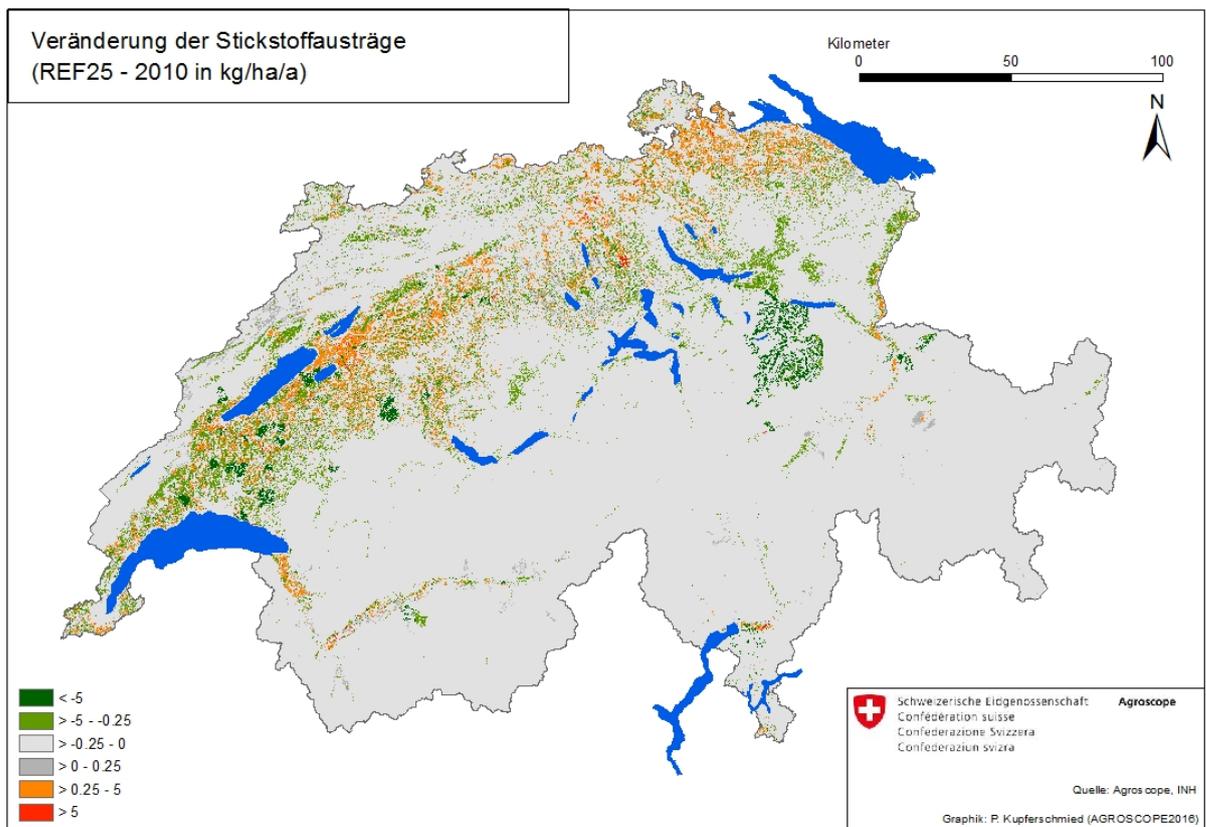




Volker Prasuhn, Patrick Kupferschmied, Ernst Spiess, Jens Hürdler | 14. April 2016

Bericht | Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Szenario-Berechnungen für das Projekt zur Verminderung diffuser Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz mit MODIFFUS



Auftraggeber:

Bundesamt für Umwelt BAFU, 3003 Bern

Auftragnehmer:

Agroscope
Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften (INH), Reckenholzstrasse 191
8046 Zürich

Autoren:

Volker Prasuhn
Patrick Kupferschmied
Ernst Spiess
Jens Hürdler

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	5
1. Ausgangslage.....	7
2. Berechnungen der diffusen N-und P-Einträge in die Gewässer der Schweiz für das Jahr 2000 mit MODIFFUS 3.0.....	9
2.1 Veränderte Modellgrundlagen und deren Auswirkungen auf die Berechnung der Stoffverluste.....	9
2.2. Resultate 2000 und Vergleich mit Resultaten von 2010.....	16
3. Berechnungen der Szenarien REF, EXT, ZOLL und GRAS mit MODIFFUS 3.0 für die Jahre 2020 und 2025.....	27
3.1 Die Szenarien REF, EXT, ZOLL, GRAS.....	27
3.1.1 Charakterisierung der Szenarien.....	27
3.1.2 Ergebnisse SWISSland – Flächennutzung und Tierzahlen.....	28
3.1.3 Verknüpfung von SWISSland mit MODIFFUS.....	29
3.1.4 Auswirkungen auf Stoffflussberechnungen in MODIFFUS.....	31
3.2 Resultate Szenarien REF, EXT, ZOLL und GRAS.....	34
3.2.1 Übersicht diffuse N- und P-Einträge	34
3.2.2 N-und P-Einträge nach Eintragspfaden.....	36
3.2.3 N- und P-Einträge nach Eintragsquellen.....	38
3.2.4 N- und P-Einträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen.....	41
3.2.5 Regionale Differenzierung der N- und P-Einträge.....	44
4. Berechnungen weiterer Massnahmen mit MODIFFUS 3.0.....	54
4.1 Szenario konservierende Bodenbearbeitung (BB).....	54
4.1.1 Ergebnisse Szenario REF_BB.....	55
4.1.2 Ergebnisse Szenario REF_BB_Hotspot.....	55
4.2 Szenario GRAS_Hotspot.....	59
4.3 Szenario maximal 25 mg/l Nitrat im Grundwasser.....	64
5. Zusammenstellung der wichtigsten Resultate aller Berechnungen.....	70
6. Ausblick.....	74
7. Literatur.....	76

Zusammenfassung

Im ersten Teil dieses Berichtes wurden die diffusen Stickstoff- (N) und Phosphor- (P) -einträge in die Gewässer der Schweiz mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS 3.0 rückwirkend für das Jahr 2000 auf Hektarrasterebene berechnet. Da das gleiche Modell wie für die Berechnung 2010 verwendet wurde und nur die Eingangsdaten für 2000 (Arealstatistik, Betriebsstrukturerhebung, Tierzahlen, Deposition etc.) angepasst wurden, sind die Ergebnisse direkt vergleichbar. Die diffusen N-Einträge in die Gewässer der Schweiz betragen im Jahr 2000 53'342 t N. Sie konnten bis zum Jahr 2010 um 1'850 t N bzw. 3,5% reduziert werden. Die diffusen Gesamt-P-Einträge betragen im Jahr 2000 3'713 t P, die gelösten P-Einträge 938 t P. Sie konnten bis zum Jahr 2010 um 223 t P bzw. 6% (Gesamt-Phosphor) sowie um 29 t P bzw. 3% (gelöster Phosphor) reduziert werden. Neben dieser gesamthaften Abnahme gab es auch regionale Unterschiede. Auf rund 10% der Fläche waren die N-Einträge und auf rund 16% die P-Einträge im Jahr 2000 geringer als im Jahr 2010, d.h. hier ist es zu Zunahmen der Stoffeinträge gekommen.

Im zweiten Teil des Berichtes wurden die Auswirkungen von vier Massnahmenkombinationen im Zeitraum von 2010 bis 2025 verglichen (REF, EXT, ZOLL, GRAS). Für deren Formulierung wurden verschiedene politische Instrumente betrachtet und unterschiedlich starke Eingriffe definiert. Das Szenario REF bildet das Basisszenario und stellt die Fortschreibung der AP14-17 dar. Beim Szenario EXT wurden die Direktzahlungsbeiträge für extensive Nutzungen ab 2018 jährlich um 10% erhöht. Beim Szenario ZOLL erfolgte eine Zollerhöhung bei den Futtermitteln und eine Zollsenkung für intensive Ackerkulturen. Im Szenario GRAS wurden ab 2018 jährlich 5% der Ackerfläche in Grasland umgewandelt, bei einem Aufstockungsverbot für Tierbestände. Für diese vier Szenarien wurden neben den Stoffflussberechnungen mit MODIFFUS auch ökonomische Auswirkungen mit dem Modell SWISSland und Ökobilanzen mit der Methode SALCA gerechnet (separate Berichte). SWISSland lieferte die veränderten Eingangsdaten (Landnutzung, Kulturartenzusammensetzung, Tierbestände) für MODIFFUS. Stoffflussberechnungen wurden für die beiden Jahre 2020 und 2025 durchgeführt.

Bei allen Szenarien und Landnutzungen kommt es zu einer Abnahme der mittleren flächenspezifischen N- und P-Verluste. Die verschiedenen Szenarien vermindern die diffusen N-Einträge in folgender Reihenfolge: REF < EXT < ZOLL < GRAS. In den Szenarien REF und EXT betragen die Reduktionen gegenüber 2010 (51'493 t N) rund 3% der gesamten diffusen Einträge und liegen zwischen 1'300 und 1'600 t N. Im Szenario ZOLL25 werden Reduktionen von 5% bzw. rund 2'400 t N und im Szenario GRAS25 13% bzw. rund 6'600 t N erzielt. Beim Gesamt-Phosphor ergibt sich die gleiche Reihenfolge wie beim Stickstoff bezüglich der erzielten P-Reduktionen: REF < EXT < ZOLL < GRAS. Die Reduktion gegenüber 2010 (3'490 t P) fällt aber bei allen Szenarien geringer aus als beim Stickstoff. In den Szenarien REF, EXT und ZOLL beträgt sie nur rund 2%. Nur im Szenario GRAS werden mit 160 t P-gesamt bzw. 67 t P-gelöst deutlich grössere Reduktionen erzielt. Für alle Szenarien wurden Differenzkarten der Stoffeinträge zu 2010 auf Hektarrasterbasis erstellt, um die regionalen Unterschiede aufzuzeigen. Neben den auf den meisten landwirtschaftlich genutzten Flächen erzielten Reduktionen der Stoffeinträge kam es auf einigen Flächen auch zu Zunahmen der Stoffeinträge.

Im dritten Teil dieses Berichtes wurden für weitere Massnahmen bzw. für Ergänzungen der berechneten Szenarien die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer berechnet. Für diese Massnahmen wurden keine Berechnungen mit SWISSland und SALCA durchgeführt. Für das Sze-

nario REF wurden zusätzlich die Auswirkungen zunehmender konservierender Bodenbearbeitung auf die Stoffeinträge modelliert (REF_BB). Für die Szenarien REF_BB und GRAS wurde weiterhin berechnet, wie stark sich die Stoffeinträge verändern, wenn die Massnahmen nicht zufällig, sondern auf den Flächen mit den höchsten Stoffeinträgen realisiert würden (Hotspots). Zunehmende konservierende Bodenbearbeitung wirkt sich vor allem durch verminderte Bodenerosion auf die P-Einträge positiv aus. Auch der Hotspot-Ansatz bewirkte vor allem bei den P-Einträgen deutliche Verminderungen, während bei den N-Einträgen nur geringe Reduktionen erzielt wurden.

Weiterhin wurde abgeschätzt, wie hoch die modellierte Nitratkonzentration im Sickerwasser 2010 war, auf welchen Flächen 25 mg/l Nitrat überschritten wurden und wie hoch die N-Fracht war, die die 25 mg/l Nitrat im Sickerwasser überschritten hat. Auf knapp 380'000 ha wurden 25 mg/l Nitrat im Sickerwasser überschritten. Die entsprechende N-Fracht betrug gut 4'000 t.

Bei der Berechnung der Stoffflüsse in den Szenarien muss berücksichtigt werden, dass nur direkte Veränderungen der landwirtschaftlichen Nutzung und Bewirtschaftung berücksichtigt wurden. Mögliche Änderungen z. B. bei der N- und P-Deposition, Einflüsse des prognostizierten Klimawandels oder Auswirkungen anderer agrarpolitischer Rahmenbedingungen auf Stoffverluste von landwirtschaftlich genutzten Flächen, aber auch nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen, sind nicht enthalten.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Berechnungen der diffusen Stoffeinträge in die Gewässer mit MODIFFUS zusammen. Die Resultate der ökonomischen Auswirkungen (SWISSland) sowie die Ende 2016 folgenden Resultate der Ökobilanzuntersuchungen (SALCA) erfolgen in jeweils separaten Berichten. Die Betrachtung und Interpretation der vorliegenden Ergebnisse sollte immer im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus den SWISSland- und SALCA-Berichten erfolgen, welche weitergehende ökonomische und ökologische Auswirkungen des veränderten Agrar- und Nahrungsmittelsektors in der Schweiz einbeziehen. Das Projekt liefert einen Erkenntnisgewinn zu möglichen Systemzusammenhängen, besitzt aber nicht den Anspruch, Empfehlungen für einen optimalen Massnahmenmix zu geben.

1. Ausgangslage

Mit Abschluss des Projekts „Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer der Schweiz“ (Hürdler et al. 2015) liegt erstmals eine gesamtschweizerische Betrachtung der Nährstoffeintragsituation vor. Das dafür verwendete Modellierungstool MODIFFUS wurde für diesen Zweck auf eine schweizweite Ebene angepasst und nach dem aktuellen Stand der Forschung überarbeitet. Es lieferte eine räumlich differenzierte Abschätzung der diffusen Nährstoffeinträge für das Basisjahr 2010. Die erarbeiteten umfangreichen Grundlagen und Ergebnisse sollen noch anderweitig genutzt und so stärker in Wert gesetzt werden.

Die zahlreichen Anpassungen des Modells MODIFFUS – bedingt durch die immer besseren digitalen Grundlagendaten und Erkenntnisgewinn – verunmöglichen einen Vergleich der Resultate mit früheren Arbeiten mit MODIFFUS (z.B. Rheineinzugsgebiet unterhalb der Seen, Kt. Bern, Kt. Zürich etc.), da nicht klar ist, ob resultierende Unterschiede in den Stoffverlusten methodisch bedingt sind oder aufgrund von Änderungen der landwirtschaftlichen Nutzung und Praxis erfolgt sind. Daher ist eine rückwirkende Berechnung mit dem gleichen Modellansatz sinnvoll. Das Jahr 2000 wurde als Berechnungsjahr ausgewählt. Einerseits liegen für 2000 alle benötigten Grundlagendaten vor bzw. lassen sich mit vertretbarem Aufwand anpassen, andererseits sind in 10 Jahren Unterschiede zu erwarten, die über den Modellunsicherheiten liegen.

Die Ergebnisse der diffusen Stoffeinträge in die Gewässer für das Jahr 2010 zeigen weiterhin, dass eine Diskrepanz bzw. Ziellücke zu den Umweltzielen Landwirtschaft (BAFU & BLW 2008) oder anderen internationalen Zielen (OSPAR, IKSr) besteht. Daher bietet es sich an, MODIFFUS für eine erweiterte Betrachtung der Nährstoffeinträge unter Berücksichtigung neuer Rahmenbedingungen zu nutzen. Verschiedene Anpassungsstrategien und Massnahmen zur Erreichung der Umweltziele werden momentan in Wissenschaft und Politik diskutiert. MODIFFUS bietet eine gute Modellierungsplattform für die Berechnung der diffusen Nährstoffeinträge unter Berücksichtigung verschiedener Umweltziele. Durch die gezielte und begründete Beeinflussung verschiedener Parameter im Modell können Anforderungen an die Landwirtschaft zur Erreichung der Umweltziele simuliert werden und deren Effekt auf einer nationalen Betrachtungsebene abgeschätzt werden (z.B. maximal 25 mg/l Nitrat im Grundwasser; Reduktion der N-Einträge aus der Landwirtschaft um 50% im Vergleich zu 1985 oder ähnliches). Hierzu wurden verschiedene Berechnungsszenarien in Absprache mit dem Auftraggeber (BAFU) und dem Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) entwickelt.

Das BAFU hat die Forschungsgruppe Gewässerschutz (FG41.2) von Agroscope zunächst damit beauftragt, verschiedene Massnahmen in unterschiedlichen Ausprägungen und Kombinationen mit MODIFFUS abzubilden, um deren Wirkung in Bezug auf die Verminderung diffuser Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer abschätzen zu können. Neben diesen durch das BAFU in Auftrag gegebenen Arbeiten hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) ergänzende Fragen zu ökonomischen und ökologischen Auswirkungen formuliert. Die Antworten dienen dazu, die Ergebnisse des BAFU-Auftrages in den Systemzusammenhang einzubetten und die Auswirkungen der dort untersuchten emissionsmindernden Massnahmen ganzheitlicher darzustellen. Zum Einsatz kam dafür das Modell SWISSland, das von der Forschungsgruppe Sozioökonomie (FG 44.1) von Agroscope entwickelt wurde. Mit dem agrarökonomischen Modell SWISSland können die Auswirkungen von Massnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge auf die Produktion, das landwirtschaftliche Einkommen, die Strukturen und

das Direktzahlungsbudget bestimmt werden. Ferner führt die Forschungsgruppe Ökobilanzierung (FG 43.2) von Agroscope anschliessend Berechnungen zum Nettoumwelteffekt im Rahmen einer Ökobilanzierung mit der Methode Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA) durch (Projekt WaProLCA). Dort werden auch die Umweltwirkungen zusätzlicher Importe einbezogen, die nötig werden zur Versorgung der Schweizer Bevölkerung bei extensiverer Flächennutzung im Inland.

Für die Verbindung der beiden Modelle SWISSland und MODIFFUS wurden Massnahmenkombinationen definiert, welche das Modell SWISSland in Richtung einer Flächennutzung mit geringeren Nährstoffeinträgen steuern. Die resultierenden Flächennutzungen und Tierbestände wurden in MODIFFUS übernommen. Ziel des Projektes war es nicht, politisch relevante Massnahmenkombinationen (Szenarien) abzubilden, sondern die Auswirkungen der Massnahmenkombinationen im Sinne des Systemverständnisses ganzheitlich zu analysieren.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Auswirkungen verschiedener Massnahmen im Bereich Landwirtschaft auf die N- und P-Einträge in die Gewässer zusammengefasst. Die Resultate der ökonomischen Analyse mit dem Modelle SWISSland sowie die Ende 2016 folgenden Resultate der Ökobilanzuntersuchungen mit der Methode SALCA erfolgen in jeweils separaten Berichten. Der Bericht zu den ökonomischen Auswirkungen liegt bereits vor (Möhring et al. 2016). Die Betrachtung und Interpretation der Ergebnisse des vorliegenden Berichtes sollte nicht losgelöst von den Ergebnissen der anderen Projekte erfolgen.

Nicht alle Massnahmen konnten mit SWISSland abgebildet werden. Daher wurden für zusätzliche Massnahmen nur die diffusen N- und P-Einträge in die Gewässer berechnet, ohne dass deren agrarökonomischen Auswirkungen oder Ökobilanzen bekannt sind.

2. Berechnungen der diffusen N- und P-Einträge in die Gewässer der Schweiz für das Jahr 2000 mit MODIFFUS 3.0

Im ersten Teil dieses Berichtes werden die N- und P-Einträge in die Gewässer der Schweiz mit MODIFFUS 3.0 mit Datensätzen von 2000 (Arealstatistik, Betriebszählungsdaten, Tierzahlen, Deposition etc.) rückwirkend schweizweit gerechnet. Damit ist eine direkte Vergleichbarkeit mit den Daten von 2010 (Hürdler et al. 2015) möglich und es können Trends aufgezeigt werden. Gleichzeitig kann die Wirksamkeit verschiedener Massnahmen, die in den letzten 10 Jahren eingeführt wurden, beurteilt werden. Dies bildet eine wichtige Grundlage für die Szenario-Berechnungen in die Zukunft in den Kapiteln 3 und 4.

2.1 Veränderte Modellgrundlagen und deren Auswirkungen auf die Berechnung der Stoffverluste

Landnutzungsänderung gemäss Arealstatistik

Die Landnutzung für die Berechnungen mit MODIFFUS für das Jahr 2010 stammen aus der Arealstatistik 2004/09, die für das Jahr 2000 aus der Arealstatistik 1992/97 (revidierte Daten). Da zwischen diesen beiden Erhebungen die Erfassungsmethode des BFS geändert wurde und die Daten von 1992/97 denen von 2004/09 angepasst wurden, können geringfügige Unterschiede auch methodisch bedingt sein (BFS 2015). Für beide Berechnungen mit MODIFFUS wurden dieselben 17 Nutzungskategorien verwendet (Tab. 1).

Bei den vier Hauptnutzungskategorien gab es folgende Veränderungen:

- Die landwirtschaftlich genutzte Fläche (inklusive alpwirtschaftlicher Nutzfläche) hat insgesamt um knapp 33'000 ha bzw. rund 2% abgenommen,
- die Siedlungsfläche hat um rund 25'000 ha bzw. 9% zugenommen,
- die unproduktive Fläche hat um rund 3'000 ha bzw. 0,3% abgenommen,
- der Wald hat um rund 12'000 ha bzw. 1% zugenommen (Tab. 2).

Tab. 1: Hauptnutzungskategorien der Landnutzung gemäss Arealstatistik für die Jahre 2000 und 2010 (Zunahmen in allen Tabellen rot dargestellt).

Landnutzung	Fläche (ha) 2000	Fläche (ha) 2010	Differenz (ha)	Veränderung (%)
landwirtschaftlich genutzte Flächen	1'514'436	1'481'669	-32'767	-2
Siedlungsflächen	275'104	300'979	25'875	9
unproduktive Flächen	1'055'974	1'052'788	-3'186	0
Waldflächen	1'281'493	1'293'017	11'524	1

Innerhalb dieser Hauptnutzungskategorien gab es unterschiedliche Entwicklungen (Tab. 2). Die grössten absoluten Zunahmen gab es bei Heimweiden (+22'000 ha), Fels, Geröll, Sand (+18'000 ha), Siedlungsgrünflächen (+16'000 ha) und Wald >1200m (+14'000 ha). Die grössten relativen Zunahmen bei den Heimweiden (+15%) und den Siedlungsgrünflächen (+11%). Die grössten absoluten Abnahmen erfolgten bei den Gletschern (-20'000 ha), beim Ackerland (-20'000 ha), Dauerwiesen (-15'000 ha) Obstbau (-10'000 ha) und bei den alpwirtschaftlichen Nutzflächen (-10'000 ha). Die grössten relativen Abnahmen gab es beim Obstbau (-25%) und bei den Gletschern (-15%).

Ackerland und Dauerwiesen wurden hauptsächlich im Mittelland in überbaute Gebiete und Siedlungsgrünflächen umgewandelt, da hier der Bevölkerungsdruck am höchsten ist und die Nachfrage nach Bauland stetig steigt. Alpwirtschaftliche Nutzflächen sind überwiegend in bestockte Flächen übergegangen, besonders an hoch gelegenen Standorten. In Folge ausbleibender Bewirtschaftung wachsen auf diesen Flächen Büsche, Sträucher und später dann Wald. Deshalb hat die Waldfläche oberhalb 1200 m zugenommen. Die Zunahme der Heimweiden resultiert aus einer vermehrten Umnutzung innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche (BTS- und RAUS-Programme). Weiterhin ist es zu einer Abnahme der unproduktiven Vegetation gekommen, die sich hauptsächlich in hoch gelegenen Gegenden zu bestockte Flächen weiterentwickelte. Die Zunahme vegetationsloser Flächen wie Fels, Geröll und Sand resultiert überwiegend aus dem deutlichen Rückgang der Gletscher (BFS 2015).

Tab. 2: Landnutzungskategorien von MODIFFUS der Arealstatistik für die Jahre 2000 und 2010.

Landnutzung	Fläche (ha) 2000	Fläche (ha) 2010	Differenz (ha)	Veränderung (%)	
Ackerland	427'022	407'069	-19'953	-5	landwirtschaftlich genutzte Fläche
Alpwirtschaftliche Nutzfläche	523'869	513'860	-10'009	-2	
Gartenbau	4'562	4'525	-37	-1	
Heimweiden	145'603	168'106	22'503	15	
Obstbau	41'101	30'740	-10'361	-25	
Rebbau	15'783	15'708	-75	0	
Dauerwiesen	356'496	341'661	-14'835	-4	
Siedlungsgrün	143'492	159'972	16'480	11	Siedlungsfläche
Siedlung überbaut	67'475	73'643	6'168	9	
Strassen ausserorts	29'324	30'891	1'567	5	
Strassen innerorts	34'813	36'473	1'660	5	
unproduktive Vegetation	300'042	297'883	-2'159	-1	unproduktive Flächen
stehende Gewässer	142'248	142'681	433	0	
fliessende Gewässer	31'255	32'378	1'123	4	
Fels, Geröll, Sand	447'859	465'584	17'725	4	
Gletscher	134'570	114'262	-20'308	-15	
Wald < 1200m	787'103	784'572	-2'531	0	Wald
Wald > 1200m	494'390	508'445	14'055	3	

Neben den Flächenanteilen, die sich wie oben beschrieben verändert haben, kann sich auch die Lage einzelner Pixel verändert haben (Flächenumlegungen). So können z.B. einzelne Ackerflächen an verschiedenen räumlichen Stellen, z.B. um ein Pixel nach rechts verschoben, im Jahr 2000 und 2010 liegen. Dies hat Auswirkungen auf die Verschneidung mit anderen Grundlegendaten (Niederschlag, Drainage, Neigung, Bodeneigenschaften, etc.), was wiederum die Berechnung der Wasser- und Stoffflüsse verändert.

Entsprechend hat sich auch die Anzahl drainierte Flächen verringert. Einzelne, 2010 als drainierte Acker- oder Graslandflächen ausgewiesene Flächen, wiesen im Jahr 2000 gemäss

Arealstatistik z.B. eine Nutzung „Siedlung“ „Gewässer“ oder „Wald“ auf. Diese Flächen wurden dann als nicht drainierte Flächen angenommen. Auf Grund dieser Annahmen ergibt sich eine verringerte Fläche von drainierten Flächen für die Berechnung des Jahres 2000 von 4'920 ha (-2,5% gegenüber 2010).

Auswirkungen auf die Berechnung der Stoffverluste

Die Arealstatistik bildet die Grundlage der Modellrechnungen in MODIFFUS und gibt die Rasterzellengrösse vor. Für jede der 17 Landnutzungskategorien werden die Stoffverluste separat mit unterschiedlichen Ansätzen und Faktoren berechnet. Änderungen der Landnutzung haben somit meistens sehr grosse Auswirkungen auf die Modellergebnisse. Im Extremfall (z.B. Umwandlung von Ackerland in überbaute Siedlungsfläche) gehen die diffusen Stoffverluste für dieses Pixel auf Null zurück (da die Stoffverluste aus überbauten Flächen in die Kläranlage gehen und somit zu den punktuellen Quellen zählen).

Wie oben schon angedeutet, führt nicht nur die Veränderung der absoluten Anteile der einzelnen Landnutzungskategorien zu veränderten Stoffverlusten, auch Änderung der räumliche Lage einzelner Pixel der gleichen Landnutzungskategorie führt zu veränderten Wasser- und Stoffflüssen, da sich dann Standortparameter ändern können (Niederschlag, Hangneigung, Bodeneigenschaften, Erosionsgefährdung etc.).

Betriebsstrukturerhebungsdaten

Gemäss den Betriebsstrukturerhebungsdaten von 2000 und 2010 des BFS (2015) hat die offene Ackerfläche um rund 20'000 ha bzw. 7% abgenommen, die Kunstwiesenfläche dagegen um knapp 16'000 ha zugenommen, so dass sich die gesamte Ackerfläche um weniger als 5'000 ha verringert hat (Tab. 3). Das Dauergrünland hat um über 20'000 ha abgenommen, die Dauerkulturen haben sich geringfügig verringert und die übrigen Kulturen haben zugenommen. Beim Vergleich mit den Daten der Arealstatistik ist zu beachten, dass sich die LN der Betriebsstrukturerhebung (ohne Sömmerung) von der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Arealstatistik (inklusive alpwirtschaftliche Nutzfläche) unterscheidet.

Tab. 3: Daten der Betriebsstrukturerhebung für die Hauptkategorien für die Jahre 2000 und 2010.

Betriebsstrukturerhebung	2000	2010	Differenz (ha)	Veränderung (%)
offene Ackerfläche	292'548	271'968	-20'580	-7
Kunstwiesen	115'490	131'401	15'910	14
Dauergrünland	633'322	612'265	-21'057	-3
Dauerkulturen	23'750	23'444	-306	-1
Übrige Kulturen	11'335	12'670	1'335	12
LN	1'076'446	1'051'747	-24'698	-2

Betrachtet man die einzelnen Ackerkulturen, gab es die grössten Abnahmen von 2000 bis 2010 bei Wintergerste, Körnermais, Winterweizen, Kartoffeln, Hafer und Futterrüben. Deutliche Zunahmen gab es bei Winterraps, Silomais und Dinkel. Bei allen anderen Kulturen sind die Veränderungen nicht so gross (Tab. 4). Beim Grasland haben die intensiven und wenig intensiven Wiesen sowie die „übrigen Weiden“ deutlich abgenommen, die extensiv genutzten Wiesen und Weiden haben dagegen deutlich zugenommen.

Tab. 4: Kulturen und Nutzungen mit den grössten Flächenveränderungen zwischen 2000 und 2010 gemäss Daten der Betriebsstrukturerhebung.

Kultur	2000	2010	Differenz (ha)	Veränderung (%)
Ackerkulturen				
Wintergerste	42'094	27'664	-14'430	-34
Körnermais	22'006	16'712	-5'295	-24
Winterweizen/Futterweizen	90'823	85'714	-5'109	-6
Kartoffeln	14'153	10'874	-3'278	-23
Hafer	5'067	1'789	-3'278	-65
Futterrüben	2'897	924	-1'973	-68
Winterraps	12'736	20'492	7'757	61
Silo- und Grünmais	40'486	46'946	6'460	16
Dinkel	1'404	4'136	2'732	195
Grasland				
Wenig intensive Wiesen	44'009	24'262	-19'747	-45
Extensiv genutzte Wiesen	42'966	62'919	19'953	46
übrige Dauerwiesen	412'815	390'229	-22'586	-5
Extensiv genutzte Weiden	12'788	22'567	9'778	76
übrige Weiden	112'018	105'630	-6'388	-6

Auswirkungen auf die Berechnung der Stoffverluste

Da die Betriebsstrukturerhebungsdaten auf Gemeindeebene erhoben werden, schlagen sich Veränderungen bei den Eingangsdaten auch immer auf Gemeindeebene nieder. Änderungen bei den Anteilen der Ackerkulturen beeinflussen die Höhe der Nitratauswaschung über die Nitratmatrix (veränderte Ausgangswerte) und die Höhe der Bodenerosion über die kulturspezifische Berechnung des C-Faktors. Das Verhältnis von offenem Ackerland zu Kunstwiese ist die Grundlage des Ackerlandintensitätsfaktors, der die Höhe der Abschwemmung beeinflusst. Das Verhältnis von intensivem zu extensivem Grasland ist im Graslandintensitätsfaktor abgebildet, der die Höhe von Auswaschung und Abschwemmung bei Grasland beeinflusst.

Die in den Tabellen 3 und 4 gezeigten Werte stellen Durchschnittswerte für die ganze Schweiz dar und zeigen nur den allgemeinen Trend. In einzelnen Gemeinden kann es zu erheblichen positiven oder negativen Abweichungen kommen. Je nach Standortbedingungen der Gemeinde (Niederschlag, Relief, Boden etc.) können sich dann unterschiedliche Auswirkungen auf die Höhe der Stoffverluste ergeben.

