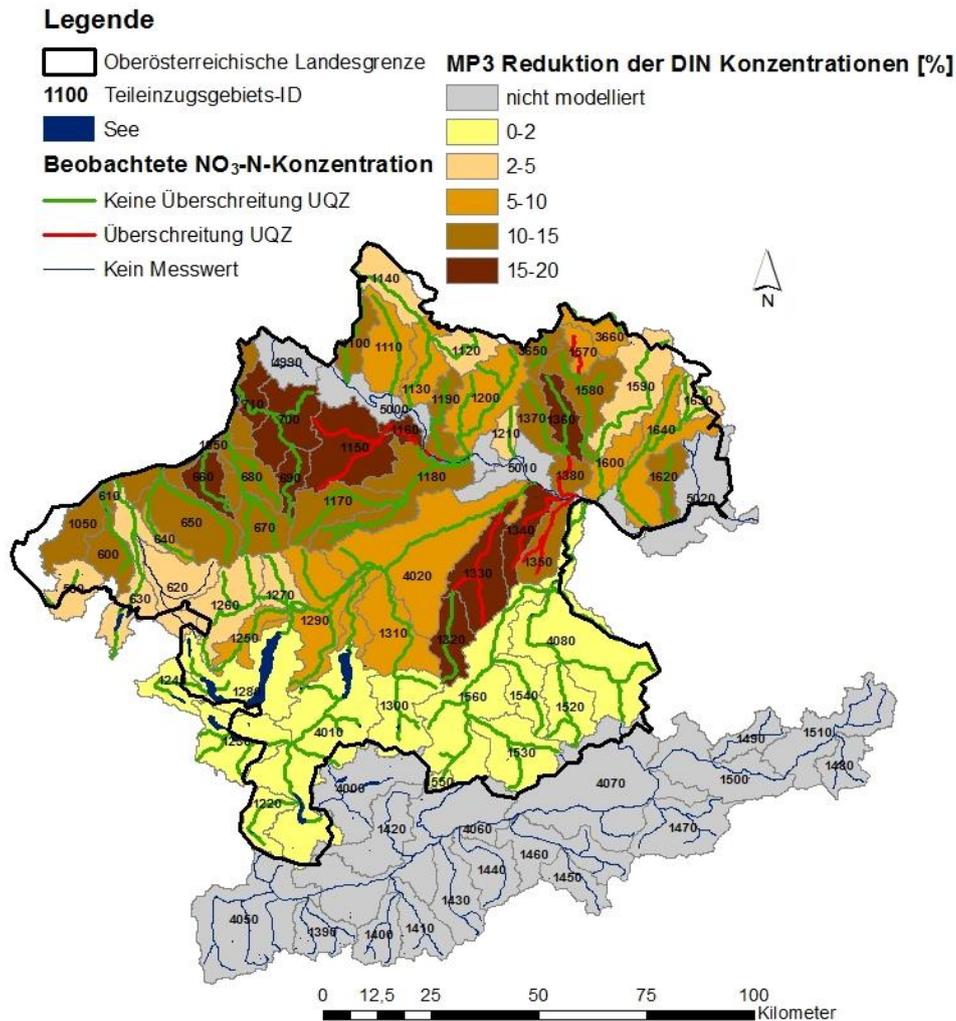


Abbildung 26: Räumliche Darstellung der Reduktion der DIN Konzentrationen [%] durch das Maßnahmenpaket MP3 in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertüberschreitung (rote Flussläufe) und Einzugsgebieten ohne Risiko (grüne Flussläufe)

3.2.2 Phosphor

Die quantifizierten Maßnahmenpakete zur Reduktion der Phosphoremissionen in Oberflächengewässer berücksichtigen die Maßnahmen P1c „Durchgehende Bodenbedeckung auf eintragsrelevanten Flächen“, P2 „Gewässerrandstreifen“, P3/4m „Begrünung von Acker“, P5 „Fruchtfolgeauflagen“ und P11 „Phosphorentfernung“.

Die angenommene Teilnahmequote an den Maßnahmen nimmt entsprechend den Teilnahmequoten für Einzelmaßnahmen (1-3) von Maßnahmenpaket 1 bis Maßnahmenpaket 3 zu (Kapitel 2.3.3). Maßnahmenpaket 3 bezeichnet die über die betrachtete Kombination von Maßnahmen maximal mögliche Reduktion der Phosphoremissionen (Berücksichtigung der potenziell möglichen Maßnahmenteilnahme). Dabei wird das Maßnahmenpaket 3 in verschiedenen Variationen betrachtet. Neben einer Umsetzung der Maßnahmenkombination P1c

„Durchgehende Bodenbedeckung auf eintragsrelevanten Flächen“ entsprechend einer Flächenstilllegung und P11 einer „erhöhten Phosphorentfernung auf allen Kläranlagen“ (=MP3), wird die Maßnahme der Siedlungswasserwirtschaft (P11) ebenfalls mit einer maximalen „Anlage von Gewässerrandstreifen“ (P2) kombiniert (=MP3-Randstreifen), oder mit einem Mix aus P3+4m, P5 und P2 (=MP3-Mix).

In Form von Unterschreitungshäufigkeiten für alle oberösterreichischen Einzugsgebiete (durchgezogene Linie) und jene mit Risiko der Zielverfehlung (strichlierte Linie) können die Reduktionen der Phosphor-Konzentrationen durch die Umsetzung der Maßnahmenpakete dargestellt werden (Abbildung 27).

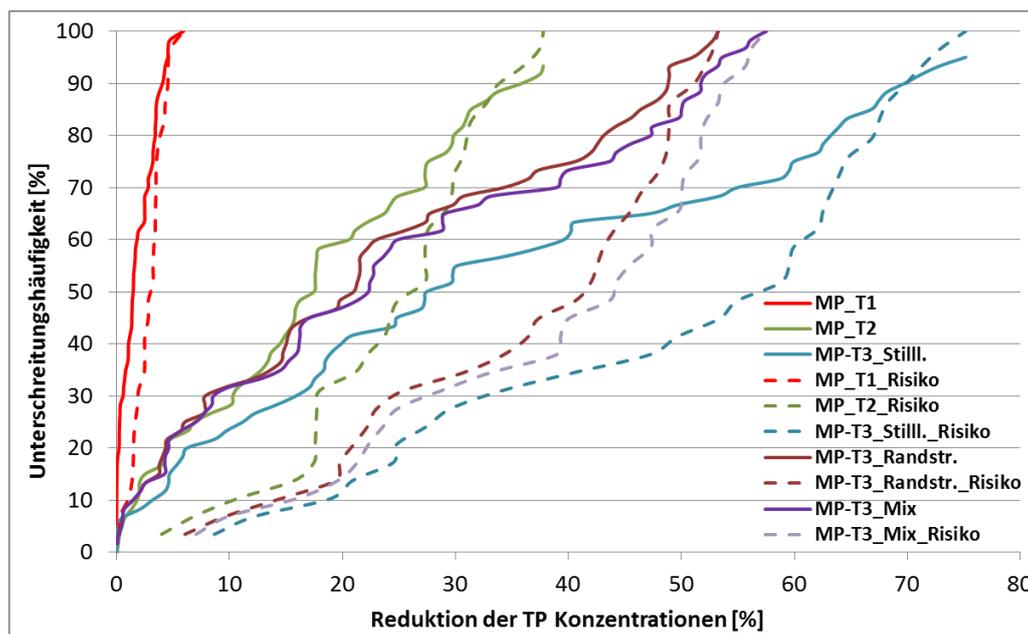


Abbildung 27: Unterschreitungshäufigkeiten der möglichen Reduktionen der TP Konzentrationen [%] durch die Umsetzung von Maßnahmenpaketen in allen Oberösterreichischen Einzugsgebieten (durchgezogene Linie) und in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertverfehlung

Es zeigt sich, dass eine zählbare Verbesserung der aktuellen Situation durch mittlere, aktuelle Teilnahmen (MP1) nicht zu erzielen ist. Bei einer solchen Vorgehensweise ist mit Reduktionen der TP Konzentrationen in Gewässern mit und ohne Risiko von <5% zu rechnen. Eine ambitionierte Vorgehensweise mit einer erweiterten Beratung und Förderung könnte dagegen schon zu deutlicheren Reduktionen der TP Konzentrationen bis zu 30% führen. Dabei wären Reduktionen der TP Gewässerkonzentrationen in den Einzugsgebieten mit Risiko von 15% bis 30% realistisch. Eine Schwerpunktlegung auf die Anlage möglicher Gewässerrandstreifen in Kombination mit einer Reduktion der Phosphoreinträge aus den Kläranlagen (MP3-Randstreifen) könnte zu einer weiteren deutlichen Reduktion führen. Hier könnten in den meisten Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertverfehlung 15% bis annähernd 50% der TP Konzentrationen reduziert werden.

Während der Mix aus Randstreifen und Stilllegungen in Kombination mit einer weiterführenden Reduktion der Emissionen aus Kläranlagen zu einer weiteren

leichten Verbesserung der TP Reduktion führt, zeigt sich eine maximale Wirksamkeit im Maßnahmenpaket MP-T3, das die Begrünung von allen eintragsrelevanten Flächen beschreibt. Hier könnten in den meisten Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertverfehlung Reduktionen der TP Konzentrationen von 20% bis zu 70% erzielt werden.

Betrachtet man die Wirksamkeit der Maßnahmenpakete in ihrer regionalen Verteilung, verdeutlicht sich die geringe Reduktion der TP Konzentrationen des Maßnahmenpaketes 1 für ganz Oberösterreich (Abbildung 28). Dabei führt die Umsetzung des Maßnahmenpaketes fast im gesamten oberösterreichischen Einzugsgebiet zu einer Reduktion von nur 0% bis 5%.

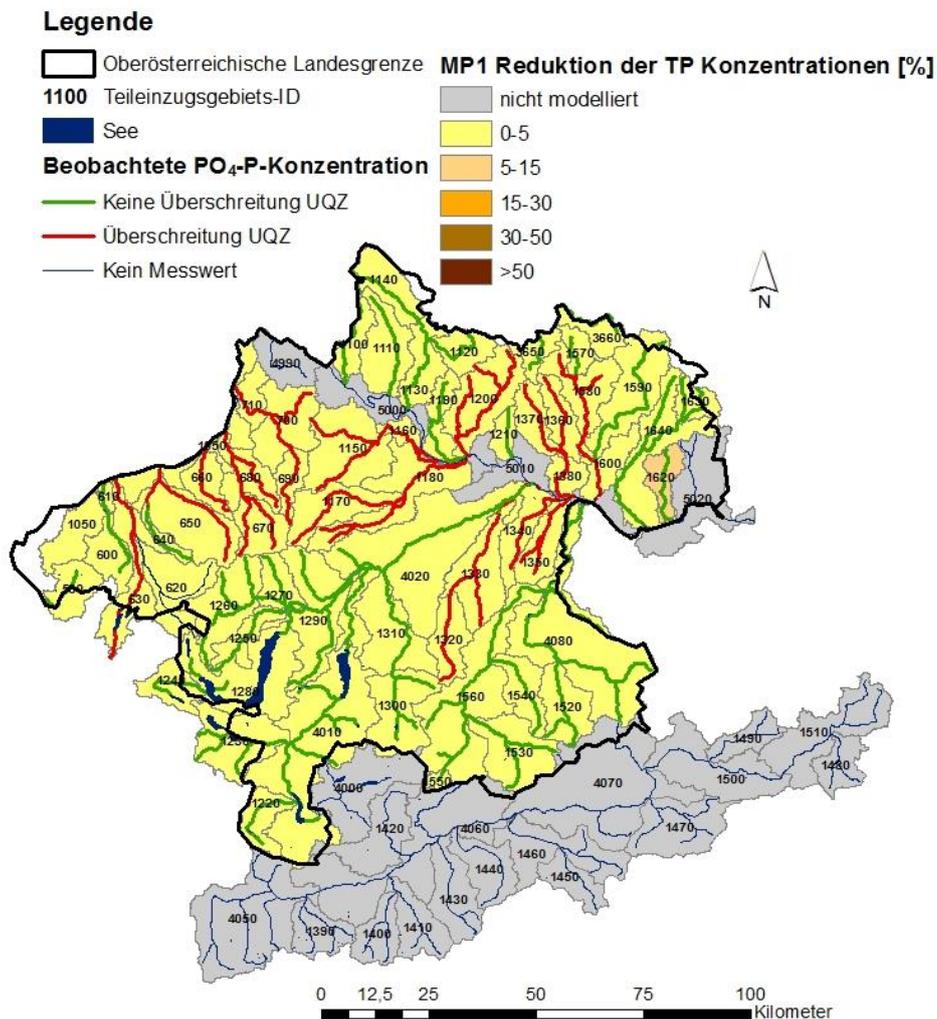


Abbildung 28: Räumliche Darstellung der Reduktion der TP Konzentrationen [%] durch das Maßnahmenpaket MP1 in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertüberschreitung (rote Flussläufe) und Einzugsgebieten ohne Risiko (grüne Flussläufe)

Eine Verbesserung der Förderungskulisse und eine damit zu bewirkende verbesserte Teilnahme an den Maßnahmen des Paketes (MP2) kann dagegen schon zu einer deutlichen Reduktion der TP Konzentrationen in den Einzugsgebieten führen. Insbesondere in Einzugsgebieten mit Zielverfehlung liegen die Reduktionen hier

schon zwischen 15% und 50%. Maßnahmenpaket 2 ist somit geeignet in Oberösterreich eine deutliche Verbesserung der Gewässerbelastung hinsichtlich der auftretenden Phosphorkonzentrationen herbeizuführen.

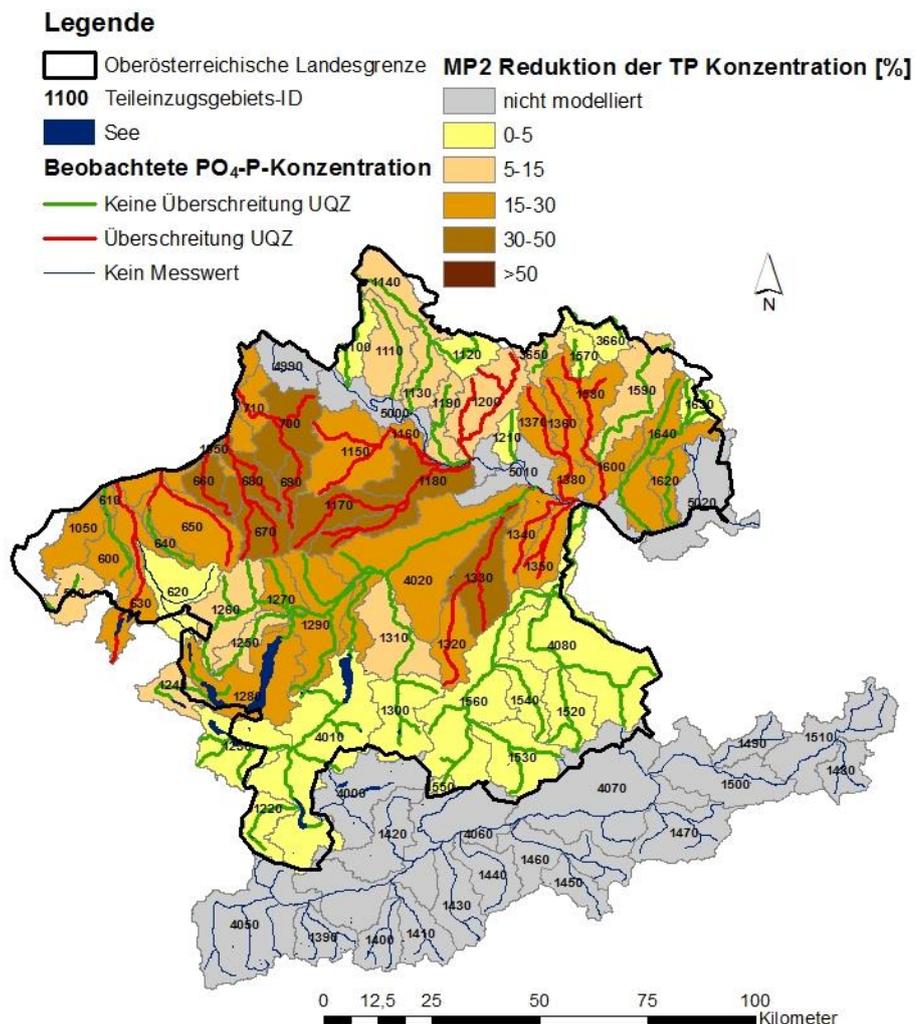


Abbildung 29: Räumliche Darstellung der Reduktion der TP Konzentrationen [%] durch das Maßnahmenpaket MP2 in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertüberschreitung (rote Flussläufe) und Einzugsgebieten ohne Risiko (grüne Flussläufe)

Eine konsequente Umsetzung der Maßnahme Randstreifen in Kombination mit einer weiteren P Ablaufkonzentrationsreduktion von Kläranlagen zeigt ebenfalls eine hohe Wirksamkeit. Liegen die möglichen Reduktionen in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertverfehlung im Mühlviertel bei 15% bis 30%, liegen sie im Innviertel und der Traun Enns Platte bei >30%, in einzelnen Einzugsgebieten sogar bei >50%.

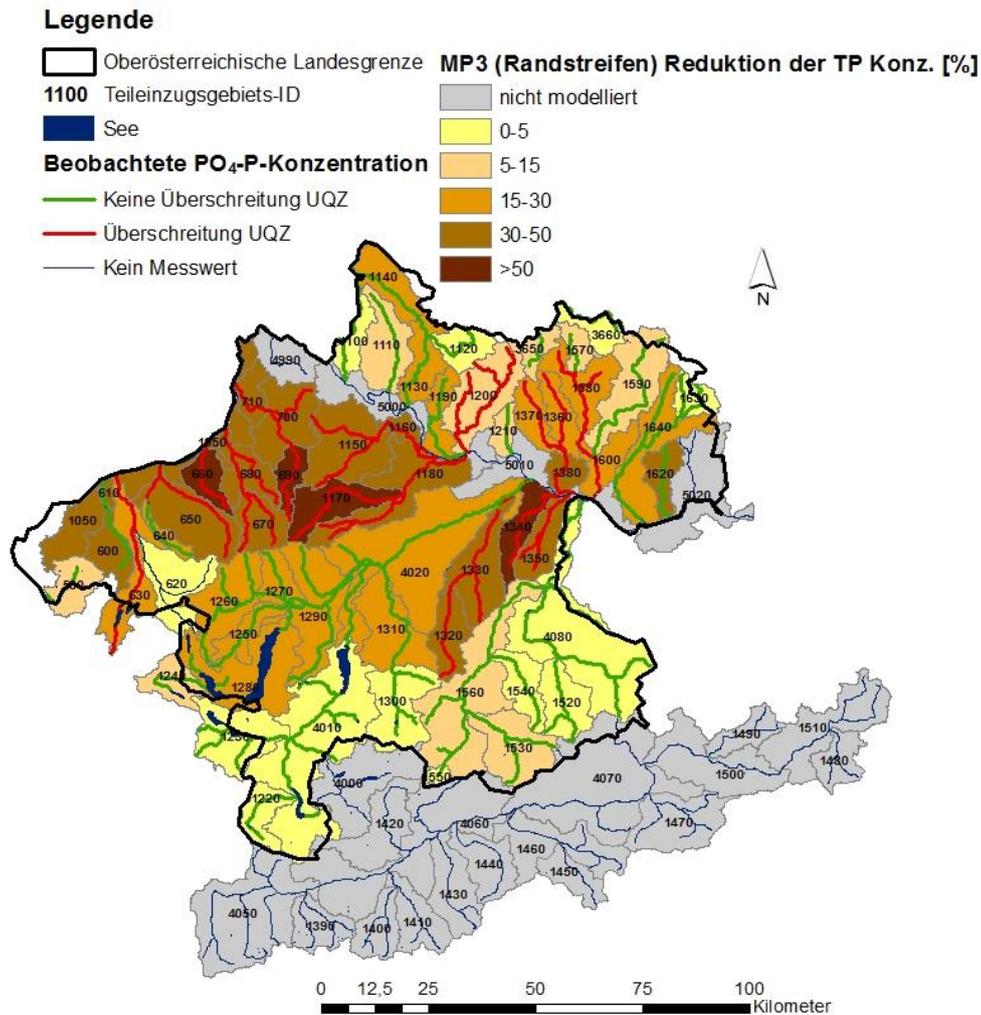


Abbildung 30: Räumliche Darstellung der Reduktion der TP Konzentrationen [%] durch das Maßnahmenpaket MP3(Randstreifen) in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertüberschreitung (rote Flussläufe) und Einzugsgebieten ohne Risiko (grüne Flussläufe)

Eine Erweiterung der Maßnahme Randstreifen und Kläranlagen durch die maximale noch verbleibende Umsetzung einer Winterbegrünung und Mulchsaat sowie der Fruchtfolge auf eintragsrelevanten Flächen (MP3-Mix) führt zu einer weiteren Reduktion der TP Konzentrationen in den Oberösterreichischen Einzugsgebieten (hier nicht dargestellt).

Die größtmögliche Reduktion im Rahmen der betrachteten Maßnahmenpakete erzielt die Kombination aus Stilllegung (Begrünung) eintragsrelevanter Flächen und einer Verschärfung der Emissionswerte für Phosphor auf den Kläranlagen. Eine solche Maßnahmenkombination würde in den Einzugsgebieten mit Grenzwertüberschreitung zu TP Konzentrationsreduktionen von >50% im Innviertel und der Traun Enns Platte führen. Im Mühlviertel könnten durch diese Maßnahmenkombination in den Einzugsgebieten mit Risiko 15% bis 30% der TP Konzentrationen in den Fließgewässern reduziert werden.

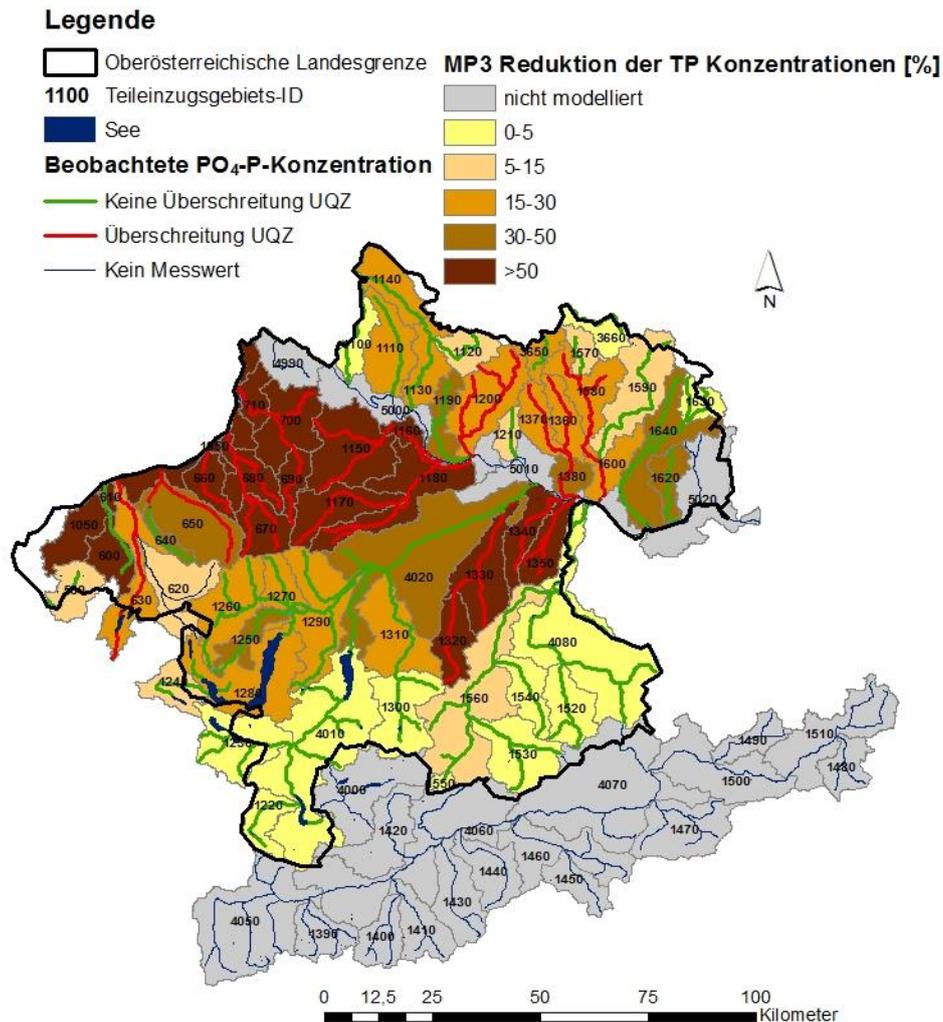


Abbildung 31: Räumliche Darstellung der Reduktion der TP Konzentrationen [%] durch das Maßnahmenpaket MP3 in Einzugsgebieten mit Risiko der Grenzwertüberschreitung (rote Flussläufe) und Einzugsgebieten ohne Risiko (grüne Flussläufe)

Trotz der Möglichkeit sehr hoher Konzentrationsreduktionen von TP durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmenpaketen gestaltet sich die Zielerreichung beim Ortho-Phosphat in den Oberösterreichischen Einzugsgebieten deutlich schwerer, als beim Nitrat. Dies ist maßgeblich durch die teilweise extremen prozentualen Überschreitungen des vorgegebenen Qualitätszieles im Ist-Zustand bedingt (Kapitel 3.3.2).