Hofdüngeranfall

Für die Berechnung des Hofdüngeranfalles wurden die Daten der Tierzahlen der Betriebsstrukturerhebungen 2000 und 2010 verwendet (BFS 2015). Bei den Milchkühen wurden wegen der Milchleistungssteigerung für 2010 höhere N- und P-Ausscheidungen pro Tier verwendet, ansonsten wurden die gleichen Werte nach GRUDAF für beide Perioden verwendet. Änderungen beim Anfall resultieren daher - ausser bei den Milchkühen - aus den veränderten Stückzahlen. Alle Daten wurden auf Gemeindeebene berechnet.

Tab. 5: Nährstoffanfall aus Hofdüngern nach Haupt-Tierkategorien für 2000 und 2010.

	2000 N (t)	2010 N (t)	Veränderung N (%)	2000 P (t)	2010 P (t)	Veränderung P (%)
Raufutterverzehr	109'417	111'050	1	17'064	17'394	2
Schweine	14'874	15'455	4	3'198	3'201	0
Geflügel	3'544	4'818	36	779	968	24
Total	127'835	131'323	3	21'040	21'564	2
Anfall (kg/ha dF)	128.1	135.4	6	21.1	22.2	5

dF = düngbare Fläche

Der totale N-Anfall aus Hofdüngern hat um durchschnittlich 3%, der totale P-Anfall um durchschnittlich 2% zwischen 2000 und 2010 zugenommen (Tab. 5). Eine starke Zunahme des Hofdüngeranfalls erfolgte beim Geflügel, welches aber mengenmässig nur wenig zum gesamten Nährstoffanfall beiträgt. Die düngbare Fläche hat sich bei knapp 1 Mio. ha um rund 28'000 ha bzw. 3% bis 2010 verringert. Höherer Nährstoffanfall bei kleinerer düngbarer Fläche führt zu einer Zunahme der flächenspezifischen Hofdüngeranfall von durchschnittlich 5%.

Auswirkungen auf die Berechnung der Stoffverluste

Aus dem Hofdüngeranfall pro düngbarer Fläche wird der Hofdüngereffizienzfaktor bestimmt. Dieser modifiziert die Höhe der Abschwemmung und Auswaschung. Weiterhin beeinflusst der Hofdüngeranfall den P-Testzahlfaktor, der wiederum die Höhe der P-Abschwemmung bestimmt. Die in Tabelle 5 gezeigten Werte stellen Durchschnittswerte für die ganze Schweiz dar und zeigen nur den allgemeinen Trend. In einzelnen Gemeinden kann es zu erheblichen positiven oder negativen Abweichungen kommen. Je nach Standortbedingungen der Gemeinde (Niederschlag, Relief, Boden etc.) können sich dann unterschiedliche Auswirkungen auf die Höhe der Stoffverluste ergeben.

Stickstoff- und Phosphordeposition

Für die N-Deposition wurden die Karten bzw. Daten von Meteotest von 2000 und 2007 verwendet (BAFU 2014) (zum Zeitpunkt der Berechnungen für das Jahr 2010 stand die neue N-Depositionskarte für 2010 noch nicht zur Verfügung). Danach hat die N-Deposition in der Schweiz insgesamt um 2'950 t N bzw. um 4% von 2000 bis 2007 abgenommen (Tab. 6). Regional gibt es dabei deutliche Unterschiede (siehe Abb. 1). So ist es in einzelnen Gebieten auch zu nennenswerten Zunahmen gekommen.

Für die P-Deposition standen keine entsprechenden Karten zur Verfügung. Es wurde angenommen, dass sich die P-Deposition von 2000 bis 2010 wegen verringerter Staubemissionen aus Industrie (Filteranlagen) und Landwirtschaft (Bodenerosion) um 9% verringert hat.

Tab. 6: N-Deposition in der Schweiz 2000 und 2007.

Deposition	2000	2007	Differenz	Veränderung (%)
Mittelwert (kg/ha N)	18.6	17.9	-0.7	-3.9
Summe (t N)	76'358	73'407	-2951	-3.9

Auswirkungen auf die Berechnung der Stoffverluste

Die N- und P-Deposition wirkt sich einerseits direkt auf die entsprechenden Einträge auf Oberflächengewässer aus. Andererseits treten Auswirkungen auf die Höhe der Stoffkonzentrationen im Oberflächenabfluss und damit bei der Abschwemmung sämtlicher Flächen (also auch unproduktiver Flächen wie Gletscher und Fels) auf. Bei Wald und unproduktiver Vegetation wurde zudem eine erhöhte N-Auswaschung für 2000 wegen der höheren N-Deposition angenommen.

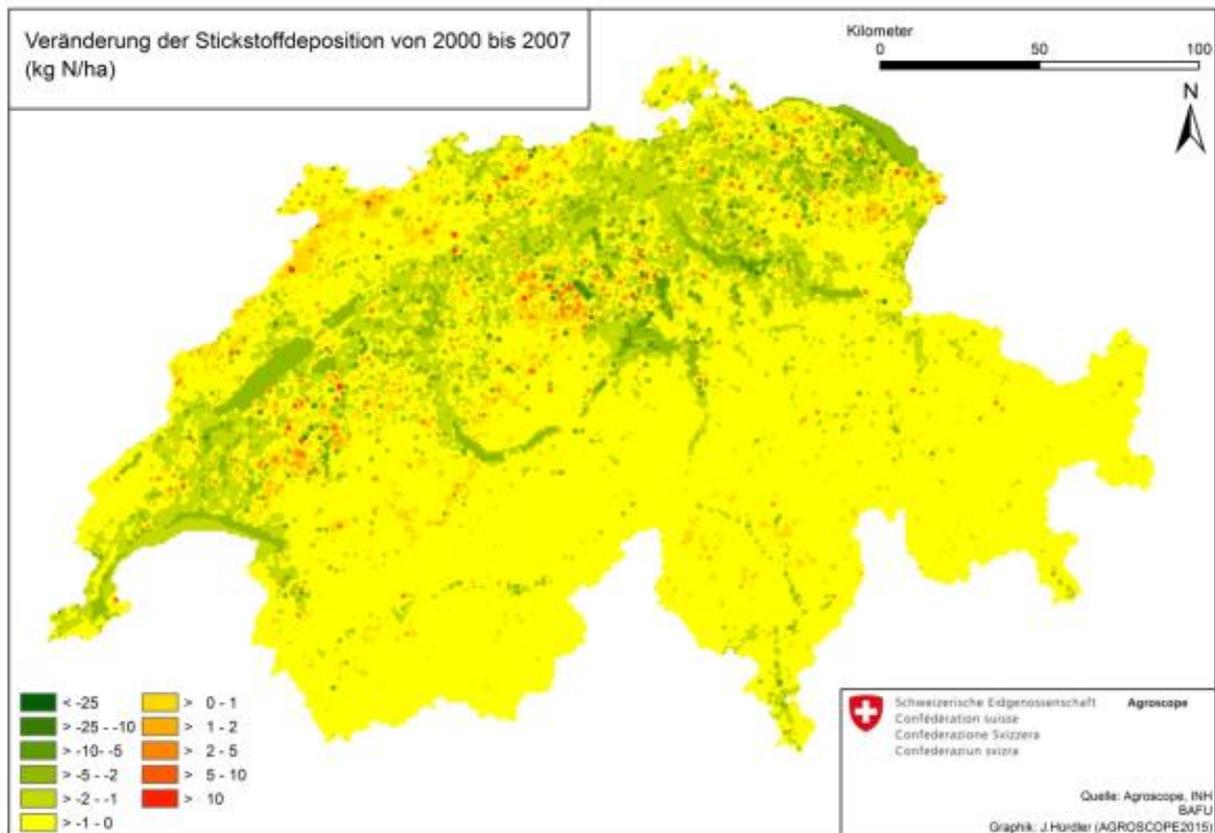


Abb. 1: Veränderung der N-Deposition zwischen 2000 und 2007 (grün/gelb = Abnahme, rot/orange = Zunahme).

Veränderungen bei der Bodenbearbeitung und der P-Gehalte des Bodens

Die Direktsaatfläche der Schweiz hat sich gemäss Angaben von SWISS NOTILL von rund 8'000 ha im Jahr 2000 auf rund 16'000 ha im Jahr 2010 verdoppelt. Die Fläche mit pflugloser Bodenbearbeitung bzw. Mulchsaat (ohne Direktsaat) hat sich ebenfalls von rund 60'000 ha im Jahr 2000 auf rund 120'000 ha im Jahr 2010 verdoppelt (BASCH et al. 2008; STREIT mündliche Mitteilung). Während 2010 also rund 33% der Ackerfläche konservierend bearbeitet wurden, waren es im Jahr 2000 nur rund 17%.

Nach Untersuchungen von PRASUHN (2012) ist bei konservierender Bodenbearbeitung mit einer massiven Erosionsverminderung zu rechnen. Bei Direktsaat und Mulchsaat mit >30% Bodenbedeckung beträgt diese rund 90%, bei pflugloser Bodenbearbeitung mit geringerer Bodenbedeckung ist sie niedriger. Für die vorliegende Berechnung wurde pauschal eine Erosionsminderung von 80% für alle Flächen mit konservierender Bodenbearbeitung angenommen. Da die Lage der Flächen mit konservierender Bodenbearbeitung nicht bekannt ist, wurde

diese Reduktion auf alle Ackerflächen umgelegt. Entsprechend war die Erosion im Jahr 2000 19% höher als im Jahr 2010.

Da die Bodenbearbeitung bei der Berechnung der Bodenerosion über die C-Faktoren einfließt, wurde der C-Faktor pauschal um 19% erhöht. Über die Daten der Kulturartenverteilung pro Gemeinde aus der Betriebszählung aus dem Jahr 2000 wurden entsprechend neue mittlere C-Faktoren errechnet.

Über die Entwicklung der P-Gehalte des erodierten Bodens gibt es keine Angaben. Da die nationale P-Bilanz nach 2000 weiterhin P-Überschüsse zeigt (SPIESS 2011), wurde angenommen, dass sich Phosphor im Oberboden von Ackerflächen weiterhin angereichert hat. Entsprechend wurden die P-Gehalte des Bodens für das Jahr 2000 um 2% geringer angenommen als für das Jahr 2010. Damit verringert sich der P-Eintrag über Bodenerosion um 2% für das Jahr 2000 gegenüber 2010.

Unveränderte Eingangsdaten:

Für die Berechnungen mit MODIFFUS 3.0 für die Jahre 2000 und 2010 wurden die gleichen klimatischen Eingangsdaten verwendet. Ziel des Vergleiches war es nicht, mögliche Auswirkungen des Klimawandels aufzuzeigen. Dazu wäre der Zeitraum von 10 Jahren zu kurzfristig.

- Somit bildet für beide Jahre der mittlere Niederschlag der Periode 1999-2009 die Grundlage.
- Ebenso wurde die mittlere nutzungsspezifische Evaporation für die Periode 1999-2009 für beide Jahre genutzt.
- Die Annahmen zur nutzungsspezifischen Aufteilung der Wasserflüsse in Oberflächenabfluss, Drainageabfluss und Sickerwasser wurde beibehalten.
- Die Anzahl und Lage der drainierten Flächen wurde beibehalten. Nur wenn Flächen, die 2010 als drainiert klassiert wurden, im Jahr 2000 eine nicht landwirtschaftliche Nutzung aufwiesen, wurden diese als nicht drainiert behandelt.
- Die aufgrund von Bodendaten vorgenommene Bewertung der Abschwemmungs- und Auswaschungsgefährdung wurde beibehalten.
- Es wurde dieselbe Erosionsgefährdungs- und Gewässeranschlusskarte verwendet.
- Sämtliche Berechnungsformeln für die Wasser- und Stoffflüsse wurden beibehalten. Haben sich Landnutzung gemäss Arealstatistik oder Eingangsdaten für ein Pixel verändert, kommen die entsprechenden Berechnungsansätze für die neue Landnutzung zum Tragen.

2.2 Resultate 2000 und Vergleich mit Resultaten von 2010

Die Abbildungen 2, 4 und 6 zeigen die Karten der berechneten diffusen N- und P-Einträgen in die Gewässer der Schweiz für das Jahr 2000. Auf den ersten Blick ergeben sich keine grossen Unterschiede zu den Karten aus dem Jahr 2010 (Hürdler et al. 2015). Daher erfolgt nachfolgend eine detaillierte Analyse.

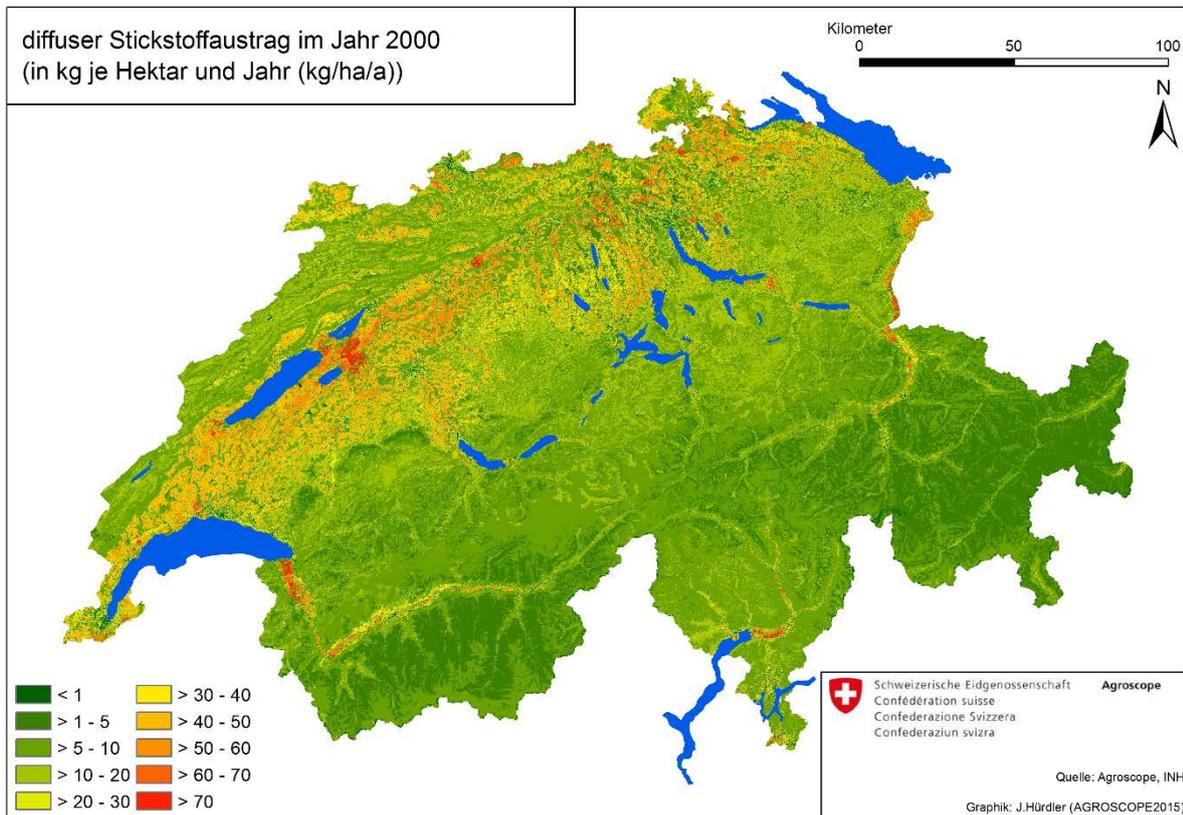


Abb. 2: Diffuse N-Einträge in die Gewässer der Schweiz für das Jahr 2000.

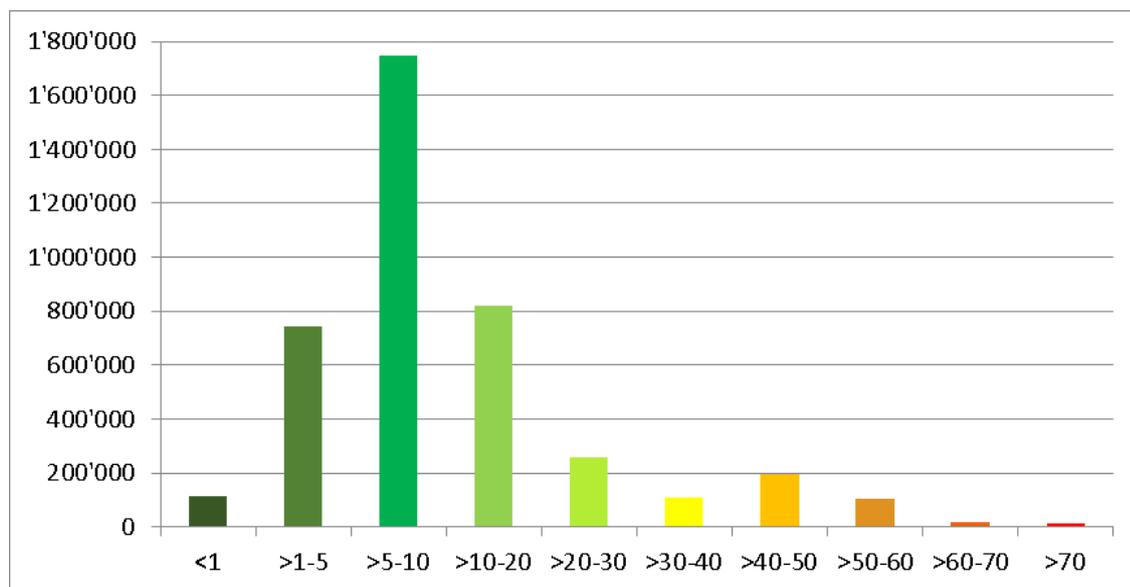


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung (ha) der in Abb. 2 dargestellten diffusen N-Einträge (kg N/ha).

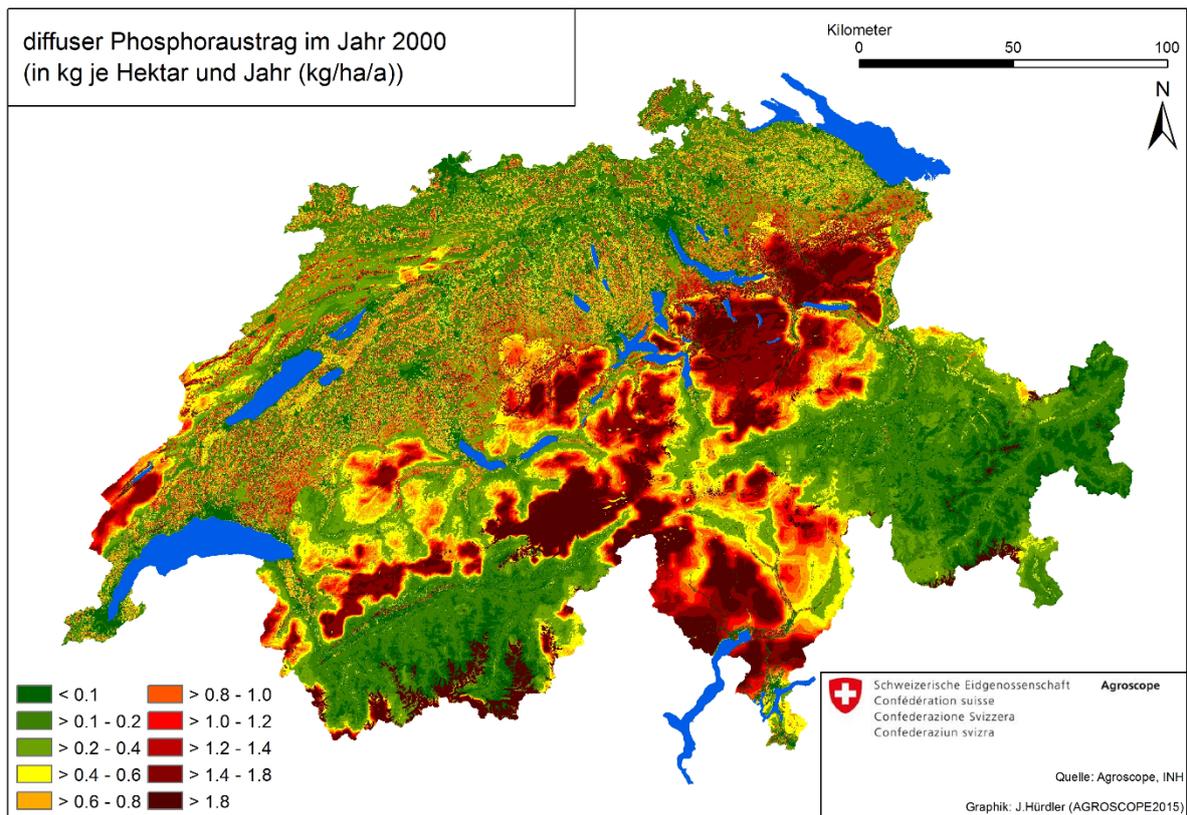


Abb. 4: Diffuse Gesamt-P-Einträge in die Gewässer der Schweiz für das Jahr 2000.

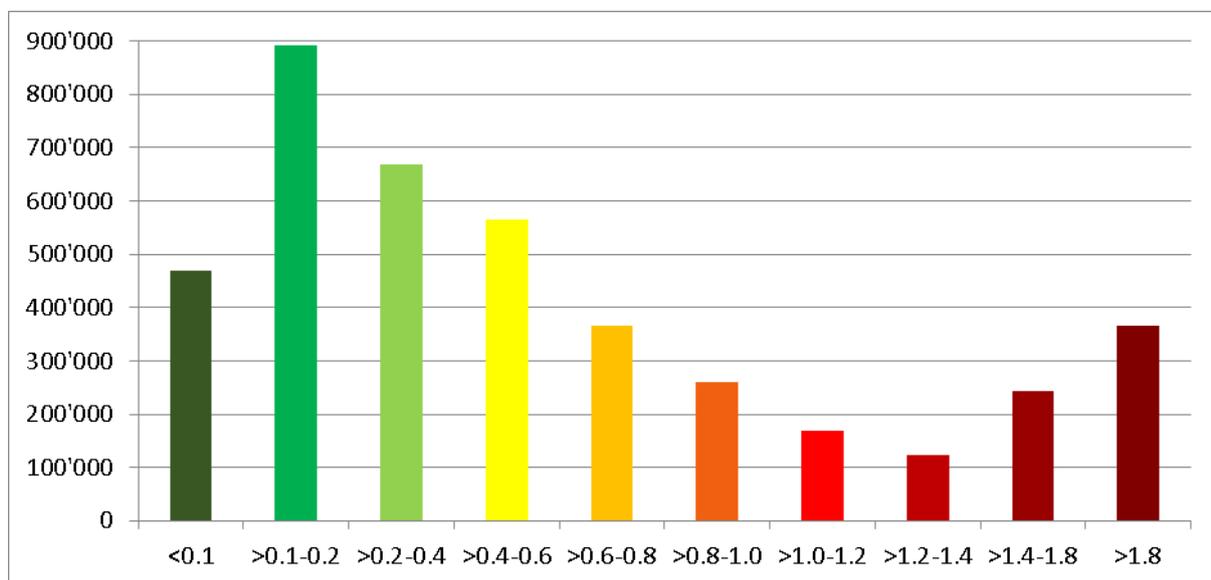


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung (ha) der in Abb. 4 dargestellten diffusen Gesamt-P-Einträge (kg P/ha).

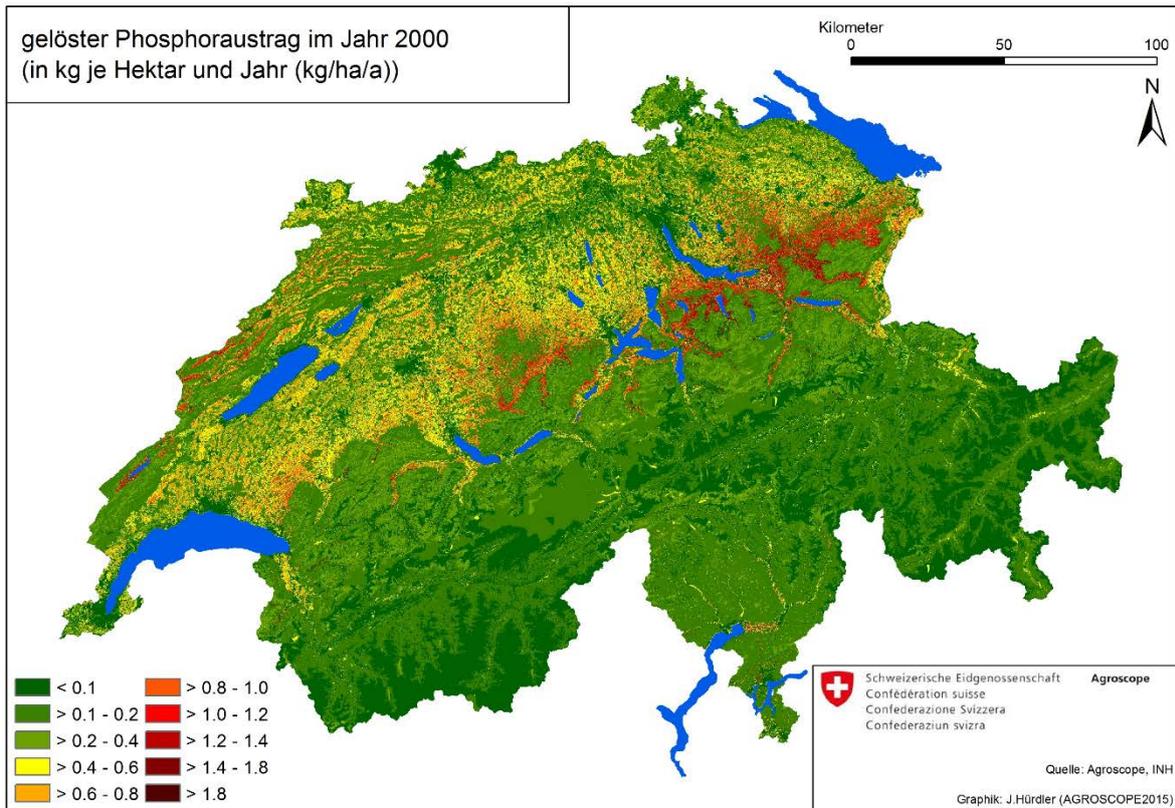


Abb. 6: Diffuse gelöste P-Einträge in die Gewässer der Schweiz für das Jahr 2000.

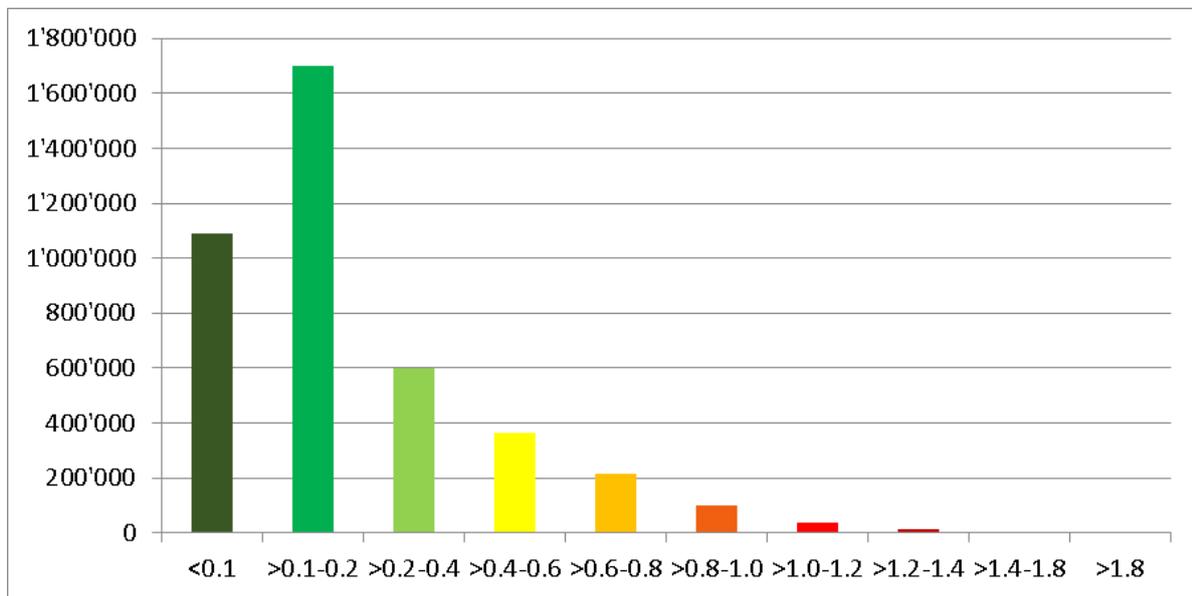


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung (ha) der in Abb. 6 dargestellten diffusen gelösten P-Einträge (kg P/ha).

Die mit MODIFFUS 3.0 berechneten diffusen Stickstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz betragen im Jahr 2000 **53'342 t N**. Im Vergleich zu 2010 (Hürdler et al. 2015) ergibt sich daraus für das Jahr 2010 eine **Abnahme von 1'850 t N bzw. 3,5%** (Abb. 8). Der überwiegende Teil dieser Reduktion resultiert aus einer verringerten Auswaschung. Weiterhin hat die Deposition auf Gewässer deutlich abgenommen. Bei allen Eintragspfaden ist es zu einer Reduktion der N-Einträge gekommen (Tab. 7).

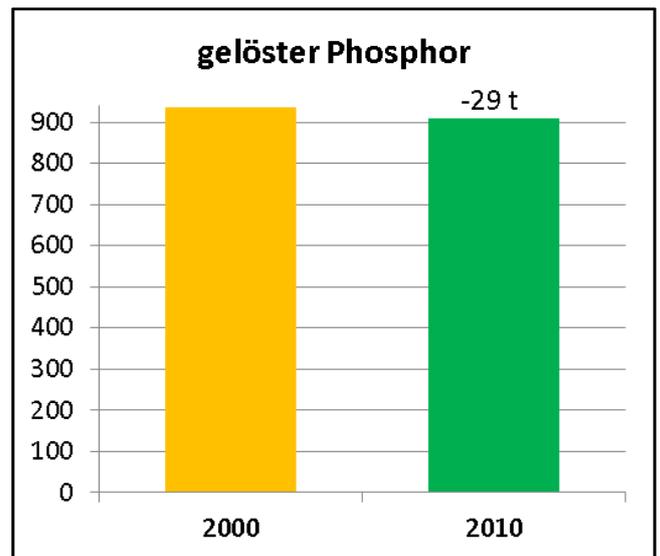
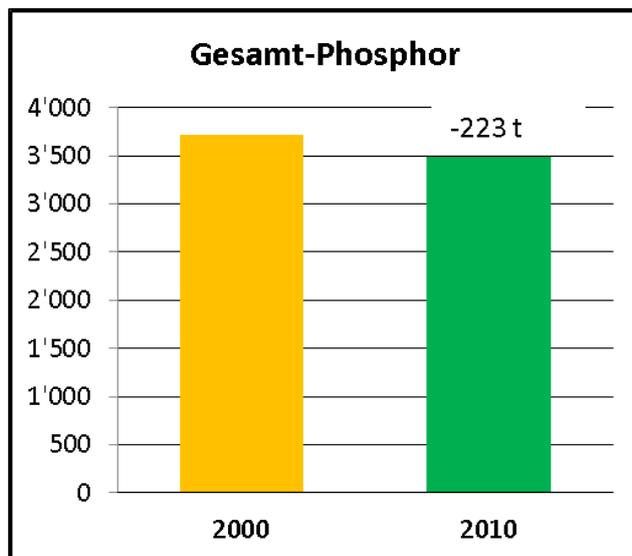
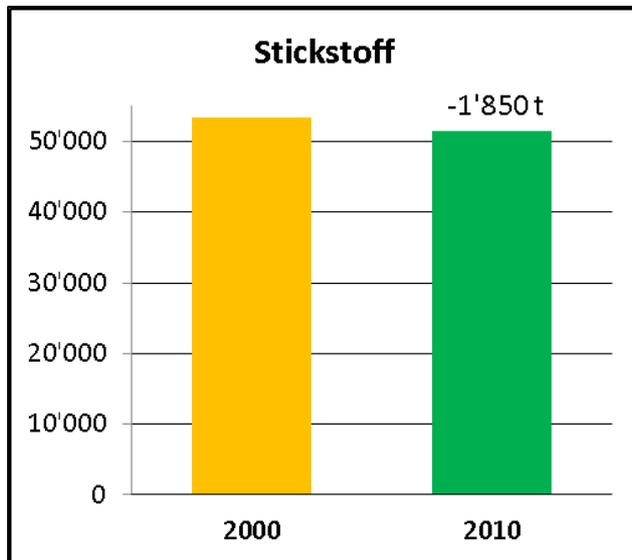


Abb. 8: Veränderungen der diffusen Stoffeinträge in die Gewässer im Jahr 2010 gegenüber dem Jahr 2000 in Tonnen.