3.3 Möglichkeiten der Zielerreichung durch Maßnahmenpakete

3.3.1 Betrachtung der modellierten und gemessenen Grenzwertauslastung

Stickstoff

Eine mögliche Zielerreichung für das Qualitätsziel NO₃-N lässt sich in den Oberösterreichischen Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung darstellen.

Dazu gehören alle Einzugsgebiete, deren 90-Perzentile entweder aufgrund der Modellergebnisse in einem Konzentrationsbereich $>75\%$ des Qualitätsziels liegen, oder jene in denen das aufgrund von Messungen ermittelte 90-Perzentil $>90\%$ des Qualitätsziels ausmacht. Insgesamt können für $\text{NO}_3\text{-N}$ etwa 25% der betrachteten Einzugsgebiete einer solche „Risikogruppe“ zugeordnet werden, was nicht gleichzusetzen ist mit einer tatsächlichen Überschreitung des Qualitätszieles $\text{NO}_3\text{-N}$.

Die Modellergebnisse zeigen, dass gegenüber der Situation von 2001-2006 schon die weitere Wirksamkeit der bisher umgesetzten Maßnahmen (NO) ausreichen dürfte, um in vielen Einzugsgebieten die Zielerreichung zu verbessern. Durch eine Umsetzung des Maßnahmenpaketes 1 (mit leicht zu erzielenden Teilnahmen) kann der Grenzwert fast in allen Einzugsgebieten unterschritten werden.

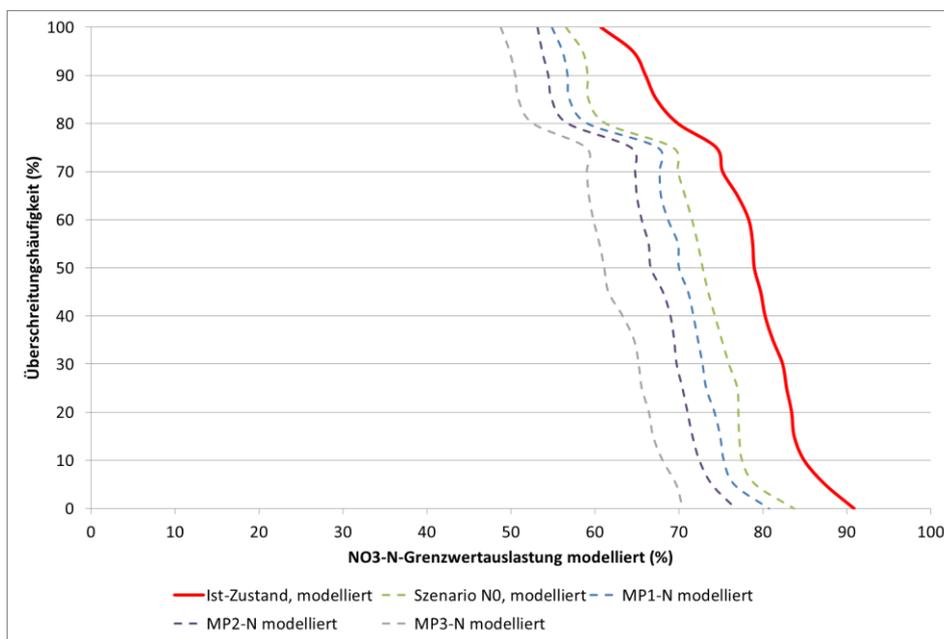


Abbildung 32: Darstellung der modellierten Grenzwertauslastung für DIN [%] in Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung als Überschreitungshäufigkeit unter Berücksichtigung umgesetzter Maßnahmenpakete

Stellt man den modellierten $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen die gemessenen Konzentrationen (2001-2006) und ihre zu erwartende Reduktion durch die Maßnahmenpakete gegenüber, so zeigt sich für einige Oberflächengewässer ein deutlich anderes Bild, was auf die Modellunsicherheiten von MONERIS zurückzuführen ist. Liegen in den meisten Fällen erhöhter Modellunsicherheiten Unterschätzungen durch das Modell in einem Bereich von 30% oder geringfügig über 30% vor, liegen die Unterschätzungen durch das Modell gegenüber den gemessenen Werten im Ipfbach und im Krasteinerbach deutlich über 30%.

Dementsprechend liegen die gemessenen Überschreitungen des $\text{NO}_3\text{-N}$ Grenzwertes im Ipfbach bei über 150% und im Krasteinerbach bei 127%, was zu einem deutlich veränderten Bild der Grenzwertauslastung im Bereich hoher Überschreitungen führt.

Zieht man die gemessenen Konzentrationen als Ausgangspunkt für die Evaluierung der Zielerreichung ($\text{NO}_3\text{-N}$) in den kritischen Einzugsgebieten heran, zeigt sich, dass im Ipfbach bei Ausschöpfung des Potenzials des aufgelegten Maßnahmenpaketes (MP3) mit keiner Zielerreichung zu rechnen ist. Auch im Krusteinerbach und in der Feldaist sind trotz Ausschöpfung einer maximalen Teilnahme des Maßnahmenpaketes Konzentrationen nahe dem Grenzwert zu erwarten.

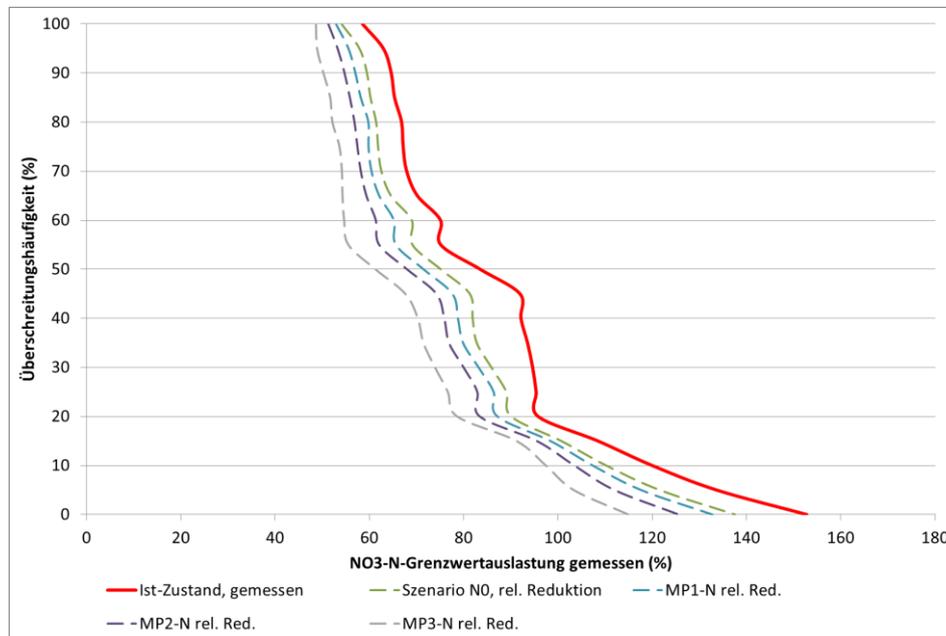


Abbildung 33: Darstellung der gemessenen Grenzwertauslastung für DIN [%] in Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung als Unterschreitungshäufigkeit unter Berücksichtigung umgesetzter Maßnahmenpakete

Mit Ausnahme der angeführten Fälle, zeigen die Ergebnisse auf, dass in allen übrigen Fließgewässern kritische Konzentrationen in einem Wertebereich >90% Auslastung des Grenzwertes bereits durch Umsetzung des Maßnahmenpaketes MP1 vermieden werden können.

Phosphor

Eine mögliche Zielerreichung für das Qualitätsziel $\text{PO}_4\text{-P}$ wird in den oberösterreichischen Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung dargestellt. Dazu gehören alle Einzugsgebiete, deren 90-Perzentile entweder aufgrund der Modellergebnisse in einem Konzentrationsbereich >75% des Qualitätsziels liegen, oder jene in denen das aufgrund von Messungen ermittelte 90-Perzentil >90% des Qualitätsziels ausmachen. Insgesamt müssen somit etwa 40% der betrachteten Einzugsgebiete in Oberösterreich einer solchen „Risikogruppe“ zugeordnet werden, was nicht gleichbedeutend damit ist, dass 40% der oberösterreichischen Einzugsgebiete in Bezug auf $\text{PO}_4\text{-P}$ den Grenzwert überschreiten.

Die Modellrechnungen zeigen, dass in den Jahren 2001 - 2006 in den Risikogebieten z.T. in Einzelfällen sehr hohe Überschreitungen des Grenzwertes vorliegen und zeigen Grenzwertauslastungen von bis zu über 300% an. Tatsächlich weisen 50%

der ausgewählten Einzugsgebiete Grenzwertauslastungen von 250% bis 300% auf (Abbildung 34).

Es zeigt sich, dass die deutliche Reduktion der TP Konzentrationen durch das optimierte Maßnahmenpaket MP-T2 (das eine verbesserte Beratung und Maßnahmenteilnahme voraussetzt), nicht ausreicht, um eine klar verbesserte Qualitätszielerreichung in den Einzugsgebieten mit Risiko zu gewährleisten. Selbst die Maßnahme MP3-Randstreifen würde nur in 45% der Risikoeinzugsgebiete eine Reduktion der Konzentrationen unter den Grenzwert (<100% Grenzwertauslastung) bewirken.

Auch bei einer Kombination von Randstreifen mit einer maximalen Teilnahme der anderen in dem Paket kombinierbaren Maßnahmen (MP3-Mix) wäre noch in 40% der betrachteten Einzugsgebiete mit einer Überschreitung des Qualitätszieles zu rechnen. Lediglich die Umsetzung von MP3-(Stilllegung) führt auf Grundlage der Modellergebnisse zu einer Reduktion der Gewässer PO₄-P Konzentrationen (berechnet als 90-Perzentile), die ausreicht, um in 90% aller Einzugsgebiete mit Risiko zu einer Zielerreichung zu führen.

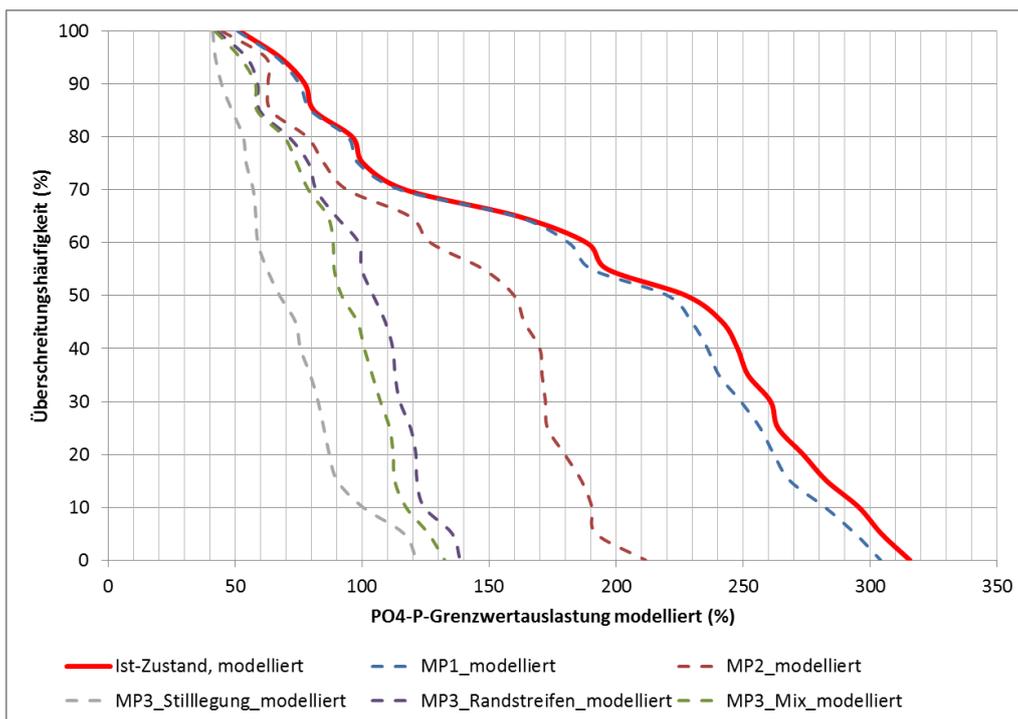


Abbildung 34: Darstellung der modellierten Grenzwertauslastung für PO₄-P [%] in Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung als Unterschreitungshäufigkeit unter Berücksichtigung umgesetzter Maßnahmenpakete

Die Modellunsicherheiten steigen bei der Modellierung von Phosphor gegenüber der Modellierung von Stickstoff weiter an. Entsprechend erhöhen sich teilweise auch die Differenzen in den dargestellten Auslastungen des Grenzwertes zwischen den modellierten und gemessenen Werten. Zieht man die gemessenen Konzentrationen in den Einzugsgebieten heran, so verschlechtert sich die Perspektive für eine Zielerreichung des PO₄-P Richtwertes in einigen Einzugsgebieten. Die durch

Messwerte berechnete Überschreitung der PO₄-P Richtwerte in den Einzugsgebieten liegt in 20% der Einzugsgebiete „mit Risiko“ zwischen 300% und > 600% und damit deutlich über den Überschreitungen, die durch die Modellierung ausgewiesen wurden. Dabei kommt der maximale Werte der Überschreitung durch eine Messstelle an der Pram (ID 690) zustande, bei der unklar ist, ob die gemessenen Konzentrationen nicht möglicherweise lokalen Einflüssen unterliegen, da sie im längsverlaufendem Konzentrationsprofil (Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 2012) eine einmalige Erhöhung darstellen.

In diesen Einzugsgebieten müsste eine Reduktion der Grenzwertauslastung von 200% bis 500% erfolgen, um eine Richtwerterreichung zu ermöglichen. Betrachtet man die Richtwertüberschreitung in den kritischen Einzugsgebieten unter Berücksichtigung der Wirksamkeiten der hier betrachteten Maßnahmenpakete wird deutlich, dass eine verbesserte Maßnahmenteilnahme durch verbesserte Beratung und verbesserte Förderung von Maßnahmen (MP2) nur in einzelnen Fällen zu einer Zielerreichung für PO₄-P beitragen könnte.

Auch bei Umsetzung der unterschiedlichen Maßnahmenpakete (MP3) bei Annahme maximaler Teilnahme würden noch etwa 50% der kritischen Einzugsgebiete im Risiko verbleiben. Dabei bleibt die relative Wirksamkeit der Maßnahmen in MP3 mit Stilllegung > Mix > Randstreifen natürlich bestehen.

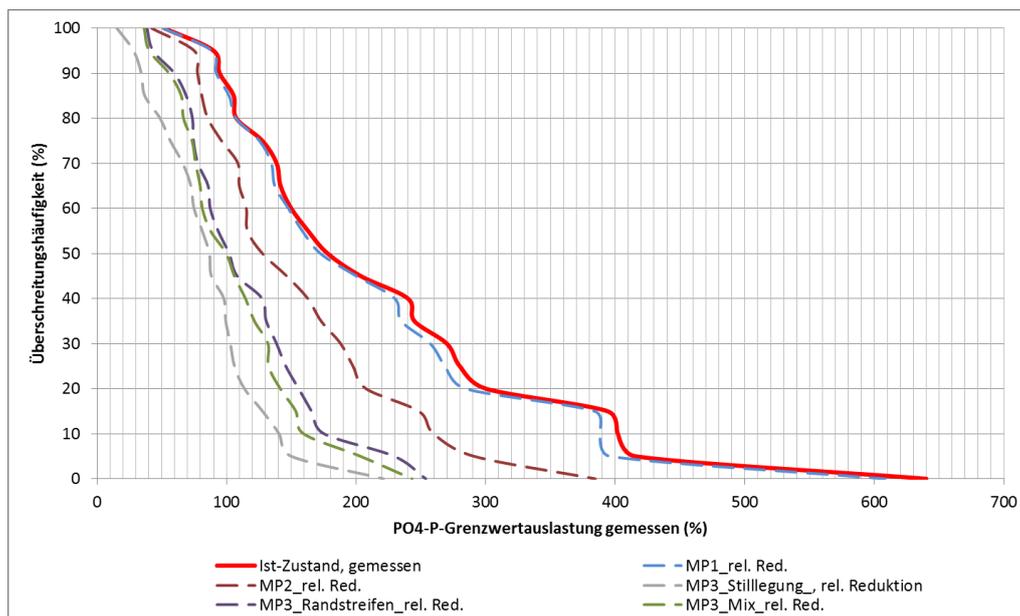


Abbildung 35: Darstellung der gemessenen Grenzwertauslastung für PO₄-P [%] in Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung als Unterschreitungshäufigkeit unter Berücksichtigung umgesetzter Maßnahmenpakete

3.3.2 Matrix einer möglichen Zielerreichung durch Maßnahmenpakete

In den Matrizen zur Darstellung möglicher Zielerreichungen für NO₃-N und PO₄-P in Einzugsgebieten mit Risiko (Tabelle 7 und Tabelle 8) sind die Ergebnisse aus der Modellierung und die aus den über Immissionsmessungen ermittelten

Konzentrationen zusammengefasst. Dabei werden die gemessenen Konzentrationen und ihre möglichen Reduktionen (anteilig aus der Modellierung bestimmt) prioritär behandelt und nur dort, wo es keine gemessenen Werte gibt, durch reine Modellergebnisse ergänzt. Rot markierte Felder geben bei gemessenen Bezugswerten eine Überschreitung des Grenzwertes (Auslastung >110%) an. Mit einer neunzigprozentigen bis einhundertzehnprozentigen Auslastung wird ein Bereich hoher Auslastung des Grenzwertes (gelbe Markierung) angezeigt. Aufgrund von Unsicherheiten bei Probenahme und Analytik kann es in diesem Wertebereich zu Überschreitungen des Grenzwertes kommen, es können aber auch Unterschreitungen auftreten. Die Situation ist somit als kritisch zu bewerten. Die grünen Felder zeigen eine Auslastung des Grenzwertes von <90% an und beschreiben somit einen (im Rahmen der Zuverlässigkeit der modellierten Reduktionen zu interpretierenden) Zustand einer relativ sicheren Zielerreichung an. Die auf reinen Modellberechnungen basierenden Einschätzungen sind durch graue Schrift gekennzeichnet. Hier ergibt sich die deutliche Zielerreichung aufgrund der erhöhten Modellunsicherheiten erst bei einer Grenzwertauslastung von <75%. Der Bereich der Grenzwertauslastung von 75% bis 125% bezeichnet ein mögliches Risiko; der Bereich >125% eine wahrscheinliche Grenzwertüberschreitung. Die in den Tabellen abgebildeten und aus Modellberechnungen resultierenden Konzentrationen unterliegen den Modellungenauigkeiten und dürfen daher nur als Orientierungswerte, keinesfalls als feststehende absolute Werte interpretiert werden.

Ebenso vorsichtig ist eine aus den Zahlenwerten abzuleitende Zielerreichung zu interpretieren. Diese hängt letztlich von einer Vielzahl an Faktoren, von denen hier nur die variablen Wetterbedingungen, Agrarwirtschaftsentwicklungen und die tatsächliche Güte der umgesetzten Maßnahmen genannt werden sollen. Nichtsdestotrotz sind die Matrizen als Orientierungshilfe in Hinblick auf eine mögliche Zielerreichung nützlich und verdeutlichen das notwendige Ausmaß der aufzuwendenden Maßnahmen. Ferner vermitteln die Tabellen in Form der Orientierungskonzentrationen eine erste Möglichkeit die aus den Maßnahmenpaketen zu erwartenden Größenordnungen von Verbesserungen der Gewässergütesituation einzuschätzen.

Stickstoff

Behandelt man die Bewertung einer Zielerreichung aufgrund von gemessenen Konzentrationen im Gewässer gegenüber den modellierten Werten prioritär, fällt in den Einzugsgebieten des Gurtenbaches (ID 660), der Antiesen (ID 670 und 680), der Pram (ID 690), der Dürren Aschach und Aschach (ID 1150 und 1160), der Trattnach (ID 1170) und des Innbaches (ID 1180) das durch die Modellberechnungen ausgewiesene Risiko für NO₃-N weg.

Tabelle 7 zeigt, dass sich der Ist Zustand mit neun ausgewiesenen Einzugsgebieten mit möglichen Überschreitungen (eins davon ausschließlich aus Modellierungen) und drei Einzugsgebieten mit sicheren Überschreitungen bereits durch die vor 2001-2006 umgesetzten Maßnahmen (N0) verbessert. Mit zeitlicher Verzögerung, bedingt durch

die Grundwasseraufenthaltszeiten, ist hier mit einer Verbesserung der Gütesituation auf drei Einzugsgebiete mit kritischer Zielerreichung (Krems, Feldaist und Kartenbach) und zwei Einzugsgebiete mit sicherer Zielverfehlung (Ipfbach und Krusteinerbach) zu rechnen.

Die Umsetzung von Maßnahmenpaket MP1 könnte in zwei Einzugsgebieten mit kritischem Zustand (Krems - ID 1330 und Kartenbach ID 3650) zu einer weiteren Verbesserung und gesicherteren Zielerreichung führen.

In den verbleibenden Einzugsgebieten mit sicherer Zielüberschreitung (Ipfbach und Krusteinerbach) und dem Einzugsgebiet mit wahrscheinlicher Zielüberschreitung (Feldaist – ID 1570) kann durch Maßnahmenpaket MP2 die sichere Zielüberschreitung im Krusteinerbach in eine wahrscheinliche Zielüberschreitung abgeschwächt werden.

Durch Umsetzung von Maßnahmenpaket MP3 ist in den angesprochenen Einzugsgebieten mit Blick auf die Zielerreichung mit keinen weiteren Verbesserungen zu rechnen. Dabei können die Konzentrationen durch Anwendung des Maßnahmenpaketes mit maximaler Teilnahme weiter gesenkt werden

Tabelle 7: Typenspezifisches NO₃-N UQZ in Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung und zu erzielende Orientierungskonzentrationen nach Umsetzung der Maßnahmenpakete (Orange=Zielverfehlung; Gelb=mögliche Zielverfehlung; Grün= voraussichtliche Zielerreichung)

Gewässername	Teileinzugs- gebiets-ID	typenspez. UQZ NO ₃ -N (mg/l)	2001-2006 NO ₃ -N [mg/l]	N0 NO ₃ -N [mg/l]	MP1 NO ₃ -N [mg/l]	MP2 NO ₃ -N [mg/l]	MP3 NO ₃ -N [mg/l]
Gurtenbach	660	5,5	3,7				
Antiesen	670	5,5	3,5				
Antiesen	680	5,5	3,8				
Pram	690	5,5	3,6				
Dürre Aschach und Aschach	1150	5,5	4,1				
Aschach	1160	5,5	4,1				
Trattnach	1170	5,5	3,2				
Innbach	1180	5,5	3,7				
Krems	1330	5,5	5,3	5,0	4,8		
Ipfbach	1340	5,5	8,4	7,6	7,3	6,9	6,3
Krusteinerbach	1350	5,5	7,0	6,4	6,2	5,9	5,5
Kleine Gusen	1360	5,5	5,2	4,5			
Große Gusen	1370	5,5	5,1	4,5			
Gusen	1380	5,5	5,1	4,6			
Feldaist	1570	4,0	4,5	4,2	4,1	4,0	3,8
Feldaist	1580	5,5	5,2	4,9			
Kartenbach	3650	4,0	3,3	3,1	3,0		

Allerdings wird keine Verbesserung der Bewertung in Hinblick der Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung mehr erreicht.

In der Feldaist und auch im Krusteinerbach ist eine Zielerreichung durch einen hohen oder sehr hohen Maßnahmenaufwand (MP2 bzw. MP3) nicht ausgeschlossen. Im Krusteinerbach könnte die Zielerreichung durch die Umsetzung der weitergehenden Maßnahme N12 („Späterer Düngezeitpunkt zu Mais“) weiter verbessert werden.

Dagegen ist es nicht absehbar, dass die betrachteten Maßnahmen und Maßnahmenpakete im Ipfbach zur Zielerreichung führen. Die Überschreitungen der $\text{NO}_3\text{-N}$ Grenzwerte im Ipfbach sind so stark ausgeprägt (Tabelle 7), dass sie auch durch über die betrachteten Maßnahmenpakete hinausgehende Maßnahmen (z.B. N11 „Stickstoffentfernung >85% auf allen Kläranlagen“ und N12 „Späterer Düngezeitpunkt zu Mais“) nicht unter den Grenzwert gesenkt werden können. Um in diesem Gebiet die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration weiter zu senken sind demnach weiterreichende Maßnahmen (z.B. zur Erhöhung der Retention im Gewässer) notwendig.

Zusammenfassung

Kann gewährleistet werden, dass die veranschlagten Maßnahmenpakete in den vorgesehenen Teilnahmen gut umgesetzt werden, so scheinen sie in den oberösterreichischen Einzugsgebieten mit Risiko oder wahrscheinlichem Risiko dazu geeignet zu sein, eine Zielerreichung für $\text{NO}_3\text{-N}$ zu ermöglichen. Im Wesentlichen sollte hierzu die Fortsetzung der bestehenden Maßnahmen bzw. die Umsetzung von MP1 ausreichen.

Ein sehr kritischer Zustand muss den Einzugsgebieten des Ipfbaches und weniger ausgeprägt des Krusteinerbaches und der Feldaist attestiert werden. Im Falle des Krusteinerbaches und der Feldaist kann nur durch einen hohen bis sehr hohen Maßnahmenaufwand eine Zielerreichung möglich werden. Im Ipfbach ist auch nach Umsetzung aufwändiger Maßnahmenpakete mit Durchführung zusätzlicher Maßnahmen (z.B. N11 und N12) eine Zielerreichung für $\text{NO}_3\text{-N}$ nicht absehbar.

Phosphor

Im Gegensatz zur guten potenziellen Erreichbarkeit der Güteziele im Fall von $\text{NO}_3\text{-N}$ durch die Umsetzung von Maßnahmenpaketen stellt sich die Gütesituation für $\text{PO}_4\text{-P}$ in den oberösterreichischen Einzugsgebieten deutlich kritischer dar. In der Ausgangssituation (2001-2006) weisen hier neun Einzugsgebiete (fünf ausschließlich aus Modellergebnissen) eine mögliche Grenzwertüberschreitung und zweiundzwanzig Einzugsgebiete (eines ausschließlich aus Modellergebnissen) eine sichere Grenzwertüberschreitung auf. Darüber hinaus sind die Überschreitungen für $\text{PO}_4\text{-P}$ häufig ausgeprägter, als für $\text{NO}_3\text{-N}$, was eine Zielerreichung erschwert.

Es zeigt sich, dass eine Umsetzung des aufgelegten Maßnahmenpaketes MP1 in den betrachteten Fällen mit Risiko nur zu einer minimalen Reduktion der $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen führen würde und kaum eine Wirkung auf die Zielerreichung hätte (Tabelle 8).

Auch die Wirksamkeit des Maßnahmenpaketes MP2 ist hinsichtlich einer Zielerreichung überschaubar. Zwar wäre durch Umsetzung dieses Maßnahmenpaketes bereits mit einer klaren Reduktion der $\text{PO}_4\text{-P}$ Gewässerkonzentrationen zu rechnen, der Status der Zielerreichung würde sich aber

nur in sechs Fällen gegenüber MP1 verändern, wobei in drei Einzugsgebieten der Status einer Zielerreichung weitgehend abgesichert würde (Mattig, Pesenbach, Ipfbach).

Tabelle 8: Typenspezifisches PO₄-P UQZ in Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung und zu erzielende Orientierungskonzentrationen nach Umsetzung der Maßnahmenpakete (Orange=Zielverfehlung; Gelb=mögliche Zielverfehlung; Grün= voraussichtliche Zielerreichung)

Gewässername	Teileinzugsgebiets-ID	typenspezifisches UQZ PO4-P (mg/l)	2001-2006 PO4-P [mg/l]	MP1 PO4-P [mg/l]	MP2 PO4-P [mg/l]	MP3_Randstreifen PO4-P [mg/l]	MP3-Mix PO4-P [mg/l]	MP3 PO4-P [mg/l]
Moosb./Mühlheimerache	580	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Enknach	600	0,05	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
Enknach	610	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
Mattig	630	0,05	0,05	0,05	0,04			
Mühlheimer Ache	650	0,05	0,07	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04
Gurtenbach	660	0,05	0,12	0,12	0,08	0,04	0,04	0,02
Antiesen	670	0,05	0,20	0,19	0,12	0,09	0,08	0,07
Antiesen	680	0,05	0,20	0,19	0,13	0,09	0,08	0,06
Pram	690	0,05	0,32	0,30	0,19	0,12	0,11	0,08
Pram	700	0,05	0,14	0,13	0,09	0,06	0,06	0,04
Pram	710	0,05	0,15	0,14	0,10	0,07	0,07	0,05
Kleine Mühl	1110	0,10	0,09	0,09				
Dürre Aschach und Aschach	1150	0,05	0,13	0,12	0,09	0,06	0,06	0,04
Aschach	1160	0,05	0,14	0,13	0,10	0,07	0,07	0,05
Trattnach	1170	0,05	0,12	0,11	0,07	0,05	0,04	0,03
Innbach	1180	0,05	0,21	0,20	0,13	0,08	0,07	0,04
Pesenbach	1190	0,05	0,05	0,05	0,04			
Große Rodl	1200	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
Krems	1320	0,05	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02
Krems	1330	0,05	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01
Ipfbach	1340	0,05	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01
Kristeinerbach	1350	0,05	0,08	0,08	0,06	0,03	0,03	0,02
Kleine Gusen	1360	0,10	0,18	0,18	0,15	0,14	0,13	0,13
Große Gusen	1370	0,10	0,21	0,21	0,17	0,16	0,15	0,15
Gusen	1380	0,05	0,20	0,19	0,15	0,13	0,12	0,11
Feldaist	1570	0,08	0,07	0,07				
Feldaist	1580	0,10	0,15	0,15	0,12	0,11	0,11	0,11
Aist	1600	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05
Diesenleitenbach	1210	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05
Klammbach	1620	0,05	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03
Große Naarn	1640	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03

Erst unter Umsetzung eines sehr hohen Maßnahmenaufwandes (MP3 – verschiedene Varianten) wäre mit einer deutlichen Verbesserung der Ausgangssituation hinsichtlich einer Zielerreichung zu rechnen. Dabei sind die Unterschiede zwischen dem Maßnahmenpaket MP3 Randstreifen und MP3 Mix hinsichtlich einer Zielerreichung marginal. Die konsequente Umsetzung von Randstreifen in Kombination mit einer weiteren Reduktion der P Emissionswerte aus den Kläranlagen (MP3 Randstreifen) würde eine Verringerung der Einzugsgebiete mit möglichen Überschreitungen von neun auf eines und der Einzugsgebiete mit sicherer Überschreitung von zweiundzwanzig auf sechzehn ermöglichen, wobei weitere zwei nur noch ein mögliches Risiko aufweisen würden. Dabei wären insbesondere in Einzugsgebieten der Traun Enns Platte mit Zielerreichungen zu rechnen (Kristeinerbach, Ipfbach, Krems), aber auch im Innviertel mit Mühlheimer Ache, Gurtenbach, Enknach (ID 600 und 610) und Mattig. Darüber hinaus wäre in der Trattnach und der Großen Rodl eine Verbesserung hin zu einer möglichen Zielerreichung möglich.

Die verbleibenden vierzehn Einzugsgebiete mit Risiko wären die Antiesen (ID 670 und 680), die Pram (ID 690, 700 und 710), die Dürre Aschach und Aschach (ID 1150

und 1160), die Kleine- und Große Gusen und die Gusen (ID 1360, 1370 und 1380), die Feldaist (ID 1580), Aist (ID 1600) und der Diesenleitenbach. Letzterer ausschließlich aus Modellerhebungen eingestuft.

Eine deutlich erhöhte Maßnahmenwirksamkeit wäre nur durch MP3-Stillegung, also auf Grundlage von Umwandlungen eintragsrelevanter Ackerflächen in Grünland in Kombination mit einer verbesserten Abwasserreinigung zu erzielen. Aufgrund dieses Maßnahmenpaketes könnten die verbleibenden Einzugsgebiete mit Grenzwertüberschreitungen für $\text{PO}_4\text{-P}$ in Oberösterreich weiter reduziert werden. Einzugsgebiete in denen eine solche Maßnahme vielversprechend wäre, sind die Pram (ID 700 und 710), die Dürre Aschach (ID 1150) der Innbach (ID 1180) und bedingt die Dürre Aschach (ID 1160) und die Feldaist (ID 1580). Bei der Pram (ID 690) liegt eine erhöhte Unsicherheit hinsichtlich der Ausweisung einer möglichen Zielerreichung vor, da an der zugehörigen Messstelle die gemessenen Gewässerkonzentrationen im Vergleich zu anderen Messstellen an der Pram deutlich erhöht sind und unklar ist, ob die deutliche Konzentrationserhöhung nicht möglicherweise aus einer lokalen Beeinflussung der Messstelle resultiert.

Zusammenfassung

Trotz einer signifikanten Verminderung der Gewässerkonzentrationen kann nach dem vorliegenden Kenntnisstand, den getroffenen Annahmen und den erzielten Modellergebnissen, auch unter den Vorgaben der Umsetzung von aufwändigen Maßnahmenpaketen MP3 und ihren Variationen, keine Zielerreichung für $\text{PO}_4\text{-P}$, in den Einzugsgebieten der Antiesen (ID 670 und 680) und Pram (ID 690), der Kleinen und Großen Gusen sowie der Gusen erzielt werden. Darüber hinaus weisen die Modellergebnisse keine Zielerreichung für den Diesenleitenbach aus.

Bei erheblichen Möglichkeiten der Verbesserung der Gewässergütesituation und der Zielerreichung bezüglich $\text{PO}_4\text{-P}$ in oberösterreichischen Einzugsgebieten zeigen die kombinierten Modell- und Messergebnisse, dass es in einer Vielzahl von Einzugsgebieten nur unter extremen Aufwendungen, oder selbst dann nicht gesichert zu einer Zielerreichung gemäß WRRL kommt. Zum einen können in einzelnen Einzugsgebieten die $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen durch die veranschlagten Maßnahmen nicht deutlich genug gesenkt werden, zum anderen sind trotz hoher Reduktionen in verschiedenen Einzugsgebieten die Ausgangskonzentrationen derart hoch, dass auch hier keine Zielerreichung möglich ist.

3.4 Maßnahmenwirksamkeit unter Kosten-Nutzen Gesichtspunkten

3.4.1 PhosFate

Optimierungsergebnis der Umwandlung von Acker in Grünland bzw. eine Grünbrache

Das Ergebnis der Optimierung der Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache stellt primär eine Grundlage für eine der Kosten-Effektivitäts-Betrachtungen der mit MONERIS untersuchten Maßnahmen dar. Nichtsdestotrotz soll an dieser Stelle eine kurze Übersicht über die mit PhosFate erzielten Ergebnisse gegeben werden (Tabelle 9). Die Tabelle zeigt, welcher Anteil der Ackerfläche erforderlich ist, um über eine Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache auf den Flächen mit der größten Wirksamkeit eine Reduktion von etwa 80% des partikulären Phosphoreintrags in die Gewässer zu erreichen. Es zeigt sich, dass dazu je nach Region etwa 20–28% der Ackerfläche benötigt werden, wenn die Maßnahme jeweils auf der gesamten Fläche eines in einem effektiven Bereich gelegenen Feldstücks umgesetzt wird.

Tabelle 9: Die PhosFate-Ergebnisse der optimierten Managementszenarien für die Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache mit einer Reduktion der partikulären Phosphorgewässerfracht um ca. 80%

	Für die Umwandlung benötigte Ackerfläche (umgelegt auf Feldstücke) [% des Ackerlands]	Erzielte Reduktion der partikulären Phosphorgewässerfracht [% der derzeitigen Fracht]	Mittlere Feldstückgröße [ha]
Region 2	20	78	1,7
Region 3	28	81	3,2
Region 4	23	79	2,6
Region 5	20	79	2,1

Hierbei ist der Zusammenhang hervorzuheben, der sich zwischen den für die Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache benötigten Ackerflächen und den mittleren Feldstückgrößen der Regionen zeigt. Neben anderen Faktoren hat die mittlere Feldstückgröße somit einen Einfluss auf die schlussendlich benötigte Fläche und die Effektivität einer in einer Region auf kompletten Feldstücken umgesetzten Maßnahme. Je kleiner die Feldstücke, desto gezielter können die Maßnahmen dort umgesetzt werden, wo sie die größte Effektivität aufweisen.

Abbildung 36 zeigt eine räumliche Darstellung dieser Ergebnisse.

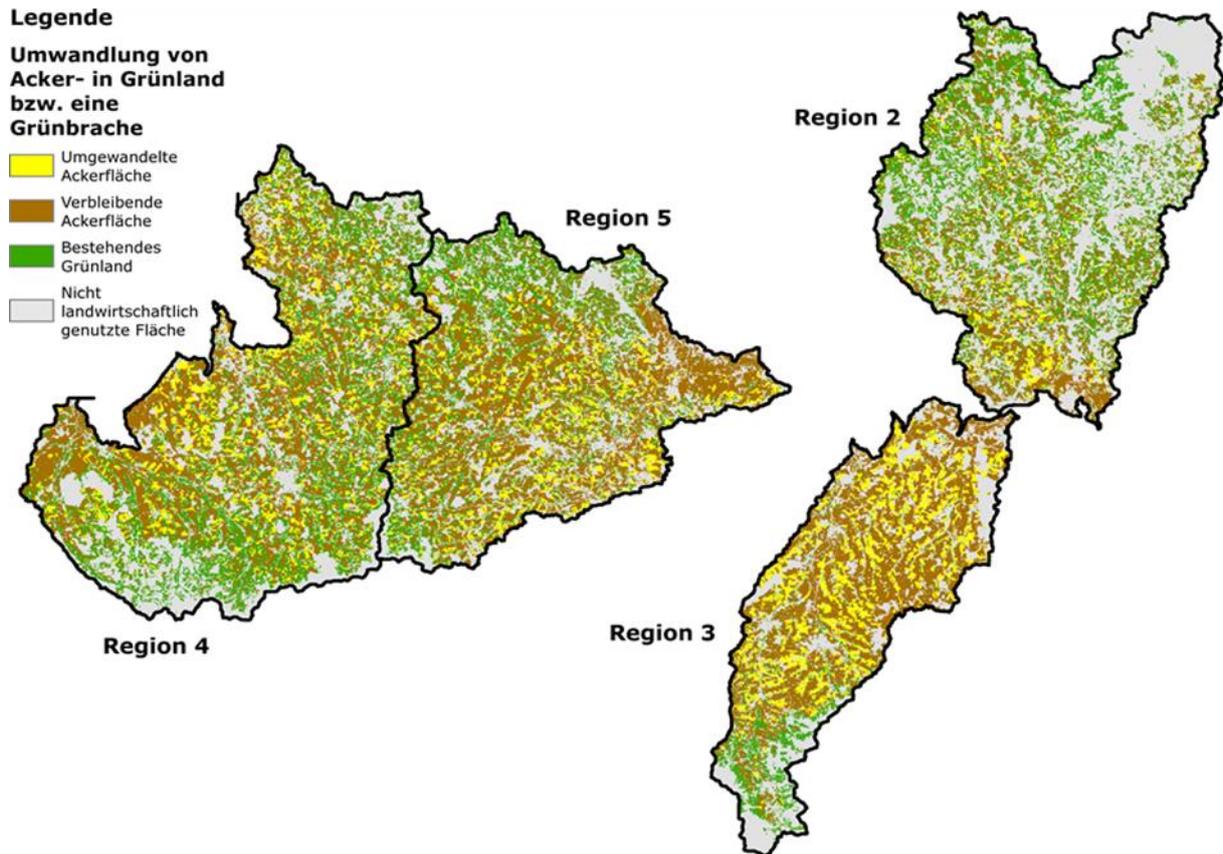
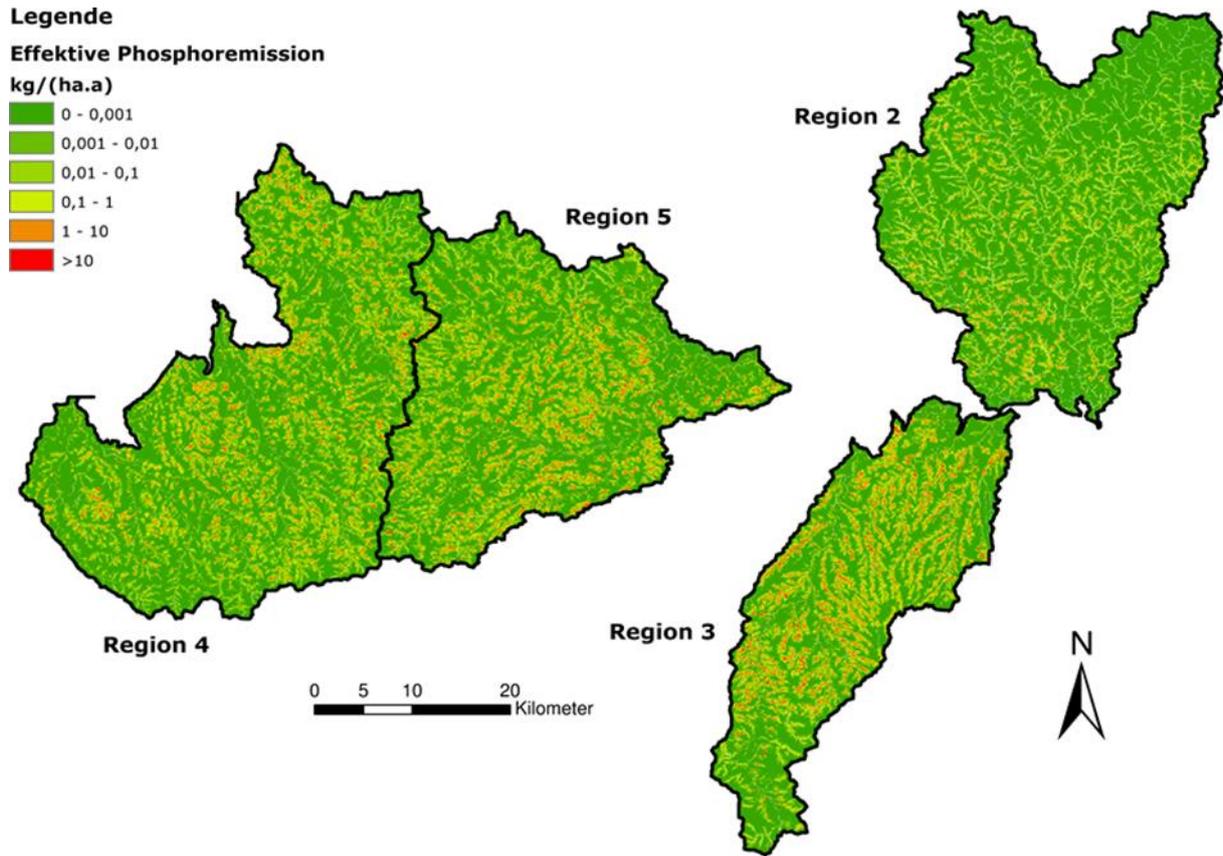


Abbildung 36: Effektive Phosphoremission (oben) und Verteilungen der für die Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache benötigten Ackerflächen, die für die Reduktion der partikulären Phosphorgewässerfrachten der Regionen um ca. 80% benötigt werden (unten)

Im oberen Teil der Abbildung ist für die betrachteten Regionen die effektive Phosphoremission, das heißt die partikuläre Phosphorfracht, die von den einzelnen Zellen emittiert wird und bis in ein Gewässer gelangt, dargestellt. Der untere Teil der Abbildung zeigt die räumlichen Verteilungen der für die Umwandlung effektivsten Ackerflächen, wie sie in Tabelle 9 als Prozentsatz des gesamten Ackerlands angegeben sind.

Es liegt auf der Hand, dass es sich bei diesen Flächen überwiegend um Flächen handelt, die viele Zellen mit einer hohen effektiven Phosphoremission beinhalten. Allerdings werden vom Optimierungsalgorithmus von PhosFate auch Flächen, mit denen der partikuläre Phosphortransport in ein Gewässer besonders effektiv unterbunden werden kann, für eine Maßnahmensetzung ausgewählt.

Optimierungsergebnis der Anlage von Gewässerrandstreifen und des Hackfruchtverzichts

Die zweite Optimierung, die auf der Anlage von 25 m breiten Gewässerrandstreifen auf allen an die Gewässer angrenzenden Zellen des Ackerlands sowie einem Hackfruchtverzicht auf allen anderen Ackerlandzellen basiert, wurde in Analogie zu Zessner und Hepp (2014) für die Regionen 4 und 5 durchgeführt.

Das mögliche Reduktionspotential des PP-Eintrags über Erosion, die Kosten und der Flächenbedarf der drei Kosten-Effektivitätsklassenkombinationen (vor der Umlegung auf Feldstücke) sind in Abbildung 37 zu sehen.

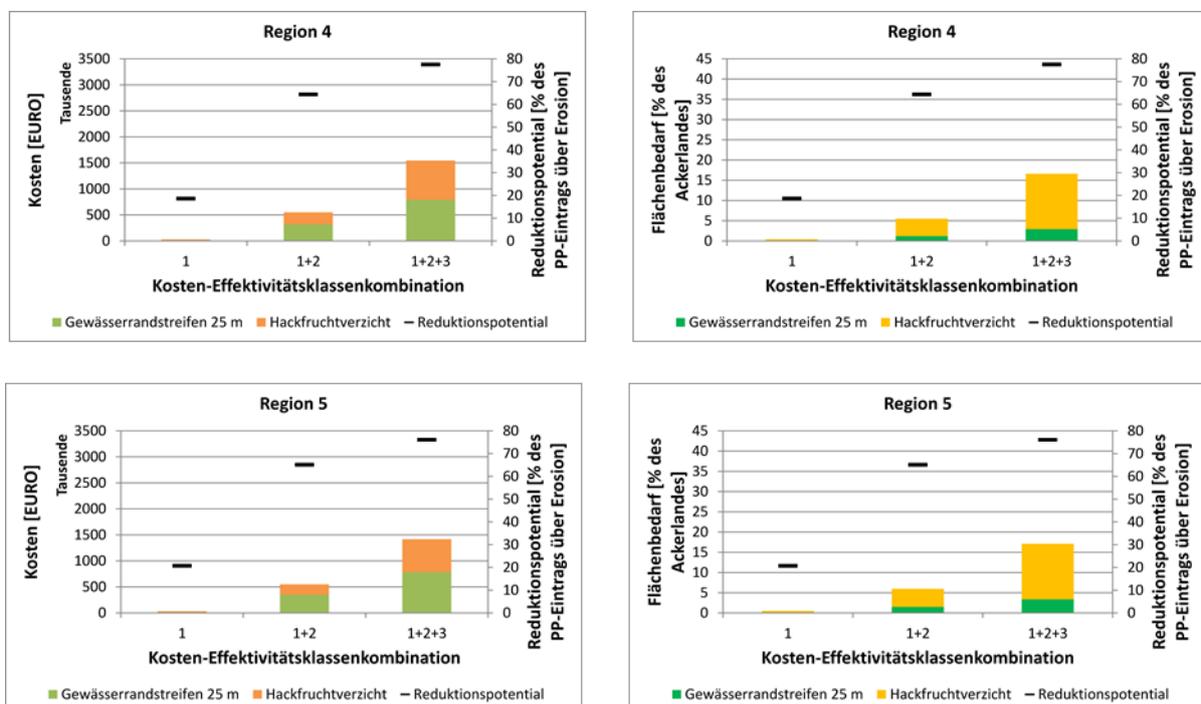


Abbildung 37: Reduktionspotential des PP-Eintrags über Erosion (schwarze Striche und rechte Achsen), Kosten (Balken und linke Achsen der linken Grafiken) und Flächenbedarf (Balken und linke Achsen der rechten Grafiken) der drei Kosten-Effektivitätsklassenkombinationen der Optimierung auf Kosteneffektivität vor der Umlegung auf Feldstücke für die Region 4 (oben) und die Region 5 (unten)

Mittels einer Maßnahmensetzung auf den Zellen der Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1 kann in beiden Regionen mit einer Investition von rund EURO 30.000,- ein Reduktionspotential in der Größenordnung von 20% erzielt werden. Auf den Zellen der Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2 ergibt wiederum in beiden Regionen eine Investition von rund EURO 550.000,- ein Reduktionspotential um die 65%. Bei der Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2+3 führt ein Einsatz von rund 1,55 Millionen Euro in der Region 4 bzw. von rund 1,40 Millionen Euro in der Region 5 zu einem Reduktionspotential von ungefähr 75–80%. Der regionale Kostenunterschied bei der Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2+3 lässt sich vor allem auf die verschieden große, absolute Fläche des gesamten Ackerlands in den beiden Regionen zurückführen.