Tab. 7: Veränderungen der diffusen Stoffeinträge in die Gewässer im Jahr 2010 gegenüber dem Jahr 2000 in Tonnen, aufgeschlüsselt nach Eintragspfaden.

Stickstoff	2000	2010	Differenz 2010-2000	Veränderung
Pfade	(t N)	(t N)	(t N)	(%)
Abschwemmung	1'284	1'235	-49	-3.8
vegetationslose Flächen	3'762	3'581	-181	-4.8
Auswaschung	41'854	40'708	-1'146	-2.7
Erosion LN	194	182	-12	-6.1
sonstige Erosion	2'482	2'431	-51	-2.0
Deposition Gewässer	3'050	2'635	-415	-13.6
landw. Direkteinträge	716	720	4	0.5
Total Stickstoff	53'342	51'492	-1'850	-3.5
Phosphor	2000	2010	Differenz 2010-2000	Veränderung
Pfade	(t P)	(t P)	(t P)	(%)
Abschwemmung	452	428	-24	-5.4
vegetationslose Flächen	45	40	-5	-10.9
Auswaschung	293	292	0	-0.1
Erosion LN	193	185	-7	-3.8
sonstige Erosion	2'582	2'395	-187	-7.3
Deposition Gewässer	68	69	0	0.7
landw. Direkteinträge	79	80	0	0.6
Total Gesamt-Phosphor	3'713	3'489	-223	-6.0
Total gelöster Phosphor	938	909	-29	-3.1

Die mit MODIFFUS 3.0 berechneten diffusen Gesamt-Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz betragen im Jahr 2000 **3'713 t P**. Im Vergleich mit den Berechnungen für das Jahr 2010 (Hürdler et al. 2015) ergibt sich daraus für das Jahr 2010 eine **Abnahme von 223 t P bzw. 6,0%** (Abb. 8). Der überwiegende Teil dieser Reduktion resultiert aus einer verringerten „sonstigen Erosion“ (Tab. 7). Diese beruht vor allem auf dem Rückgang der vergletscherten Fläche und der daraus resultierenden geringeren partikulären P-Austräge. Die gelösten P-Einträge betragen 2000 **938 t P**. Sie haben bis 2010 um **29 t P bzw. 3,1%** abgenommen. Bei den meisten Eintragspfaden ist es zu einer Reduktion der P-Einträge gekommen. Nur die Deposition auf Gewässer und die „sonstigen Direkteinträge“ haben minimal zugenommen (vor allem wegen Veränderungen bei der Gewässerfläche und der Waldfläche (Laub- und Streueintrag)).

Tab. 8: Veränderungen der diffusen Stoffeinträge in die Gewässer im Jahr 2010 gegenüber dem Jahr 2000 in Tonnen, aufgeschlüsselt nach Eintragsquellen.

Eintragsquelle	2000	2010	Differenz 2010-2000	Veränderung
Stickstoff	(t N)	(t N)	(t N)	(%)
Ackerland	20'059	19'449	-611	-3.0
Dauerwiesen	4'462	4'044	-418	-9.4
Heimweiden	3'153	3'664	512	16.2
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	4'294	3'964	-330	-7.7
Obstbau, Gartenbau, Rebbau	1'220	1'087	-133	-10.9
Wald	7'850	7'356	-495	-6.3
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	4'210	3'983	-227	-5.4
unproduktive Vegetation	1'328	1'221	-106	-8.0
Gewässer	3'062	2'653	-410	-13.4
Siedlungsflächen	3'698	4'072	373	10.1
Eintragsquelle	2000	2010	Differenz 2010-2000	Veränderung
Phosphor	(t P)	(t P)	(t P)	(%)
Ackerland	395	364	-31	-7.8
Dauerwiesen	265	255	-11	-4.0
Heimweiden	129	142	13	9.9
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	367	355	-12	-3.3
Obstbau, Gartenbau, Rebbau	53	55	2	2.9
Wald	579	588	8	1.4
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	1'637	1'447	-190	-11.6
unproduktive Vegetation	181	177	-3	-1.9
Gewässer	78	79	1	1.0
Siedlungsflächen	26	27	2	6.4

Bei den N-Einträgen nach Eintragsquellen zeigen die Heimweiden und die Siedlungsflächen eine Zunahme, bedingt durch deren grosse Flächenzunahmen. Bei allen anderen Quellen haben die N-Einträge seit 2000 abgenommen. Betrachtet man nur die landwirtschaftlich genutzte Fläche (ohne alpwirtschaftliche Nutzflächen) ergibt sich eine Reduktion von 650 t N bzw. 2,3% (Tab. 8). Bei den flächenspezifischen N-Einträgen zeigen Ackerland, Heimweiden und Obst- und Rebbau eine leichte Zunahme der N-Einträge, bei Dauerwiesen und allen nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen ist es zu einer Abnahme der mittleren N-Einträge gekommen. Die verminderte N-Deposition hat diese Abnahmen vor allem bewirkt.

Bei den P-Einträgen nach Eintragsquellen zeigen ebenfalls die Heimweiden und die Siedlungsflächen eine Zunahme, weiterhin aber auch Obst- und Rebbau, Wald, Gewässer und Siedlungsflächen. Nur beim Ackerland, Dauerwiesen, der alpwirtschaftlichen Nutzfläche und bei Geröll, Sand, Fels und Gletscher haben die P-Einträge seit 2000 abgenommen. Änderungen bei den Flächenanteilen der jeweiligen Landnutzungskategorien sowie Änderungen beim Hofdüngeranfall, der P-Deposition und der P-Gehalte der Böden spielen hier eine Rolle. Betrachtet man nur die landwirtschaftlich genutzten Flächen (ohne alpwirtschaftliche Nutzflächen) ergibt sich eine Reduktion von 27 t P bzw. 3,2% (Tab. 9). Auch bei den flächenspezifischen P-Einträgen ist es teils zu Zu-, teils zu Abnahmen gekommen (Tab. 10).

Tab. 9: Veränderungen der diffusen Stoffeinträge für die landwirtschaftlich genutzte Fläche (ohne alpwirtschaftliche Nutzfläche) im Jahr 2010 gegenüber dem Jahr 2000 in Tonnen.

LN	2000	2010	Differenz 2010-2000	Veränderung
Stickstoff	(t N)	(t N)	(t N)	(%)
Total	28'894	28'244	-650	-2.3
Phosphor	(t P)	(t P)	(t P)	(%)
Total	843	816	-27	-3.2

Tab. 10: Veränderungen der flächenspezifischen diffusen Stoffeinträge in die Gewässer im Jahr 2010 gegenüber dem Jahr 2000 in Tonnen, aufgeschlüsselt nach Eintragsquellen.

Eintragsquelle	2000	2010	Differenz 2010-2000	Veränderung
Stickstoff	(kg/ha N)	(kg/ha N)	(kg/ha N)	(%)
Ackerland	47.0	47.8	0.8	1.7
Dauerwiesen	12.5	11.8	-0.7	-5.4
Heimweiden	21.7	21.8	0.1	0.7
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	8.2	7.7	-0.5	-5.9
Obst-, Garten-, Rebbau	19.9	21.3	1.5	7.4
Wald	6.1	5.7	-0.4	-7.2
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	7.2	6.9	-0.4	-5.0
unproduktive Vegetation	4.4	4.1	-0.3	-7.4
Gewässer	17.7	15.2	-2.5	-14.2
Siedlungsflächen	21.4	21.3	-0.1	-0.3
Total	12.9	12.5	-0.5	-3.5
Eintragsquelle	2000	2010	Differenz 2010-2000	Veränderung
Phosphor	(kg/ha P)	(kg/ha P)	(kg/ha P)	(%)
Ackerland	0.93	0.90	-0.03	-3.3
Dauerwiesen	0.74	0.75	0.00	0.1
Heimweiden	0.89	0.85	-0.04	-4.8
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	0.70	0.69	-0.01	-1.4
Obst-, Garten-, Rebbau	0.86	1.07	0.21	24.1
Wald	0.45	0.45	0.00	0.5
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	2.81	2.50	-0.32	-11.2
unproduktive Vegetation	0.60	0.60	-0.01	-1.3
Gewässer	0.45	0.45	0.00	0.1
Siedlungsflächen	0.15	0.14	-0.01	-3.7
Total	0.90	0.85	-0.05	-6.0

Die Differenzkarten der Stoffeinträge pro Hektare von 2010 minus 2000 (Abb. 9, 11 und 13) zeigen deutlich, dass es neben der oben beschriebenen gesamthaften Abnahme der Stoffverluste deutliche regionale Unterschiede gibt und dass es nicht überall Abnahmen, sondern teilweise auch Zunahmen gab. Diese Unterschiede resultieren aus den verschiedenen Eingangsdaten (siehe Kapitel 2.1) und können entweder einzelne Pixel, einzelne Landnutzungen oder aber auch ganze Gemeinden treffen, je nach Auflösung der verwendeten Eingangsdaten. Eine statistische Auswertung der Karten zeigen die Abbildungen 10, 12 und 14.

Beim Stickstoff haben 90% der Flächen eine Abnahme, 10% eine Zunahme. Nur 2% der Fläche (knapp 85'000 ha) haben eine Abnahme >5 kg/ha (dunkelgrün in der Karte), sie bewirken aber eine Reduktion der Fracht von 1'350 t N. 64% der Fläche hat eine Abnahme von 0,25-5 kg/ha (hellgrün in der Karte). Sie führen zu einer Reduktion der Fracht von 1'800 t N. Die Flächen mit keiner oder nur minimaler Zu- oder Abnahme (hellgrau und dunkelgrau in der Karte) belaufen sich auf 23% der Fläche, haben für die N-Fracht aber keine Bedeutung. Knapp 6% der Fläche weisen eine Zunahme von 0,25-5 kg/ha auf (orange in der Karte), bei 414 t N-Fracht. 1,9% der Fläche hat eine Zunahme >5 kg/ha (rot in der Karte). Die Fracht dieser Flächen beträgt 1'050 t N. Die Flächen mit den grössten Veränderungen liegen im Mittelland und in den grossen Flusstälern und betreffen überwiegend Ackerflächen. Die vielen Flächen mit leichter Abnahme resultieren aus der verminderten N-Auswaschung sämtlicher Flächennutzungen aufgrund verringerter N-Deposition.

Beim Gesamt-Phosphor zeigt sich ein etwas anderes Bild. Zwar gibt es auch hier bei 84% der Flächen eine Abnahme und bei nur 16% eine Zunahme, aber bei 70% der Fläche sind die Veränderungen nur minimal und hatte keine Auswirkungen auf die P-Frachten. Die jeweils höchste Klasse bei den Zunahmen und Abnahmen prägen die Stofffrachten (Abb. 11). Nur 3% der Fläche (127'000 ha) haben eine Abnahme $>0,2$ kg/ha (dunkelgrün in der Karte), sie bewirken aber eine Reduktion der Fracht von 274 t P. 21% der Fläche hat eine Abnahme von 0,01-0,25 kg/ha (hellgrün in der Karte). Sie führen zu einer Reduktion der Fracht von nur 23 t P. Knapp 4% der Fläche weisen eine Zunahme von 0,01-0,25 kg/ha auf (orange in der Karte), bei einer Fracht von 12 t P. 2% der Fläche (89'000 ha) hat eine Zunahme $>0,2$ kg/ha (rot in der Karte). Die Fracht dieser Flächen beträgt 77 t P. Veränderungen bei der P-Deposition spielen eine untergeordnete Rolle, dafür haben Abschwemmung und Bodenerosion eine grosse Bedeutung auf verschiedenste Landnutzungen.

Beim gelösten Phosphor fallen die Veränderungen durch Bodenerosion von Ackerflächen und im Rebbau weg. Dadurch erhöht sich der Flächenanteil mit geringen Auswirkungen auf die P-Fracht auf fast 75%. Der Anteil an Flächen mit einer Abnahme $>0,2$ kg P/ha reduziert sich auf 1% bzw. 30'000 ha, der Anteil an Flächen mit einer Zunahme von $>0,2$ kg P/ha verringert sich auf 0,3% bzw. rund 12'000 ha.



Abb. 9: Veränderung der N-Einträge zwischen 2000 und 2010 (grün = Abnahme 2010, rot = Zunahme 2010).

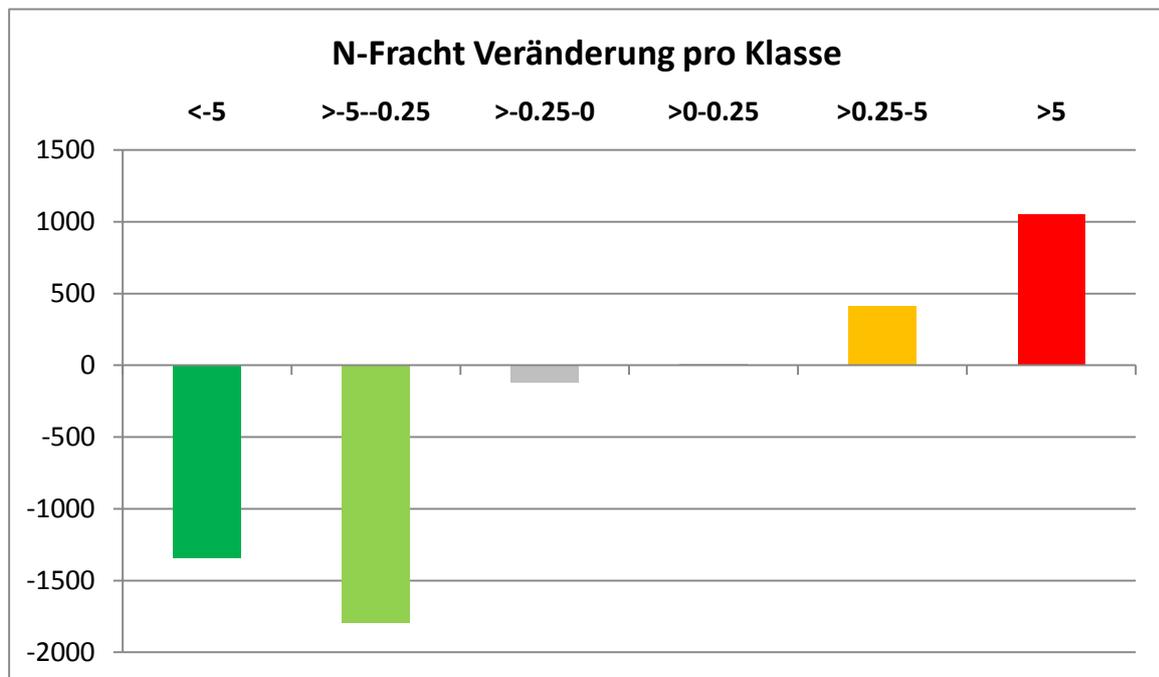


Abb. 10: Aufsummierte Zu- und Abnahmen der Stickstofffrachten (in Tonnen) der Flächen, die in Abb. 9 in verschiedenen Klassen (in kg/ha) und Farben dargestellt sind.

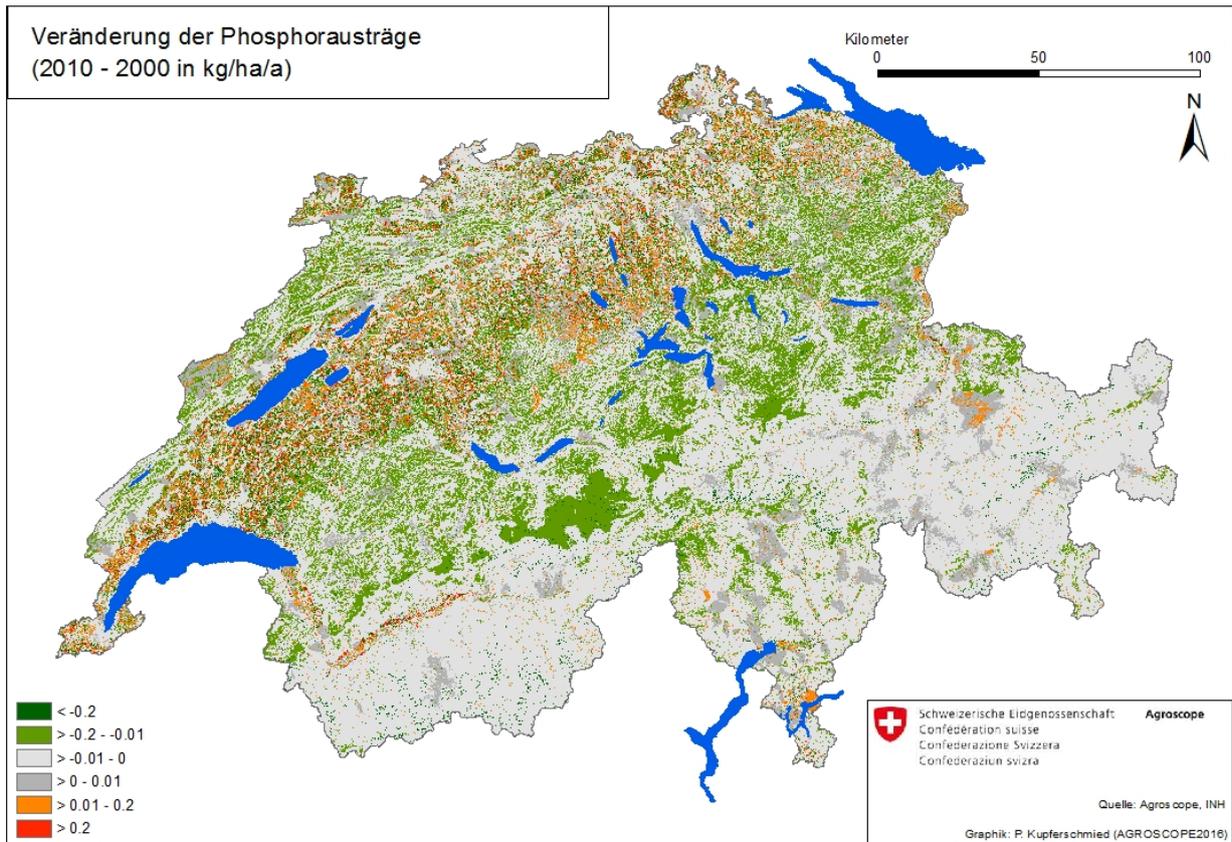


Abb. 11: Veränderung der Gesamt-P-Einträge zwischen 2000 und 2010 (grün = Abnahme 2010, rot = Zunahme 2010).

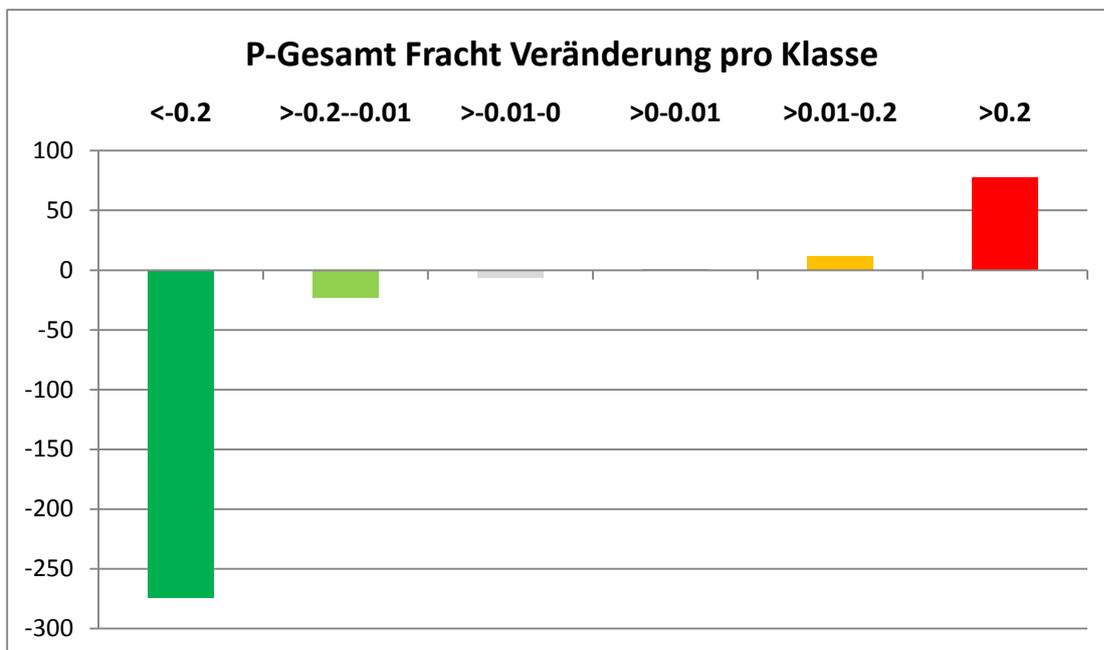


Abb. 12: Aufsummierte Zu- und Abnahmen der Gesamt-Phosphorfrachten (in Tonnen) der Flächen, die in Abb. 11 in verschiedenen Klassen (in kg/ha) und Farben dargestellt sind.

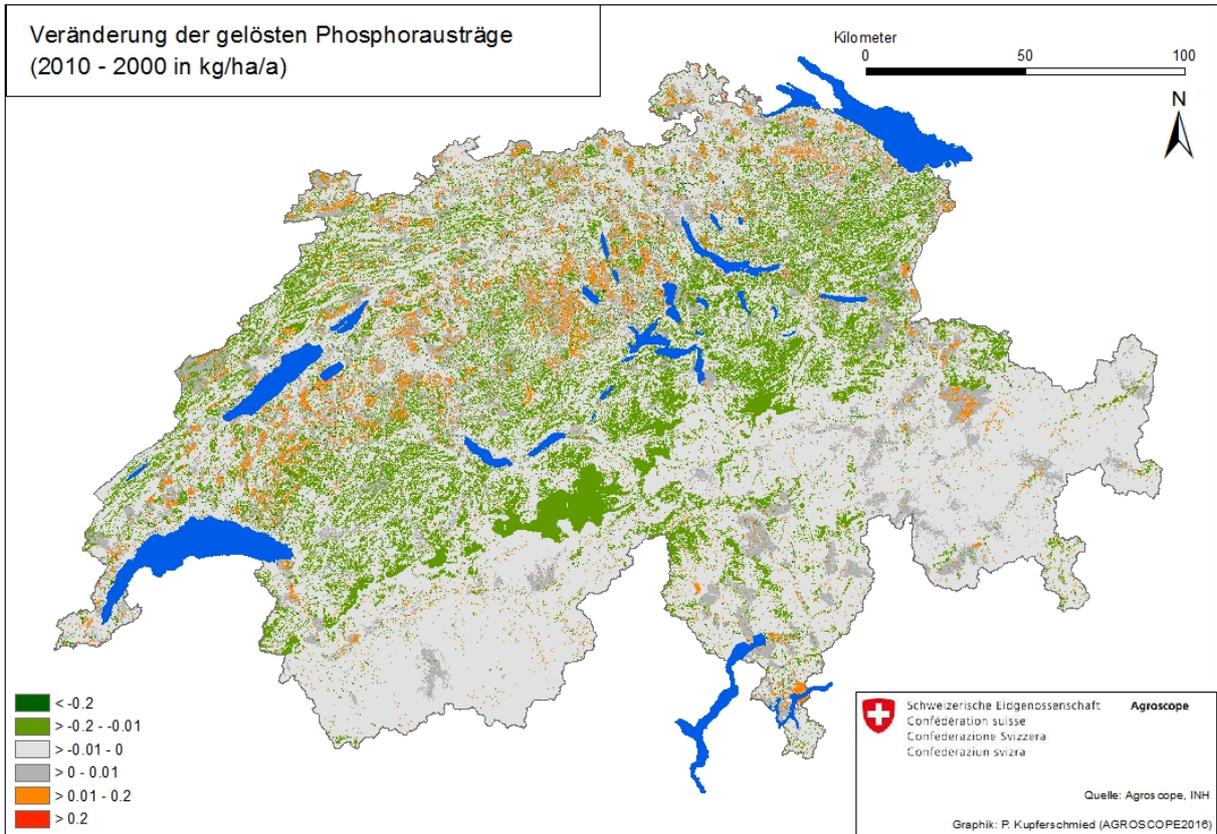


Abb. 13: Veränderung der gelösten P-Einträge zwischen 2000 und 2010 (grün = Abnahme 2010, rot = Zunahme 2010).

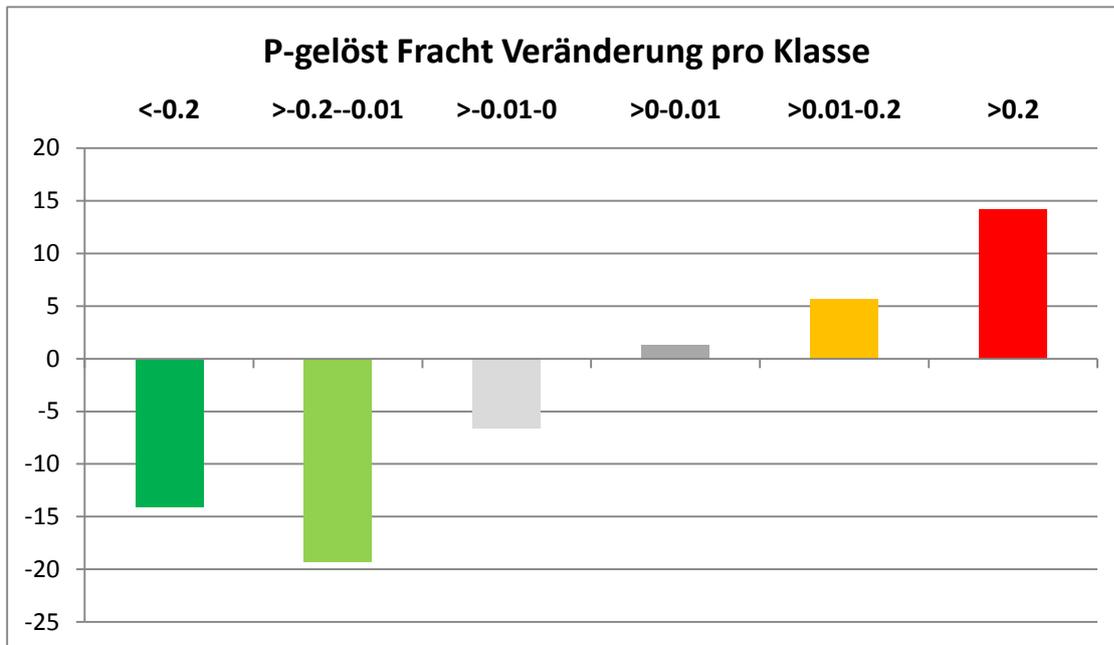


Abb. 14: Aufsummierte Zu- und Abnahmen der gelöste Phosphorfrachten (in Tonnen) der Flächen, die in Abb. 13 in verschiedenen Klassen (in kg/ha) und Farben dargestellt sind.

3. Berechnungen der Szenarien REF, EXT, ZOLL und GRAS mit MODIFFUS 3.0 für die Jahre 2020 und 2025

In diesem Kapitel werden die vier Szenarien REF, EXT, ZOLL und GRAS vorgestellt. Für sie wurden für den Zeitraum 2010 bis 2025 neben den Stoffflussberechnungen mit MODIFFUS auch ökonomische Auswirkungen mit dem Modell SWISSland und Ökobilanzen mit der Methode SALCA gerechnet (siehe separate Berichte).

3.1 Die Szenarien REF, EXT, ZOLL, GRAS

3.1.1 Charakterisierung der Szenarien

Insgesamt wurden vier Massnahmenkombinationen im Zeitraum von 2010 bis 2025 verglichen. Für deren Formulierung wurden verschiedene politische Instrumente betrachtet und unterschiedlich starke Eingriffe definiert (Tab. 11).

Tab. 11: Charakterisierung der vier Szenarien.

	REF	EXT	ZOLL	GRAS
Massnahme	Status Quo	Erhöhung Direktzahlungsbeiträge für extensive Nutzungen	Zollerhöhung für Futtermittel und Zollsenkung für intensive Ackerkulturen	Umwandlung von Acker in Grünland / Aufstockungsverbot für Tierbestände
Ziel	Basis-Szenario	Verminderung der Nährstoffbelastung der Gewässer durch Extensivierung von Futter- und Ackerbau	Verminderung der Nährstoffbelastung der Gewässer durch verstärkten Anbau von auswaschungärmeren Kulturen	Verminderung der Nährstoffbelastung der Gewässer durch Umwandlung von Ackerland in Grünland sowie Vermeidung einer Erhöhung der N-Deposition aufgrund eines grösseren Tierbestandes
Beginn	ab 2014	ab 2018	ab 2018	ab 2018
Umfang	-	jährlich 10%	jährlich 10%	jährlich 5%

Das Szenario REF bildet das Basisszenario und stellt die Fortschreibung der AP14-17 dar. Beim Szenario EXT wurden die Direktzahlungsbeiträge für extensive Nutzungen ab 2018 jährlich um 10% erhöht. Damit soll eine Steigerung der Extensivierung von Futter- und Ackerbau erzielt werden. Beim Szenario ZOLL erfolgte bei den Futtermitteln eine Schwellenpreiserhöhung um jährlich 10% von 2018 bis 2025. Weiterhin erfolgte eine Zollsenkung des Kontingentszollansatzes für Kartoffeln und gleichzeitig eine Importpreissenkung für Kartoffeln um jeweils jährlich 10%. Bei Gemüse wurde der Produzentenpreis jährlich um 10% gesenkt. Für Zucker wurde eine jährliche 10%ige Senkung des obligatorischen Zolls für das Zuckerpflichtlager eingesetzt. Mit dem Szenario ZOLL soll der Anbau besonders auswaschungs- und/oder erosionsgefährdeter Kulturen im Modell verringert werden. Im Szenario GRAS sollen

jährlich ab 2018 5% der Ackerfläche in Grasland (oder eine nicht landwirtschaftliche Nutzung) überführt werden, da von Ackerflächen im Mittel die grössten Stoffverluste ausgehen. Gleichzeitig besteht ein Aufstockungsverbot für Tierbestände, um nicht andere Verlustpfade (Abschwemmung, Ammoniakverflüchtigung) zu erhöhen.

Für alle vier Szenarien wurde das aktuell gültige Direktzahlungssystem AP 14-17 modelliert. Es wurden die Direktzahlungssätze angenommen, die im Jahr 2014 gelten (Versorgungssicherheitsbeiträge, Kulturlandschaftsbeiträge, Biodiversitätsbeiträge der Qualitätsstufe 1, Produktionssystembeiträge (Bio, Extenso sowie BTS- und RAUS) sowie die Übergangsbeiträge). Nicht in SWISSland abgebildet sind die projektbezogenen Landschaftsqualitätsbeiträge, ein Teil der Biodiversitätsbeiträge (Qualitätsstufe 2 und Vernetzung), die Beiträge für graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion sowie die Ressourceneffizienzbeiträge. Die im SWISSland-Angebotsmodul verwendeten Produzentenpreise (nominal) basieren auf den in der Buchhaltung erhobenen betriebsindividuellen Preisen. Die Futterbilanzen sind „basisjahr-basiert“ und anhand des Trockensubstanzgehalts (TS) modelliert. Die Nachfrage nach Futtermitteln ist in SWISSland durch den Tierbestand und das inländische Angebot an Futtermitteln determiniert. Es wurde angenommen, dass die Nährstoffreduktion im Grundfutter durch die zunehmende Extensivierung dazu führt, dass jährliche Milchleistungssteigerungen bei den Szenarien EXT, ZOLL und GRAS nicht mehr realisiert werden können. Den Strukturwandel modelliert SWISSland mittels eines Zupachtalgorithmus, der die parzellenweise Zuteilung von Flächen hofaufgebender Betriebe auf die verbleibenden Betriebe ermöglicht, die in unmittelbarer Nähe wirtschaften (Plot-by-Plot Bieterverfahren). Es wurde sichergestellt, dass die in der Vergangenheit beobachteten Strukturwandelraten hinreichend gut in die Zukunft fortgeschrieben werden können (für weitere Informationen siehe Möhring et al. 2016).

3.1.2 Ergebnisse SWISSland – Flächennutzung und Tierzahlen

Die mit SWISSland berechnete Entwicklung der landwirtschaftlich genutzten Flächen zeigt für alle Szenarien einen Rückgang (Möhring et al. 2016). In den Szenarien REF, EXT und ZOLL sinkt die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) im Zeitraum vom Basisjahr 2010 bis 2025 um ca. 1 bis 2% bzw. rund 10'000 bis 20'000 ha. Im Szenario GRAS25 nimmt die LN dagegen mit über 90'000 ha deutlich stärker ab. Die Umwandlung von Ackerland in Grasland kann im Modell hier nicht überall gewinnbringend realisiert werden, entsprechend fallen zahlreiche Flächen aus der landwirtschaftlichen Nutzung. Innerhalb der LN nehmen die Ackerflächen und der Reb- und Obstbau bei allen Szenarien stark ab, während die Weideflächen überall zunehmen. Die Dauerwiesenflächen nehmen teilweise ab, teilweise zu.

Innerhalb der Ackerflächen gibt es ausser beim Szenario GRAS meist nur kleinere Verschiebungen, bedingt durch den hohen Aussenschutz insbesondere auf den Getreidemärkten und den weiterhin hohen flächenbezogenen Direktzahlungsbeiträgen. Generell sinkt der Zuckerrübenanbau wegen der Kopplung des Zuckerpreises an den sinkenden EU-Preis. Ebenfalls in allen Szenarien ist ein Rückgang des Ackerfutterbaus wegen der Abnahme der Tierbestände zu verzeichnen. Im ZOLL-Szenario sinkt der Kartoffel- und Gemüseanbau wegen der sinkenden Produzentenpreise und steigt der Futtergetreideanbau wegen der Erhöhung des Schwellenpreises, der ebenfalls für steigende Produzentenpreise im Inland sorgt. Bei Dauerwiesen und den Weiden steigt bei allen Szenarien der Anteil extensiv oder wenig intensiv genutzter Flächen deutlich. Die Tierbestände bzw. Grossvieheinheiten (GVE) sinken in allen Szenarien (für weitere Informationen siehe Möhring et al. 2016).

3.1.3 Verknüpfung SWISSland mit MODIFFUS

Mit MODIFFUS wurden die Stoffflussberechnungen für die beiden Jahre 2020 und 2025 durchgeführt. 2020 zeigt den Zustand drei Jahre nach Einführung der Massnahmen (bis Ende 2017 gelten für alle Szenarien die gleichen Bedingungen gemäss Fortschreibung AP14-17) und 2025 zeigt den Endzustand. Dies entspricht im Szenario EXT einer Erhöhung der Direktzahlungsbeiträge für extensive Nutzungen um 30% (EXT20) bzw. 80% (EXT25), im Szenario ZOLL einer Veränderung ausgewählter Zollsätze gemäss Tabelle 3 um 30% (ZOLL20) bzw. 80% (ZOLL25) und im Szenario GRAS einer Umwandlung von 15% (GRAS20) bzw. 40% (GRAS25) des Ackerlandes in Grünland.

Aus den Berechnungen mit SWISSland haben sich veränderte Eingangsdaten für die LN bzw. der Hauptnutzungskategorien gemäss Betriebsstrukturerhebung des BFS für MODIFFUS ergeben. Einige (unbedeutende) Kategorien (Streuflächen, Hecken etc.), die in der Betriebsstrukturerhebung unter LN laufen und in SWISSland auch gerechnet wurden, fallen in der Arealstatistik (MODIFFUS) nicht unter die LN und blieben daher bei den Berechnungen mit MODIFFUS unberücksichtigt. Auch die Graslandfläche (Sömmerung, alpwirtschaftliche Nutzfläche etc.) und der Obstbau (Streuobst, Intensivobstanlagen etc.) werden in der Betriebsstrukturerhebung anders definiert als in der Arealstatistik und weisen daher andere Flächenanteile auf. Die absoluten Veränderungen in Hektaren nach den SWISSland-Berechnungen wurden auf die entsprechenden Arealstatistik-Kategorien in MODIFFUS übertragen (Tab. 12). Dabei wurden zunächst die Flächen innerhalb der LN je nach Szenario umverteilt (z. B. Ackerland in Grasland), soweit entsprechende Flächenanteile anderer Nutzungen innerhalb der LN gemäss SWISSland-Berechnungen vorhanden waren. Weitere Flächenanteile wurden anschliessend auf die Nutzungskategorien „überbaute Siedlungsfläche“, „Siedlungsgrünfläche“ und „Wald“ umverteilt. Beispiel: In Szenario EXT25 nehmen gemäss SWISSland die Ackerflächen um 19'530 ha und die Reb- und Obstbaufläche um 2'727 ha ab, die Graslandfläche und die Heimweidefläche nehmen dagegen um 1'881 ha bzw. 6'658 ha zu (Tab. 12). Zunächst wurden so viele Ackerland-, Rebau- und Obstbauflächen in Grasland und Heimweiden umgewandelt, wie die Grasland- und Heimweideflächen zugenommen haben (1'881 ha in Grasland sowie 6'658 ha in Heimweiden). Die verbleibenden 13'718 ha Ackerland-, Reb- und Obstbauflächen wurden in Siedlungsgrünflächen, überbaute Siedlungsflächen oder Wald umgewandelt.

Mit Hilfe eines Hochrechnungsverfahrens (ZIMMERMANN et al. 2015) können die mit SWISSland berechneten einzelbetrieblichen Resultate auf den ganzen Agrarsektor der Schweiz hochgerechnet werden. SWISSland ist nicht räumlich explizit. Es liegen daher keine lagegetreuen bzw. georeferenzierte Daten vor. MODIFFUS rechnet dagegen GIS-basiert auf Hektarrasterebene. Landumnutzungen wurden in MODIFFUS in diesen Szenarien nach dem Zufallsprinzip durchgeführt. Sollen also z. B. 10% der Ackerfläche in Grasland überführt werden, wurden 10% der bestehenden schweizweiten Ackerflächenpixel im GIS mittels Zufallsgenerator ausgewählt und in Grasland überführt. Anschliessend wurden alle Wasser- und Stoffflüsse mit den Annahmen für Graslandnutzung für diese Pixel neu gerechnet. Kulturartenzusammensetzung und Tierzahlen liegen in MODIFFUS auf Gemeindeebene vor. Hat z. B. die Kartoffelfläche gemäss SWISSland-Berechnungen schweizweit um 10% abgenommen, wurde in MODIFFUS angenommen, dass sich die Kartoffelfläche jeder Gemeinde aus dem Jahr 2010 um 10% reduziert hat. Dadurch ändert sich die gemeindespezifische Kulturartenzusammensetzung (Tab. 13).

Tab. 12: Veränderungen der Landnutzungskategorien der LN in MODIFFUS für die verschiedenen Szenarien.

MODIFFUS Arealstatistik		Landnutzung in Hektaren							
	2010	REF2020	REF2025	EXT2020	EXT2025	ZOLL2020	ZOLL2025	GRAS2020	GRAS2025
Acker	407'046	397'298	391'035	393'084	387'516	391'825	385'512	341'143	242'921
Grasland	341'646	336'049	343'496	336'728	343'527	335'988	340'632	356'959	385'825
Heimweiden	168'103	174'351	174'892	173'682	174'761	174'334	172'300	181'050	193'989
Reb-,Obstbau	50'970	49'370	47'897	49'475	48'243	49'285	47'424	48'850	47'223
LN	967'765	957'068	957'320	952'969	954'047	951'432	945'868	928'002	869'958
Veränderungen zu 2010 absolut (ha)									
Acker	407'046	-9'748	-16'011	-13'962	-19'530	-15'221	-21'534	-65'903	-164'125
Grasland	341'646	-5'597	1'850	-4'918	1'881	-5'658	-1'014	15'313	44'179
Heimweiden	168'103	6'248	6'789	5'579	6'658	6'231	4'197	12'947	25'886
Reb-,Obstbau	50'970	-1'600	-3'073	-1'495	-2'727	-1'685	-3'546	-2'120	-3'747
LN	967'765	-10'697	-10'445	-14'796	-13'718	-16'333	-21'897	-39'763	-97'807
Veränderungen zu 2010 in Prozent									
Acker	407'046	-2.4	-3.9	-3.4	-4.8	-3.7	-5.3	-16.2	-40.3
Grasland	341'646	-1.6	0.5	-1.4	0.6	-1.7	-0.3	4.5	12.9
Heimweiden	168'103	3.7	4.0	3.3	4.0	3.7	2.5	7.7	15.4
Reb-,Obstbau	50'970	-3.1	-6.0	-2.9	-5.4	-3.3	-7.0	-4.2	-7.4
LN	967'765	-1.1	-1.1	-1.5	-1.4	-1.7	-2.3	-4.1	-10.1

Tab. 13: Veränderungen der Kulturartenzusammensetzung in MODIFFUS für die verschiedenen Szenarien.

	Veränderungen zu 2010 in %								
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25
Brotgetreide	85'789	-1	-1	-2	-3	-2	-7	-16	-50
Futtergetreide	50'611	-6	-6	-7	-9	0	16	-26	-61
Körnermais	17'068	4	6	2	1	12	37	-12	-39
Silomais	45'873	-5	-7	-5	-7	-6	-9	-19	-32
Zuckerrüben	19'501	-29	-26	-30	-29	-31	-31	-34	-45
Futtermüben	1'001	-48	-55	-50	-55	-43	-50	-59	-81
Kartoffeln	11'049	8	14	9	13	-4	-5	0	-12
Raps	20'065	2	5	2	2	-5	-6	-11	-38
Soja	1'064	-15	-9	-4	-19	-23	-28	-20	-47
Sonnenblumen	3'798	-22	-23	-22	-25	-22	-24	-29	-56
Hülsenfrüchte	4'089	8	13	7	10	4	3	-8	-39
Andere Kulturen	2'751	-9	-20	-7	-18	-4	-18	-5	-20
Gemüse	9'542	12	17	15	23	-9	-54	9	-11
Ackerbrache	2'498	-20	-21	7	53	-18	-8	-26	-68
Andere Dauerkulturen	2'441	-4	-30	-3	-29	-3	-30	-11	-22
Tabak	555	-29	-41	-30	-37	-30	-42	-25	-42
Kunstwiese	129'616	1	-4	-1	-5	-1	-6	-11	-27
Ackerland	407'309	-2	-4	-3	-5	-4	-5	-15	-38
Extensive Wiese	60'605	24	36	30	54	26	37	35	52
Wenig Intensive Wiese	25'994	4	0	6	20	1	4	9	22
Naturwiese	395'543	-5	-5	-6	-9	-5	-6	-2	1
Dauergrünland	482'142	-1	0	-1	1	-1	0	3	9
Extensive Weide	23'566	25	28	24	27	26	32	31	44
Naturweide	107'120	0	0	0	0	0	-3	5	13
Weiden	130'686	5	5	4	5	5	3	10	19
Obst	7'274	-11	-18	-11	-14	-10	-18	-11	-16
Reben	12'441	-8	-15	-6	-15	-8	-19	-12	-22
Beeren	862	17	10	16	16	11	10	18	19
Dauerkulturen	20'578	-8	-15	-7	-13	-8	-17	-10	-18

Die oben aufgeführten Veränderungen von Landnutzung und Tierbeständen fliessen in die Modellberechnungen der Stoffverluste mit MODIFFUS ein. Die grösste Veränderung bewirken Flächen, die aus der landwirtschaftlichen Nutzung herausgefallen sind und anderweitig genutzt werden (Siedlung, Wald etc.). Sie haben keine landwirtschaftsbedingten Stoffverluste mehr, ausser eventuell Einflüsse von Ammoniakemissionen, die hier aber nicht berücksichtigt werden konnten. Umnutzungen innerhalb der LN (z. B. Ackerland in Grasland) oder bei der Kulturartenzusammensetzung (Anteile Gemüse, Kartoffeln etc. oder Anteile intensiv oder extensiv genutztes Grasland) sowie der veränderte Nährstoffanfall über Hofdünger beeinflussen die Höhe der berechneten Stoffverluste über Auswaschung, Abschwemmung und Erosion positiv oder negativ.

Für die Berechnungen der Szenarien REF20, REF25, EXT20, EXT25, ZOLL20, ZOLL25, GRAS20 und GRAS25 mit MODIFFUS wurden nur die oben aufgeführten Veränderungen gemäss der Resultate aus SWISSland verwendet (Landnutzung, Kulturarten, Tierbestände) und deren direkte Auswirkungen auf die Wasser- und Stoffflüsse berechnet. Es wurden die gleichen klimatischen Eingangsdaten wie für das Jahr 2010 verwendet. Ziel des Vergleiches war nicht, mögliche Auswirkungen des Klimawandels aufzuzeigen. Somit bilden für beide Jahre der mittlere Niederschlag und die mittlere nutzungsspezifische Evapotranspiration der Periode 1999-2009 die Grundlage. Die Annahmen zur nutzungsspezifischen Aufteilung der Wasserflüsse in Oberflächenabfluss, Drainageabfluss und Sickerwasser wurden beibehalten. Die Werte der N- und P-Deposition von 2010 wurden weiterhin verwendet. Eine Reduktion der N-Deposition aufgrund des veränderten Tierbestandes (zwischen -3% der Grossvieheinheiten in REF20 und +19% in GRAS25) wurde nicht berücksichtigt, da die entsprechenden Depositionskarten fehlen. Die Anzahl und Lage der drainierten Flächen, die aufgrund von Bodendaten vorgenommene Bewertung der Abschwemmungs- und Auswaschungsgefährdung, die Erosionsgefährdungs- und Gewässeranschlusskarte und sämtliche Berechnungsformeln für die Wasser- und Stoffflüsse wurden beibehalten.

3.1.4 Auswirkungen auf Stoffflussberechnungen in MODIFFUS

- **Nitratauswaschungsausgangswert Ackerland:**

Der Nitratauswaschungsausgangswert (in kg N/ha) wird über die Verknüpfung der Nitratmatrix (kulturspezifische N-Auswaschungswerte) mit der Kulturartenzusammensetzung berechnet. Diese Werte werden später im Modell noch mit verschiedenen standortspezifischen Faktoren modifiziert. Für jedes Szenario wurde der N-Auswaschungsausgangswert anhand der Daten aus den Berechnungen von SWISSland neu berechnet. Dazu wurden die mit SWISSland schweizweit berechneten prozentualen Veränderungen der Kulturartenzusammensetzungen bei der Nutzung für jede Gemeinde in MODIFFUS verwendet (Tab. 13). Die Auswaschungswerte der einzelnen Kulturen in der Nitratmatrix bleiben unverändert. Beispiel: Wenn die Gemüseanbaufläche in der Schweiz um durchschnittlich 10% abnimmt, wird die Gemüseanbaufläche in jeder Gemeinde um 10% verringert. In einer Gemeinde mit viel Gemüseflächen wirkt sich dies viel stärker auf den mittleren N-Auswaschungsausgangswert der Gemeinde aus als in einer Gemeinde mit wenig Gemüsefläche, da Gemüseanbauflächen einen sehr hohen kulturspezifischen N-Auswaschungswert haben.

- **Nitratauswaschungsausgangswert Dauerwiesen:**
 Bei der Berechnung N-Auswaschung unter Dauerwiesen wurde der Anteil an extensiv genutzten Wiesen sowie wenig intensiv genutzten Wiesen an den Dauerwiesen berücksichtigt. Je grösser der Anteil extensiv oder wenig intensiv genutzter Wiesen ist, desto geringer ist die Auswaschung. Für jedes Szenario wurde die mittlere N-Auswaschung unter Dauerwiesen pro Gemeinde anhand der Daten der Kulturartenzusammensetzung der Dauerwiesen aus den Berechnungen mit SWISSland neu berechnet (Tab. 13). Diese N-Auswaschungsausgangswerte für Dauerwiesen wurden später im Modell noch mit verschiedenen standortspezifischen Faktoren modifiziert.
- **Nitratauswaschungsausgangswert Weiden:**
 Bei der Berechnung der N-Auswaschung unter Weiden wurde zwischen extensiven und intensiven Weiden sowie nach Tal- und Berggebiet unterschieden. Auf extensiven Weiden wurde in beiden Regionen eine geringere N-Auswaschung angenommen. Die Fläche extensiver Weiden und intensiver Weiden wurde aus den Daten der Kulturartenzusammensetzung gemäss SWISSland für jedes Szenario berechnet und auf die gemeindeweise vorliegenden Daten in Modiffus übertragen. Diese N-Auswaschungsausgangswerte für Heimweiden wurden später im Modell noch mit verschiedenen standortspezifischen Faktoren modifiziert.
- **Graslandintensitätsfaktor P-Abschwemmung:**
 Der Graslandintensitätsfaktor gibt den Anteil an extensiv genutzten Wiesen und Weiden sowie wenig intensiv genutzten Wiesen an den Dauerwiesen an. Je grösser der Anteil extensiv oder wenig intensiv genutzten Wiesen ist (keine Gülledüngung), desto geringer ist die P-Abschwemmung. Für jedes Szenario wurde der mittlere Graslandintensitätsfaktor pro Gemeinde anhand der Daten der Kulturartenzusammensetzung aus den Berechnungen mit SWISSland neu berechnet. Die standort-spezifische P-Abschwemmung (in Abhängigkeit von Oberflächenabflussmenge, Hangneigung, Boden-Abschwemmungsrisiko etc.) wurde mit dem Graslandintensitätsfaktor verrechnet.
- **Ackerlandintensitätsfaktor P-Abschwemmung:**
 Der Ackerlandintensitätsfaktor berücksichtigt das Verhältnis von offener Ackerfläche zu Kunstwiesenfläche bei der P-Abschwemmung. Je höher der prozentuale Anteil der Kunstwiese an der Ackerfläche ist, desto grösser ist die P-Abschwemmung, da bei Kunstwiesen im Mittel von einer höheren Gülledüngung als auf Ackerland ausgegangen wird. Für jedes Szenario wurde Ackerlandintensitätsfaktor anhand der Daten aus den Berechnungen von SWISSland neu berechnet. Da mit SWISSland nur schweizweite Veränderungen bei der Nutzung der Ackerflächen angegeben wurden, wurde die schweizweit berechnete Veränderung des Ackerlandintensitätsfaktors für jede Gemeinde in MODIFFUS verwendet. Die Ausgangswerte für P-Abschwemmung von Ackerland bzw. Kunstwiese bleiben unverändert.
- **C-Faktor Bodenerosion**
 Der C-Faktor gibt das kultur- und bewirtschaftungsspezifische Erosionsrisiko der Ackerkulturen an. Jede Kulturart hat - je nach Bodenbearbeitungsart - einen spezifischen C-Faktorwert. Je höher der C-Faktor, desto grösser der Bodenabtrag. Für jedes Szenario wurde der mittlere C-Faktor pro Gemeinde anhand der Daten zur Kulturartenzusammensetzung aus den Berechnungen von SWISSland je Szenario neu berechnet.

- **Düngbare Fläche**

Die düngbare Fläche wurde aus den Daten von SWISSland für jedes Szenario neu berechnet. Die düngbare Fläche hat in allen Szenarien abgenommen. Dies einerseits durch die generelle Abnahme der Landwirtschaftsfläche, andererseits durch die Zunahme extensiv (und damit nicht düngbarer) genutzter Graslandflächen. Die grösste Abnahme erfolgte beim Szenario GRAS25 (Tab. 14).

- **GVE und Hofdüngeranfall:**

Die für das Jahr 2010 verwendeten Nährstoffausscheidungen pro Tierkategorie blieben unverändert ausser bei REF20 und REF25. Hier wurde wegen der angenommenen Milchleistungssteigerung der N- und P-Anfall der Milchkühe um 5% (REF20) bzw. 10% (REF25) erhöht. Bei den anderen Szenarien wurde keine Milchleistungssteigerung angenommen (s. Möhring et al. 2016). Der N- und P-Anfall aus Hofdüngern wurde über die Tierzahlen pro Gemeinde für jedes Szenario neu berechnet. Bei allen Szenarien kommt es zu einer Abnahme des N- und P-Anfalles durch Hofdünger. Am stärksten ist die Abnahme bei den Szenarien ZOLL25, GRAS20 und GRAS25 (Tab. 14).

Der N- und P-Anfall pro Hektare düngbarer Fläche nimmt bei den Szenarien REF20 und REF25 zu, da die Abnahme des N- und P-Anfalles geringer war als die Abnahme der düngbaren Fläche. Bei diesen Szenarien ist also mit erhöhten Stoffverlusten auf den verbleibenden düngbaren Flächen zu rechnen. Bei allen anderen Szenarien nimmt der flächenspezifische Nährstoffanfall durch Hofdünger ab (Tab. 14). Die Hofdüngereffektoren für N und P sind Zu- oder Abschläge in Abhängigkeit vom Hofdüngeranfall pro düngbarer Fläche. Sie wurden gemeindeweise neu berechnet aus den Daten zur Landnutzung und den Daten zu den Tierzahlen gemäss SWISSland für jedes Szenario. Sie fliessen in die Berechnungen von Abschwemmung und Auswaschung in MODIFFUS ein.

Tab. 14: Düngbare Fläche (DF), Grossvieheinheit (GVE) und Nährstoffanfall aus Hofdüngern.

Düngbare Fläche (DF) und Hofdüngeranfall									
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25
düngbare Fläche (km ²)	9'698	9'355	9'299	9'314	9'250	9'301	9'244	8'824	7'896
GVE (in 1000)	1'323	1'279	1'237	1'276	1'250	1'270	1'210	1'201	1'071
N-Anfall (t N)	131'323	128'436	126'491	124'822	122'092	124'225	118'243	117'810	104'982
P-Anfall (t P)	21'564	21'124	20'820	20'572	20'168	20'465	19'474	19'374	17'291
N kg/ha DF	135.4	137.3	136.0	134.0	132.0	133.6	127.9	133.5	133.0
P kg/ha DF	22.2	22.6	22.4	22.1	21.8	22.0	21.1	22.0	21.9
Veränderungen zu 2010 in %									
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25
düngbare Fläche (km ²)	9'698	-3.5	-4.1	-4.0	-4.6	-4.1	-4.7	-9.0	-18.6
GVE (in 1000)	1'323	-3.3	-6.5	-3.6	-5.5	-4.0	-8.5	-9.2	-19.1
N-Anfall (t N)	131'323	-2.2	-3.7	-4.9	-7.0	-5.4	-10.0	-10.3	-20.1
P-Anfall (t P)	21'564	-2.0	-3.5	-4.6	-6.5	-5.1	-9.7	-10.2	-19.8
N kg/ha DF	135.42	1.4	0.4	-1.0	-2.5	-1.4	-5.5	-1.4	-1.8
P kg/ha DF	22.24	1.5	0.7	-0.7	-1.9	-1.1	-5.3	-1.3	-1.5

3.2 Resultate Szenarien REF, EXT, ZOLL und GRAS

3.2.1 Übersicht diffuse N- und P-Einträge

Im Jahr 2010 betragen die diffusen N-Einträge in die Gewässer der Schweiz 51'493 t N (Hürdler et al. 2015). Die verschiedenen Szenarien vermindern die diffusen N-Einträge in folgender Reihenfolge: REF < EXT < ZOLL < GRAS. In den Szenarien REF und EXT betragen die Reduktionen gegenüber 2010 rund 3% der gesamten diffusen Einträge und liegen zwischen 1'300 und 1'600 t N (Abb. 15). Im Szenario ZOLL25 werden Reduktionen von 5% bzw. rund 2'400 t N und im Szenario GRAS25 13% bzw. rund 6'600 t N erzielt (Tab. 15). Gegenüber 2010 nimmt der Tierbestand in allen Szenarien ab, insbesondere im Szenarium GRAS. Zu der dadurch bewirkten Reduktion der Stickstoffdeposition ausserhalb der LN fehlen Daten. Die Reduktionen der N-Einträge sind deshalb etwas unterschätzt.

Beim Gesamt-Phosphor betragen die diffusen P-Einträge im Jahr 2010 3'490 t P, davon 909 t P gelöster Phosphor (Tab. 15). Es ergibt sich die gleiche Reihenfolge wie beim Stickstoff bezüglich der erzielten P-Reduktionen: REF < EXT < ZOLL < GRAS. Die Reduktion gegenüber 2010 fällt aber bei allen Szenarien geringer aus als beim Stickstoff. In den Szenarien REF, EXT und ZOLL beträgt sie nur rund 2%. Nur im Szenario GRAS werden mit 160 t P-Gesamt bzw. 67 t P-gelöst deutlich grössere Reduktionen erzielt (Abb. 15)

Tab. 15: Zusammenstellung der berechneten diffusen Stoffeinträge in die Gewässer der Schweiz für die verschiedenen Szenarien im Vergleich zu den Stoffeinträgen im Jahr 2010.

Stickstoff	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25
diffuse Einträge gesamt (t N)	51'493	50'164	50'032	50'063	49'938	49'795	49'134	48'227	44'849
Veränderung zu 2010 (t N)	51'493	-1'329	-1'461	-1'430	-1'555	-1'698	-2'359	-3'266	-6'644
Veränderung zu 2010 (%)	51'493	-3	-3	-3	-3	-3	-5	-6	-13
Gesamt-Phosphor	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25
diffuse Einträge gesamt (t P)	3'490	3'431	3'428	3'426	3'422	3'424	3'412	3'393	3'330
Veränderung zu 2010 (t P)	3'490	-59	-62	-63	-68	-66	-78	-96	-160
Veränderung zu 2010 (%)	3'490	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-5
gelöster Phosphor	2010	Ref20	Ref25	Ext20	Ext25	Zoll20	Zoll25	Gras20	Gras25
diffuse Einträge gesamt (t P)	909	890	888	886	884	886	880	872	842
Veränderung zu 2010 (t P)	909	-19	-21	-23	-25	-23	-29	-37	-67
Veränderung zu 2010 (%)	909	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-4	-7

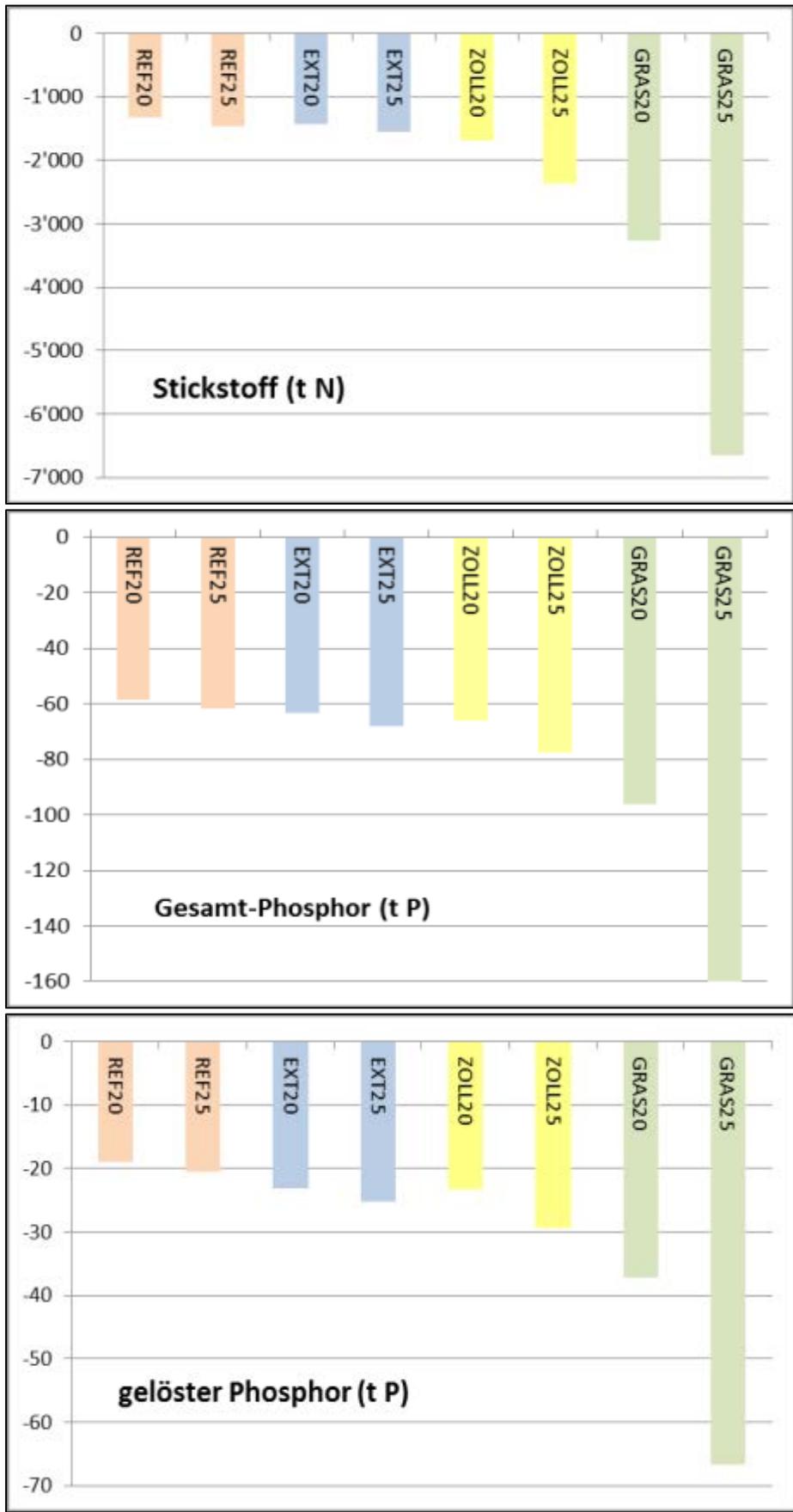


Abb. 15: Reduktion der diffusen Stoffeinträge der verschiedenen Szenarien gegenüber den Stoffeinträgen aus dem Jahr 2010.