Die Flächen, die für diese Reduktionspotentiale benötigt werden, betragen für beide Regionen weniger als 1% (Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1), rund 6% (Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2) und rund 17% (Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2+3).

Bei Betrachtung der Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1 wird darüber hinaus deutlich, dass sie überwiegend aus Hackfruchtverzichtzellen besteht und es sich bei dieser Maßnahme im Vergleich zur Maßnahme 25 m breite Gewässerrandstreifen somit generell um die kosteneffektivere handelt. Im Gegensatz hierzu ergab die Optimierung auf Flächeneffektivität von Zessner und Hepp (2014), dass die Maßnahme 25 m breite Gewässerrandstreifen die im Vergleich zur Maßnahme Hackfruchtverzicht generell flächeneffektivere ist.

Abbildung 38 zeigt das Ergebnis der drei optimierten (Management-)Szenarien der Kosten-Effektivitätsklassenkombinationen nach der Umlegung der vom Optimierungsalgorithmus ausgewählten Zellen auf Feldstücke.

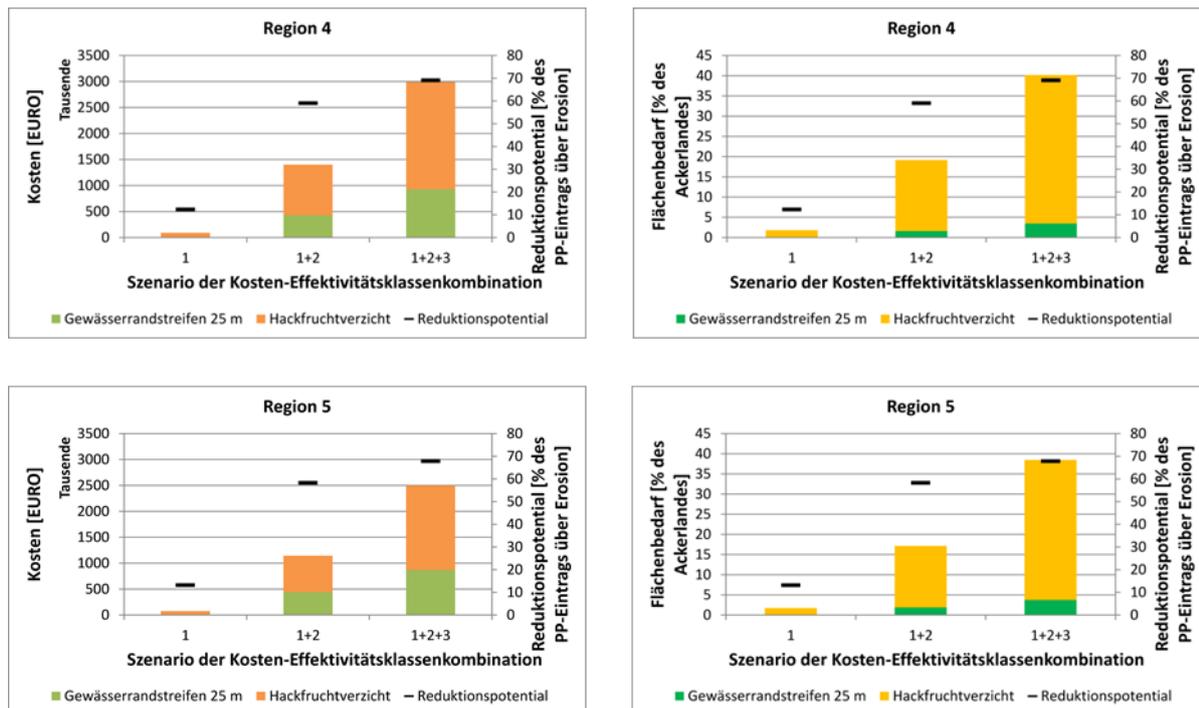


Abbildung 38: Reduktionspotential des PP-Eintrags über Erosion (schwarze Striche und rechte Achsen), Kosten (Balken und linke Achsen der linken Grafiken) und Flächenbedarf (Balken und linke Achsen der rechten Grafiken) der aus der Umlegung auf Feldstücke resultierenden, optimierten (Management-) Szenarien der drei Kosten-Effektivitätsklassenkombinationen der Optimierung auf Kosteneffektivität für die Region 4 (oben) und die Region 5 (unten)

Die Kosten der Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1 belaufen sich bei einem Reduktionspotential von näherungsweise 10–15% in der Region 4 bzw. 5 nun auf rund EURO 80.000,- bzw. EURO 90.000,-, die der Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2 bei einem Reduktionspotential in der Größenordnung von 60% auf rund 1,40 bzw. 1,15 Millionen Euro und die der Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1+2+3 bei einem Reduktionspotential in der Dimension von 70% auf rund 3,00 bzw. 2,50 Millionen Euro. Der dabei anfallende Flächenbedarf beträgt für die Kosten-Effektivitätsklassenkombination 1, 1+2 und 1+2+3 rund 2%, ca. 17–19% und rund 40%.

Aus diesen Berechnungen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Das Optimierungsergebnis der Umwandlung von Acker- in Grünland bzw. eine Grünbrache zeigt, dass die Effektivität dieser Maßnahme unter anderem von der mittleren Feldstückgröße einer Region abhängt. Infolge der Umsetzung auf kompletten Feldstücken werden die für die Maßnahmenumsetzung effektiven Zellen mit weniger effektiven kombiniert. Es tritt somit eine Art Verdünnungseffekt auf. Dieser Verdünnungseffekt ist umso größer, je größer die mittlere Feldstückgröße einer Region ist.
- Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass dieser Effekt auch bei anderen Maßnahmen auftritt. Die Ausprägung ist jedoch unterschiedlich hoch. Unter den betrachteten Maßnahmen ist die Verdünnung bei den 25 m breiten

Gewässerrandstreifen am geringsten, da sie lediglich auf einem kleinen Teil (Streifen) eines Feldstücks umgesetzt werden.

- Im Vergleich zur Maßnahme 25 m breite Gewässerrandstreifen stellt die Maßnahme Hackfruchtverzicht bei gezielter Verortung die kosteneffektivere Maßnahme dar. Die Ergebnisse von Zessner und Hepp (2014) zeigen allerdings, dass es sich in Bezug auf Flächeneffektivität genau umgekehrt verhält, das heißt, dass die Maßnahme 25 m breite Gewässerrandstreifen die im Vergleich zur Maßnahme Hackfruchtverzicht flächeneffektivere ist.
- Die Ergebnisse zeigen auch, dass es in den betrachteten Regionen (4 und 5) einige wenige sehr kosteneffektive Flächen gibt. So kann im Wesentlichen mit der Maßnahme Hackfruchtverzicht und rund EURO 100.000,- eine Reduktion des partikulären Phosphoreintrags über Erosion in die Gewässer von näherungsweise 10–15% erzielt werden. Für ein höheres Reduktionspotential in der Größenordnung von 60% ist in der Region 4 bzw. 5 mit einer Investition von rund 1,40 bzw. 1,15 Millionen Euro zu rechnen. Dieses höhere Reduktionspotential lässt sich effektiv nur über eine Kombination der Maßnahmen Hackfruchtverzicht und 25 m breite Gewässerrandstreifen erreichen.
- Der dabei anfallende Flächenbedarf beträgt für die wenigen sehr kosteneffektiven Flächen rund 2% und für das höhere Reduktionspotential ca. 17–19% des gesamten Ackerlands in den betrachteten Regionen. In diesem Zusammenhang muss bei der Maßnahme Hackfruchtverzicht jedoch zwischen der Hackfruchtverzichtsfläche (gesamte Feldstücke) und der Fläche unterschieden werden, auf der bisher tatsächlich Hackfrüchte angebaut wurden (Schläge). Die oben angeführten Prozentsätze stellen erstere inklusive der Flächen, die für die Anlage der 25 m breiten Gewässerrandstreifen benötigt werden, dar und entsprechen somit nicht den Prozentsätzen, um die der Hackfruchtanbau in den Regionen tatsächlich verringert werden müsste.

3.4.2 MONERIS

Stickstoff

Wenn im Rahmen der hier dargestellten Ergebnisse von Kosteneffektivität gesprochen wird, wird in Hinblick auf die Effektivität der Maßnahmen lediglich die Reduktion der Belastung von Oberflächengewässer betrachtet. Haben Maßnahmen einen Nutzen der darüber hinaus geht (Ressourcenschonung, Reduktion der Belastung von Luft oder Grundwasser), wird dieser bei der gewählten Betrachtung nicht berücksichtigt. Insofern ist speziell der Vergleich der Kosteneffektivität von Maßnahmen sehr unterschiedlicher Typologie (z.B. Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft und der Siedlungswasserwirtschaft) mit Vorsicht zu genießen, da der Nutzen einer Maßnahme der über die Reduktion der Gewässerbelastung hinausgeht, sehr unterschiedlich sein kann. Zudem ist zu beachten, dass Maßnahmen sowohl in

Hinblick auf Stickstoff als auch auf Phosphor wirksam sein können. Bei der gewählten Vorgehensweise werden die Kosten für diese Maßnahmen sowohl bei den Szenarien für Stickstoff als auch für Phosphor voll angesetzt. Dies ist zu beachten, wenn Gesamtkosten für Maßnahmen zur Reduktion von Stickstoff und Phosphor berechnet werden sollen. Insgesamt spielt diese Problematik jedoch eine geringe Rolle, weil sie weder die relevantesten Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoffemissionen (N7) noch die relevantesten Maßnahmen zur Reduktion der Phosphoremissionen betrifft (P11, P2). Sehr wohl ist dies jedoch bei der Maßnahme N3m bzw. P3/4m zu beachten, welche für Stickstoff eine relevante für Phosphor allerdings eine untergeordnete Rolle spielt.

In Abbildung 39 ist die Kosteneffektivität unterschiedlicher Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoffemissionen dargestellt. Aufgrund regionaler Unterschiede (Grundwasser- und Gewässerretention, Düngepraxis und Kulturartenverteilung) variiert die Kosteneffektivität derselben Maßnahmen auch bei fixen Einheitskosten beträchtlich zwischen den unterschiedlichen Teileinzugsgebieten. Die Unterschreitungshäufigkeit stellt jene Kosteneffektivität (x-Achse) dar, die in einem bestimmten Anteil der betrachteten Teileinzugsgebiete unterschritten wird.

Es zeigt sich, dass die Maßnahme N7 (Düngung nach Bodenvorrat) in der Regel die beste Kosten-Effektivität aufweist. In etwa 88% (Anteil 0,88) der Teileinzugsgebiete liegen die Kosten pro kg verringerter Stickstoffemission in die Fließgewässer bei weniger als 50,- €. Im günstigsten Fall kann die Emission von 1 kg N um ca. 10,- € reduziert werden. Neben der Maßnahme N7 weist auch die Maßnahme N3m (Erhöhung des Anteiles der Ackerflächen mit Winterbegrünung von 21% auf 31% bzw. in weiterer Folge auf 45%) eine vergleichsweise günstige Kosteneffektivität auf. In ca. 60% (Anteil 0,6) der Teileinzugsgebiete liegt die Kosteneffektivität bei < 50,- €/kg N. Im günstigsten Falle werden ca. 30,- € benötigt um die Gewässeremissionen um 1 kg N zu reduzieren. Die Kosteneffektivität der Maßnahme N1 (Umwandlung von bis zu 7% des Ackers in Grünland) und N2 (Umwandlung von bis zu 7% des Ackers in Grünbrache) ist zumeist deutlich schlechter. Die ungünstigste Kosteneffektivität, der hier betrachteten Maßnahmen, weist die Maßnahme N14 (Abluftreinigung Stall, Schweinemast) auf. Hier ist jedoch zu beachten, dass ein Teil der Wirksamkeit dieser Maßnahme nicht im jeweiligen Einzugsgebiet, in dem die Maßnahme stattfindet, zu erwarten ist. Durch Ferntransport wird ein Teil der NH₃ Emissionen auch in andere Einzugsgebiete verfrachtet. Emissionsminderungen wirken sich damit auch dort aus, können aber im Rahmen der hier durchgeführten Kosteneffektivitätsanalyse nicht berücksichtigt werden.

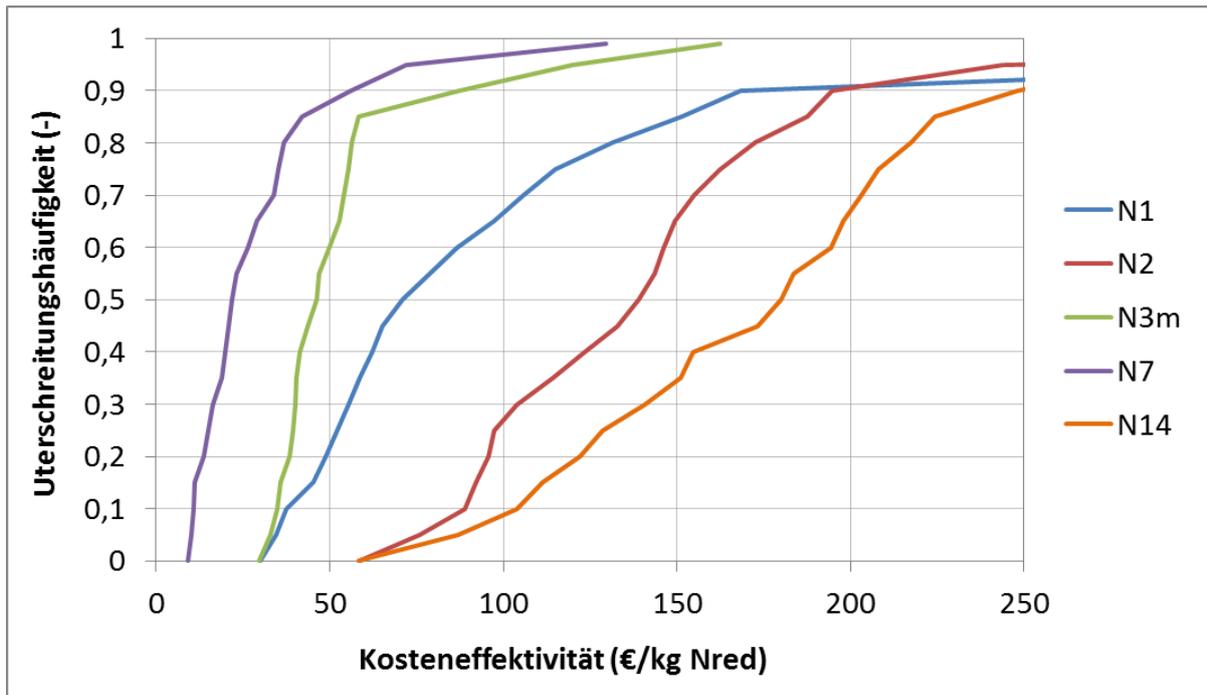


Abbildung 39: Unterschreitungshäufigkeit der Kosteneffektivität unterschiedlicher Einzelmaßnahmen in unterschiedlichen Teileinzugsgebieten (Kosteneffektivität >250 €/kg Nred nicht dargestellt)

Abbildung 40 zeigt den Zusammenhang zwischen Maßnahmenkosten und den erreichbaren N-Emissionsreduktionen für unterschiedliche Regionen in Oberösterreich. Dabei werden die Regionen 2-5 betrachtet die auch mit PhosFate einer näheren Untersuchung unterzogen wurden, da hier die in Hinblick auf Richtwertüberschreitungen sensiblen Einzugsgebiete weitgehend erfasst werden. In Tabelle 10 sind die den betrachteten Regionen zugehörigen Gewässer mit deren ID-Nummern dargestellt.

Tabelle 10: Zuordnung von Gewässernamen zu Regionen und ID-Nummern

Region 2 Gusen/Aist		Region 3 Krems/Ipfbach		Region 4 Antiesen/Pram		Region 5 Aschach/Trattnach	
Kleine Gusen	1360	Krems	1320	Mühlheimer Ache	650	Dürre Aschach	1150
Große Gusen	1370	Krems	1330	Gurtenbach	660	Aschach	1160
Gusen	1380	Ipfbach	1340	Antiesen	670	Trattnach	1170
Feldaist	1570	Kristeinerbach	1350	Antiesen	680	Innbach	1180
Feldaist	1580			Pram	690		
Waldaist	1590			Pram	700		
Aist	1600			Pram	710		

Die dargestellten Maßnahmenkombinationen folgen zwei unterschiedlichen Systematiken. Die Pakete (punktierte Darstellung in Abbildung 40) folgen der in Kapitel 2.3.4 dargestellten Systematik (Maßnahmenpakete 1-3), mit unterschiedlichen Teilnahmeszenarien (Paket 1: realistisch bei aktueller Förderung und Beratung, Paket 2: bei erweiterter Förderung und Beratung bzw. Paket 3: maximales Potenzial für die angesetzten Maßnahmen). Dabei weist das Paket 1 eine etwas bessere Kosteneffektivität auf (größere Steigung in Abbildung 40) als das

Paket 2 und 3. Allerdings sind die erreichbaren Emissionsreduktionen bei Paket 1 gering (je nach Region 20-70t N/a bei Kosten zwischen 0,2 und 0,8 Millionen €/a).

Eine Maßnahmenreihung nach Kosten-Effektivitätsüberlegungen zeigt die durchgezogene Linie in Abbildung 40 („K-E“ - Kosteneffektivität). Hier wurde angenommen, dass für jedes Teileinzugsgebiet als erstes die Maßnahme mit der besten Kosteneffektivität komplett umgesetzt wird und in weiterer Folge die Maßnahme mit der nächstbesten Kosteneffektivität realisiert wird.

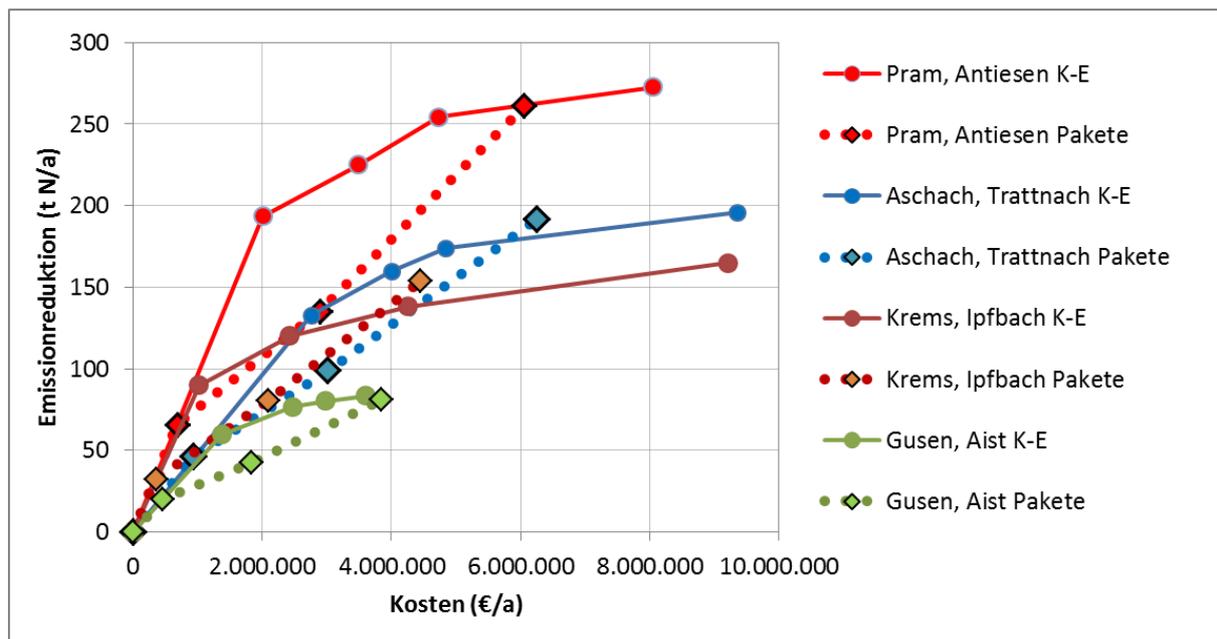


Abbildung 40: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und den erreichbaren Emissionsreduktionen in unterschiedlichen Regionen. Maßnahmenkombinationen wurden zum einen nach deren Kosteneffektivität gereiht (K-E) und zum anderen als Pakete mit unterschiedlichen Umsetzungsausmaß (leicht, ambitioniert, maximal) zusammen gestellt (siehe auch Kapitel 2.3.4)

Es zeigt sich, dass generell mit dieser Strategie mit den gleichen Maßnahmenkosten höhere Emissionsreduktionen erreicht werden können als mit den „Maßnahmenpaketen“. Lediglich bei Umsetzung aller Maßnahmen gleichen sich die beiden Strategien einander wieder an. Die Maßnahme mit der höchsten Kosteneffektivität ist in allen Fällen die Maßnahme N7 (Düngung nach Bodenvorrat). Die erreichbaren Emissionsreduktionen bei maximaler Umsetzung liegen je nach Region bei 60 bis 200 tN/a, die Kosten je nach Region bei 1-3 Millionen €/a.

Als nächstes wird die Umsetzung der Maßnahme mit der zweitbesten Kosteneffektivität angesetzt. In den betrachteten Einzugsgebieten ist das zumeist (in sechzehn von zweiundzwanzig Fällen) die Maßnahme N3m (Erhöhung des Anteiles der Ackerflächen mit Winterbegrünung), in drei Fällen N1 (Umwandlung von bis zu 7% des Ackers in Grünland), in zwei Fällen N14 (Abluftreinigung Stall, Schweinemast) und in einem Fall N2 (Umwandlung von bis zu 7% des Ackers in Grünbrache).

Werden alle Maßnahmen umgesetzt so lassen sich je nach Region folgende Emissionsreduktionen zu den angegebenen Kosten erreichen:

Region 2 (Gusen/Aist): ca. 80 tN/a bei Kosten von ca. 4 Millionen €/a

Region 3 (Krems/Ipfbach): ca. 150 tN/a bei Kosten über 4 Millionen €/a

Region 4 (Pram/Antiesen): ca. 250 tN/a bei Kosten von etwa 6 Millionen €/a

Region 5 (Aschach/Trattnach): ca. 200 tN/a bei Kosten von etwa 6 Millionen €/a.

Die nächste Frage, der nachgegangen wurde, ist das Ausmaß, um welches durch die jeweilige Emissionsreduktion eine Verringerung der Gewässerkonzentrationen erreicht werden kann. Für die folgenden Darstellungen wurde jeweils von den auf Basis von Kosteneffektivitätsüberlegungen abgeleiteten Maßnahmenpaketen ausgegangen. Da über die Modellierung die beobachteten Konzentrationen nicht genau nachgebildet werden können, wurden als Ausgangswerte für eine Verbesserung der Gewässerkonzentrationen durch eine Emissionsreduktion einmal der gemessene und einmal der modellierte Konzentrationswert im Gewässer verwendet.