3.2.2 N- und P-Einträge nach Eintragspfaden

Knapp 80% der diffusen N-Einträge resultieren aus dem Pfad Auswaschung. Entsprechend sind die Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auch hier am grössten. Rund 97% der N-Reduktionen stammen von der Auswaschung (Tab. 16). Auch wenn die prozentuale Abnahme bei den Verlusten durch Bodenerosion hoch sind, spielen sie für die Summe der Reduktionen keine Rolle. Die geringfügigen Zunahmen der Direkteinträge beim Szenario GRAS resultieren aus dem höheren Laub- und Streueeintrag aus dem Wald infolge der Zunahme der Waldfläche.

Tab. 16: Zusammenstellung der diffusen N-Einträge für die verschiedenen Szenarien – aufgegliedert nach Eintragspfaden – sowie deren absolute und relative Abweichungen zu den entsprechenden Stoffverlusten aus dem Jahr 2010.

Eintragspfad	Stickstoffeinträge (t N)									
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25	
Abschwemmung	1'235	1'230	1'230	1'228	1'228	1'227	1'224	1'215	1'185	
Abschw/Ausw veg-los	3'581	3'581	3'581	3'581	3'581	3'581	3'581	3'581	3'581	
Auswaschung	40'708	39'426	39'295	39'331	39'208	39'066	38'414	37'512	34'182	
Erosion LN	182	144	142	144	141	142	137	126	95	
sonstige Erosion	2'431	2'430	2'431	2'429	2'430	2'429	2'429	2'430	2'428	
Deposition Gewässer	2'635	2'635	2'635	2'635	2'635	2'635	2'635	2'635	2'635	
landw. Direkteinträge	720	723	723	720	720	720	720	732	749	
Total	51'492	50'169	50'037	50'068	49'943	49'800	49'140	48'232	44'855	
Veränderung zu 2010 absolut (t N)										
Abschwemmung	1'235	-5	-5	-7	-7	-8	-11	-20	-50	
Abschw/Ausw veg-los	3'581	0	0	0	0	0	0	0	0	
Auswaschung	40'708	-1'282	-1'413	-1'377	-1'500	-1'641	-2'294	-3'195	-6'526	
Erosion LN	182	-38	-39	-38	-41	-40	-45	-56	-87	
sonstige Erosion	2'431	-1	0	-2	-2	-2	-3	-2	-4	
Deposition Gewässer	2'635	0	0	0	0	0	0	0	0	
landw. Direkteinträge	720	3	3	0	0	0	0	12	29	
Total	51'493	-1'323	-1'455	-1'424	-1'549	-1'692	-2'353	-3'261	-6'638	
Veränderung zu 2010 in Prozent										
Abschwemmung	1'235	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-4	
Abschw/Ausw veg-los	3'581	0	0	0	0	0	0	0	0	
Auswaschung	40'708	-3	-3	-3	-4	-4	-6	-8	-16	
Erosion LN	182	-21	-22	-21	-22	-22	-25	-31	-48	
sonstige Erosion	2'431	0	0	0	0	0	0	0	0	
Deposition Gewässer	2'635	0	0	0	0	0	0	0	0	
landw. Direkteinträge	720	0	0	0	0	0	0	2	4	
Total	51'492	-3	-3	-3	-3	-3	-5	-6	-13	

Beim Phosphor ist mit rund 70% die „sonstige Erosion“ der wichtigste Eintragspfad (Tab. 17). Dieser Pfad wird aber durch die vorliegenden Szenarien nicht tangiert, da es sich hier vor allem um natürliche Prozesse in den Alpen handelt. Bodenerosion, Abschwemmung und Auswaschung sind die relevanten landwirtschaftsbedingten Eintragspfade. Rund 60% der erzielten P-Reduktionen der verschiedenen Szenarien stammen aus der Bodenerosion von Ackerland und Rebbaulflächen. Sie betragen zwischen 38 t P (REF20) und 91 t P (GRAS25) und führten zu einer deutlichen Reduktion dieses Eintragspfades (20% - 49%) gegenüber den Einträgen im 2010. Die Reduktionen bei der Abschwemmung trägt rund 20% zu den gesamten

Reduktionen bei. Zwischen 11 t P und 36 t P konnten hier – vor allem durch die Verringerung der Gülleabschwemmung von Graslandflächen – je nach Szenario vermindert werden. Auch die Auswaschung hat mit 15-20% an den gesamten P-Reduktionen - je nach Szenario - ebenfalls eine gewisse Bedeutung. Die Abnahme des Hofdüngeranfalls und die Reduktion der drainierten Fläche sind Ursachen dafür.

Tab. 17: Zusammenstellung der diffusen P-Einträge für die verschiedenen Szenarien – aufgegliedert nach Eintragungspfaden – sowie deren absolute und relative Abweichungen zu den entsprechenden Stoffverlusten aus dem Jahr 2010.

Eintragungspfad	Gesamt-Phosphoreinträge (t P)								
	2010	Ref20	Ref25	Ext20	Ext25	Zoll20	Zoll25	Gras20	Gras25
Abschwemmung	428	417	416	415	414	415	411	408	392
Abschw/Ausw veg-los	40	41	41	41	41	41	41	41	41
Auswaschung	292	284	283	282	281	282	279	274	259
Erosion LN	185	148	146	147	145	145	140	128	95
sonstige Erosion	2'395	2'395	2'395	2'394	2'394	2'394	2'394	2'394	2'394
Deposition Gewässer	69	69	69	69	69	69	69	69	69
landw. Direkteinträge	80	80	80	79	79	79	79	80	82
Total	3'490	3'431	3'428	3'426	3'422	3'424	3'412	3'393	3'330
Veränderung zu 2010 absolut (t P)									
Abschwemmung	428	-11	-12	-13	-15	-13	-17	-21	-36
Abschw/Ausw veg-los	40	1	1	1	1	1	1	1	1
Auswaschung	292	-9	-10	-10	-11	-11	-13	-18	-33
Erosion LN	185	-38	-39	-38	-41	-40	-46	-57	-91
sonstige Erosion	2'395	0	0	-1	0	-1	-1	0	-1
Deposition Gewässer	69	0	0	0	0	0	0	0	0
landw. Direkteinträge	80	0	0	0	0	0	0	1	2
Total	3'490	-59	-62	-63	-68	-66	-78	-96	-160
Veränderung zu 2010 in Prozent									
Abschwemmung	428	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-5	-8
Abschw/Ausw veg-los	40	2	2	2	2	2	2	2	2
Auswaschung	292	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-6	-11
Erosion LN	185	-20	-21	-21	-22	-22	-25	-31	-49
sonstige Erosion	2'395	0	0	0	0	0	0	0	0
Deposition Gewässer	69	0	0	0	0	0	0	0	0
landw. Direkteinträge	80	0	0	0	0	0	0	1	3
Total	3'490	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-5

3.2.3 N- und P-Einträge nach Eintragsquellen

In Tabelle 18 und 19 sind die diffusen Stoffeinträge nach Eintragsquellen – aufgegliedert in zehn Landnutzungskategorien – zusammengestellt; als absolute Werte sowie die entsprechenden absoluten und relativen Veränderungen gegenüber den Stoffeinträgen aus dem Jahr 2010. Beim Stickstoff ist das Ackerland mit rund 38% bzw. knapp 20'000 t N die grösste Eintragsquelle. Entsprechend ist die Reduktion beim Ackerland in allen Szenarien am grössten und liegt zwischen 1'065 t N (REF20) und 7'891 t N (GRAS25) und macht über 80% der erreichten Reduktionen bei allen Szenarien aus. Der Anteil an Ackerfläche, die in andere Landnutzungen umgewandelt wurde sowie die veränderte Kulturartenzusammensetzung bewirken die veränderten N-Einträge aus dem Ackerland. So führt die drastische Umwandlung von 164'125 ha Ackerland in anderen Nutzungen im Szenario GRAS25 zu einer Abnahme der N-Einträge aus dem Ackerland von 41% gegenüber den Einträgen aus 2010. Im REF25-Szenario werden die N-Einträge aus dem Ackerland immerhin noch um 1'264 t N bzw. 6% gegenüber 2010 reduziert. Bei Dauerwiesen kommt es wegen der Extensivierung in den Szenarien REF, EXT und ZOLL zu einer Abnahmen der Einträge von 2-4% bzw. 65-154 t N. Im Szenario GRAS kommt es wegen der starken Zunahme der Dauerwiesenfläche zu einer Zunahme der N-Einträge. Bei den Heimweiden kommt es - ausser im Szenario ZOLL25 - zu einer leichten Zunahme der N-Einträge, trotz Extensivierung der Weidehaltung und Abnahme des Hofdüngeranfalls durch die Zunahme der Weideflächen. Obst-, Garten- und Rebbau zeigen in allen Szenarien eine deutliche Abnahme der N-Einträge, bedingt durch die starke Abnahme dieser Flächen. Siedlungsgrünflächen und Wald haben in allen Szenarien eine leichte Zunahme der N-Einträge aufgrund der Zunahme dieser Flächen (Umwandlung von Ackerland in Siedlungsgrün und Wald).

Auch beim Phosphor ist die Reduktion der diffusen P-Einträge in allen Szenarien beim Ackerland am grössten, auch wenn die diffusen P-Verluste aus dem Ackerland nur 10% der totalen diffusen P-Einträge ausmachen (Tab. 19). Allerdings betragen die Reduktionen aus dem Ackerland nur gut 50% der gesamten Reduktionen, namhafte Beiträge stammen aus den Dauerwiesen und von den Obst- Reb- und Gartenbauflächen. Im Vergleich zum Stickstoff sind die prozentualen Reduktionen beim Ackerland gegenüber 2010 aber etwas höher, da neben der Umwandlung von Ackerflächen in andere Nutzungen und verminderte Auswaschungswerte hier noch P-Einträge über Bodenerosion und Abschwemmung wichtig sind. Wie schon beim Stickstoff führt auch beim Phosphor die grosse Umwandlung von Ackerflächen im Szenario GRAS25 zu der mit Abstand grössten P-Reduktion (164 t P bzw. 45%). Bei Dauerwiesen kommt es wegen der Extensivierung in den Szenarien REF, EXT und ZOLL zu einer Abnahmen der Einträge von 5-7% bzw. 12-17 t P. Im Szenario GRAS25 kommt es wegen der starken Zunahme der Dauerwiesenfläche zu einer Zunahme der P-Einträge. Bei den Heimweiden kommt es bei allen Szenarien zu einer leichten Zunahme der P-Einträge, trotz Extensivierung der Weidehaltung und Abnahme des Hofdüngeranfalls durch die Zunahme der Weideflächen. Im Obst-, Garten- und Rebbau zeigen alle Szenarien eine deutliche Abnahme der P-Einträge, die höher ausfällt als beim Stickstoff. Weniger Bodenerosion auf den verringerten Rebflächen ist der Grund dafür.

Tab. 18: Zusammenstellung der diffusen N-Einträge für die verschiedenen Szenarien – auf- gegliedert nach Eintragsquellen – sowie deren absolute und relative Abweichungen zu den entsprechenden Stoffverlusten aus dem Jahr 2010.

Eintragsquelle	Stickstoffeinträge (t N)									
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25	
Ackerland	19'449	18'384	18'185	18'228	18'059	17'941	17'281	15'891	11'557	
Dauergrünland	4'044	3'894	3'979	3'894	3'962	3'890	3'934	4'132	4'475	
Heimweiden	3'664	3'696	3'717	3'681	3'712	3'691	3'645	3'856	4'146	
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	3'964	3'818	3'819	3'813	3'804	3'818	3'814	3'814	3'817	
Obstbau, Gartenbau, Rebbau	1'087	1'023	988	1'027	991	1'020	971	1'006	961	
Wald	7'356	7'391	7'393	7'363	7'362	7'364	7'367	7'510	7'739	
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	3'983	3'983	3'983	3'983	3'983	3'983	3'983	3'983	3'983	
unproduktive Vegetation	1'221	1'221	1'221	1'221	1'221	1'221	1'221	1'221	1'221	
Gewässer	2'653	2'648	2'648	2'648	2'648	2'648	2'648	2'648	2'648	
Siedlungsflächen	4'072	4'107	4'100	4'206	4'196	4'220	4'271	4'166	4'302	
Total	51'493	50'164	50'032	50'063	49'938	49'795	49'134	48'227	44'849	
Eintragsquelle	Veränderung zu 2010 absolut (t N)									
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25	
Ackerland	19'449	-1'065	-1'264	-1'221	-1'390	-1'508	-2'168	-3'557	-7'891	
Dauergrünland	4'044	-150	-65	-150	-82	-154	-110	88	431	
Heimweiden	3'664	31	52	17	48	27	-20	192	482	
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	3'964	-147	-145	-151	-160	-146	-151	-150	-147	
Obstbau, Gartenbau, Rebbau	1'087	-64	-99	-61	-96	-67	-116	-82	-126	
Wald	7'356	35	37	7	7	8	11	154	383	
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	3'983	0	0	0	0	0	0	0	0	
unproduktive Vegetation	1'221	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gewässer	2'653	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
Siedlungsflächen	4'072	35	29	134	125	148	199	94	230	
Total	51'493	-1'329	-1'461	-1'430	-1'555	-1'698	-2'359	-3'266	-6'644	
Eintragsquelle	Veränderung zu 2010 in Prozent									
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25	
Ackerland	19'449	-5	-6	-6	-7	-8	-11	-18	-41	
Dauergrünland	4'044	-4	-2	-4	-2	-4	-3	2	11	
Heimweiden	3'664	1	1	0	1	1	-1	5	13	
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	3'964	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	
Obstbau, Gartenbau, Rebbau	1'087	-6	-9	-6	-9	-6	-11	-7	-12	
Wald	7'356	0	1	0	0	0	0	2	5	
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	3'983	0	0	0	0	0	0	0	0	
unproduktive Vegetation	1'221	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gewässer	2'653	0	0	0	0	0	0	0	0	
Siedlungsflächen	4'072	1	1	3	3	4	5	2	6	
Total	51'493	-3	-3	-3	-3	-3	-5	-6	-13	

Tab. 19: Zusammenstellung der diffusen P-Einträge für die verschiedenen Szenarien – auf- gegliedert nach Eintragsquellen – sowie deren absolute und relative Abweichungen zu den entsprechenden Stoffverlusten aus dem Jahr 2010.

Eintragsquelle	Gesamt-Phosphoreinträge (t P)								
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25
Ackerland	364	334	329	330	326	328	319	284	201
Dauergrünland	255	238	243	238	241	238	240	247	259
Heimweiden	142	146	145	146	145	146	144	148	154
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	355	353	353	353	353	353	353	353	353
Obstbau, Gartenbau, Rebbau	55	44	42	45	42	44	41	43	40
Wald	588	585	585	585	584	585	584	588	593
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	1'447	1'447	1'447	1'447	1'447	1'447	1'447	1'447	1'447
unproduktive Vegetation	177	177	177	177	177	177	177	176	176
Gewässer	79	79	79	79	79	79	79	79	79
Siedlungsflächen	27	27	27	28	28	28	28	27	28
Total	3'490	3'431	3'428	3'426	3'422	3'424	3'412	3'393	3'330
Eintragsquelle	Veränderung zu 2010 absolut (t P)								
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25
Ackerland	364	-31	-35	-34	-39	-37	-45	-80	-164
Dauergrünland	255	-16	-12	-17	-14	-17	-15	-7	5
Heimweiden	142	4	3	4	3	4	2	6	12
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	355	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Obstbau, Gartenbau, Rebbau	55	-10	-12	-10	-12	-11	-13	-12	-14
Wald	588	-2	-2	-3	-3	-3	-3	0	5
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	1'447	0	0	0	0	0	0	0	0
unproduktive Vegetation	177	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Gewässer	79	0	0	0	0	0	0	0	0
Siedlungsflächen	27	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3'490	-59	-62	-63	-68	-66	-78	-96	-160
Eintragsquelle	Veränderung zu 2010 in Prozent								
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25
Ackerland	364	-8	-10	-9	-11	-10	-12	-22	-45
Dauergrünland	255	-6	-5	-7	-5	-7	-6	-3	2
Heimweiden	142	3	2	3	2	3	1	4	8
Alpwirtschaftl. Nutzfläche	355	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Obstbau, Gartenbau, Rebbau	55	-19	-23	-18	-23	-19	-25	-21	-26
Wald	588	0	0	-1	-1	-1	-1	0	1
Geröll, Sand, Fels, Gletscher	1'447	0	0	0	0	0	0	0	0
unproduktive Vegetation	177	0	0	0	0	0	0	-1	-1
Gewässer	79	0	0	0	0	0	0	0	0
Siedlungsflächen	27	-1	-1	0	0	1	1	-1	1
Total	3'490	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-5

3.2.4 N- und P-Einträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen

Im Folgenden werden die diffusen Stoffeinträge nur für die landwirtschaftlich genutzten Flächen betrachtet. Darunter fallen in dieser Betrachtung die Landnutzungskategorien Ackerland, Dauerwiesen, Heimweiden und Obst-, Reb- und Gartenbau gemäss Arealstatistik. Nicht zur landwirtschaftlich genutzten Fläche wurde die alpwirtschaftlich genutzte Fläche gezählt (überwiegend Sömmerungsflächen). Da sich die berechneten Szenarien überwiegend auf die hier als „landwirtschaftlich genutzte Fläche“ bezeichneten Flächen auswirken, macht eine solche Einteilung Sinn. Die diffusen N-Einträge im Jahr 2010 aus diesen Flächen betragen 55% der totalen diffusen N-Einträge, die P-Einträge 23% der totalen diffusen P-Einträge, d.h. 28'244 t N bzw. 816 t P.

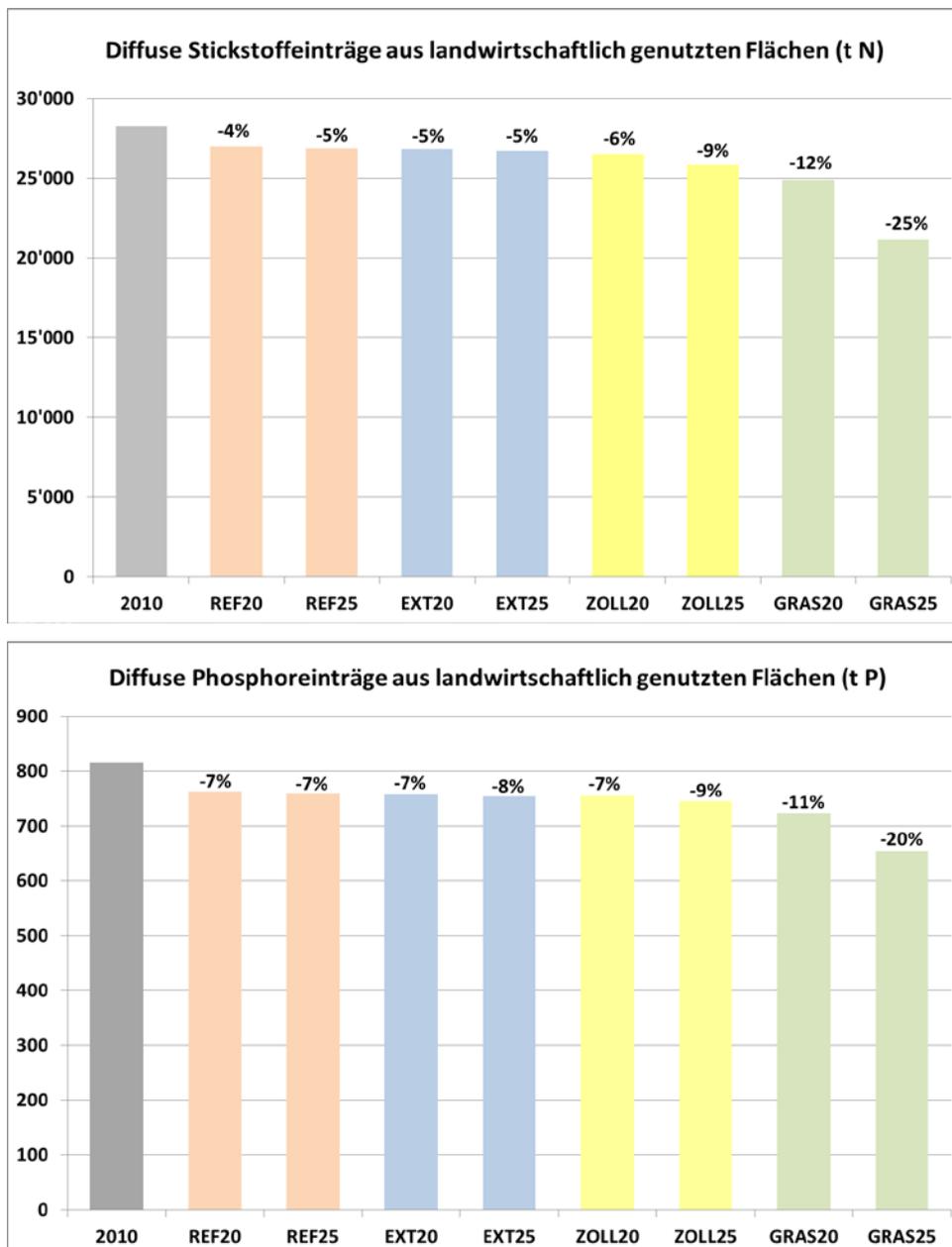


Abb. 16: Diffuse Stoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer der Schweiz für die verschiedenen Szenarien im Vergleich zu den Stoffeinträgen im Jahr 2010.

Beim Stickstoff können durch die verschiedenen Szenarien zwischen 4% und 25% Reduktion gegenüber den Einträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Jahr 2010 erreicht werden, beim Phosphor zwischen 7% und 20% (Abb. 16). Wie schon bei der Betrachtung der gesamten diffusen Stoffeinträge unterscheiden sich die erzielten Reduktionen in den Szenarien REF, EXT und ZOLL nicht wesentlich, nur das Szenario GRAS liefert deutlich grössere Reduktionen.

Betrachtet man die mittleren flächenspezifischen Verluste je Landnutzungskategorie, zeigt sich, wie stark neben der Veränderung des Anteils einer Landnutzungskategorie Nutzungsänderungen innerhalb der Landnutzungskategorie (Extensivierung oder Intensivierung) eine Rolle spielen (Tab. 20). Bei allen Landnutzungen kommt es zu einer Abnahme der mittleren flächenspezifischen N- und P-Verluste, wobei die Reduktionen beim Phosphor ausser beim Szenario GRAS grösser sind. Beim Ackerland nehmen die mittleren flächenspezifischen N-Verluste bei ZOLL25 mit 3 kg N/ha am stärksten ab und liegen im Mittel unter 45 kg N/ha. Die starke Abnahme von N-auswaschungsgefährdeten Kulturen wie Gemüse, Kartoffeln und Silomais ist dafür verantwortlich. Im Szenario GRAS25 ist die Abnahme am geringsten. Auf den verbleibenden Ackerflächen gleichen sich die prozentuale Zunahmen von N-auswaschungsgefährdeten Kulturen (Gemüse, Silomais, Kartoffeln) und nicht auswaschungsgefährdeten Kulturen (Kunstwiese) aus, so dass die mittlere Auswaschung bei knapp 48 kg N/ha bleibt. Bei Dauerwiesen liegt die mittlere N-Auswaschung bei knapp 12 kg N/ha und wird durch den hohen Anteil extensiver Wiesen im Szenario EXT25 am stärksten reduziert (gut 0,3 kg N/ha). Bei den Heimweiden erfolgt die stärkste Extensivierung beim Szenario ZOLL25 bei einer mittleren N-Auswaschung von 21 kg N/ha. Bezogen auf die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche verringern sich die N-Einträge um 1,1 kg N/ha (REF20) bis 5,0 kg N/ha (GRAS25) gegenüber den Einträgen aus dem Jahr 2010. Vor allem die Umwandlung von Ackerland in Dauerwiesen oder Heimweiden je nach Szenario und damit die Verschiebung deren prozentualer Anteile an der landwirtschaftlich genutzten Fläche führen zu den Unterschieden der einzelnen Szenarien.

Beim Phosphor fallen die hohen flächenspezifischen Einträge sowie deren hohe Reduktionen der Kategorie Obst-, Garten- und Rebbau auf. Diese wird stark durch den Rebbau geprägt. Bodenerosion im Rebbau sorgt für die hohen flächenspezifischen P-Verluste. Der Rückgang der Rebbaufäche führt hier bei allen Szenarien zu vergleichsweise hohen flächenspezifischen Reduktionen. Ansonsten gibt es zwischen den Szenarien REF, EXT und ZOLL nur geringfügige Unterschiede bei den Reduktionen. Nur beim Szenario GRAS werden höhere Reduktionen erzielt.

Tab. 20: Flächenspezifische Stoffeinträge für die verschiedenen Szenarien – aufgedgliedert nach Eintragsquellen – sowie deren absolute und relative Abweichungen zu den entsprechenden Stoffverlusten aus dem Jahr 2010.

Eintragsquelle	Stickstoffeinträge (kg/ha N)									
	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25	
Ackerland	47.8	46.3	46.5	46.4	46.6	45.8	44.8	46.6	47.6	
Dauergrünland	11.8	11.6	11.6	11.6	11.5	11.6	11.5	11.6	11.6	
Heimweiden	21.8	21.2	21.3	21.2	21.2	21.2	21.2	21.3	21.4	
Obst-, Garten-, Rebbau	22.5	20.7	20.6	20.7	20.5	20.7	20.5	20.6	20.4	
LN	29.3	28.2	28.2	28.2	28.0	27.9	27.3	26.8	24.3	
Veränderung zu 2010 absolut (kg/ha N)										
Ackerland	47.8	-1.5	-1.3	-1.4	-1.2	-2.0	-3.0	-1.2	-0.2	
Dauergrünland	11.8	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	
Heimweiden	21.8	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	
Obst-, Garten-, Rebbau	22.5	-1.8	-1.9	-1.8	-2.0	-1.8	-2.1	-1.9	-2.2	
LN	29.3	-1.1	-1.1	-1.1	-1.3	-1.4	-2.0	-2.5	-5.0	
Veränderung zu 2010 in Prozent										
Ackerland	47.8	-3	-3	-3	-2	-4	-6	-3	0	
Dauergrünland	11.8	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-2	
Heimweiden	21.8	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	
Obst-, Garten-, Rebbau	22.5	-8	-8	-8	-9	-8	-9	-9	-10	
LN	29.3	-4	-4	-4	-4	-5	-7	-8	-17	
Gesamt-Phosphoreinträge (kg/ha P)										
Eintragsquelle	2010	REF20	REF25	EXT20	EXT25	ZOLL20	ZOLL25	GRAS20	GRAS25	
Ackerland	0.90	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	
Dauergrünland	0.75	0.71	0.71	0.71	0.70	0.71	0.70	0.69	0.67	
Heimweiden	0.85	0.84	0.83	0.84	0.83	0.84	0.84	0.82	0.79	
Obst-, Garten-, Rebbau	1.13	0.90	0.88	0.90	0.88	0.89	0.87	0.88	0.85	
LN	0.85	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.78	0.75	
Veränderung zu 2010 absolut (kg/ha P)										
Ackerland	47.8	-0.06	-0.05	-0.06	-0.05	-0.06	-0.07	-0.06	-0.07	
Dauergrünland	11.8	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.07	
Heimweiden	21.8	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.03	-0.05	
Obst-, Garten-, Rebbau	22.5	-0.24	-0.25	-0.23	-0.26	-0.24	-0.26	-0.25	-0.28	
LN	29.3	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.09	
Veränderung zu 2010 in Prozent										
Ackerland	47.8	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-8	
Dauergrünland	11.8	-5	-5	-5	-6	-5	-6	-7	-10	
Heimweiden	21.8	-1	-2	-1	-2	-1	-1	-3	-6	
Obst-, Garten-, Rebbau	22.5	-21	-22	-21	-23	-21	-23	-22	-25	
LN	29.3	-6	-6	-6	-6	-6	-7	-8	-11	

3.2.5 Regionale Differenzierung der N- und P-Einträge

Da sich die Ergebniskarten der Szenarien visuell von der Karten der diffusen Stoffeinträge im Jahr 2010 kaum unterscheiden, wurden Differenzkarten gebildet (Abb. 21 bis 32). In diesen Karten wurden die Stoffeinträge jeder Hektare aus dem Jahr 2010 von den Stoffeinträgen des jeweiligen Szenarios abgezogen. Die Werte wurden anschliessend klassiert und ausgewertet. Die grünen Farben zeigen eine deutliche Abnahme der Stoffeinträge des jeweiligen Szenarios gegenüber 2010 an, die rot-orangen eine deutliche Zunahme. Die grauen Flächen weisen keine oder nur eine minimale positive oder negative Veränderung auf.

Ausschlaggebend für regionale Veränderungen sind neben den Flächenumnutzungen vor allem die gemeindespezifischen Eingangsdaten (Kulturartenzusammensetzung, Hofdüngeranfall, düngbare Fläche etc.), die sich je nach Szenario verändert haben. Daher treten Veränderungen meistens auf der gesamten Acker- Weide- oder Dauerwiesenfläche einer Gemeinde auf.

Gewisse technische Probleme entstanden dort, wo Gemeindefusionen stattfanden. Die Betriebsstrukturhebungsdaten des BFS von 2010 passten dann nicht mit dem verwendeten GIS-Datensatz der Gemeindegrenzen von 2013 zusammen. Hier mussten die Daten zusammengelegt bzw. gemittelt werden. Dies erfolgte manuell und zwischen den Daten von 2010 und den verschiedenen Szenarien leider nicht immer identisch. Dadurch entstanden deutlich sichtbare Unterschiede in den Differenzkarten, die aber auf das Gesamtergebnis der diffusen Stoffeinträge keine Auswirkungen haben. Ein Beispiel hierfür ist der Kanton Glarus, wo aus 25 Gemeinden 2010 nur noch 3 Gemeinden im 2013 wurden.