In Gusen und Aist gelten für unterschiedliche Teileinzugsgebiete unterschiedliche Richtwerte. Während das in den meisten Teileinzugsgebieten gültige Qualitätsziel von 5,5 mg/l jeweils eingehalten werden kann, wurde im Betrachtungszeitraum im Oberlauf der Feldaist (ID1570) der Richtwert von 4 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ als 90%-Perzentil überschritten. Ergebnisse der Kosteneffektivitätsanalyse zu möglichen Reduktionen der Gewässerkonzentrationen sind in Abbildung 41 dargestellt. Die Modellierung weist für den Oberlauf der Feldaist eine Belastung nahe am Grenzwert aus. Maßnahmen die in der Vergangenheit bereits gesetzt wurden und sich aufgrund von Aufenthaltszeiten im Grundwasser verzögert auf die Fließgewässer auswirken, könnten zu einer Reduktion der Gewässerbelastung von bis zu 0,5 mg/l führen, sofern sie auch in Zukunft aufrechterhalten werden. Für diese Maßnahmen wurden in der durchgeführten Betrachtung keine Kosten angesetzt.

Eine weitere Reduktion der Gewässerkonzentration um etwa 0,5 mg/l kann durch vollständige Umsetzung der beiden kosteneffektivsten Maßnahmen N7 und N14 oder N3m erreicht werden. Eine Unterschreitung des Richtwertes von 4 mg/l erscheint möglich. Die Aussage kann aufgrund der Unsicherheiten der Modellergebnisse nicht als gesichert angesehen werden. Kosten für eine entsprechende Maßnahmenumsetzung die sich auf den Oberlauf der Feldaist beschränken würden bei ungefähr 0,1 – 0,15 Millionen €/a liegen.

Maßnahmen an der kleiner Gusen, großer Gusen und Gusen sowie unterer Feldaist könnten dazu beitragen, das derzeit nur knapp erreichte Güteziel weiter abzusichern.

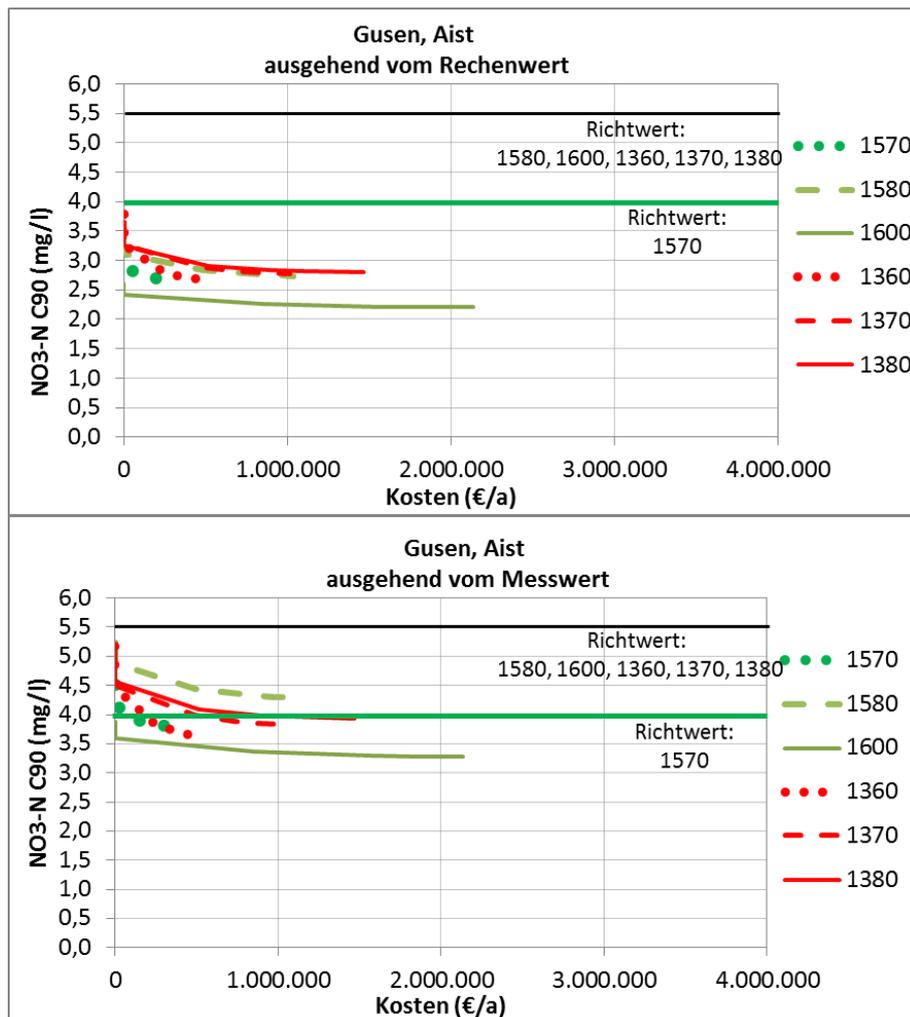


Abbildung 41 : Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und erreichbarer Konzentrationsreduktion für NO₃-N für unterschiedliche Gewässer der Region 2 (Gusen/Aist) (oben: Reduktion ausgehend von der modellierten Gewässerkonzentration, unten: Reduktion ausgehend von der gemessenen Gewässerkonzentration)

Für die Region 3 (Krems, Ipfbach, Kristeinerbach) weichen die modellierten Gewässerkonzentrationen stark von den gemessenen ab (Abbildung 42). Der Zusammenhang zwischen Stickstoffüberschuß auf der Fläche und Stickstoffeintrag über das Grundwasser kann mit den üblichen Modellparametern nur ungenügend abgebildet werden. Dies erschwert die Analyse der Effektivität von Maßnahmen. Die Messerergebnisse zeigen deutliche Überschreitungen des Richtwertes bei Ipfbach und Kristeinerbach. Der Messwert an der Krems liegt nahe am Richtwert. Eine Verbesserung der NO₃-N Konzentrationen (90%-Perzentile) um etwa 1-1,5 mg/l erscheint, bei Weiterführung der bereits gesetzten Maßnahmen, sowie Umsetzung der beiden Maßnahmen mit höchster Kosteneffektivität (N7 und N3m), für alle drei Gewässer möglich. Die Kosten für die Umsetzung der neuen Maßnahmen betragen in etwa 1,4 Millionen €/a für die Krems, 0,6 Millionen €/a für den Ipfbach und 0,5 Millionen €/a für den Kristeinerbach. Für den Ipfbach werden diese Maßnahmen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht ausreichen das Qualitätsziel zu unterschreiten, für den Kristeinerbach erscheint das Erreichen des Qualitätsziels möglich, aber nicht

gesichert, für die Krems kann das Einhalten des Qualitätsziels durch die betrachteten Maßnahmen jedoch deutlich abgesichert werden.

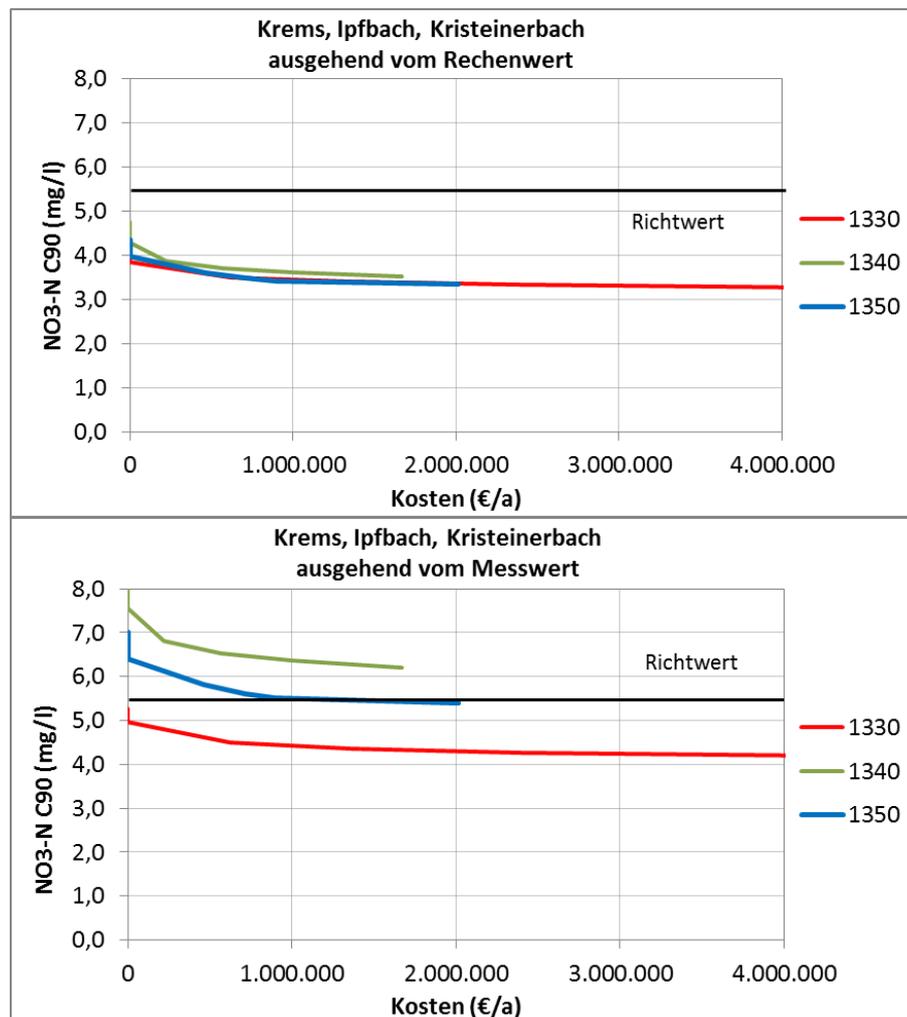


Abbildung 42: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und erreichbarer Konzentrationsreduktion für NO₃-N für unterschiedliche Gewässer der Region 3 (Krems/Ipfbach) (oben: Reduktion ausgehend von der modellierten Gewässerkonzentration, unten: Reduktion ausgehend von der gemessenen Gewässerkonzentration)

In der Region 4 (Mühlheimer Ache, Gurtenbach, Pram, Antiesen) liegen die beobachteten 90%-Perzentile für NO₃-N jeweils deutlich unter dem typenspezifischen Richtwertes von 5,5 mg/l. Auch über die Modellierung werden Werte ermittelt die deutlich unter dem Richtwert liegen. Eine Verbesserung der NO₃-N Konzentrationen (90%-Perzentile) um etwa 1,5 mg/l erscheint, bei Weiterführung der bereits gesetzten Maßnahmen, sowie Umsetzung der beiden Maßnahmen mit höchster Kosteneffektivität (N7 bzw. N3m oder N1) bei alle Gewässern möglich. Die Kosten für die Umsetzung der zusätzlichen Maßnahmen betragen in etwa 1,3 Millionen €/a für die Pram (ID 710), 1 Million €/a für die Antiesen (ID 680), 0,9 Millionen €/a für die Mühlheimer Ache (ID 650) und 0,3 Millionen €/a für den Gurtenbach (660). Wie bereits erwähnt ist bei der derzeitigen Belastung eine Einhaltung des Güteziels jedoch bei allen Gewässern möglich, sodass eine

Umsetzung weitergehender Maßnahmen aus Sicht des Schutzes der Fließgewässer nicht erforderlich ist.

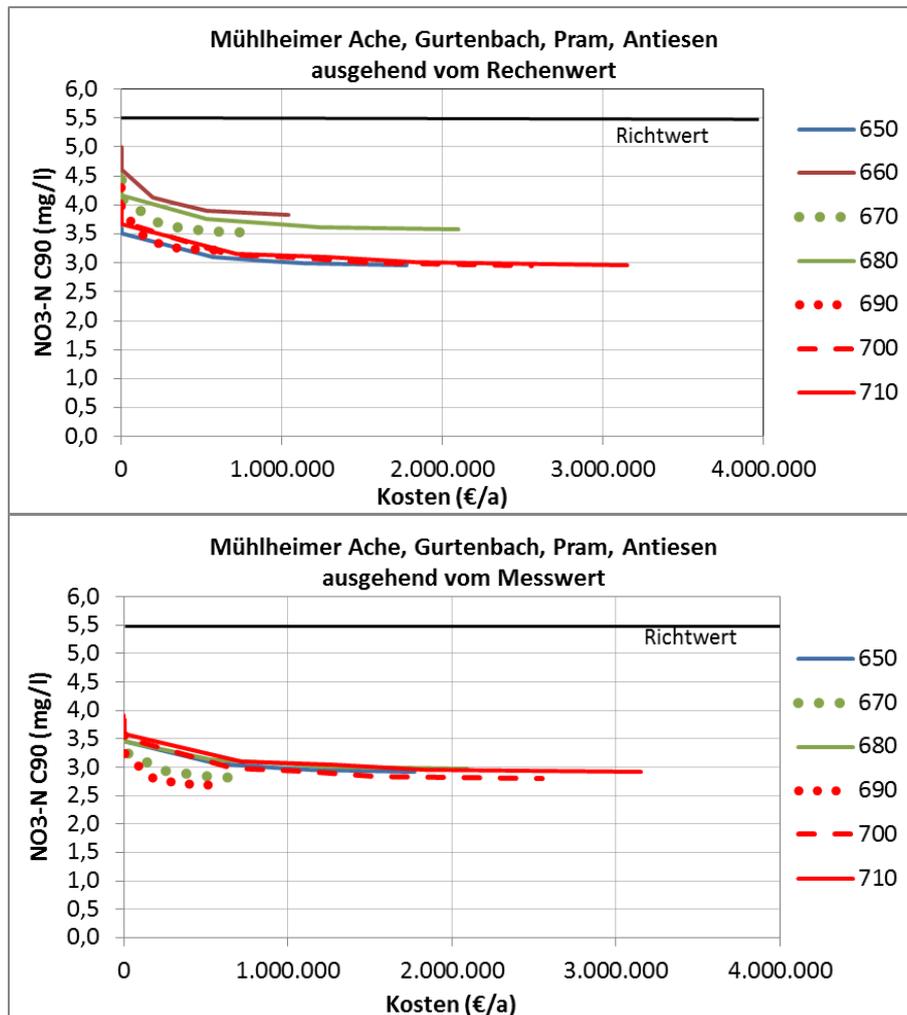


Abbildung 43: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und erreichbarer Konzentrationsreduktion für NO₃-N für unterschiedliche Gewässer der Region 4 (Pram/Antiesen) (oben: Reduktion ausgehend von der modellierten Gewässerkonzentration, unten: Reduktion ausgehend von der gemessenen Gewässerkonzentration)

Die Situation in Region 5 (Aschach, Trattnach, Innbach) ist ähnlich wie in Region 4. NO₃-N Richtwerte werden deutlich eingehalten. Dies wird auch durch die Modellergebnisse reflektiert. Bei Weiterführung der bereits gesetzten Maßnahmen sowie Umsetzung von angedachten zusätzlichen Maßnahmen ließen sich die Gewässerkonzentrationen um ungefähr 1 mg/l senken. Die Kosten für eine vollständige Umsetzung der beiden Maßnahmen mit der höchsten Kosteneffektivität würde sowohl für die gesamte Aschach als auch für den gesamten Innbach (inklusive Trattnach) jeweils rund 2 Millionen €/a betragen. Entsprechende Maßnahmen erscheinen für die Einhaltung des Fließgewässer-Richtwertes jedoch nicht erforderlich.

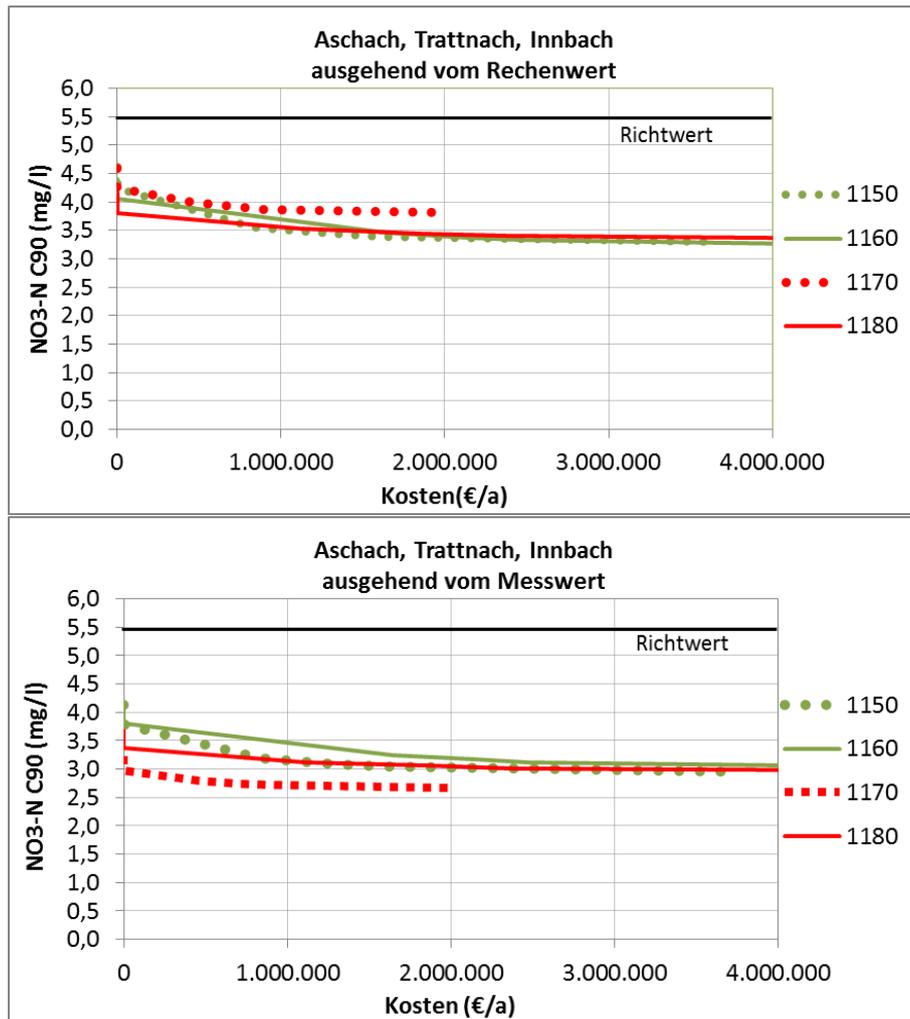


Abbildung 44: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und erreichbarer Konzentrationsreduktion für NO₃-N für unterschiedliche Gewässer der Region 5 (Aschach/Trattnach) (oben: Reduktion ausgehend von der modellierten Gewässerkonzentration, unten: Reduktion ausgehend von der gemessenen Gewässerkonzentration)

Phosphor

In Abbildung 45 ist die Kosteneffektivität unterschiedlicher Maßnahmen für die Reduktion der Phosphoremissionen dargestellt. Aufgrund regionaler Unterschiede (z.B. Hangneigung, Feststoffretention, Kulturartenverteilung, Kläranlagengröße) variiert die Kosteneffektivität derselben Maßnahmen auch bei fixen Einheitskosten beträchtlich zwischen den unterschiedlichen Teileinzugsgebieten. Die Unterschreitungshäufigkeit stellt jene Kosteneffektivität (x-Achse) dar, die in einem bestimmten Anteil der betrachteten Teileinzugsgebiete unterschritten wird.

Es zeigt sich, dass die Maßnahme P11 (Erhöhung der Anforderungen an die Phosphorentfernung bei der Abwasserreinigung auf Ablaufwerte < 0,5 mg TP/l) durchwegs die beste Kosten-Effektivität aufweist. Die Kosten liegen bei etwa 3 – 6 €/kg P. In Hinblick auf die Kosteneffektivität zur Reduktion diffuser

Phosphoremissionen schneidet die Maßnahme P 2 (Gewässerrandstreifen) deutlich am besten ab. In etwa 85% (Anteil 0,85) der Teileinzugsgebiete liegen die Kosten pro kg verringerter Phosphoremission in die Fließgewässer bei weniger als 100,- €. Im günstigsten Fall kann die Emission von 1 kg P im Durchschnitt eines Teileinzugsgebietes um ca. 30,- € reduziert werden. Mit abnehmender Kosteneffektivität folgen die Maßnahmen P1c (Umwandlung von Acker in Grünland auf eintragsrelevanten Flächen), P5 (Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hängen (> 8%)) und P3/4m (Winterbegrünung auf Ackerflächen plus Mulchsaat wo möglich).

Für die Maßnahmen P2, P3/4m und P5 kann die Kosteneffektivität gesteigert werden, wenn es gelingt, die Maßnahme so zu verorten, dass jene Flächen betroffen sind, die für einen Eintrag in die Fließgewässer relevant sind. Auf Basis der PhosFate Berechnungen konnte gezeigt werden, dass dies in etwa für die Hälfte der Gewässerrandstreifen und etwa 25% der Ackerflächen zutrifft. Wird angenommen, dass eine entsprechende Verortung umgesetzt werden kann, ergeben sich die in Abbildung 45 punktiert dargestellten Kosteneffektivitäten. Bei Maßnahme P2 liegt in diesem Fall die Kosteneffektivität in 85% der Fälle < 50 €/kgP und im günstigsten Fall bei etwa 15 €/kgP. Maßnahme P5 weist bei dieser Betrachtung die deutlich bessere Kosteneffektivität auf als Maßnahme P1c, wo ja bereits von vorn herein eine Verortung angenommen wurde.

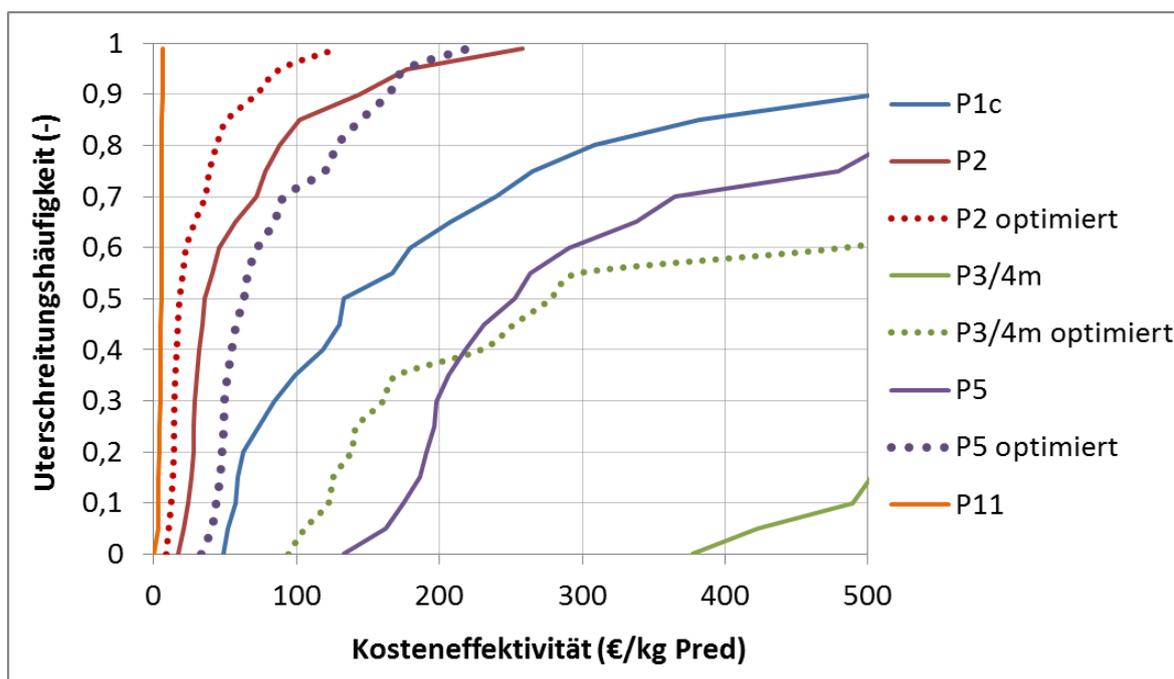


Abbildung 45: Überschreitungshäufigkeit der Kosteneffektivität unterschiedlicher Einzelmaßnahmen in unterschiedlichen Teileinzugsgebieten (Kosteneffektivität >500 €/kg Nred nicht dargestellt)

Abbildung 46 zeigt den Zusammenhang zwischen Maßnahmenkosten und den erreichbaren P-Emissionsreduktionen für unterschiedliche Regionen in Oberösterreich. Dabei werden dieselben Regionen wie bereits für Stickstoff dargestellt (Tabelle 10). Es ist zu beachten, dass einzelne Maßnahmen sowohl in Hinblick auf die Reduktion von Stickstoffemissionen als auch in Hinblick auf die

Reduktion von Phosphoremissionen wirksam sind (N3m und P3/4m bzw. N1 und P1c). Die jeweiligen Kosten wurden sowohl für die Stickstoff- als auch die Phosphorszenarien voll angesetzt. Dies ist bei einer Berechnung der Gesamtkosten von Maßnahmen für die Reduktion von Stickstoff- und Phosphoremissionen zu berücksichtigen.