Stickstoff:

Bei allen Szenarien kommt es nicht auf allen Flächen zu einer Abnahme der N-Einträge, wie das Gesamtergebnis der Szenarien im Vergleich zu 2010 suggeriert, sondern auf einigen Flächen auch zu einer Zunahme (Abb. 21 bis 24). Auf rund 95% der gesamten Fläche gab es in allen Szenarien eine Abnahme der N-Einträge, auf rund 5% aber auch eine Zunahme. Betrachtet man nur die Flächen mit einer nennenswerten Veränderung von mehr als 0,25 kg N/ha (rot-orange und grüne Flächen), ergeben sich schon rein visuell deutliche Unterschiede zwischen den vier Szenarien. Die Szenarien REF25 und EXT25 ähneln sich mit einem hohen Anteil an orangen Flächen (= mittlere Zunahme). Im Szenario ZOLL25 ist der Anteil oranger und roter Flächen deutlich geringer und im Szenario GRAS25 gibt es mehr rote Flächen. Die statistische Auswertung untermauert diese Beobachtung (Abb. 17 und 18).

Betrachtet man nur die Veränderungen in der obersten und untersten Klasse, zeigt sich, dass es in den Szenarien REF25 und EXT25 auf jeweils rund 60'000 ha zu einer Abnahme >5 kg N/ha und auf 6'000 bzw. 9'000 ha zu eine Zunahme >5 kg N/ha (Abb. 17) kommt. Die Umwandlung von rund 15'000 bzw. 20'000 ha Ackerflächen in anderen Nutzungen haben einerseits zu grossen Abnahmen der N-Einträge von diesen Flächen geführt. Die restlichen Veränderungen sind auf die Kulturartenzusammensetzung der Ackerflächen und die Extensivierung im Grasland zurückzuführen. Nimmt zum Beispiel in einer Gemeinde mit hohem Anteil an Gemüse (N-Auswaschungsausgangswert = 150 kg N/ha) und Zuckerrüben (N-Auswaschungsausgangswert = 30 kg N/ha) der Gemüseanteil gemäss Szenario zu und der Zuckerrübenanteil ab, erhöht sich der mittlere kulturspezifische Auswaschungswert der Gemeinde deutlich. Nimmt dagegen die Brotgetreidefläche zu (N-Auswaschungsausgangswert = 40 kg N/ha) und die Silomaisfläche ab (N-Auswaschungsausgangswert = 60 kg N/ha) verringert sich der mittlere kulturspezifische Auswaschungswert der Gemeinde.

Aufgrund der Zunahme von Gemüse, Kartoffeln und Körnermais im Szenario REF25 kommt es bei 60% aller Gemeinden zu einer Zunahme des mittleren N-Auswaschungsausgangswertes und nur bei 20% zu einer Abnahme; bei 20% bleibt der Wert unverändert. Im Szenario ZOLL25 kommt es auf rund 95'000 ha zu einer deutlichen Abnahme der N-Einträge und nur auf 4'000 ha zu einer deutlichen Zunahme. Die Abnahme von Gemüse, Kartoffeln und Silomais in diesem Szenario führt vor allem zu den geringeren Flächen mit Zunahmen und höheren Flächenanteilen mit Abnahmen. Im Szenario GRAS25 haben über 200'000 ha eine deutliche N-Abnahme. Die Umwandlung von knapp 160'000 ha Ackerland in anderen Nutzungen ist hier ausschlaggebend. Aber auch die Flächen mit Zunahmen erreichen mit 20'000 ha in diesem Szenario die höchsten Werte. Die grösste Zunahme der prozentualen Anteile von Gemüse, Kartoffeln und Silomais auf den verbleibenden Ackerflächen sind die Ursache dafür.

Aufgrund der Extensivierung im Grasland kommt es in allen Gemeinden bei allen Szenarien zu einer Abnahme des mittleren N-Auswaschungsausgangswertes. Diese Reduktionen liegen aber meist unter 5 kg N/ha.

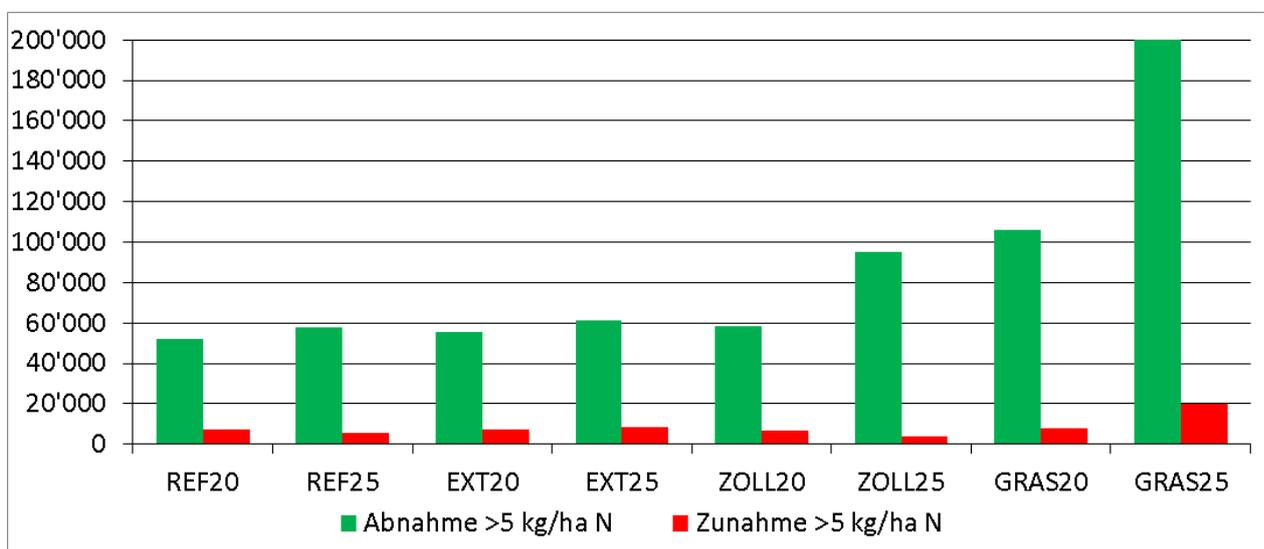


Abb. 17: Anteil Flächen (in ha) mit einer Zu- oder Abnahme der N-Einträge >5 kg/ha je Szenario.

Die Flächen der höchsten Klasse mit < bzw. >5 kg N/ha tragen auch am stärksten zu den absoluten Veränderungen der N-Frachten bei (Abb. 18). Der mittlere flächenspezifische Verlust liegt mit rund 25 kg N/ha (Szenarien REF, EXT, ZOLL) und 35 kg N/ha (GRAS) bei den N-Abnahmen deutlich höher als bei den N-Zunahmen (rund 10 kg N/ha). Die beiden Klassen mit den geringsten Veränderungen (0 – 0,25 kg/ha) liefern vernachlässigbare kleine Frachten.

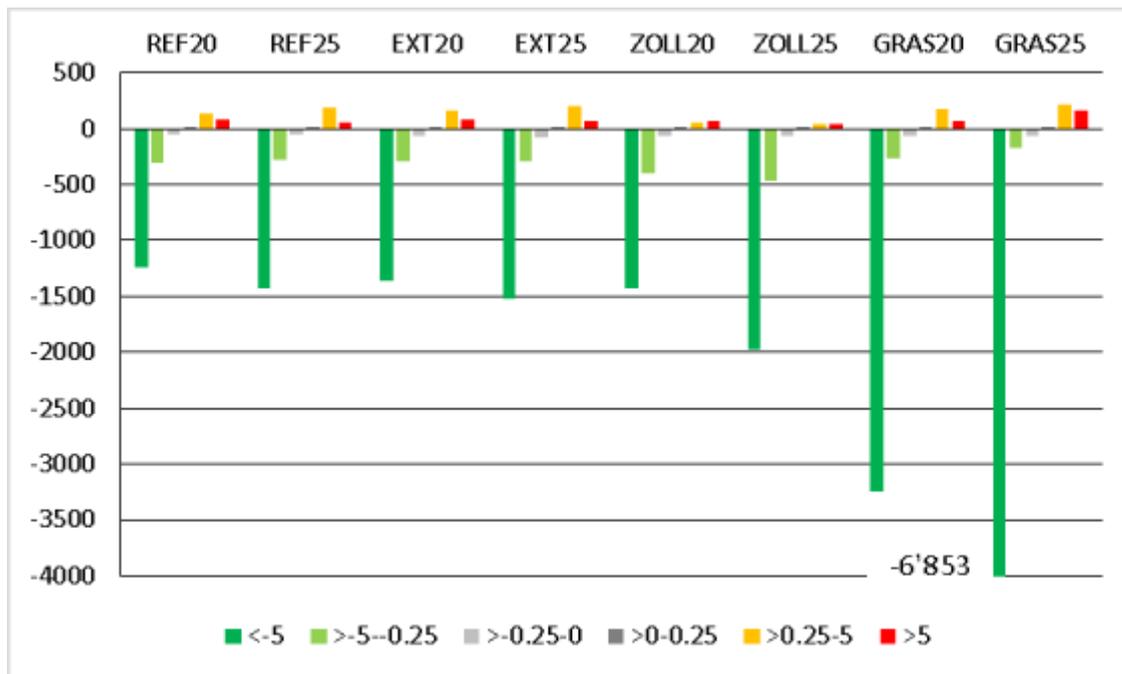


Abb. 18: Veränderung der N-Frachten (t N) je Klasse in den verschiedenen Szenarien.

Phosphor:

Beim Phosphor kommt es bei allen Szenarien auf deutlich mehr Flächen auch zu einer Zunahme, wie die verschiedenen Differenzkarten (Abb. 25 bis 32) zeigen. Auf 64-76% - je nach Szenario - der gesamten Fläche gab es in allen Szenarien eine Abnahme der P-Einträge, auf 24-36% aber auch eine Zunahme. Betrachtet man nur die Flächen mit einer nennenswerten Veränderung $>$ oder $< 0,01$ kg P/ha (rot-orange und grüne Flächen), ergeben sich rein visuell weniger deutliche Unterschiede zwischen den vier Szenarien als beim Stickstoff. Nur im Szenario GRAS25 gibt es deutlich weniger orange und rote Flächen, dafür mehr grüne und dunkelgrüne Flächen.

Betrachtet man nur die Veränderungen in der obersten und untersten Klasse, zeigt sich, dass es in den Szenarien REF25 und EXT25 auf jeweils rund 110'000 ha zu einer Abnahme $> 0,2$ kg P/ha und auf rund 50'000 ha zu einer Zunahme $> 0,2$ kg P/ha (Abb. 19) kommt. Die Umwandlung von rund 15'000 bzw. 20'000 ha Ackerflächen in anderen Nutzungen haben einerseits zu grossen Abnahmen der P-Einträge von diesen Flächen geführt. Die restlichen Veränderungen sind auf die Kulturartenzusammensetzung der Ackerflächen und die Extensivierung im Grasland zurückzuführen. Nimmt zum Beispiel in einer Gemeinde der Gemüse- und Kartoffelanteil gemäss Szenario zu, erhöht sich der mittlere C-Faktor und damit der P-Verlust über Bodenerosion der Gemeinde deutlich. Im Szenario ZOLL25 kommt es auf rund 120'000 ha zu einer deutlichen Abnahme der P-Einträge und auf 47'000 ha zu einer deutlichen Zunahme. Die Abnahme von Gemüse, Kartoffeln und Silomais in diesem Szenario führt vor allem zu den geringeren Flächen mit Zunahmen und höheren Flächenanteilen mit Abnahmen. Im Szenario GRAS25 haben über 200'000 ha eine deutliche P-Abnahme. Die Umwandlung von knapp 160'000 ha Ackerland in anderen Nutzungen ist hier ausschlaggebend. Die Flächen mit Zunahmen erreichen mit 32'000 ha in diesem Szenario die niedrigsten Werte. Aufgrund der Extensivierung im Grasland kommt es in allen Gemeinden bei allen Szenarien zu einer Abnahme der mittleren P-Abschwemmungswerte.

Die Flächen der höchsten Klasse mit $<0,2$ bzw. $>0,2$ kg P/ha tragen auch am stärksten zu den absoluten Veränderungen der P-Frachten bei (Abb. 20). Der mittlere flächenspezifische Verlust liegt bei rund 0,88 kg P/ha in allen Szenarien (ausser GRAS25) sowohl bei den P-Abnahmen wie auch bei den P-Zunahmen. Im Szenario GRAS25 beträgt er bei den Zunahmen 0,76 und bei den Abnahmen 1,1 kg P/ha. Die beiden Klassen mit den geringsten Veränderungen ($0 - 0,01$ kg/ha) liefern vernachlässigbare kleine Frachten.

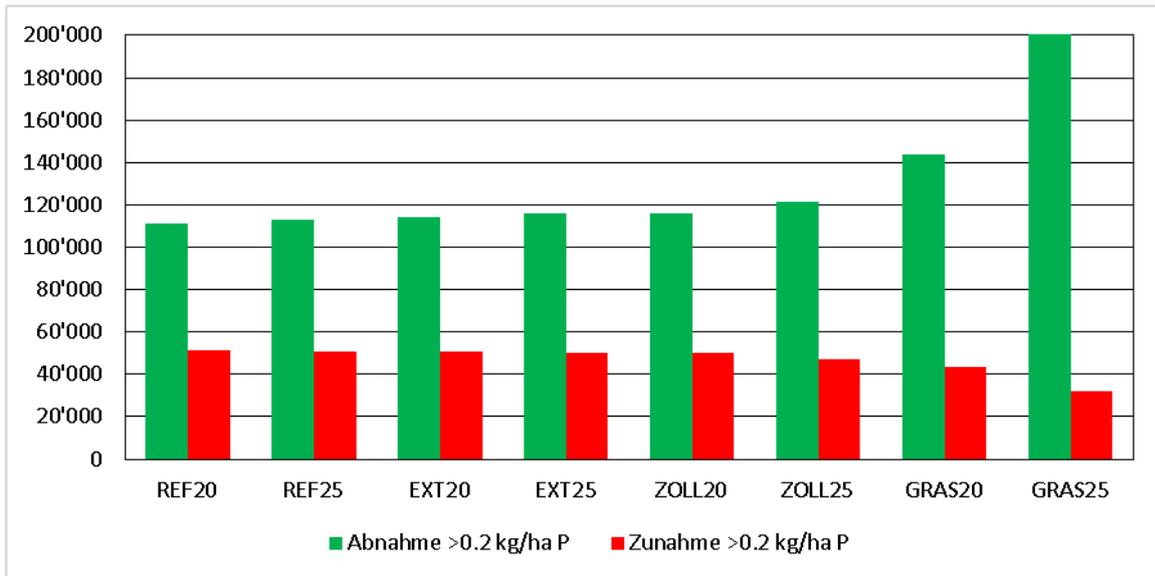


Abb. 19: Anteil Flächen (in ha) mit einer Zu- oder Abnahme der P-Einträge $>0,2$ kg/ha je Szenario.

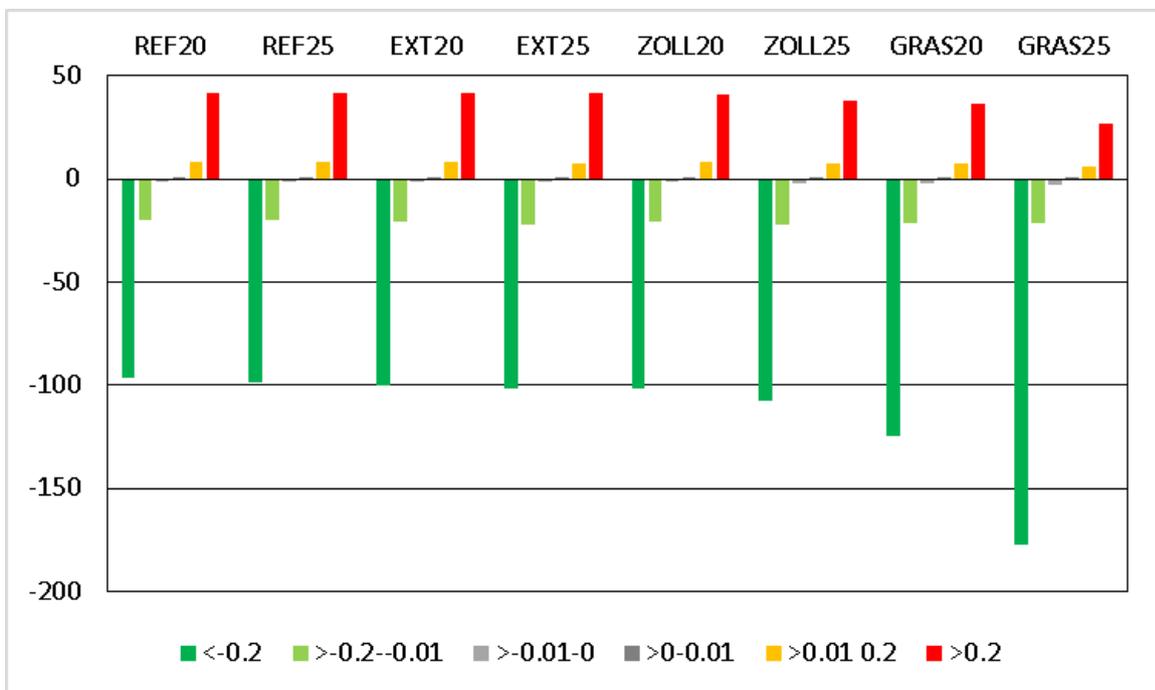


Abb. 20: Veränderung der P-Frachten (t P) je Klasse in den verschiedenen Szenarien.

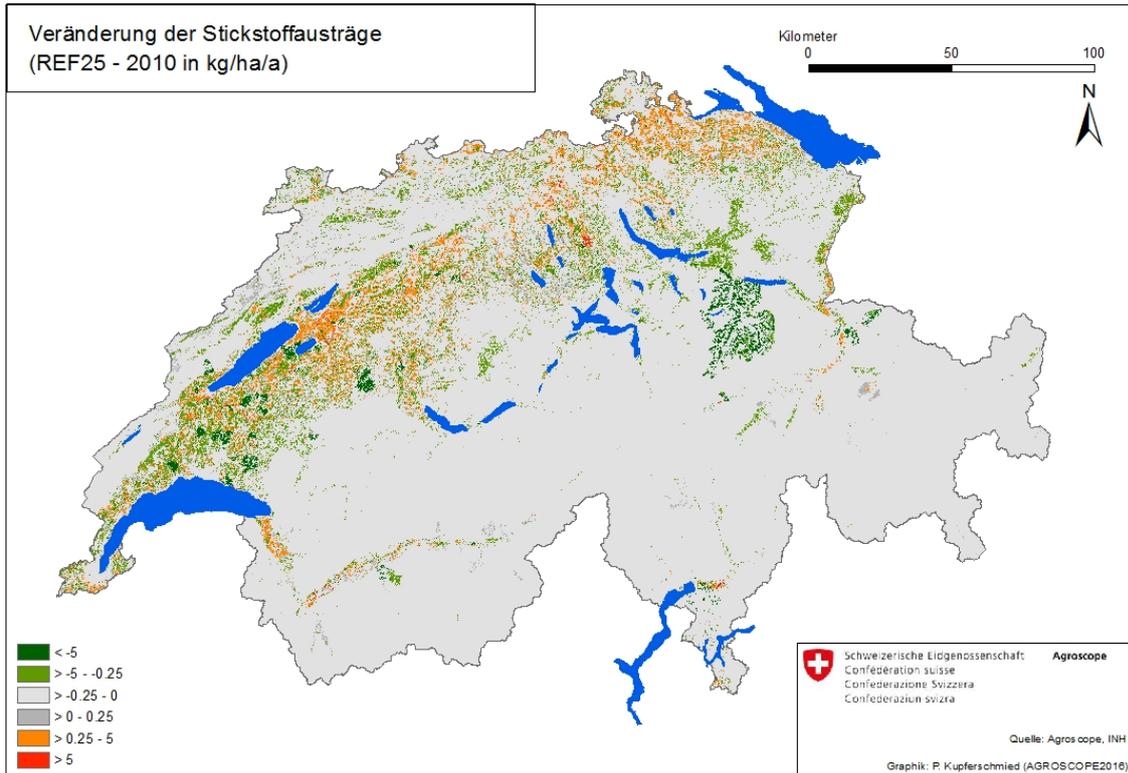


Abb. 21: Veränderung der diffusen N-Einträge zwischen REF25 und 2010 (grün = Abnahme REF25, rot = Zunahme REF25). Auffällige Veränderungen einzelner Gemeinden siehe Anmerkung S. 43.

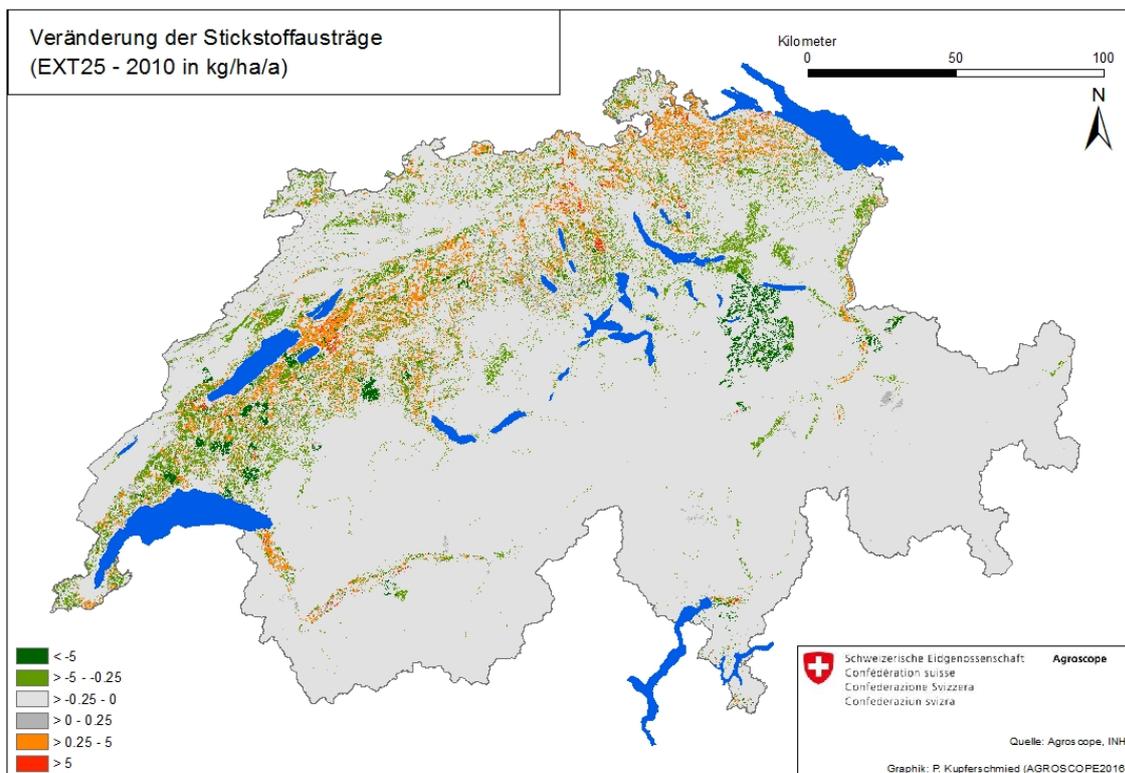


Abb. 22: Veränderung der diffusen N-Einträge zwischen EXT25 und 2010 (grün = Abnahme EXT25, rot = Zunahme EXT25). Auffällige Veränderungen einzelner Gemeinden siehe Anmerkung S. 43.

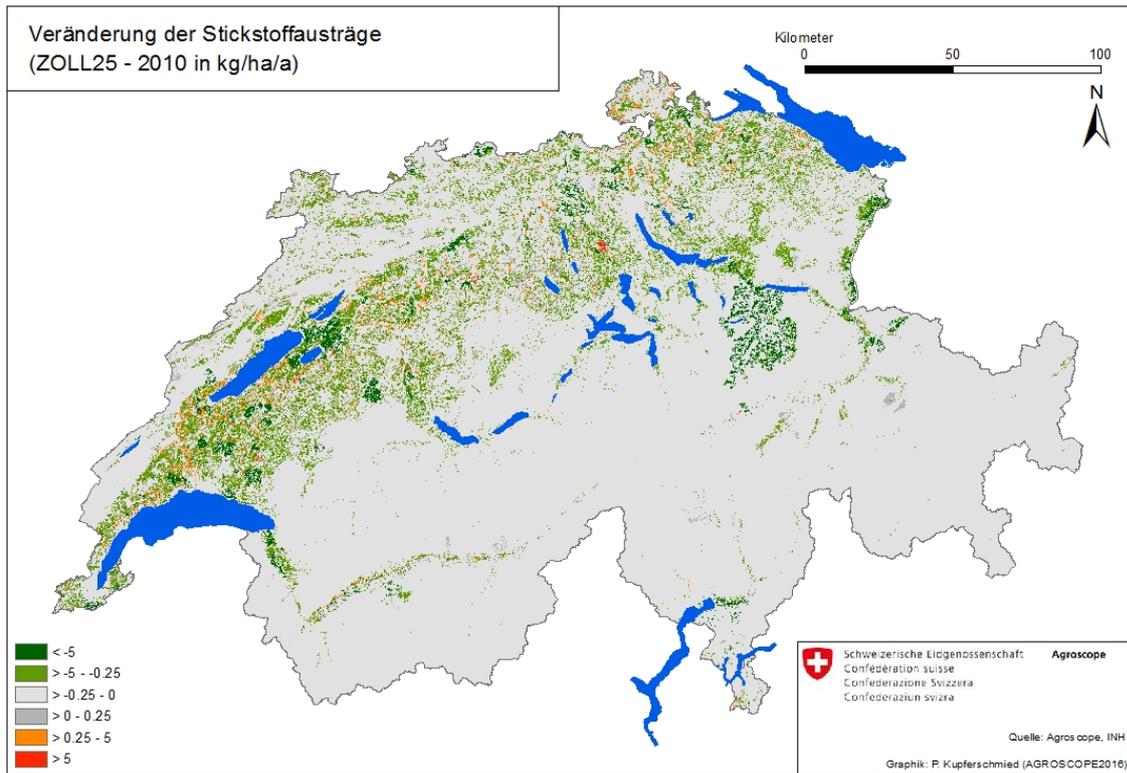


Abb. 23: Veränderung der diffusen N-Einträge zwischen ZOLL25 und 2010 (grün = Abnahme ZOLL25, rot = Zunahme ZOLL25). Auffällige Veränderungen einzelner Gemeinden siehe Anmerkung S. 43.

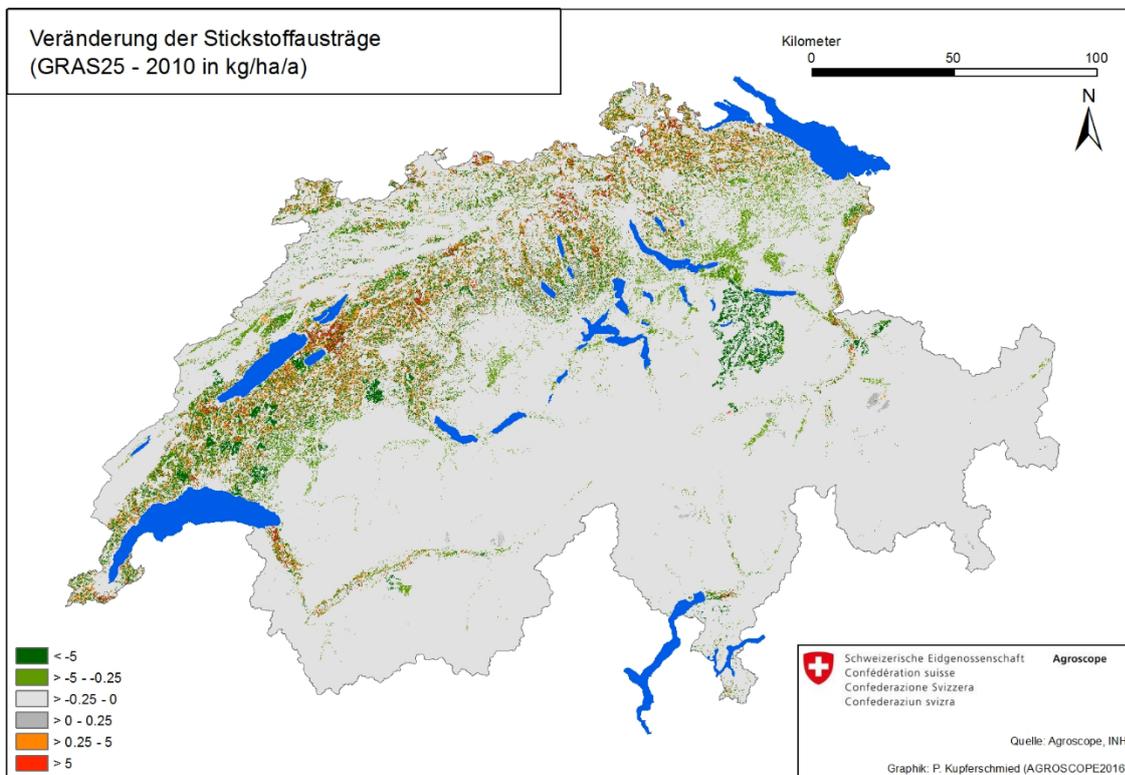


Abb. 24: Veränderung der diffusen N-Einträge zwischen GRAS25 und 2010 (grün = Abnahme GRAS25, rot = Zunahme GRAS25). Auffällige Veränderungen einzelner Gemeinden s. Anmerkung S. 43.

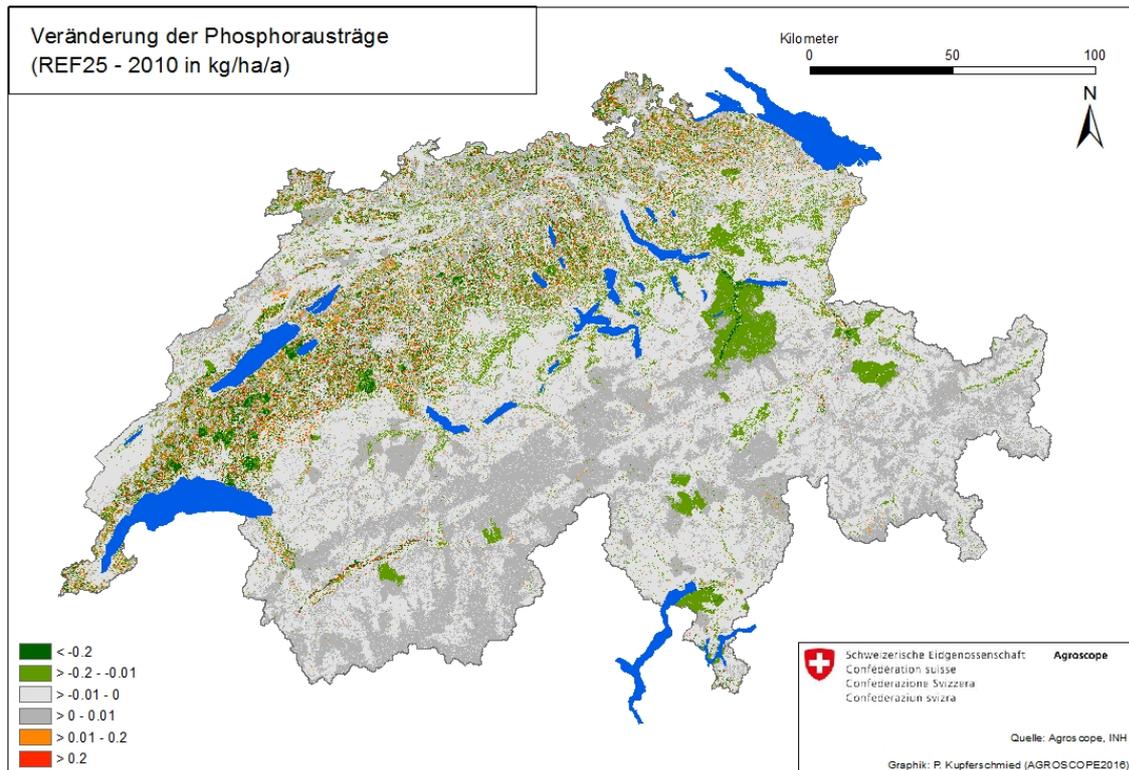


Abb. 25: Veränderung der diffusen Gesamt-P-Einträge zwischen REF25 und 2010 (grün = Abnahme REF25, rot = Zunahme REF25). Auffällige Veränderungen von Gemeinden s. Anmerkung S. 43.