Die dargestellten Maßnahmenkombinationen folgen wie beim Stickstoff zwei unterschiedlichen Systematiken. Die Pakete (punktierte Darstellung in Abbildung 46) folgen der in Kapitel 2.3.4 dargestellten Systematik einer realistischen, erweiterten beziehungsweise maximalen Umsetzung (Maßnahmenpakete 1, 2 und 3). Dabei weist das realistisch umsetzbare Paket eine etwas schlechtere Kosteneffektivität auf (geringere Steigung in Abbildung 46) als das erweiterte und maximale Paket. Dies liegt daran, dass im realistisch umsetzbaren Paket keine weitergehenden Maßnahmen bei der Abwasserreinigung angesetzt wurden. Insgesamt sind die erreichbaren Reduktionen mit diesem Paket gering und die Kosteneffektivität ungünstig (je nach Region 1-4 t P-Reduktion/a bei Kosten zwischen 0,3 und 0,7 Millionen €/a).

Eine Maßnahmenreihung nach Kosteneffektivitätsüberlegungen zeigen die durchgezogenen Linien in Abbildung 46 („K-E“= Kosteneffektivität).

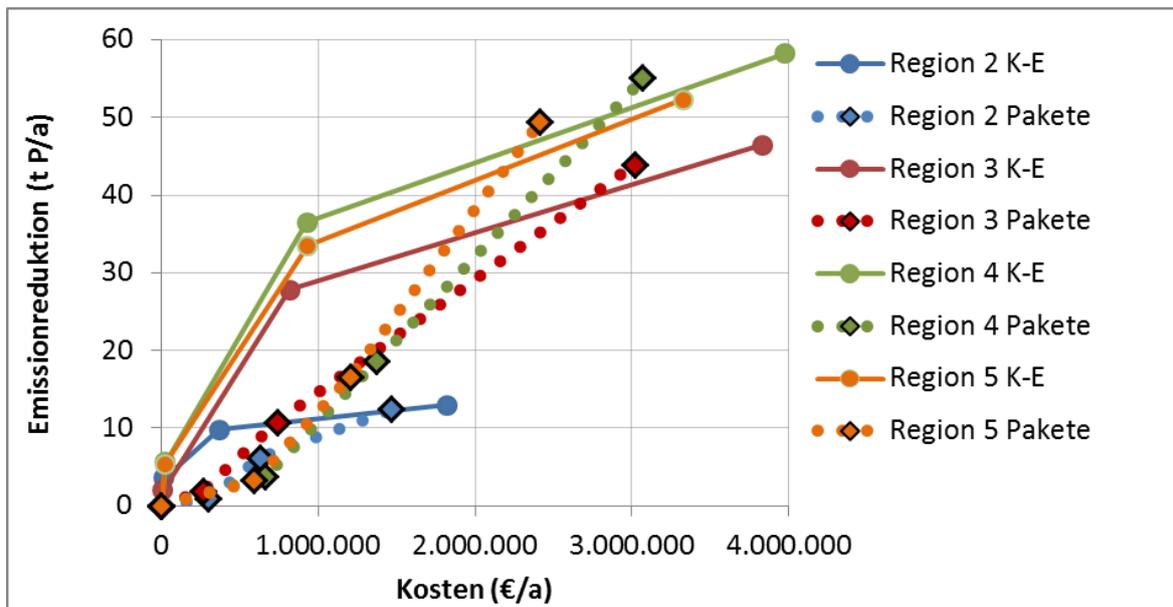


Abbildung 46: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und den erreichbaren Emissionsreduktionen in unterschiedlichen Regionen. Maßnahmenkombinationen wurden zum einen nach deren Kosteneffektivität gereiht (K-E) und zum anderen als Pakete mit unterschiedlichen Umsetzungsmaß (leicht, ambitioniert, maximal) zusammen gestellt (Kapitel 2.3.4)

Hier wurde angenommen, dass für jedes Teileinzugsgebiet als erstes die Maßnahme mit der besten Kosteneffektivität komplett umgesetzt wird. Dies ist in allen Fällen die Maßnahme P11 (Erhöhung der Anforderungen an die Phosphorentfernung bei der Abwasserreinigung auf Ablaufwerte $< 0,5$ mg TP/l). Die erreichbaren

Emissionsreduktionen liegen je nach Region bei 2 bis 6 t P/a, die Kosten je nach Region bei 0,09 bis 0,27 Millionen €/a.

Eine Maßnahmenreihung nach Kosteneffektivitätsüberlegungen zeigen die durchgezogenen Linien in Abbildung 46 („K-E“= Kosteneffektiv). Hier wurde angenommen, dass für jedes Teileinzugsgebiet als erstes die Maßnahme mit der besten Kosteneffektivität komplett umgesetzt wird. Dies ist in allen Fällen die Maßnahme P11 (Erhöhung der Anforderungen an die Phosphorentfernung bei der Abwasserreinigung auf Ablaufwerte < 0,5 mg TP/l). Die erreichbaren Emissionsreduktionen liegen je nach Region bei 2 bis 6 t P/a, die Kosten je nach Region bei 0,09 bis 0,27 Millionen €/a.

Die zweitbeste Kosteneffektivität weist in allen Regionen die Umsetzung von Gewässerrandstreifen auf. Wird diese Maßnahme umgesetzt, so lassen sich je nach Region folgende Emissionsreduktionen zu den angegebenen Kosten erreichen:

Region 2 (Gusen/Aist): ca. 10 tP/a bei Kosten von ca. 0,4 Millionen €/a

Region 3 (Krems/lpfbach): ca. 28 tP/a bei Kosten ca. 0,8 Millionen €/a

Region 4 (Pram/Antiesen): ca. 37 tP/a bei Kosten von etwa 0,9 Millionen €/a

Region 5 (Aschach/Trattnach): ca. 35 tP/a bei Kosten von etwa 0,9 Millionen €/a.

Die in Hinblick auf die Kosteneffektivität nachfolgende Maßnahme ist P1c (Umwandlung von Acker in Grünland auf eintragsrelevanten Flächen). Wenn eine Verortung der Maßnahme P5 (Fruchtfolgeauflagen auf Hängen > 8% Neigung) angenommen wird, so ist P5 jeweils vor P1c zu reihen. Abbildung 48 zeigt den Zusammenhang zwischen Kosten und erreichbarer Emissionsreduktion unter dieser Annahme. Werden die beiden Maßnahmen mit der höchsten Kosteneffektivität umgesetzt (P11 „Kläranlagen“ und P2 „Gewässerrandstreifen“), so lassen sich unter Annahme einer gezielten Verortung der Gewässerrandstreifen je nach Region folgende Emissionsreduktionen zu den angegebenen Kosten erreichen:

Region 2 (Gusen/Aist): ca. 10 tP/a bei Kosten von ca. 0,2 Millionen €/a

Region 3 (Krems/lpfbach): ca. 28 tP/a bei Kosten ca. 0,4 Millionen €/a

Region 4 (Pram/Antiesen): ca. 37 tP/a bei Kosten von etwa 0,5 Millionen €/a

Region 5 (Aschach/Trattnach): ca. 35 tP/a bei Kosten von etwa 0,5 Millionen €/a.

In Abbildung 47 sind neben den Ergebnissen der Kosteneffektivitätsanalyse mit dem Modell MONERIS auch die Ergebnisse der Kosteneffektivitätsanalyse mit PhosFate für die Regionen 4 und 5 dargestellt. Dafür wurden über die in Abbildung 38 präsentierten Ergebnisse, Kosten und Emissionsreduktion der Berechnungen mit PhosFate für partikulären Phosphoreintrag übernommen und mit den Kosten und der Effektivität einer weitergehenden Abwasserreinigung gekoppelt. Es zeigt sich, dass die Berechnungen mit PhosFate zu deutlich geringeren Reduktionen der P-

Emissionen durch die gesetzten Maßnahmen führen. Dies lässt sich durch systematische Unterschiede in den beiden Modellen erklären. Insgesamt berechnet MONERIS tendenziell höhere Emissionen über partikulären Phosphor als PhosFate. Zudem ist die Wirksamkeit, die PhosFate für Gewässerrandstreifen im Mittel für ein Einzugsgebiet errechnet geringer als die für MONERIS angesetzte 70%ige Reduktionsleistung der erosiven Phosphoreinträge und die Kosteneffektivitätsanalyse in PhosFate beschränkt sich auf die Maßnahmen Gewässerrandstreifen und Hackfruchtverzicht auf eintragsrelevanten Flächen.

In Hinblick auf die Betrachtung der Auswirkungen von Emissionsreduktionen auf die Gewässerbelastung, wie sie im nächsten Schritt durchgeführt wird, werden diese Unterschiede jedoch durch gewässerinterne Retention gemindert, welche bei MONERIS berücksichtigt wird, bei PhosFate aber keine relevante Rolle spielt.

Trotzdem zeigen diese Auswertungen, dass die dargestellten Ergebnisse mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind und daher keine exakte Vorhersage der zu erreichenden Gewässerkonzentrationen erlauben. Dort wo deutliche Unterschiede in der Kosteneffektivität von Maßnahmen bestehen, können diese jedoch identifiziert werden und Tendenzen der Auswirkungen auf die Gewässer aufgezeigt und erforderlichen Maßnahmenkosten gegenüber gestellt werden. Für die Betrachtung der Auswirkungen auf die Gewässerkonzentrationen wird in Folge mit den MONERIS Ergebnissen weitergearbeitet, da MONERIS alle Eintragspfade berücksichtigen kann und in MONERIS eine Quantifizierung der Mobilisierung von gelöstem Phosphor aus partikulär eingetragenen realisiert werden konnte (Zessner *et al.*, 2011). Ein entsprechendes Modul ist in PhosFate bisher nicht implementiert.

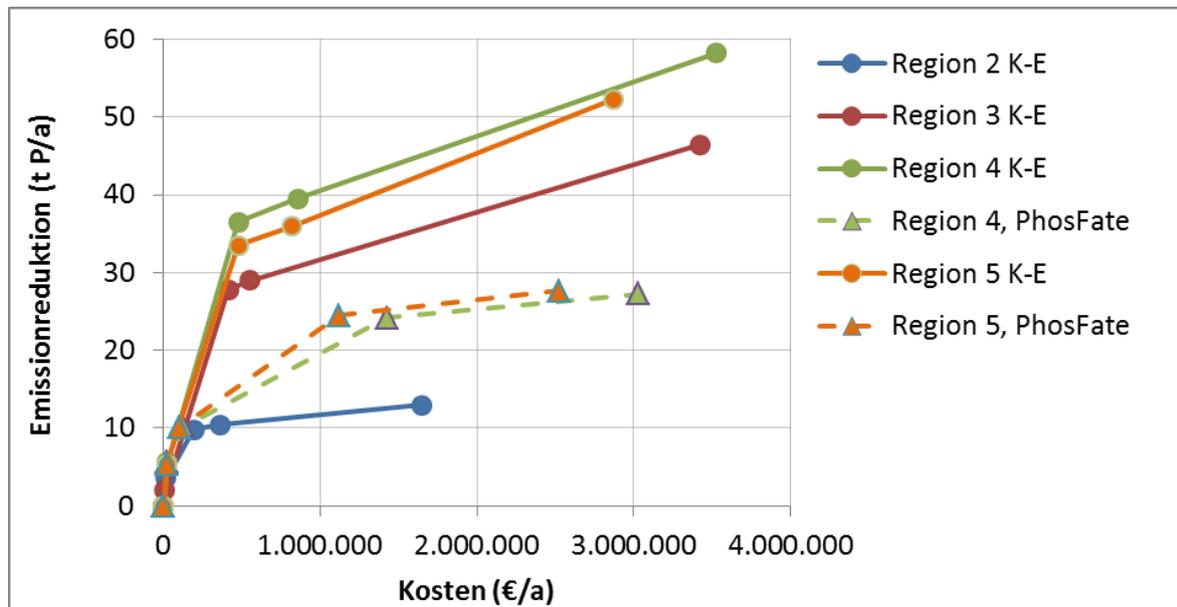


Abbildung 47: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und den erreichbaren Emissionsreduktionen in unterschiedlichen Regionen unter Annahme einer Optimierung der Kosteneffektivität durch gezielte Verortung der Maßnahmen. (K-E: Reihung gemäß Kosteneffektivität nach Berechnungen mit MONERIS; PhosFate: basierend auf PhosFate Berechnungen)

Die $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen in Gusen und Aist (Region 2) lagen in den Jahren 2001 bis 2006 mit Ausnahme der Waldaist und des Oberlaufes der Feldaist in allen betrachteten Gewässerabschnitten über den typenspezifischen Qualitätszielen. Sowohl bei Gusen und Feldaist liegt ein gewisses Potential zur Entlastung im Bereich erweiterter Anforderungen an die Phosphorentfernung bei der Abwasserreinigung (Reduktionspotential der $\text{PO}_4\text{-P}$ Gewässerkonzentrationen bei P-Entfernung bei der Abwasserreinigung auf $< 0,5 \text{ mgP/l}$: ca.: $0,02 - 0,04 \text{ mg/l}$). Das Potential zur Verringerung der Gewässerbelastung über Maßnahmen zur Reduktion des erosiven Eintrages liegt in einer ähnlichen Größenordnung und ist damit deutlich geringer als in Region 4 oder 5 (Antiesen/Pram bzw. Aschach/Innbach), da der Beitrag der Erosion zu den Gesamtemissionen vergleichsweise gering ist. Die Kosten der Umsetzung aller Maßnahmen mit relevanter Auswirkung auf die Gewässerkonzentrationen liegen sowohl in der Gusen als auch in der Aist insgesamt in der Größenordnung von $0,2 - 0,3 \text{ Millionen €/a}$.

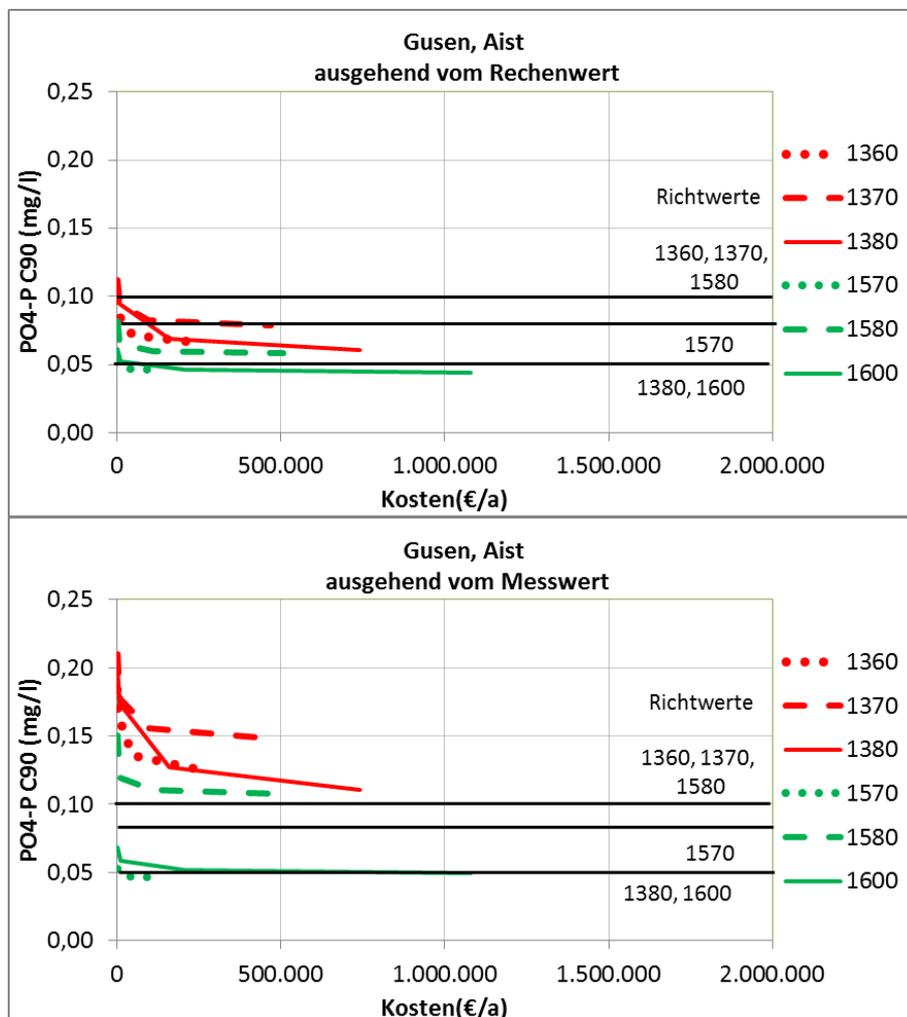


Abbildung 48: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und erreichbarer Konzentrationsreduktion für $\text{PO}_4\text{-P}$ für unterschiedliche Gewässer der Region 2 (Gusen/Aist) (oben: Reduktion ausgehend von der modellierten Gewässerkonzentration, unten: Reduktion ausgehend von der gemessenen Gewässerkonzentration)

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen zudem, dass sowohl in der Kleinen und Großen Gusen (ID 1360 bzw. 1370; UQZ: 0,10 mg/l) als auch in der Gusen (ID 1380, UQZ: 0,05) das Umweltqualitätsziel (UQZ bzw. Richtwert) auch bei Umsetzung aller betrachteten Maßnahmen voraussichtlich deutlich verfehlt wird. In Feldaist (ID 1580; UQZ: 0,10 mg/l) und Aist (ID 1600, UQZ: 0,05 mg/l) könnten die Gewässerkonzentrationen in den Bereich des UQZ verringert werden, eine Einhaltung erscheint aber auch bei Umsetzung aller betrachteten Maßnahmen nicht als gesichert.

In Region 3 (Krems, Ipfbach, Kristeinerbach) lagen die $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen in den Jahren 2001 bis 2006 jeweils über dem typenspezifischen $\text{PO}_4\text{-P}$ Qualitätsziel von 0,05 mg/l. Über eine erweiterte Anforderung an die Phosphorentfernung bei der Abwasserreinigung dürfte hier keine Verbesserung zu erreichen sein.

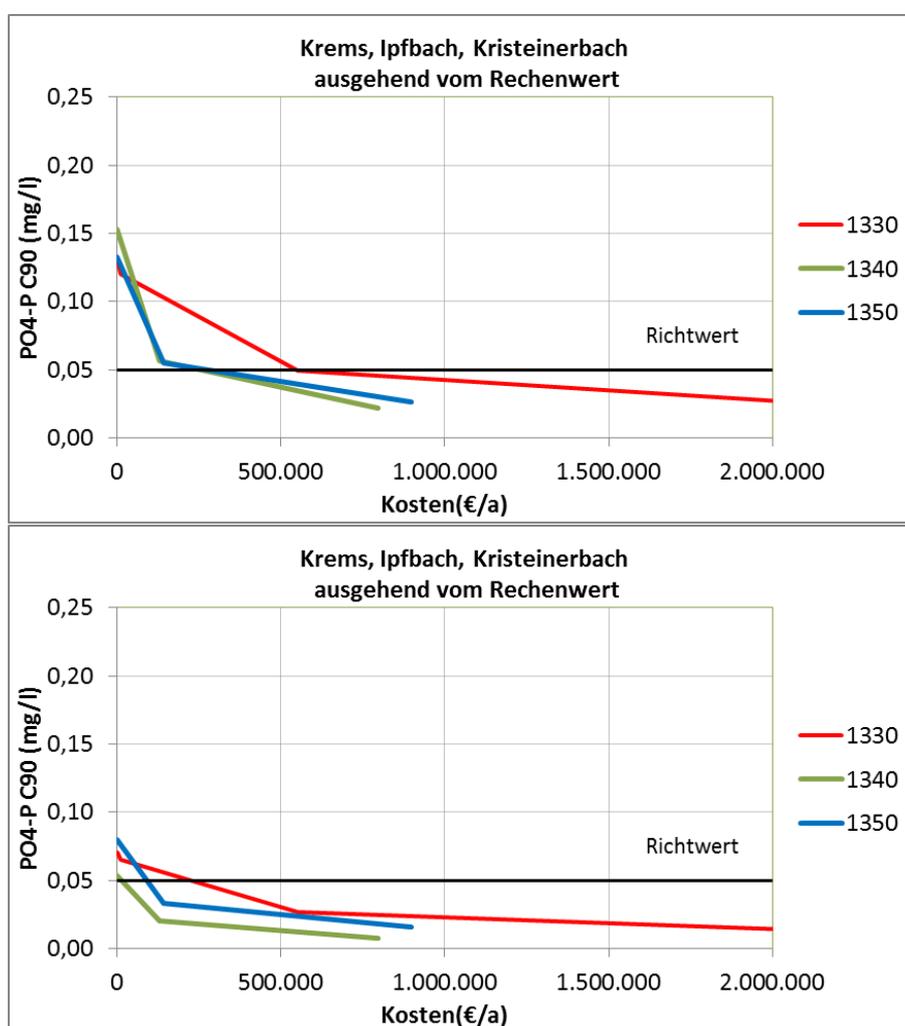


Abbildung 49 : Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und erreichbarer Konzentrationsreduktion für $\text{PO}_4\text{-P}$ für unterschiedliche Gewässer der Region 3 (Krems/Ipfbach) (oben: Reduktion ausgehend von der modellierten Gewässerkonzentration, unten: Reduktion ausgehend von der gemessenen Gewässerkonzentration)

Das Potential zur Verringerung der Gewässerbelastung über Maßnahmen zur Reduktion des erosiven Eintrages liegt im Bereich von ca. 0,05 mg/l und darüber. Die

Kosten der Umsetzung aller Maßnahmen mit den stärksten Auswirkungen auf die Gewässerkonzentrationen liegen bei Ipfbach (ID 1340) und Krasteinerbach (ID 1350) bei etwa 0,2 Millionen €/a, an der Krems bei ca. 0,6 Millionen €/a. Eine Unterschreitung des UQZ erscheint bei Umsetzung dieser Maßnahmen in allen drei Gewässern möglich.

Die PO₄-P Konzentrationen der Jahre 2001 bis 2006 überschritten in allen Gewässern der Region 4 (Mühlheimer Ache, Gurtenbach, Pram, Antiesen) das typenspezifische PO₄-P Qualitätsziel von 0,05 mg/l deutlich. Die 90%-Perzentile lagen um bis zu einen Faktor 4 über diesem Wert. Dies zeigt, dass nur durch eine massive Reduktion der Phosphorbelastung ein Einhalten der UQZ möglich werden würde. Über eine erweiterte Anforderung an die Phosphorentfernung bei der Abwasserreinigung dürfte hier z.B. an der Antiesen noch ein gewisses Potential zur Verbesserung vorhanden sein (im günstigsten Fall bis zu 0,04 mg/l).

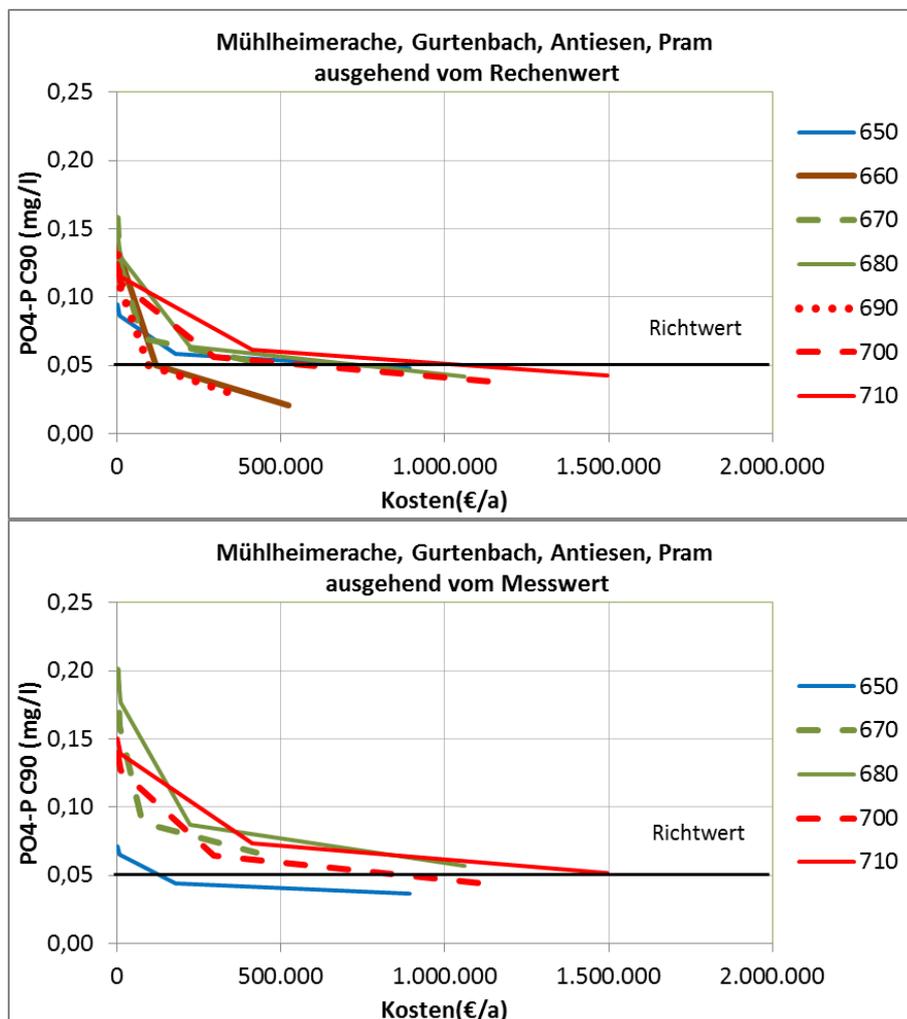


Abbildung 50: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und erreichbarer Konzentrationsreduktion für PO₄-P für unterschiedliche Gewässer der Region 4 (Antiesen/Pram) (oben: Reduktion ausgehend von der modellierten Gewässerkonzentration, unten: Reduktion ausgehend von der gemessenen Gewässerkonzentration)

Das Potential zur Verringerung der Gewässerbelastung über Maßnahmen zur Reduktion des erosiven Eintrages liegt im Bereich von ca. 0,10 mg/l und darüber. Die Kosten der Umsetzung aller Maßnahmen mit den stärksten Auswirkungen auf die Gewässerkonzentrationen liegen bei Mühlheimer Ache (ID 650) und Gurtenbach (ID 660) bei knapp 0,2 Millionen €/a, an Pram (ID 710) und Antiesen (ID 680) bei ca. 0,4 bzw. 0,25 Millionen €/a. Bei Implementierung aller betrachteten Maßnahmen ließe sich eine sehr deutliche Verringerung der Belastung der Gewässer dieser Region erreichen.

Eine Verringerung der Gewässerkonzentrationen in den Bereich des UQZ erschiene mit einer umfassenden Maßnahmen-Implementierung möglich, das Erreichen des UQZ bzw. eine Unterschreitung jedoch keinesfalls gesichert.

Die Situation in der Region 5 (Aschach, Trattnach, Innbach) ist ganz ähnlich wie jene in der Region 4 (Abbildung 51).

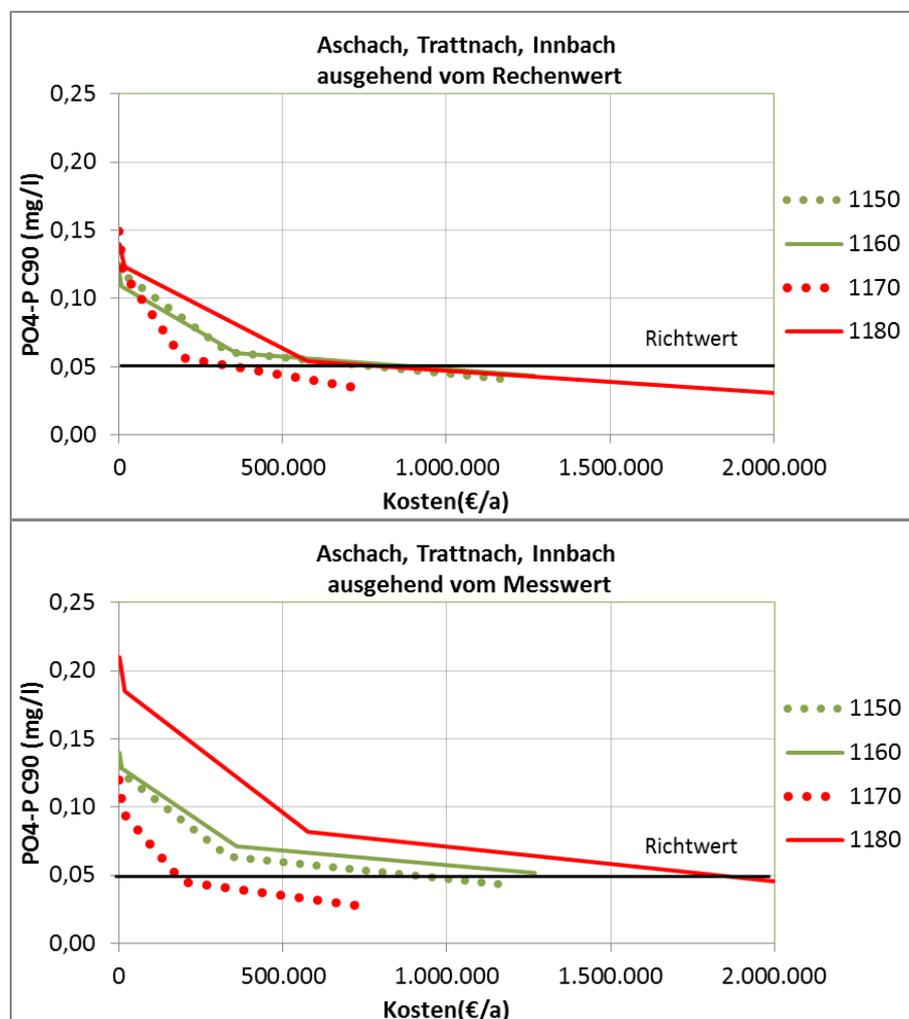


Abbildung 51: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten und erreichbarer Konzentrationsreduktion für PO₄-P für unterschiedliche Gewässer der Region 5 (Aschach/Innbach) (oben: Reduktion ausgehend von der modellierten Gewässerkonzentration, unten: Reduktion ausgehend von der gemessenen Gewässerkonzentration)

Auch hier überschreiten die $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen der Jahre 2001 bis 2006 das typenspezifische $\text{PO}_4\text{-P}$ Qualitätsziel von 0,05 mg/l deutlich und liegen um einen Faktor von bis zu 4 über diesem Wert. Über eine erweiterte Anforderung an die Phosphorentfernung bei der Abwasserreinigung dürfte hier noch ein gewisses Potential zur Verbesserung vorhanden sein (im günstigsten Fall der Trattnach bis zu 0,03 mg/l). Das Potential zur Verringerung der Gewässerbelastung über Maßnahmen zur Reduktion des erosiven Eintrages liegt im Bereich bis zu 0,10 mg/l. Die Kosten der Umsetzung aller Maßnahmen mit den stärksten Auswirkungen auf die Gewässerkonzentrationen liegen bei der Aschach (ID 1160) bei etwa 0,35 Millionen €/a und am Innbach (inklusive Trattnach, ID 1180) bei ca. 0,6 Millionen €/a. Bei Implementierung aller betrachteten Maßnahmen ließe sich eine sehr deutliche Verringerung der Belastung der Gewässer dieser Region erreichen. Eine Verringerung der Gewässerkonzentrationen in den Bereich des UQZ erschiene mit einer umfassenden Maßnahmen Implementierung möglich, das Erreichen des UQZ erscheint vor allem an Dürrer Aschach und Trattnach möglich jedoch nicht gesichert.

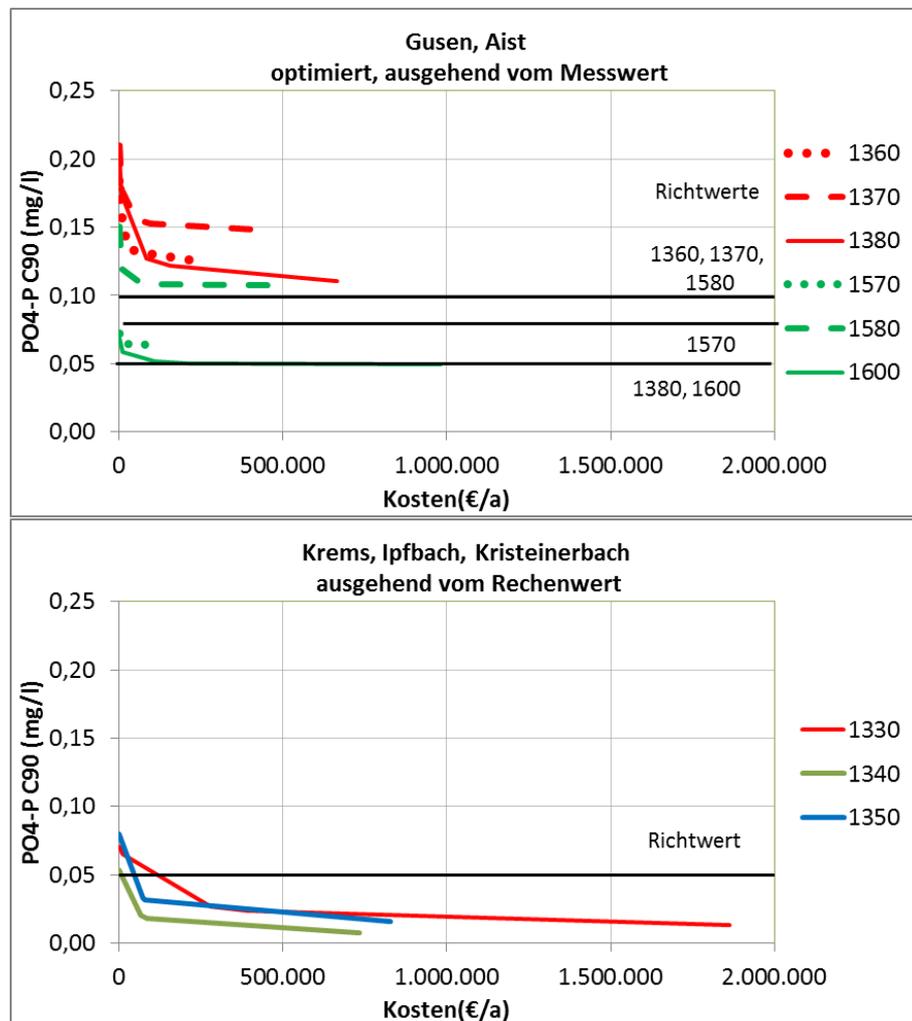


Abbildung 52: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten unter Annahme einer Optimierung durch gezielte Verortung der Maßnahmen und erreichbarer Konzentrationsreduktion ausgehend von gemessenen Gewässerkonzentrationen für $\text{PO}_4\text{-P}$ für unterschiedliche Gewässer der Region 2 (oben) und Region 3 (unten)

Durch eine gezielte Verortung der Maßnahmen zur Verringerung des erosiven Eintrages in die Gewässer, ließen sich die Kosten für die Maßnahmenimplementierung verringern. Eine Darstellung einer entsprechenden Abschätzung ist in Abbildung 52 und Abbildung 53 zu finden.

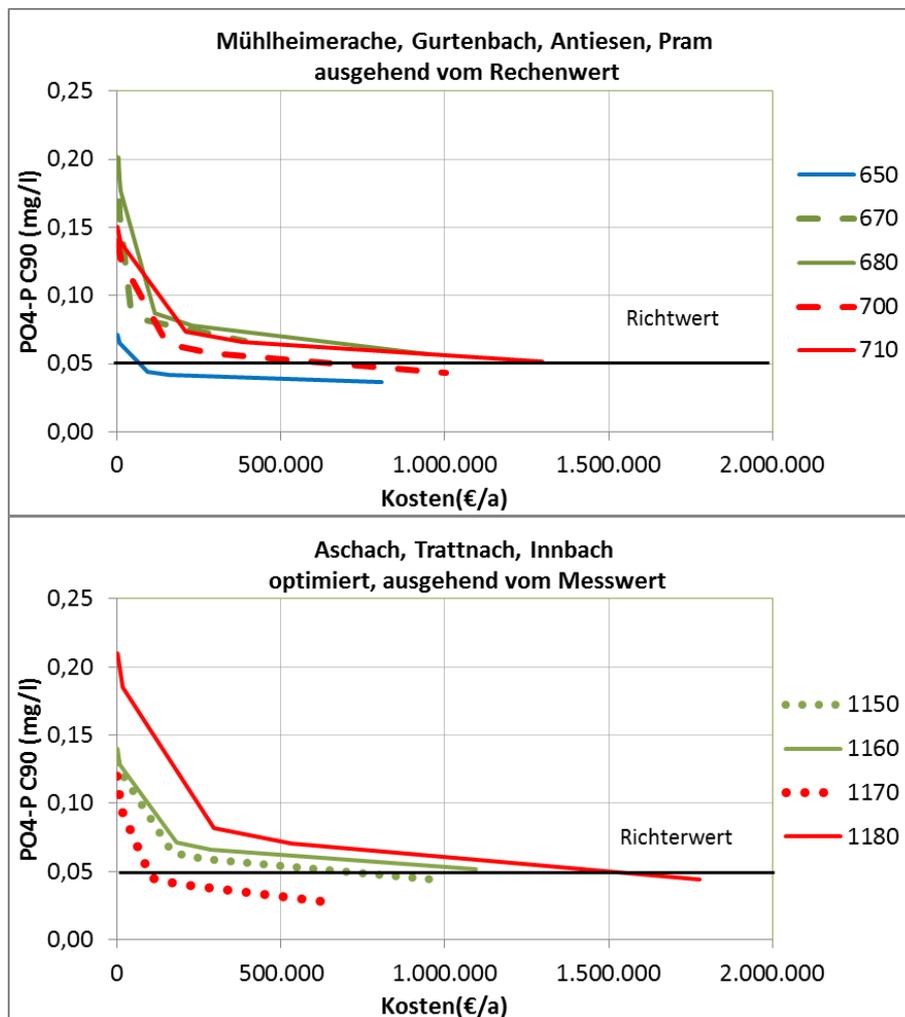


Abbildung 53: Gegenüberstellung von Maßnahmenkosten unter Annahme einer Optimierung durch gezielte Verortung der Maßnahmen und erreichbarer Konzentrationsreduktion ausgehend von gemessenen Gewässerkonzentrationen für PO₄-P für unterschiedliche Gewässer der Region 4 (oben) und Region 5 (unten)

In Abbildung 54 ist zusammenfassend dargestellt, wieweit basierend auf den Modellrechnungen durch die Umsetzung von Maßnahmen mit unterschiedlicher Kosteneffektivität eine Unterschreitung der typenspezifischen Qualitätsziele für PO₄-P erreichbar erscheint.

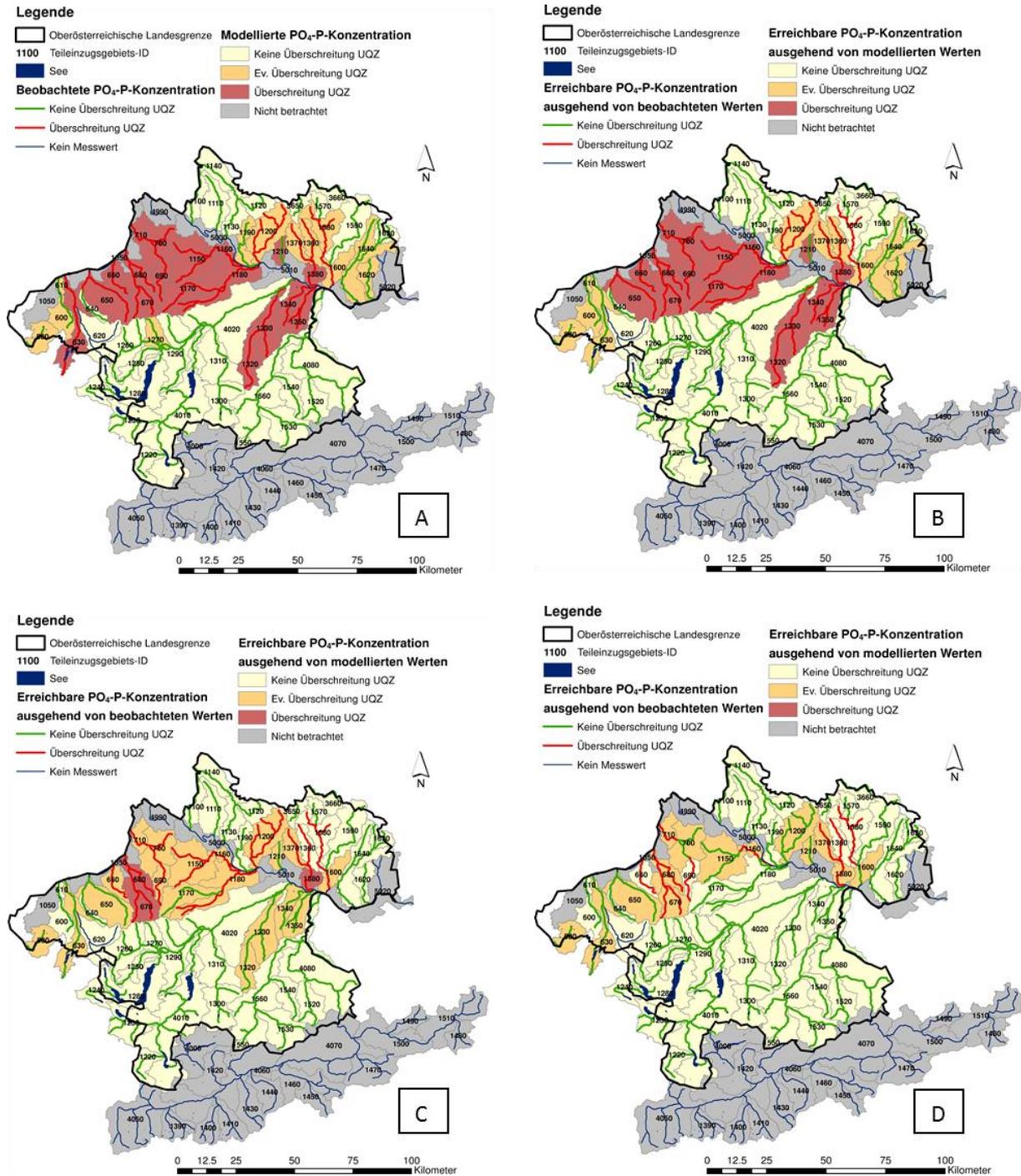


Abbildung 54: Darstellung von Überschreitungen des typenspezifischen Umweltqualitätsziel in Abhängigkeit der Maßnahmenumsetzung; A: Situation 2001-2006, B: Maßnahmen mit höchster Kosteneffektivität (P11-erhöhte Anforderungen an die P-Elimination auf KA), C: Maßnahmen mit der zweithöchsten Kosteneffektivität (Gewässerrandstreifen), D: Umsetzung aller weiterer betrachteter Maßnahmen mit geringerer Kosteneffektivität

Es zeigt sich, dass deutliche Verbesserungen erreicht werden können, eine Einhaltung des Qualitätsziels selbst bei vollständiger Umsetzung der betrachteten Maßnahmen in einigen Regionen nicht gesichert ist bzw. unwahrscheinlich erscheint (Pram, Antiesen, Gusen, Feldaist, Aschach).

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

4.1 Allgemeines

Die Aufgabe des im Rahmen dieses Berichtes dargestellten Projektes ist die „Konzipierung und Ausrichtung übergeordneter strategischer Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in oberösterreichische Fließgewässer“. Eine Grundlage für diese Aufgabe stellt die Modellierung von Gewässermissionen der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor über unterschiedliche Eintragspfade dar. Davon ausgehend wurden Maßnahmenwirkungen bewertet und die Wirksamkeit der Maßnahmen und deren Kombinationen für unterschiedliche Umsetzungsszenarien auf die Gewässerbelastung modelliert. Ergänzende Erhebungen zu Maßnahmenkosten ermöglichen die Kosteneffektivität unterschiedlicher Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen darzustellen.

Bei der Verwendung und Interpretation von Ergebnisse von Modellberechnungen sind die methodischen Limitierungen der Modellansätze sowie die quantitativen Unsicherheiten der Modellergebnisse zu berücksichtigen. Modellergebnisse stellen eine wichtige Grundlage für die Konzipierung und Ausrichtung übergeordneter strategischer Maßnahmen dar. Zudem müssen jedoch eine Reihe von Aspekten, die modelltechnisch nicht abgebildet werden können, sowie Aspekte der Umsetzbarkeit und von Nebeneffekten berücksichtigt werden. Im Folgenden sollen die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt in Hinblick auf übergeordnete strategische Maßnahmen diskutiert und Schlüsse daraus gezogen werden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass es zwischen den unterschiedlichen betrachteten Maßnahmen deutliche Unterschiede sowohl in Hinblick auf eine erreichbare Reduktion der Gewässerbelastung, als auch in Hinblick auf die Kosteneffektivität gibt. Daher lassen sich trotz Unsicherheiten der Modellergebnisse klare Präferenzen für Maßnahmen gegenüber anderen ableiten. Zudem ergibt sich aus diesen Unterschieden, dass bei einer Strategie, die einzelne Maßnahmen aufgrund ihrer besseren Kosteneffektivität gezielt fördert, bei gleichen Kosten deutlich höhere Effekte zu erwarten sind, als bei einer Strategie die eine breite Maßnahmenpalette anbietet und eine tatsächliche Umsetzung der Präferenzen den Akteuren überlässt. Im Folgenden werden diesbezügliche Erkenntnisse getrennt für die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor diskutiert.

4.2 Stickstoff

Beim Stickstoff zeigt sich, dass bereits aufgrund von Maßnahmen zur Reduktion der Überschüsse auf den Flächen, die in der Vergangenheit umgesetzt wurden, noch weitere Verbesserungen der Gewässerbelastung zu erwarten sind. Der derzeitige Standard sollte daher aufrechterhalten werden. In Hinblick auf eine Verbesserung über den derzeitigen Stand hinaus, weist die Maßnahme „Düngung nach

Bodenvorrat“ sowohl das insgesamt größte Potential als auch in allen Einzugsgebieten die beste Kosteneffektivität aus. Diese Maßnahme kann dort, wo sie erforderlich ist, uneingeschränkt empfohlen werden. Das Potential zur Emissionsreduktion einer „Düngung auf mittlere Ertragslage“ ist ähnlich. Da die während der Projektbearbeitung laufende Diskussion zur Maßnahmengestaltung im neuen ÖPUL, „eine Düngung auf mittlere Ertragslage“ als Maßnahme in Oberösterreich nicht erwarten ließ, wurde diese nicht bewertet.

Die „Winterbegrünung“ wurde bereits in der Vergangenheit großflächig umgesetzt. Daher ist das Potential für eine weitere Verbesserung über diese Maßnahme begrenzt. In Hinblick auf die Kosteneffektivität stellt diese Maßnahme jedoch nach der „Düngung nach Bodenvorart“ in den meisten im Detail betrachteten Einzugsgebieten die zweitbeste Variante dar. Zudem hat diese Maßnahme auch zusätzlich eine Bedeutung für die Reduktion von Phosphoremissionen, auch wenn sie dort nicht zu den kosteneffektivsten gehört, weil ihre Effektivität für die Gewässerbelastung stark von der Lokalisierung der „richtigen“ Flächen im Einzugsgebiet abhängt (Hangneigungen mit Gewässeranbindung). Eine Aufrechterhaltung und Ausweitung dieser Maßnahme erscheint daher jedenfalls in Gebieten, in denen die Gefahr vorliegt, dass die Richtwerte überschritten werden, erstrebenswert. Entscheidend für eine entsprechende Stickstoffaufnahme ist eine möglichst hohe Biomassebildung, die vor allem durch einen möglichst frühen Anbauzeitpunkt sichergestellt ist. Angesetzte Emissionsreduktionen können nur bei einer hohen Qualität der Umsetzung erwartet werden. Für die Maßnahme Begrünung sind darüber hinaus weitere positive Nebeneffekte zu nennen, insbesondere die Zufuhr von organischer Substanz zum Boden und eine Verbesserung der Bodenstruktur.