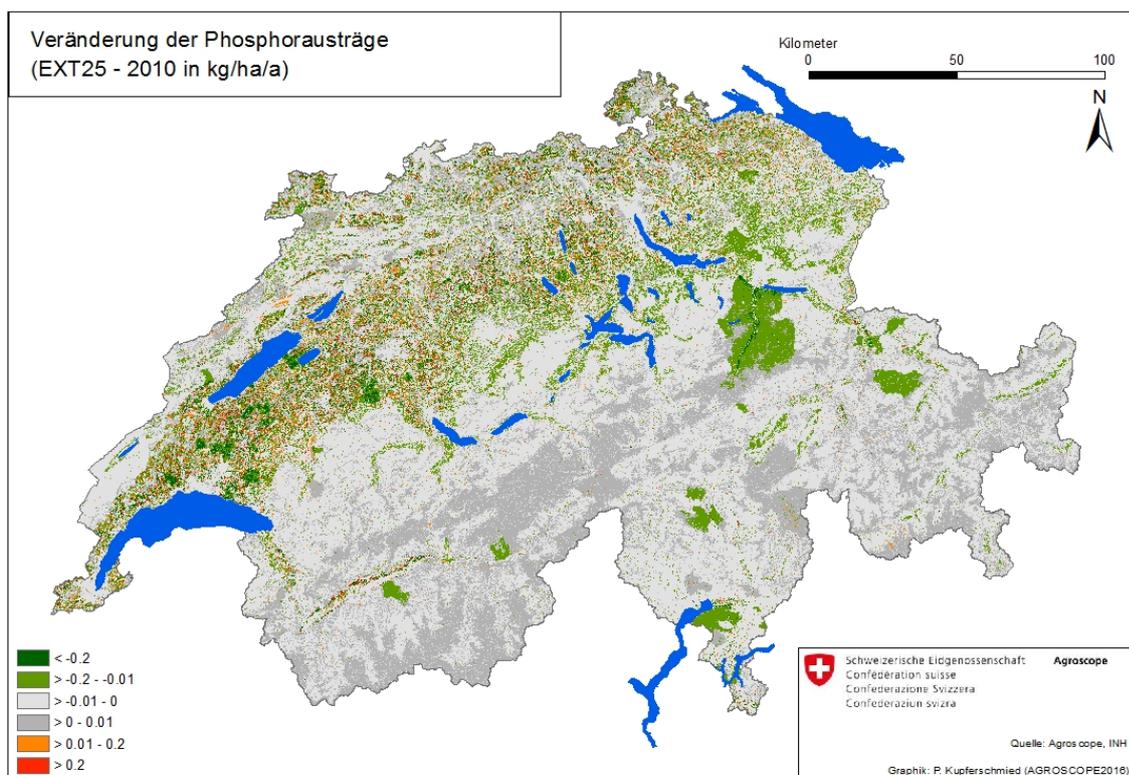


Abb. 26: Veränderung der diffusen Gesamt-P-Einträge zwischen EXT25 und 2010 (grün = Abnahme EXT25, rot = Zunahme EXT25). Auffällige Veränderungen von Gemeinden s. Anmerkung S. 43.

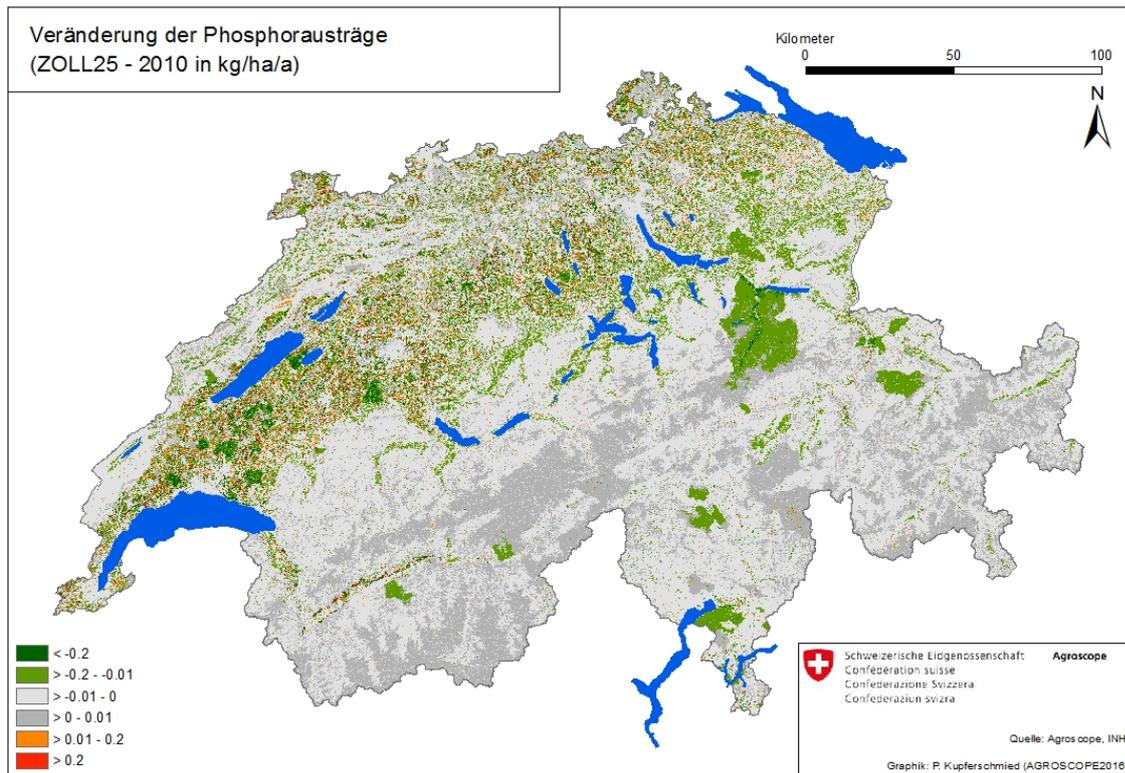


Abb. 27: Veränderung der diffusen Gesamt-P-Einträge zwischen ZOLL25 und 2010 (grün = Abnahme ZOLL25, rot = Zunahme ZOLL25). Auffällige Veränderungen von Gemeinden s. Anmerkung S. 43.

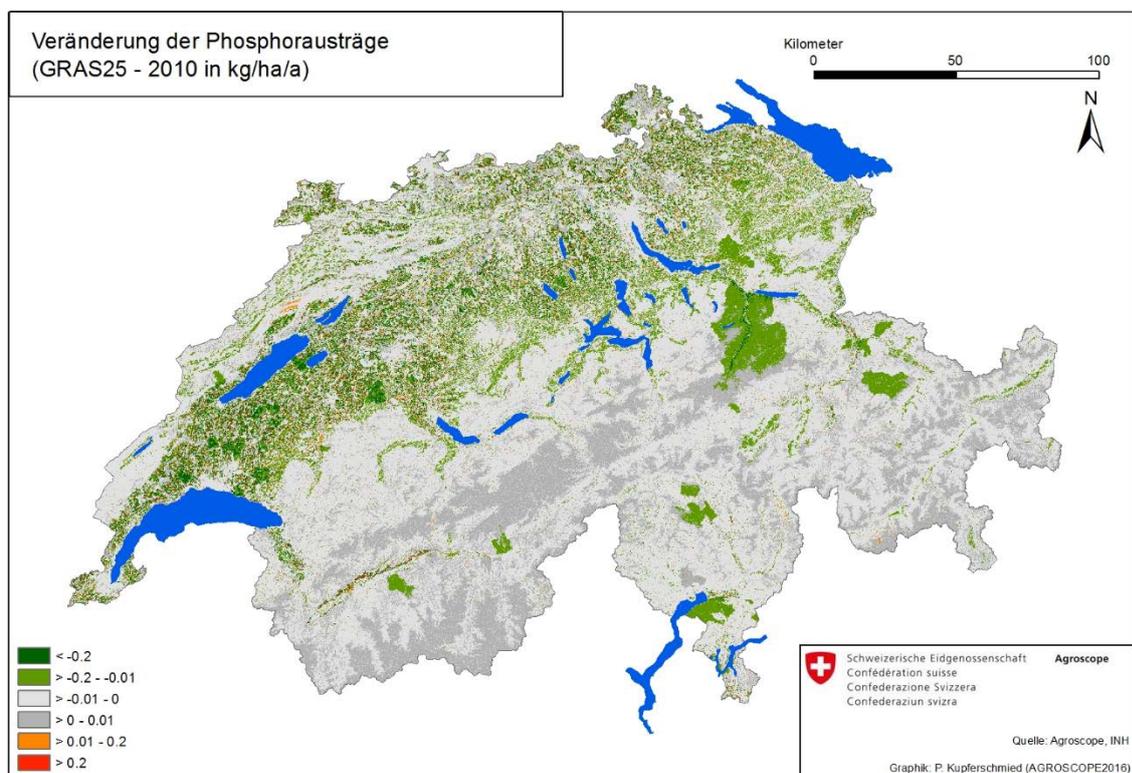


Abb. 28: Veränderung der diffusen Gesamt-P-Einträge zwischen GRAS25 und 2010 (grün = Abnahme GRAS25, rot = Zunahme EXT25). Auffällige Veränderungen von Gemeinden s. Anmerkung S. 43.

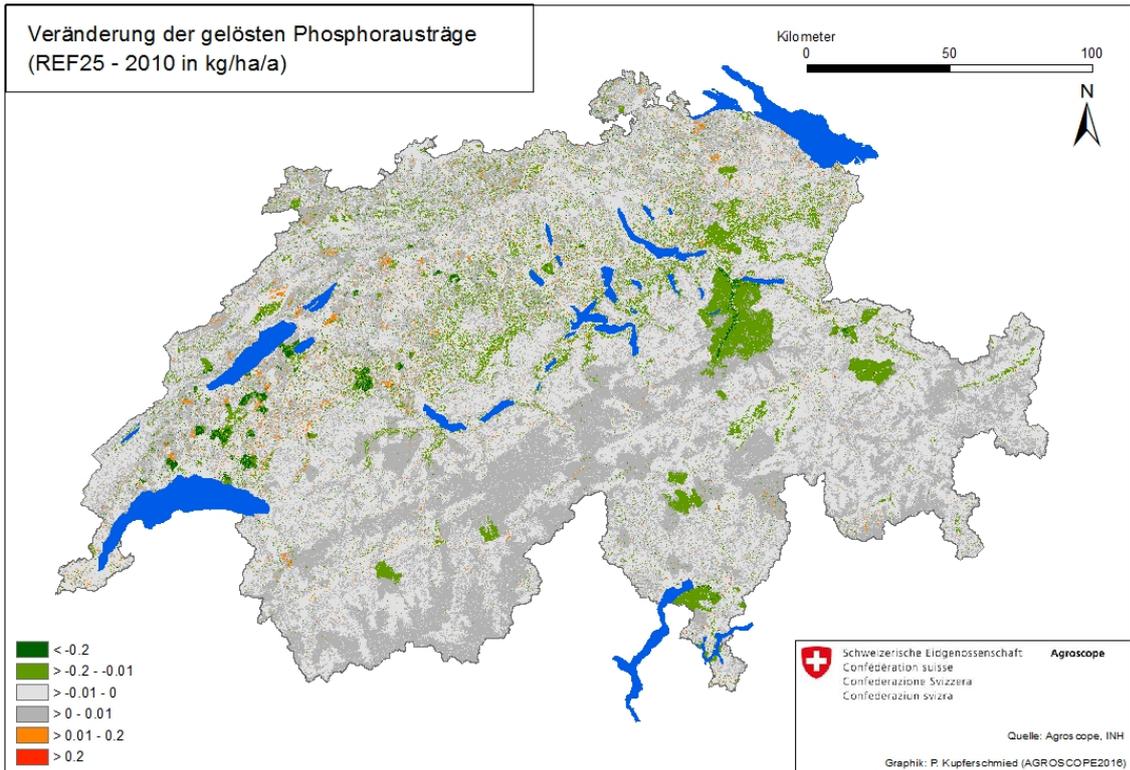


Abb. 29: Veränderung der diffusen gelösten P-Einträge zwischen REF25 und 2010 (grün = Abnahme REF25, rot = Zunahme REF25). Auffällige Veränderungen von Gemeinden s. Anmerkung S. 43.

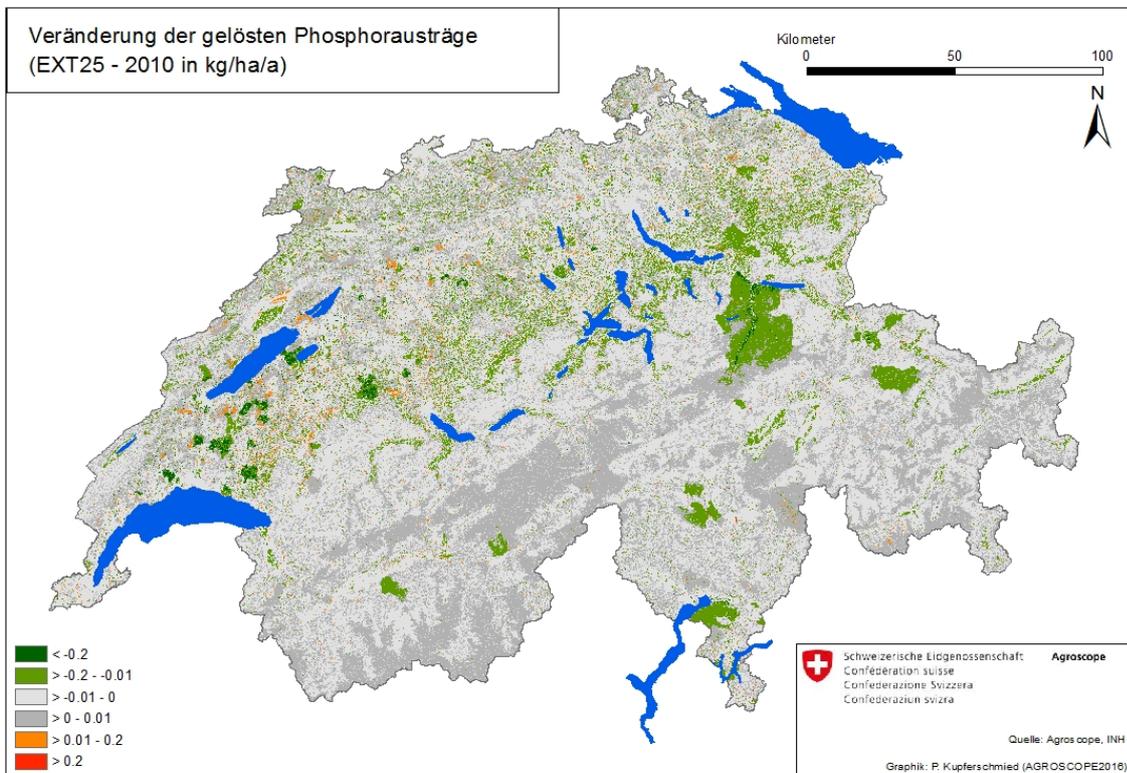


Abb. 30: Veränderung der diffusen gelösten P-Einträge zwischen EXT25 und 2010 (grün = Abnahme EXT25, rot = Zunahme EXT25). Auffällige Veränderungen von Gemeinden s. Anmerkung S. 43.

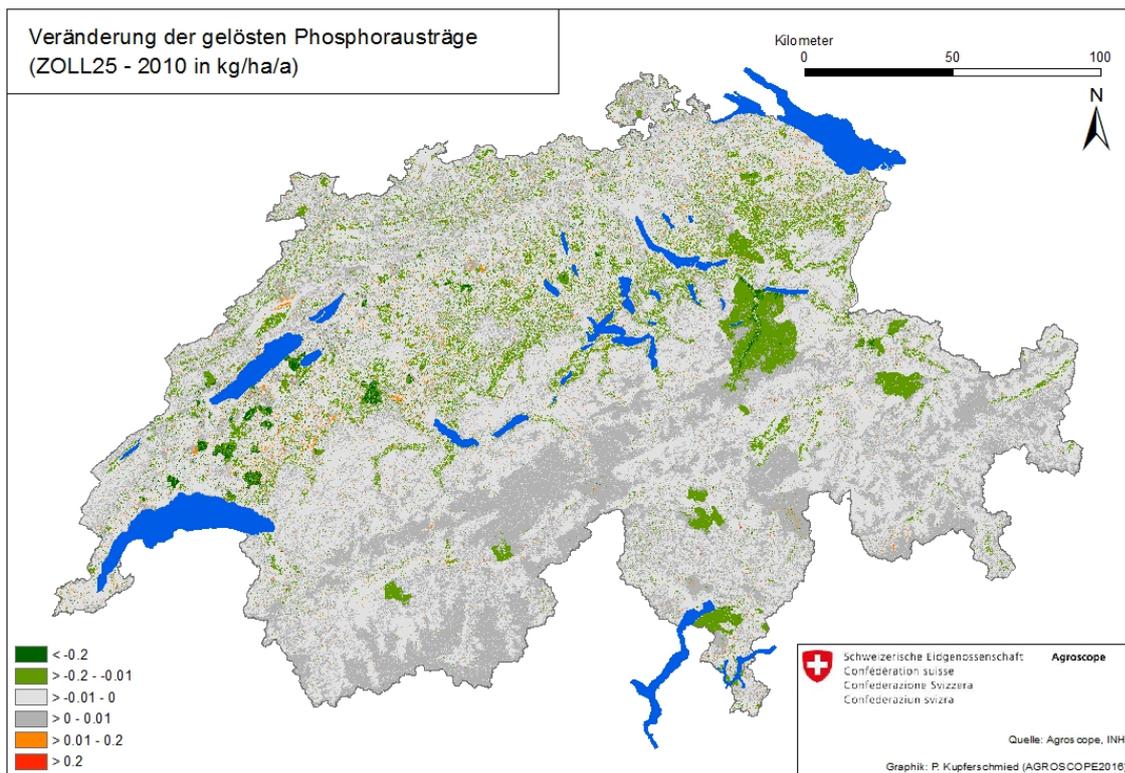


Abb. 31: Veränderung der diffusen gelösten P-Einträge zwischen ZOLL25 und 2010 (grün = Abnahme ZOLL25, rot = Zunahme ZOLL25). Auffällige Veränderungen einzelner Gemeinden siehe Anmerkung S. 43.

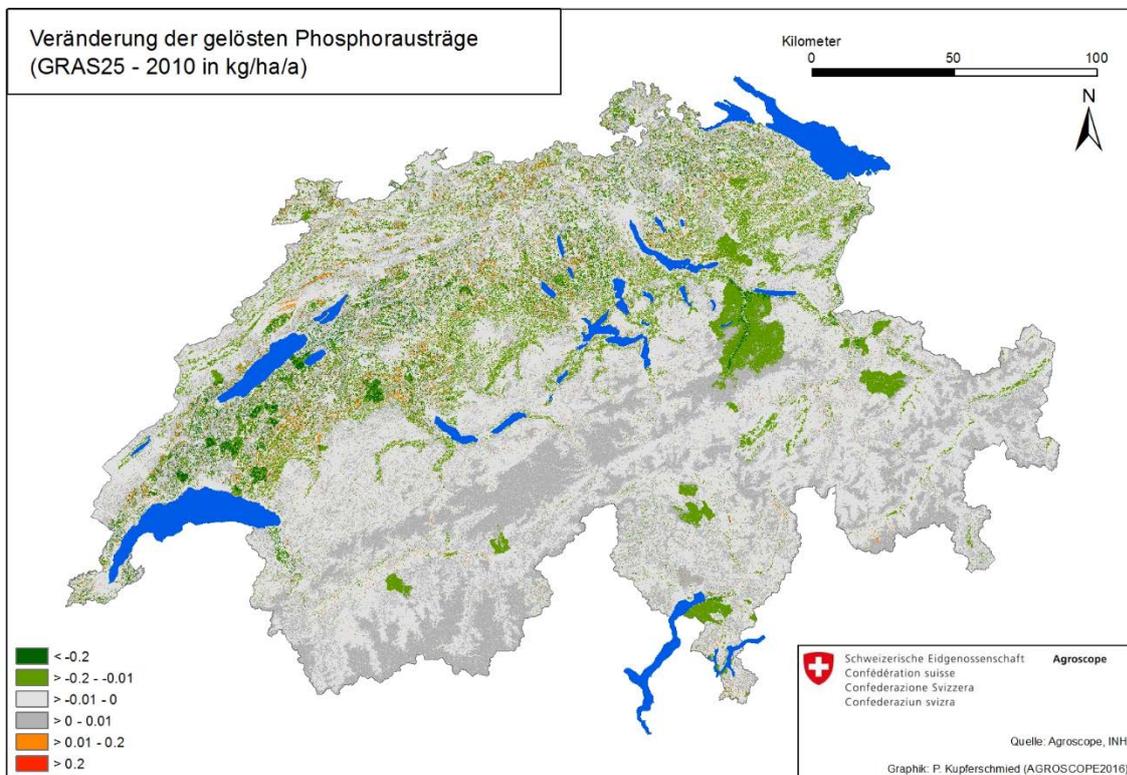


Abb. 32: Veränderung der diffusen gelösten P-Einträge zwischen GRAS25 und 2010 (grün = Abnahme GRAS25, rot = Zunahme GRAS25). Auffällige Veränderungen einzelner Gemeinden siehe Anmerkung S. 43.

4. Berechnungen weiterer Massnahmen mit MODIFFUS 3.0

In diesem Kapitel werden für weitere Massnahmen bzw. für Ergänzungen der in Kapitel 3 berechneten Szenarien die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer berechnet. Für diese Massnahmen konnten keine Berechnungen mit SWISSland und SALCA durchgeführt werden.

4.1 Szenario konservierende Bodenbearbeitung

Bei der Berechnung des Referenzszenarios (REF) mit SWISSland, welches die Fortschreibung der AP14-17 bis ins Jahr 2015 abbilden soll, musste auf eine mögliche Veränderung der Bodenbearbeitungsverfahren im Ackerbau verzichtet werden, da diese in SWISSland derzeit nicht implementiert sind (Möhring et al. 2016). Für die schonende Bodenbearbeitung werden gemäss Direktzahlungsverordnung Art. 79 und 80 ab 2014 Beiträge ausbezahlt (Ressourceneffizienzbeiträge „Schonende Bodenbearbeitung“ (SCHOOP & FISCHLER 2016).

Es wird angenommen, dass sich der Flächenanteil mit konservierender Bodenbearbeitung dadurch sukzessiv erhöhen wird. Die Direktsaatfläche der Schweiz betrug gemäss Angaben von SWISS NOTILL im Jahr 2010 rund 16'000 ha, die Fläche mit pflugloser Bodenbearbeitung bzw. Mulchsaat rund 120'000 ha (BASCH et al. 2008; STREIT mündliche Mitteilung). Rund 33% der Ackerfläche wurde 2010 also konservierend bearbeitet. Es wurde angenommen, dass sich der Anteil konservierender Bodenbearbeitung im Ackerbau von 33% im Jahr 2010 auf 50% im Jahr 2020 und 66% im Jahr 2025 erhöhen wird.

Nach Untersuchungen von PRASUHN (2012) ist bei konservierender Bodenbearbeitung mit einer massiven Erosionsverminderung zu rechnen. Bei Direktsaat und Mulchsaat mit >30% Bodenbedeckung beträgt diese rund 90%, bei pflugloser Bodenbearbeitung mit geringerer Bodenbedeckung ist sie je nach Bodenbedeckung niedriger. Für die vorliegende Berechnung wurde pauschal eine Erosionsminderung von 80% für alle Flächen mit konservierender Bodenbearbeitung angenommen.

Konservierende Bodenbearbeitung hat auch positive Auswirkungen auf die Höhe der Nitrat- auswaschung. Es wurde angenommen, dass sich die Nitratauswaschung im Mittel um rund 10% bzw. knapp 5 kg N/ha durch konservierende Bodenbearbeitung verringert.

Da die Lage der Ackerflächen, auf denen konservierender Bodenbearbeitung durchgeführt wird, nicht bekannt ist, wurden deren Auswirkungen in zwei Varianten berechnet:

1. **REF_BB**: Die Wirkung der Massnahme wurde pauschal auf alle Ackerflächen umgelegt. Damit errechnet sich eine Abnahme der Erosion für das Jahr 2020 für alle Ackerflächen von rund 18% gegenüber 2010 und für das Jahr 2025 von 36%. Da die Bodenbearbeitung bei der Berechnung der Bodenerosion über die C-Faktoren einfließt, wurden die C-Faktoren entsprechend angepasst. Der C-Faktor wurde pauschal um 17% bzw. 35% erniedrigt. Über die Daten der Kulturartenverteilung pro Gemeinde aus dem SWISSland-Szenario REF20 bzw. REF25 wurden entsprechend neue mittlere C-Faktoren errechnet. Bei der Nitratauswaschung unter Ackerland errechnet sich für das Jahr 2020 für alle Ackerflächen eine Abnahme von rund 1% gegenüber 2010 und für das Jahr 2025 von rund 3%. Über die Daten der Ackerland- und Kulturartenverteilung pro Gemeinde aus dem SWISSland-Szenario REF20 bzw. REF25 wurden entsprechend neue Auswaschungswerte berechnet.
2. **REF_BB_Hotspot**: Von der mit REF20 bzw. REF25 berechneten Ackerfläche wurden gezielt die Ackerflächen mit den höchsten Stoffverlusten ausgewählt, auf denen die Massnahme realisiert werden soll. Dabei wurden 2020 von den rund 60'000 ha, die

zusätzlich mit konservierender Bodenbearbeitung bestellt werden, die 30'000 ha mit den höchsten P-Verlusten durch Bodenerosion von Ackerflächen und die 30'000 ha mit den höchsten N-Auswaschungsverlusten von Ackerflächen ausgewählt. Auf diesen ausgewählten Flächen wurde der Bodenabtrag um 80% sowie die Nitratauswaschung um 10% reduziert. Für 2025 wurde gleich verfahren: Auf den 61'500 ha mit den grössten P-Verlusten durch Bodenerosion und auf den 61'500 ha mit den grössten Verlusten durch N-Auswaschung wurden die entsprechenden Massnahmen durchgeführt bzw. wurden die entsprechenden Verminderungen gerechnet.

4.1.1 Ergebnisse Szenario REF_BB

Die N-Verluste nehmen im Szenario REF20_BB um 204 t N bzw. 0,4% und im Szenario REF25_BB um 600 t N bzw. 1,2% gegenüber den entsprechenden Szenarien REF ab (Tab. 21). Bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche betragen diese Reduktionen 0,8 bzw. 2,2%.

Die P-Verluste nehmen im Szenario REF20_BB um 25 t P bzw. 0,7% und im Szenario REF25_BB um 51 t P bzw. 1,5% gegenüber den entsprechenden Szenarien REF ab (Tab. 21). Bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche betragen diese Reduktionen 3,2 bzw. 6,7%. Diese Reduktionen stammen aus der verminderten Bodenerosion von Ackerflächen, die um 17% (REF20_BB) bzw. 35% (REF25_BB) verringert wird.

Tab. 21: Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse des Szenarios REFBB im Vergleich zum Szenario REF.

Stickstoff	REF20_BB	REF25_BB
N-Einträge total REF_BB (t N)	49'960	49'433
Veränderung zu REF total (t N)	-204	-600
Veränderung zu REF total (%)	-0.4	-1.2
Veränderung zu REF N-Einträge Ackerland (%)	-1.1	-3.3
Veränderung zu REF N-Einträge Auswaschung (%)	-0.5	-1.5
N-Einträge landw. genutzte Fläche REF_BB (t N)	26'792	26'268
Veränderung zu REF landw. genutzte Fläche (%)	-0.8	-2.2
Phosphor	REF20_BB	REF25_BB
P-Einträge total REF_BB (t P)	3'408	3'379
Veränderung zu REF total (t P)	-24.5	-50.6
Veränderung zu REF total (%)	-0.7	-1.5
Veränderung zu REF P-Einträge Ackerland (%)	-7.4	-15.4
Veränderung zu REF P-Einträge Erosion (%)	-16.6	-34.6
P-Einträge landw. genutzte Fläche REF_BB (t P)	738	709.0
Veränderung zu REF landw. genutzte Fläche (%)	-3.2	-6.7

4.1.2 Ergebnisse Szenario REF_BB_Hotspot

Die N-Verluste nehmen im Szenario REF20_BB_Hotspot um 353 t N bzw. 0,7% und im Szenario REF25_BB_Hotspot um 671 t N bzw. 1,3% gegenüber den entsprechenden Szenarien REF ab (Tab. 22). Bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche betragen diese Reduktionen 0,9 bzw. 1,7%. Beim Vergleich der Karten der diffusen N-Einträge von REF25_BB-Hotspot mit 2010 fallen kaum Unterschiede auf (Abb. 33). Die konzentrierten roten Flächen

mit sehr hohen N-Einträgen im Seeland, Rhone- und Rheintal existieren immer noch, nur sind die Verluste dort 10% niedriger im Szenario REF25_BB-Hotspot. Dies reicht häufig nicht aus, um die Flächen in eine niedrigere Stufe zu klassieren.

Die P-Verluste nehmen im Szenario REF20_BB_Hotspot um 54 t P bzw. 1,6% und im Szenario REF25_BB_Hotspot um 76 t P bzw. 2,2% gegenüber den entsprechenden Szenarien REF ab (Tab. 22). Bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche betragen diese Reduktionen 6,6 bzw. 10%. Diese Reduktionen stammen aus der verminderten Bodenerosion von Ackerflächen, die um 37% (REF20_BB) bzw. 52% (REF25_BB) verringert wird. Die Reduktionen treten verstreut im gesamten Mittelland auf, so dass beim Vergleich der Karten vom Szenario REF25_BB-Hotspot mit 2010 auf den ersten Blick kaum Veränderungen zu erkennen sind (Abb. 33).

Tab. 22: Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse des Szenarios REF_BB_Hotspot im Vergleich zum Szenario REF.