Von den weiteren betrachteten Maßnahmen wurde noch die „Durchgehende Bodenbedeckung ohne bzw. mit Nutzung“ sowie die „Abluftreinigung im Stall“ eingehender im Zuge der Bewertung von Maßnahmenpaketen betrachtet. Dabei stellt die durchgehende Bodenbedeckung mit oder ohne Nutzung zwar die theoretisch wirkungsvollste aller betrachteten Maßnahme dar, ihr flächenmäßiges Umsetzungspotenzial ist jedoch beschränkt und die Kosteneffizienz liegt in den meisten Einzugsgebieten deutlich unter jener der beiden bereits genannten Maßnahmen.

Die Abluftreinigung im Stall ist vom Umsetzungs- und Wirkungspotenzial auf Regionen mit intensiver Schweine- oder Geflügelhaltung beschränkt. Die Kosteneffizienz ist hier in der Regel am geringsten und liegt nur in zwei Einzugsgebieten an zweiter Stelle. Anzumerken sind jedoch positive Nebenwirkungen, wie eine Reduktion der (hier nicht bewerteten) Einträge für weiter entfernt gelegene Einzugsgebiete, eine Verminderung der Geruchsbelästigung im Umfeld der Maßnahme sowie die Luftreinhaltung, also eine umweltmedienübergreifende Wirkung der Maßnahme.

Von der Wirkung betrachtet, aber nicht im Rahmen der Maßnahmenpakete bewertet wurden die Maßnahmen „Düngezeitpunkt Mais“ und „Erweiterung der Lagerkapazität“. Beide Maßnahmen können zwar regional einen wesentlichen Beitrag leisten, haben jedoch für gesamt Oberösterreich ein beschränktes Umsetzungspotenzial, das im Wesentlichen einerseits auf Regionen mit einem größeren Anteil an Maisanbauflächen und andererseits auf Regionen mit intensiver Mast Schweinehaltung und einem hohen Anteil an Wintergetreide in der Fruchtfolge limitiert ist.

Zu erwähnen ist, dass in einzelnen Einzugsgebieten auch zusätzliche Maßnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft (Stickstoffentfernung >85%) einen erheblichen Beitrag zur Reduktion der Stickstoffkonzentrationen im Gewässer leisten könnten. In den Einzugsgebieten mit Risiko der Zielverfehlung ist das Potenzial einer Reduktion der Gewässerkonzentrationen durch Maßnahmen auf den Kläranlagen jedoch gering.

In der „Qualitätszielverordnung Oberflächengewässer Ökologie“ (QZV-Ökologie) sind Richtwerte für $\text{NO}_3\text{-N}$ definiert. Das Potential zur Verringerung entsprechender Konzentrationen ist selbst bei Umsetzung von Maßnahmenkombinationen unterschiedlicher Maßnahmen mit bis zu 25% des Ausgangswertes begrenzt. Da jedoch bei einer Reihe von gefährdeten Gewässern der Richtwert knapp unter- oder nur knapp überschritten wird, haben die betrachteten Maßnahmen dort das Potential die Einhaltung des Qualitätsziels abzusichern oder zu ermöglichen. In Hinblick auf die Zielerreichung können vier Kategorien von Gewässern unterschieden werden.

1. Gewässer die bereits derzeit den Richtwert der QZV-Ökologie deutlich unterschreiten: Zu dieser Kategorie gehört der Großteil der Oberösterreichischen Fließgewässer. Es sind alle Gewässer, die bei den folgenden Kategorien nicht erwähnt werden.
2. Gewässer die zurzeit das Qualitätsziel knapp unter- oder überschreiten und bei denen in Zukunft, durch die zeitverzögerte Wirkung vor 2001 umgesetzter Maßnahmen (N0), oder durch die Wirkung eines leicht umsetzbaren zusätzlichen Maßnahmenprogrammes ein Einhalten der Qualitätsziele wahrscheinlich ist. Zu dieser Kategorie zählen: Krems, Kleine Gusen, Große Gusen, Gusen, Feldaist im Unterlauf (Id-1580) und Kartenbach.
3. Gewässer die zurzeit das Qualitätsziel überschreiten und bei denen durch zusätzliche Umsetzung eines ambitionierten Maßnahmenprogrammesein Erreichen des Qualitätszieles möglich erscheint, aber nicht als gesichert angesehen werden kann. Zu dieser Kategorie zählen: die obere Feldaist und der Krusteinerbach.
4. Gewässer die zurzeit das Qualitätsziel deutlich überschreiten und bei denen durch zusätzliche Umsetzung eines Maßnahmenprogrammes, welches alle hier im Detail betrachteten Maßnahmen enthält, ein Erreichen des Qualitätszieles unwahrscheinlich erscheint. Zu dieser Kategorie zählt der Ipfbach.

Je nach Größe des Einzugsgebietes liegen die Maßnahmenkosten, mit denen gegenüber der Situation von 2001-2006 eine deutliche Verbesserung erreicht werden kann, bei bis zu 1,0 Mill €/a zusätzlich zu den aktuellen Maßnahmenkosten je Einzugsgebiet. Höhere Maßnahmenkosten zeigen zumeist nur noch einen geringen Effekt. Das Ausmaß zur Umsetzung der Maßnahmen wird von den zur Verfügung stehenden Mitteln und einer Prioritätenreihung abhängen. Diesbezügliche Festlegungen gehen über die Aufgabe dieses Projektes hinaus und wären im Zusammenspiel von Behörden und Stakeholdern zu erarbeiten. Überlegungen zu einem Vorgehen bei der Prioritätenreihung von Maßnahmen sind am Ende dieses Kapitels dargestellt.

4.3 Phosphor

Auch beim Phosphor wurden in der Vergangenheit durch Umsetzung von Maßnahmen zur Reduktion der Gewässeremissionen deutliche Erfolge erreicht. Vor allem durch Maßnahmen in der Siedlungswasserwirtschaft konnten Gewässerbelastungen deutlich reduziert werden. Aber auch im Bereich der Landwirtschaft wurden erosionsmindernde Maßnahmen (z.B. Winterbegrünung, Mulchsaat) bereits in der Vergangenheit implementiert. Der derzeitige Standard sollte aufrechterhalten werden.

In Hinblick auf eine Verbesserung über den derzeitigen Stand hinaus, weist eine „Erweiterung der Phosphorelimination bei der Abwasserreinigung auf Ablaufwerte von $< 0,5$ mg TP/l“ bei weitem die beste Kosteneffektivität der betrachteten Maßnahmen auf. Diese siedlungswasserwirtschaftliche Maßnahme ist diesbezüglich allen Maßnahmen in der Landwirtschaft überlegen. Da der Anteil der Emissionen aus Kläranlagenabläufen in den meisten Einzugsgebieten nur noch gering ist, ist die Wirksamkeit dieser Maßnahme allerdings stark beschränkt und nur noch in einzelnen Einzugsgebieten relevant. Dort, wo eine Wirksamkeit gegeben ist, kann diese Maßnahme jedoch empfohlen werden. Ein erhöhter Einsatz von Fällmitteln bei der Abwasserreinigung, der notwendig ist, um die erhöhten Anforderungen gesichert einhalten zu können, spielt für die Kosten der Abwasserreinigung keine wesentliche Rolle. Zu hohe Eisengehalte in Klärschlamm könnten die P-Verfügbarkeit bei einer landwirtschaftlichen Verwertung beeinträchtigen. Daher wäre es anzustreben, mittel bis langfristig die Möglichkeiten einer biologischen Phosphorentfernung zur Reduktion des Fällmittelbedarfes so gut wie möglich auszunutzen.

Von den Maßnahmen zur Reduktion des erosiven Eintrages aus der Landwirtschaft weist das Emissionsmodel MONERIS für „Gewässerrandstreifen“ sowohl ein sehr hohes Potential als auch die beste Kosteneffektivität aus. Die methodische Einschränkung der MONERIS-Berechnung ist, dass eine örtliche Zuordnung der unterschiedlichen Maßnahmen im Einzugsgebiet bei dieser Vorgangsweise nicht möglich ist. Daher mussten die erosiven P-Einträge in die Gewässer mit fixen Reduktionsraten berechnet werden. Über die PhosFate-Berechnungen konnte

gezeigt werden, dass bei Berücksichtigung der Verortung von Maßnahmen generell eine Verbesserung der Kosteneffektivität erreicht werden kann. Mit Hilfe dieses Ansatzes konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass bei gezielter Verortung der Maßnahmen auch durch eine Kombination von Gewässerrandstreifen mit Maßnahmen zur Vermeidung des Bodenabtrages von der Fläche, eine höhere Kosteneffektivität erzielt werden kann, als bei einer Strategie die sich nur auf die Umsetzung von Gewässerrandstreifen stützt. Der positive Effekt eines kombinierten Einsatzes von Gewässerrandstreifen und erosionsmindernden Maßnahmen in der Fläche wird indirekt auch durch Untersuchungen gestützt, die zeigen, dass bei Extremereignissen die Wirksamkeit von Gewässerrandstreifen stark zurück gehen kann, wenn hohe Feststofffrachten von oberhalb gelegenen Ackerflächen mobilisiert werden (Kistler et al., 2013). Zudem stellen Gewässerrandstreifen lediglich eine „end of pipe“ Maßnahme dar, die den Phosphorverlust aus den Böden nicht vermindern, sondern lediglich den Eintrag ins Gewässer vermeiden. Auch aus diesem Gesichtspunkt ist eine Strategie zum Schutze der Gewässer, wie Gewässerrandstreifen mit Maßnahmen zum Schutz vor Bodenabtrag zu kombinieren.

Bei den Maßnahmen zum Schutz vor Bodenabtrag zeigen sich vor allem die Maßnahmen „Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hanglagen“ (z.B. Hackfruchtverzicht) und „Umwandlung von Acker in Grünland“ als effektiv. Dabei ist die Maßnahme „Fruchtfolgeauflagen auf steilen Hanglagen“ kosteneffektiver, allerdings ist das Potential zur Emissionsminderung bei der „Umwandlung von Acker in Grünland“ höher. Welche der Maßnahmen mit Gewässerrandstreifen für einen optimierten Schutz vor erosiven Phosphoremissionen umgesetzt werden sollte, hängt daher von den angestrebten Zielen ab.

Wie bereits weiter oben erwähnt, ist das zusätzliche Potential für die bereits relativ gut angenommene Maßnahme „Winterbegrünung“ mit „Mulchsaat“ der folgenden Hauptkultur beschränkt. Eine Einschränkung dieser Maßnahme stellt auch dar, dass sie in der Praxis im Hinblick auf eine Reduktion von P-Einträgen in Gewässern nur fallweise an relevanten Stellen platziert ist. Aus diesem weiten Verhältnis zwischen Maßnahmenumsetzung und gezielter Maßnahmenwirkung resultiert eine geringe Kosteneffektivität, die jedoch aus eben diesem Grund theoretisch ein erhebliches Steigerungspotential aufweist.

In der „Qualitätszielverordnung Oberflächengewässer Ökologie“ (QZV-Ökologie) sind Richtwerte für $\text{PO}_4\text{-P}$ definiert. Das Potential zur Verringerung entsprechender Konzentrationen ist in vielen der durch Zielverfehlung gefährdeten Einzugsgebiete hoch. Maßnahmen zur Reduktion erosiver Einträge haben vor allem in der Pram/Antiesen, der Aschach/Innbach und der Krems/Ipfbach-Region ein sehr hohes Potential zur Reduktion der Gewässerbelastung. Deutlich geringer ist dieses Potential in der Gusen/Aist-Region. Ein gewisses Potential zur Verbesserung der Gewässerbelastung über höhere Anforderungen an die Abwasserreinigung wurde für Trattnach, Gusen, Feldaist und Antiesen berechnet. Insgesamt ließen sich die Belastungen der Gewässer durch einen Einsatz der betrachteten Maßnahmen um

etwa 50% bis 75% reduzieren. Dies zeigt, dass das prozentuale Verbesserungspotential beim Phosphor deutlich höher ist als beim Stickstoff.

Da jedoch bei einer Reihe von gefährdeten Gewässern der Richtwert um ein vielfaches überschritten wird, reichen zum Teil auch umfangreiche Maßnahmen nicht aus, um die Einhaltung des Qualitätsziels abzusichern. In Hinblick auf die Zielerreichung können vier Kategorien von Gewässern unterschieden werden.

1. Gewässer die bereits derzeit den Richtwert der QZV-Ökologie deutlich unterschreiten: Zu dieser Kategorie gehören etwa 2/3 der Oberösterreichischen Fließgewässer. Es sind alle Gewässer, die bei den folgenden Kategorien nicht erwähnt werden.
2. Gewässer die zurzeit das Qualitätsziel knapp unterschreiten oder überschreiten und bei denen durch zusätzliche Umsetzung eines ambitionierten Maßnahmenprogrammes eine Absicherung der Qualitätsziele erreicht werden kann. Zu dieser Kategorie zählen: Mattig, Mühlheimer Ache, Kleine Mühl, Pesenbach, Große Rodl, Ipfbach, obere Feldaist, Aist, (sowie Moosbach, Enknach, Klamm bach, Große Naarn)
3. Gewässer die zurzeit das Qualitätsziel deutlich überschreiten und bei denen durch zusätzliche Umsetzung eines Maßnahmenprogrammes, welches alle im Detail betrachteten Maßnahmen enthält, ein Erreichen des Qualitätszieles möglich erscheint, aber nicht als gesichert angesehen werden kann. Zu dieser Kategorie zählen: Gurtenbach, Pram, Aschach, Trattnach, Innbach, Krems, Kristeinerbach, untere Feldaist.
4. Gewässer die zurzeit das Qualitätsziel deutlich überschreiten und bei denen durch zusätzliche Umsetzung eines Maßnahmenprogrammes, welches alle im Detail betrachteten Maßnahmen enthält, ein Erreichen des Qualitätszieles unwahrscheinlich erscheint. Zu dieser Kategorie zählen: Antiesen, Kleine Gusen, Große Gusen, Gusen (Diesleitenbach).

Je nach Größe des Einzugsgebietes liegen die Maßnahmenkosten, mit denen gegenüber der Situation von 2001-2006 eine deutliche Verbesserung erreicht werden kann, bei bis zu 0,5 Mill €/a zusätzlich zu den aktuellen Maßnahmenkosten je Einzugsgebiet. Über weiter gesteigerte Maßnahmenkosten kann zumeist ein zusätzlicher Effekt erreicht werden, allerdings mit deutlich abnehmender Kosteneffektivität. Das Ausmaß zur Umsetzung der Maßnahmen wird von den zur Verfügung stehenden Mitteln und einer Prioritätenreihung abhängen. Diesbezügliche Festlegungen gehen über die Aufgabe dieses Projektes hinaus und wären im Zusammenspiel von Behörden und Stakeholdern zu erarbeiten. Erste Überlegungen sollen aber im Folgenden aufgezeigt werden.

4.4 Überlegungen zu einer Prioritätenreihung

Bei der Entwicklung übergeordneter strategischer Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen sind für eine Prioritätenreihung folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Sollen Erfolge im Gewässerschutz nachgewiesen werden, ist eine auf Problem-Einzugsgebiete fokussierte Vorgangsweise vorzusehen.
- Phosphor kommt in Hinblick auf die Oberflächengewässerqualität die höhere Priorität zu als Stickstoff. Über Maßnahmen zur Stickstoffreduktion kann jedoch zusätzlich auch eine Verbesserung der Grundwasserbelastung erreicht werden.
- Eine Schwerpunktsetzung auf die kosteneffektivsten Maßnahmen verspricht den stärkeren Effekt bei gleichen finanziellen Aufwendungen. Bei Phosphor liegt auch in einer gezielten Verortung von Maßnahmen in einem Einzugsgebiet ein relevantes Potenzial zur Steigerung der Kosteneffektivität von Maßnahmen.
- In Hinblick auf eine Priorisierung von Gebieten sind zwei unterschiedliche Strategien denkbar: entweder Fokussierung auf jene Gebiete, die Qualitätsziele nur knapp verfehlen, oder auf jene Gebiete bei denen die größten Überschreitungen stattfinden. Der erste Fall hätte den Vorteil, dass mit vergleichsweise geringem Aufwand ein zielkonformer Zustand im jeweiligen Gewässer erreicht werden kann (Priorisierung des hinsichtlich Zielerreichung sichtbaren Effekts). Im zweiten Falle würden sich die Maßnahmen auf jene Gebiete mit den größten Problemen fokussieren, wo auch die größten Emissionsreduktionen erreicht werden können (Priorisierung des ökologischen Effekts).
- In beiden Fällen ist eine umfassende Maßnahmen-Implementierung in einzelnen Schwerpunktgebieten einer über viele Einzugsgebiete verteilten Maßnahmen-Implementierung vorzuziehen. Nur wenn es gelingt Maßnahmen in einem Einzugsgebiet in einem Ausmaß umzusetzen, welches eine relevante und messbare Verbesserung der Gewässerbelastung erwarten lässt, ist es möglich eine immissionsseitige Erfolgskontrolle des Maßnahmenprogrammes zu gewährleisten. Diese Vorgangsweise würde es auch ermöglichen entsprechende Pilotgebiete zu nutzen, um die bei der Umsetzung gemachten Erfahrungen in weitere Folge auch in zusätzlichen Maßnahmengebieten zu nutzen und damit Maßnahmenstrategien schrittweise optimieren zu können.

5 Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen auf,

- mit welchen Instrumenten (Maßnahmen oder Maßnahmenpakete) eine Reduktion der Nährstoffeinträge in Fließgewässer erzielt werden kann
- welches Teilnahmeniveau in einzelnen Einzugsgebieten erforderlich wäre, um die erforderliche Emissionsreduktion zu erzielen
- mit welchen Maßnahmen das im jeweiligen Einzugsgebiet am kostengünstigsten erreicht werden kann
- und wo mit den bisher betrachteten Maßnahmen auch bei sehr hoher Umsetzungsintensität das Risiko einer Zielverfehlung bestehen bleibt.

Trotz weiterhin bestehender Unsicherheiten in der Aussageschärfe, auf die im Weiteren noch einmal eingegangen wird, lassen sich bereits jetzt wesentliche Handlungsanleitungen für die landwirtschaftliche Officialberatung mit entsprechender regionaler Schwerpunktsetzung ableiten. Diesbezüglich kann darauf verwiesen werden, dass es gelungen ist, bereits während der Bearbeitungsphase erste Schlussfolgerungen in die Programmgestaltung für die ländliche Entwicklung 2015 – 2020 und insbesondere für das neue ÖPUL einzubringen. Damit konnte erreicht werden, dass zum Programmstart 2015 für alle in dieser Studie empfohlenen Maßnahmen Förderinstrumente zur Verfügung stehen und damit gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung geschaffen wurden.

Auch für die Siedlungswasserwirtschaft konnte aufgezeigt werden, wo durch geeignete Maßnahmen in einzelnen Gebieten noch eine relevante Senkung der P-Belastung von Gewässern erzielt werden kann.

Für eine Prognose zur Entwicklung der Gewässergüte auf Basis der tatsächlichen Maßnahmenumsetzung wird es jedoch erforderlich sein, die Basiswerte, die derzeit aus dem Zeitraum der Jahre 2000 bis 2006 stammen, zu aktualisieren.

Insbesondere für eine Reduktion der P-Einträge weisen die Ergebnisse deutlich darauf hin, dass eine Lokalisierung der diffusen Emissionsquellen und Eintragspfade einen entscheidenden Beitrag zur Wirksamkeit der Maßnahme und zur Kosteneffizienz leisten kann. Es konnte gezeigt werden, dass PhosFate dazu ein sehr gut geeignetes Instrument darstellt. Für eine verbesserte Integration von PhosFate und Moneris besteht jedoch noch Potential, so dass erwartet werden kann, dass damit bisher bestehende Unschärfen und Abweichungen in der Aussage verringert werden können.

Deutlich wurde mit der vorliegenden Studie auch, dass Aussagen zur erforderlichen Umsetzungsintensität in einigen Einzugsgebieten stark davon abhängen, ob von gemessenen oder den mit MONERIS berechneten Konzentrationen ausgegangen wird. Hier ist es offensichtlich erforderlich, möglichen Ursachen für diese Abweichung nachzugehen. Nicht auszuschließen ist in diesem Zusammenhang, dass in einzelnen Fällen Ursachen eine Rolle spielen, die bisher weder durch MONERIS noch durch

Phosphate abgebildet wurden. Ihre Identifikation könnte daher eine Grundlage zur Entwicklung zusätzlicher Maßnahmen darstellen, die es möglicherweise erlauben ein weiteres Verbesserungspotential für jene Einzugsgebiete darzustellen, wo die bisher betrachteten Maßnahmen die Erreichung der Qualitätsziele nicht erwarten lassen.

Literatur

- Amt der OÖ. Landesregierung – Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft (2012): Entwicklung der Fließgewässergüte in Oberösterreich. Gewässerschutzbericht 45, 194 Seiten.
- Asman, W.A., Sutton, M.A. (1998): Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition, *New Phytol*, 139, 27-48.
- AWI, Bundesanstalt für Agrarwirtschaft: IDB – Internet Deckungsbeiträge (www.awi.bmlfuw.gv.at/idb) Abruf am 10.12.2013.
- AWI, BABF, BMLFUW (2011): INVEKOS-Datenpool 2011 des BMLFUW. Übersicht über alle im Ordner „Invekosdaten“ enthaltenen Datenbanken mit ausführlicher Tabellenbeschreibung sowie Informationen zu sonstigen verfügbaren Datenbanken. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Bundesanstalt für Bergbauernfragen, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 6. Auflage.
- BMLFUW, 2008: Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008.
- Brunner, K. (2008): Abluftreinigungsverfahren zur Minderung von Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Intensivtierställen – Erfahrungen in der Schweiz und Perspektiven. Auftrag des Bundesamtes, BAFU, Bern.
- BFW (2010): Digitale Bodenkarte von Österreich, 1 km-Raster. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien.
- Environment Agency (2010): Guidance on modelling the concentration and deposition of ammonia emitted from intensive farming. Air Quality Modelling and Assessment Unit, 22 November 2010, V3.
- Hollaus M., Suppan F. (2004): Landbedeckungsdatensatz aus der Kulturlandschaftsforschung (SINUS). Tagungsband des Workshops Geodaten zur Landbedeckung in Österreich vom 5. Mai 2003 am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation der Universität für Bodenkultur Wien, 33–44; Shaker Verlag, Aachen.
- ICPDR (2001): Water Quality in the Danube River Basin. TNMN Yearbook 2001. International Commission for the Protection of the Danube River, Wien.
- Kistler M., Brandhuber R., Maier H. (2013) Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen, Ergebnisse einer Feldstudie, Bericht zum Forschungsvorhaben „Evaluierung der Cross Compliance Bestimmungen zum Erosionsschutz in Bayern“, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
- KOLAS (Konferenz der Landwirtschaftsamt-Leiter Schweiz), BLW (Bundesamt für Landwirtschaft), 2013: Abluftreinigung für zwangsbelüftete Stallanlagen, Schweiz

- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW (2008):
Ammoniak in der Umwelt, Messprogramme und Messergebnisse 2003-2007, Karlsruhe.
- ÖKL Österreichisches Kuratorium für Landtechnik, 2013: Richtwerte Online, www.oekl.at.
- Rihm B., Urech M., Peter K. (2009): Mapping Ammonia Emissions and Concentrations for Switzerland – Effects on Lichen Vegetation. In: Atmospheric Ammonia, Detecting emission changes and environmental impacts, Sutton M., Reis, S., Baker, S. (Hsg.), Springer Verlag., 87-92.
- Van Jaarsveld (2004): The operational priority substances model, Description and validation of OPS-PRO 4.1. RIVM report 500045001/2004.
- Zessner M., Gabriel O., Hochedlinger G., Kovacs A., Schilling C., Thaler S., Windhofer G. (2011):
Stoffbilanzmodellierung für Nährstoffe auf Einzugsgebietsebene als Grundlage für
Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme (STOBIMO-Nährstoffe). Endbericht.
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der TU Wien in
Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt Wien. Wien, 2011.
- 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. (2014): Überlegungen zur Wirksamkeit der ÖPUL 2014 Maßnahme
„Vorbeugender Oberflächengewässerschutz auf Ackerflächen“ zur Verringerung von
Phosphoremissionen im Kontext von Einzugsgebieten. Endbericht. Institut für Wassergüte,
Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien, Wien.