	REF20_BB_Hotspot	REF25_BB_Hotspot
Stickstoff		
N-Einträge total REF_BB_Hotspot (t N)	49'816	49'367
Veränderung zu REF total (t N)	-353	-671
Veränderung zu REF total (%)	-0.7	-1.3
Veränderung zu REF N-Einträge Ackerland (%)	-1.9	-3.7
Veränderung zu REF N-Einträge Auswaschung (%)	-0.9	-1.7
N-Einträge landw. genutzte Fläche REF_BB_Hotspot (t N)	26'644	26'197
Veränderung zu REF landw. genutzte Fläche (%)	-1.3	-2.5
Phosphor		
P-Einträge total REF_BB_Hotspot (t P)	3'378	3'353
Veränderung zu REF total (t P)	-54.1	-76.2
Veränderung zu REF total (%)	-1.6	-2.2
Veränderung zu REF P-Einträge Ackerland (%)	-15.3	-23.1
Veränderung zu REF P-Einträge Erosion (%)	-36.6	-52.1
P-Einträge landw. genutzte Fläche REF_BB_Hotspot (t P)	708	683.5
Veränderung zu REF landw. genutzte Fläche (%)	-6.6	-10.0

Insgesamt zeigt sich, dass die Massnahme konservierende Bodenbearbeitung relativ grosse Auswirkungen auf die diffusen Stoffeinträge - insbesondere die P-Einträge - hat. Die Reduktionen sind beim Phosphor im Vergleich von Szenario REF25-BB mit REF25 fast so gross wie die Reduktionen im Vergleich von REF25 mit 2010. Vergleicht man das REF25_BB_Hotspot-Szenario mit den Ausgangsdaten von 2010, ergibt sich eine Abnahme der diffusen P-Einträge aus dem Ackerland von 111 t P bzw. 30% der Einträge aus dem Ackerland und eine Abnahme der entsprechenden N-Einträge von 1'935 t N bzw. 10%.

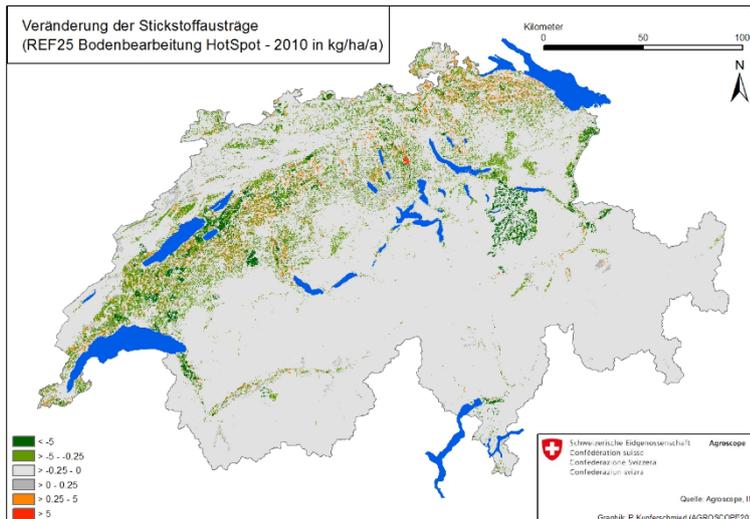
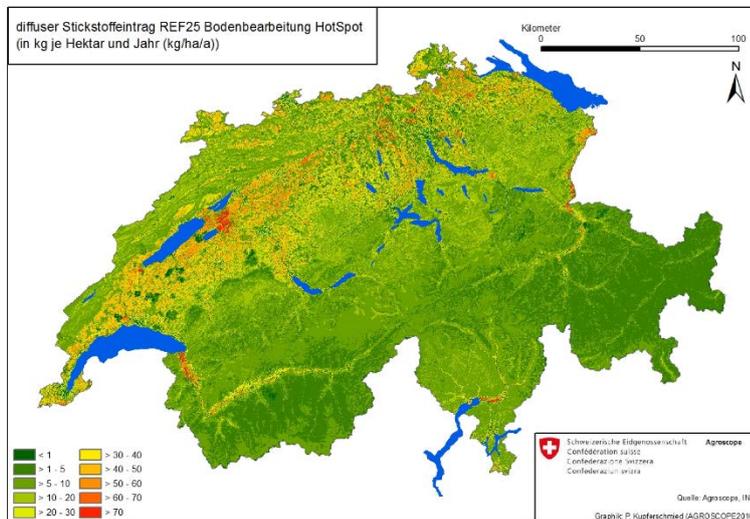
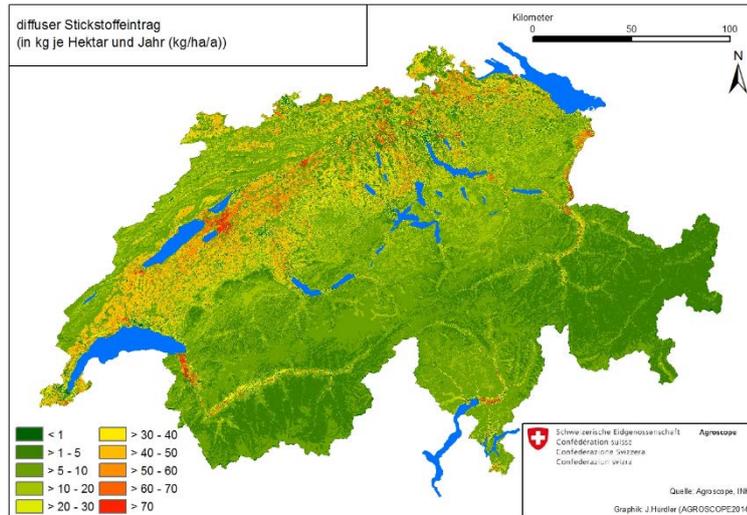


Abb. 33: Diffuse N-Einträge im Jahr 2010 (oben), im Szenario REF25_BB_Hotspot (Mitte) und als Differenzkarte REF25_BB_Hotspot minus 2010 (unten).

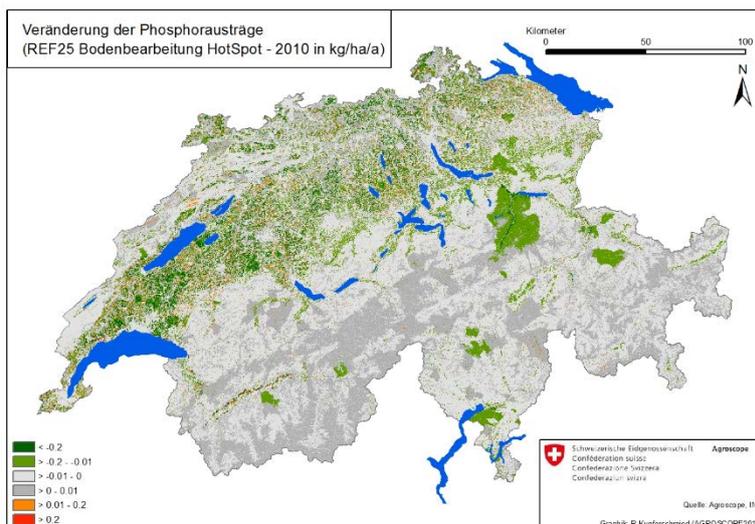
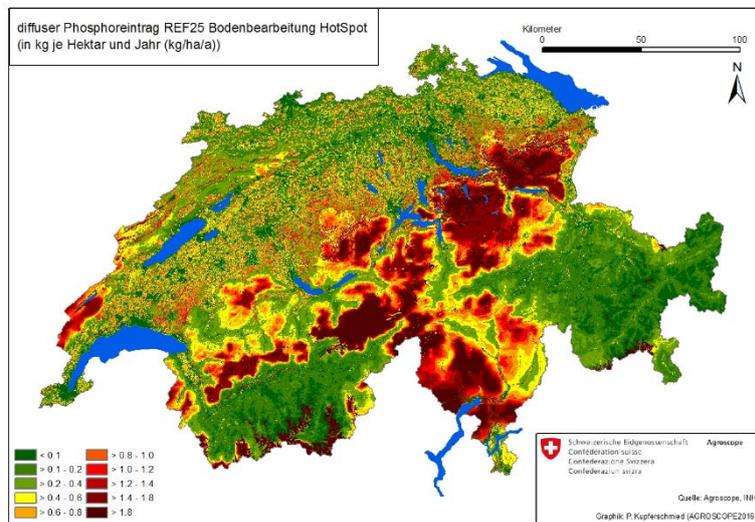
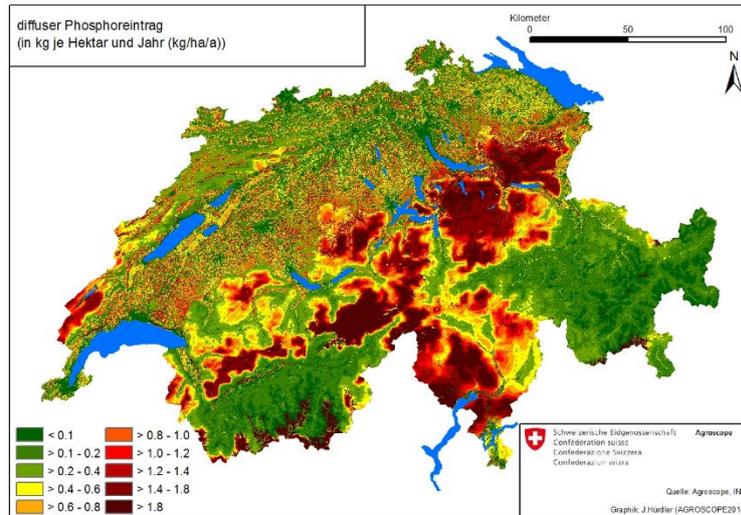


Abb. 34: Diffuse Gesamt-P-Einträge im Jahr 2010 (oben), im Szenario REF25_BB_Hotspot (Mitte) und als Differenzkarte REF25_BB_Hotspot minus 2010 (unten).

4.2 Szenario GRAS_Hotspot

Im Szenario GRAS_Hotspot gelten die gleichen Grundannahmen wie im Szenario GRAS. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Fläche an Ackerland, die gemäss SWISSland-Berechnungen in andere Nutzungen umgewandelt werden sollen, nicht nach dem Zufallsprinzip ausgewählt wurden, sondern sich auf die Hotspots bezüglich N- und P-Verluste konzentrieren. Dabei sollten die Hotspots von P-Verlusten unter Ackerland durch Bodenerosion und N-Verlusten unter Ackerland durch Auswaschung zu gleichen Teilen berücksichtigt werden.

GRAS20_Hotspot

Im Szenario GRAS20 wurden rund 62'000 ha Ackerland in andere Nutzungen überführt. Es wurden jeweils die rund 31'000 ha mit den höchsten P-Verlusten durch Bodenerosion und den höchsten N-Verlusten durch Auswaschung ausgewählt. Da es rund 1'000 ha Überschneidungen gab - also Flächen die sowohl P- als auch N-Hotspot waren - mussten noch jeweils rund 500 ha zusätzliche N- bzw. P-Hotspots ausgewählt werden (Flächen mit den nächsthöchsten N- bzw. P-Verlusten), um insgesamt auf eine Fläche von rund 62'000 ha zu kommen. Diese 62'000 ha Ackerflächen wurden analog zum Szenario GRAS20 mit den gleichen prozentualen Anteilen wie in GRAS20 in Siedlungsfläche, Siedlungsgrün, Dauerwiesen, Heimweiden und Wald nach dem Zufallsprinzip umgewandelt. Danach erfolgte eine Neuberechnung aller Wasser- und Stoffflüsse mit den veränderten Eingangsdaten der Arealstatistik.

GRAS25_Hotspot

Im Szenario GRAS25 wurden rund 157'000 ha Ackerland in andere Nutzungen überführt. Es wurden jeweils die rund 78'000 ha mit den höchsten P-Verlusten durch Bodenerosion und den höchsten N-Verlusten durch Auswaschung ausgewählt. Da es rund 6'000 ha Überschneidungen gab - also Flächen die sowohl P- als auch N-Hotspot waren - mussten noch jeweils rund 3'000 ha zusätzliche N- bzw. P-Hotspots ausgewählt werden, um insgesamt auf eine Fläche von rund 157'000 ha zu kommen. Diese 157'000 ha Ackerflächen wurden analog zum Szenario GRAS25 mit den gleichen prozentualen Anteilen wie in GRAS25 in Siedlungsfläche, Siedlungsgrün, Dauerwiesen, Heimweiden und Wald nach dem Zufallsprinzip umgewandelt.

Ergebnisse Szenario GRAS_Hotspot

Die wichtigsten Ergebnisse des Szenarios GRAS_Hotspot im Vergleich zum Szenario GRAS sind in Tabelle 23 zusammengestellt. Die N-Einträge werden um 656 t N (GRAS_Hotspot_2020) bzw. 624 t N (GRAS_Hotspot_2025) gegenüber den entsprechenden Szenarien GRAS20 bzw. GRAS25 reduziert. Bezogen auf die gesamten N-Einträge gibt es nur eine geringe Reduktion von etwas über 1%, bezogen auf die N-Einträge aus landwirtschaftliche genutzten Flächen sind es gegen 3%. Da in diesem Szenario nur bei den Ackerflächen Veränderungen vorgenommen wurden, treten hier auch die grössten Veränderungen auf (GRAS20_Hotspot = 4% Abnahme, GRAS25_Hotspot = 6% Abnahme).

Die P-Einträge werden um 29 t P (GRAS_Hotspot_2020) bzw. 34 t P (GRAS_Hotspot_2025) gegenüber den entsprechenden Szenarien GRAS20 bzw. GRAS25 reduziert. Bezogen auf die gesamten P-Einträge ist dies ebenfalls nur eine geringe Reduktion von gegen 1%, bezogen auf die P-Einträge aus landwirtschaftliche genutzten Flächen sind es gegen 4-5%. Bei Betrachtung der P-Einträge von Ackerflächen ist eine erhebliche Reduktion von 11% (GRAS20_Hotspot) bzw. 19% (GRAS25_Hotspot) festzustellen. Beim Pfad Bodenerosion von

Acker- und Rebflächen sind die Reduktionen sogar noch grösser (GRAS20_Hotspot = -27%; GRAS25_Hotspot = -32%).

Tab. 23: Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse des Szenarios GRAS_Hotspot im Vergleich zum Szenario GRAS.

Stickstoff	GRAS20_ Hotspot	GRAS25_ Hotspot
N-Einträge total GRAS_Hotspot (t N)	47'575	44'230
Veränderung zu GRAS total (t N)	-656	-624
Veränderung zu GRAS total (%)	-1.4	-1.4
Veränderung zu GRAS N-Einträge Ackerland (%)	-4.0	-6.0
Veränderung zu GRAS N-Einträge Auswaschung (%)	-1.7	-1.7
N-Einträge landw. genutzte Fläche GRAS_Hotspot (t N)	24'240	20'478
Veränderung zu GRAS landw. genutzte Fläche (%)	-2.6	-3.1
Phosphor	GRAS20_ Hotspot	GRAS25_ Hotspot
P-Einträge total GRAS_Hotspot (t P)	3'366	3'297
Veränderung zu GRAS total (t P)	-29	-34
Veränderung zu GRAS total (%)	-0.8	-1.0
Veränderung zu GRAS P-Einträge Ackerland (%)	-11.0	-19.0
Veränderung zu GRAS P-Einträge Erosion (%)	-27.0	-32.0
P-Einträge landw. genutzte Fläche GRAS_Hotspot (t P)	694	621
Veränderung zu GRAS landw. genutzte Fläche (%)	-4.0	-5.1

Insgesamt hat das Szenario GRAS_Hotspot bei der Verminderung der P-Einträge durch Bodenerosion also eine deutlich grössere Wirkung als bei der Verminderung der N-Auswaschung unter Ackerland gegenüber dem Szenario GRAS. Bei der N-Auswaschung unter Ackerland gibt es weniger Hotspots bzw. sehr viele Flächen mit sehr hohen und hohen N-Verlusten. Bei den Flächen mit hohen P-Verlusten durch Bodenerosion ist die Situation akzentuierter, daher werden beim Szenario-Hotspot alle Flächen mit sehr hohen und hohen P-Verlusten erfasst und umgewandelt.

Da – vor allem beim Szenario GRAS25 – rund ein Drittel der Ackerfläche in andere Nutzungen umgewandelt wurde, kann man hier kaum noch von Hotspots sprechen. Bereits bei der zufälligen Umwandlung von Ackerflächen im Szenario GRAS25 dürften schon viele Flächen mit hohen N- oder P-Einträgen für die Umwandlung ausgewählt worden sein. Daher sind die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien auch nicht sehr gross.

Weiterhin gilt zu beachten, dass bei der Modellierung mit MODIFFUS nur bedingt die Hotspots abgebildet werden können. Die die P-Einträge durch Bodenerosion und die N-Auswaschung unter Ackerland besonders stark beeinflussenden Faktoren wie Kulturwahl, Düngung und Bodenbearbeitung liegen nur gemeindeweise vor und wurden entsprechend für alle Ackerflächen einer Gemeinde gemittelt berechnet. Somit kommt es zu einer Häufung von Flächen mit hohen Stoffverlusten in einer Gemeinde mit z.B. hohem Gemüseanteil, obwohl hier wahrscheinlich nur ein Teil der Flächen mit vermutlich noch höheren Stoffverlusten in der Realität vorliegen.

Um die eigentlichen Hotspots identifizieren zu können, wären parzellenscharfe Daten und entsprechende Modellierungen nötig.

Bei Betrachtung der regionalen Differenzierung in der Karte „GRAS25_Hotspot minus 2010“ (Abb. 35) ist gut erkennbar, dass alle Flächen mit sehr hohen N-Einträgen wie z. B. im Seeland, im Rhonetal, im Rheintal und generell im Mittelland (rote Flächen in der Abb. 35 oben) eine deutliche Abnahme der N-Einträge erfahren haben (dunkelgrüne Flächen in der Abb. 35 unten).

Beim Gesamt-Phosphor zeigen sich die Unterschiede in den Karten nicht so deutlich. Die Flächen mit hohen P-Verlusten durch Bodenerosion treten nicht konzentriert, sondern über das ganze Mittelland verteilt auf (Abb. 36). Der Einbezug der hochaufgelösten Erosionsrisikokarte führte zu einer starken Differenzierung im Vergleich zur N-Auswaschung unter Ackerland.

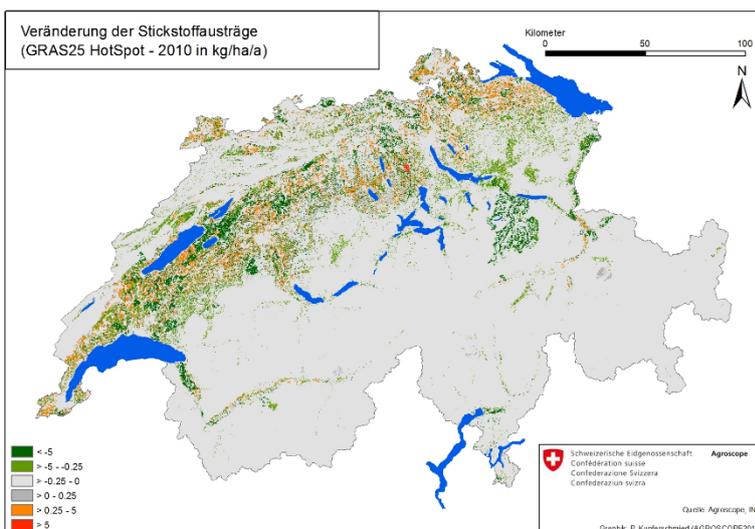
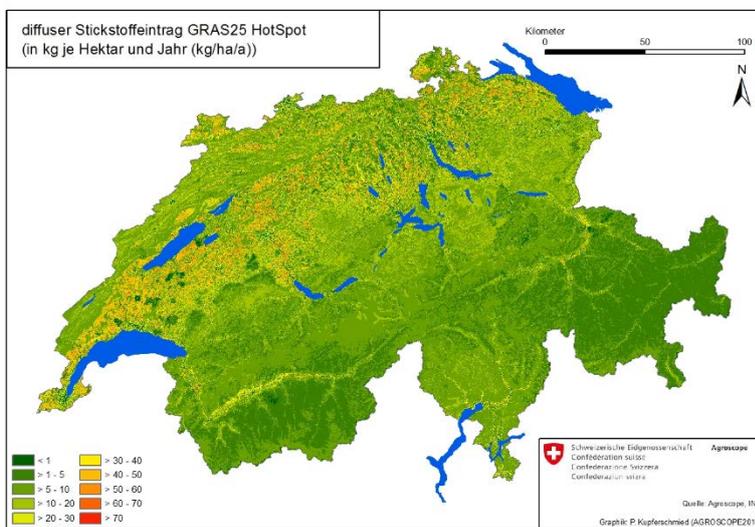
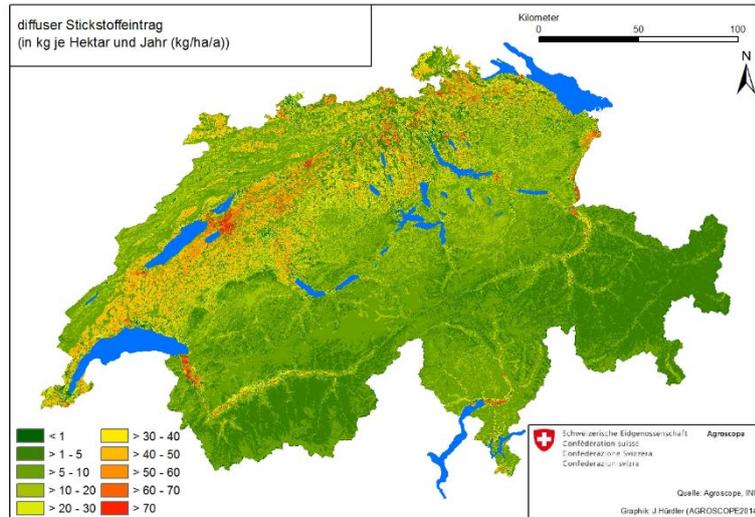


Abb. 35: Diffuse N-Einträge im Jahr 2010 (oben), im Szenario GRAS25_Hotspot (Mitte) und als Differenzkarte GRAS25_Hotspot minus 2010 (unten).

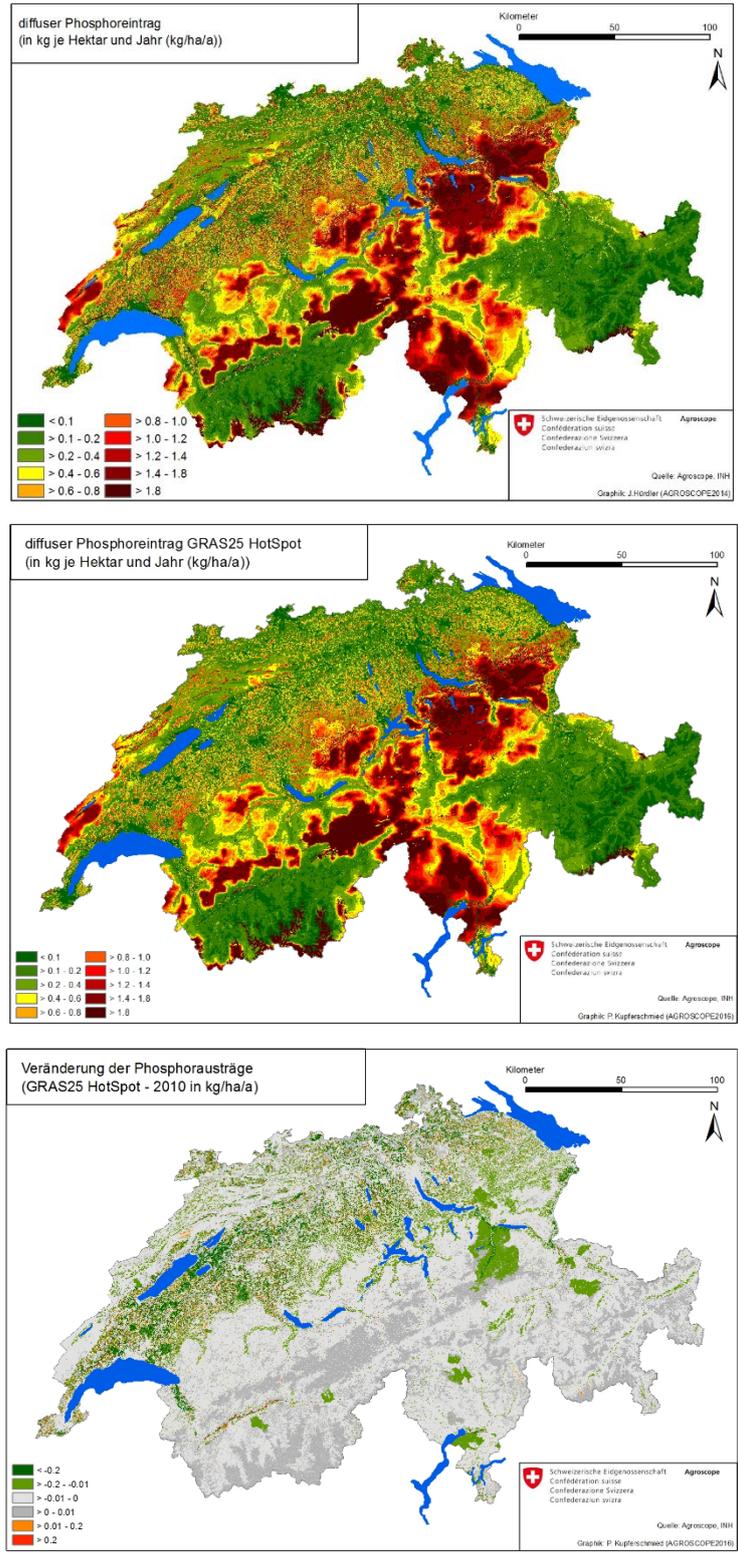


Abb. 36: Diffuse Gesamt-P-Einträge im Jahr 2010 (oben), im Szenario GRAS25_Hotspot (Mitte) und als Differenzkarte GRAS25_Hotspot minus 2010 (unten).

4.3 Szenario maximal 25 mg/l Nitrat im Grundwasser

Anhang 2 Ziffer 22 Absatz 2 GSchV verlangt: 25 mg/l Nitrat dürfen im Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist, nicht überschritten werden (GSchV, SR 814.201). Eines der Umweltziele Landwirtschaft ist gleichlautend (BAFU & BLW 2008). Entsprechend gilt diese Anforderung für alle Einzugsgebiete von genutzten Grundwasserfassungen (Quellen und Brunnen) und von Grundwasserschutzarealen. Man könnte die betroffene Fläche auch mit den Zuströmbereichen (Zu) annähern. Diese umfassen das Gebiet, aus welchem rund 90% des geförderten Wassers stammt (Anh. 4 Ziff. 113 GSchV). Für die wenigsten genutzten Grundwasservorkommen wurde bisher ein Zuströmbereich oder ein Einzugsgebiet bestimmt. Entsprechend gibt es keine GIS-Daten dazu. Daher wurden zunächst alle Flächen berücksichtigt und diese in einem späteren Schritt noch mit anderen verfügbaren GIS-Daten verschnitten.

Es wurden folgende Annahmen getroffen, die die Problematik sehr vereinfacht darstellen und nicht unbedingt realistisch sind:

- Die mit dem Sickerwasser ausgewaschene N-Menge wird auf dem Transport bis zum Grundwasser weder reduziert (z.B. durch Denitrifikation) noch verdünnt bzw. vermischt (z.B. durch infiltrierendes Flusswasser oder seitwärts zuströmendes nitratarmes Grundwasser).
- Die mit dem Sickerwasser ausgewaschene N-Menge unter jeder Hektare entspricht also – nach Umrechnung mit der jeweiligen Sickerwassermenge – der Grundwasserkonzentration unter dieser Hektare.
- Es ist unbekannt, ob das Grundwasser unter einer bestimmten Hektare zur Trinkwassernutzung dient.

Bei der Interpretation der Resultate sind neben den oben bereits angesprochenen Problemen noch weitere Punkte zu beachten:

Theoretisch müssen im Grundwasser innerhalb eines Einzugsgebiets überall die 25 mg/l Nitrat eingehalten werden. In der Praxis ist das aber nicht sinnvoll bzw. machbar, es wird nur die Nitratkonzentration in den Fassungen angeschaut. Und diese ist immer das Produkt eines mehr oder weniger grossen Mischungsprozesses zwischen Grundwasser aus der Versickerung in Kartoffel-, Mais- oder Getreideäckern, Wiesen und Weiden, Wäldern, Siedlungsgebiet usw. und dem Beitrag, welchen die meist sehr nitratarmen infiltrierenden Oberflächengewässer liefern. Zusätzlich kommen dann auch noch an verschiedenen Orten reduzierende Verhältnisse im Untergrund vor (Denitrifikation). Im Wallis (Rhonetal) sind z. B. aus der nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA keine Überschreitungen von 25 mg/l Nitrat im Grundwasser bekannt, weil das Sickerwasser aus der Landwirtschaft fast überall so stark von der Rhone oder von seitlich zuströmendem Grundwasser von den kaum genutzten Hängen verdünnt wird, dass in der Fassung kein Problem mehr besteht. Eine ähnliche Situation besteht auch im Tessin (Magadinoebene) und Bündner und St. Galler Rheintal (mündliche Mitteilung Reto Muralt, BAFU).

Mit MODIFFUS wurden für das Jahr 2010 die N-Auswaschungsverluste unter allen Landnutzungen modelliert. Diese liegen als Auswaschungsfrachten (in kg N/ha) vor. Hohe N-Frachten liegen vor allem unter Ackerland, Reb-, Obst- und Gartenbau vor. Die Auswaschungsfrachten wurden mit den ebenfalls in MODIFFUS pro Hektare berechneten gebiets- und nutzungsspezifischen Sickerwassermengen (in l/m²) (= Niederschlag minus Evapotranspiration minus Oberflächenabfluss minus Drainageabfluss) in Nitratkonzentrationen (in mg/l) verrechnet.

25 mg/l Nitrat ist eine numerische Anforderung nach Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung für das Grundwasser, das der Trinkwassernutzung dient oder dafür vorgesehen ist, 40 mg/l ist der Toleranzwert für das Trinkwasser gemäss Lebensmittelgesetzgebung. Daher wurde in zwei Varianten die mit MODIFFUS berechneten Nitrat-Konzentrationen, die über 25 mg/l und über 40 mg/l liegen, berechnet. Auf diesen Flächen wurden die Konzentrationen, welche die beiden Schwellenwerte überschritten hatten, wiederum mit den jeweiligen Sickerwassermengen zu einer N-Fracht verrechnet und anschliessend aufsummiert.

Abbildung 37 zeigt die Flächen, auf denen die berechneten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser den Schwellenwert von 25 mg/l Nitrat übersteigen. Vor allem in einigen Gebieten mit geringen Sickerwassermengen sind die Nitratkonzentrationen sehr hoch (Rhonetal, Rheintal, westliches Mittelland, Zürcher Unterland).

Abbildung 38 zeigt dann die mit den jeweiligen Sickerwassermengen verrechneten ausgewaschenen N-Frachten auf den Flächen, die den Schwellenwert übersteigen. Weiterhin sichtbar ist, wie hoch der Schwellenwert jeweils überschritten wird. Abbildung 40 zeigt die Flächen, die den Toleranzwert von 40 mg/l Nitrat übersteigen. Die Karten zeigen also die „Hotspots“ der Nitratbelastung und zeigen somit genau die Flächen, die auch mit den „Hotspot Szenarien“ GRAS_Hotspot und REF_BB_Hotspot erfasst wurden (vgl. Kap. 4.1.2 und 4.2). Das Histogramm zeigt weiterhin, wie viele Flächen den Schwellenwert in bestimmten Klassen überschreiten (Abb. 39).

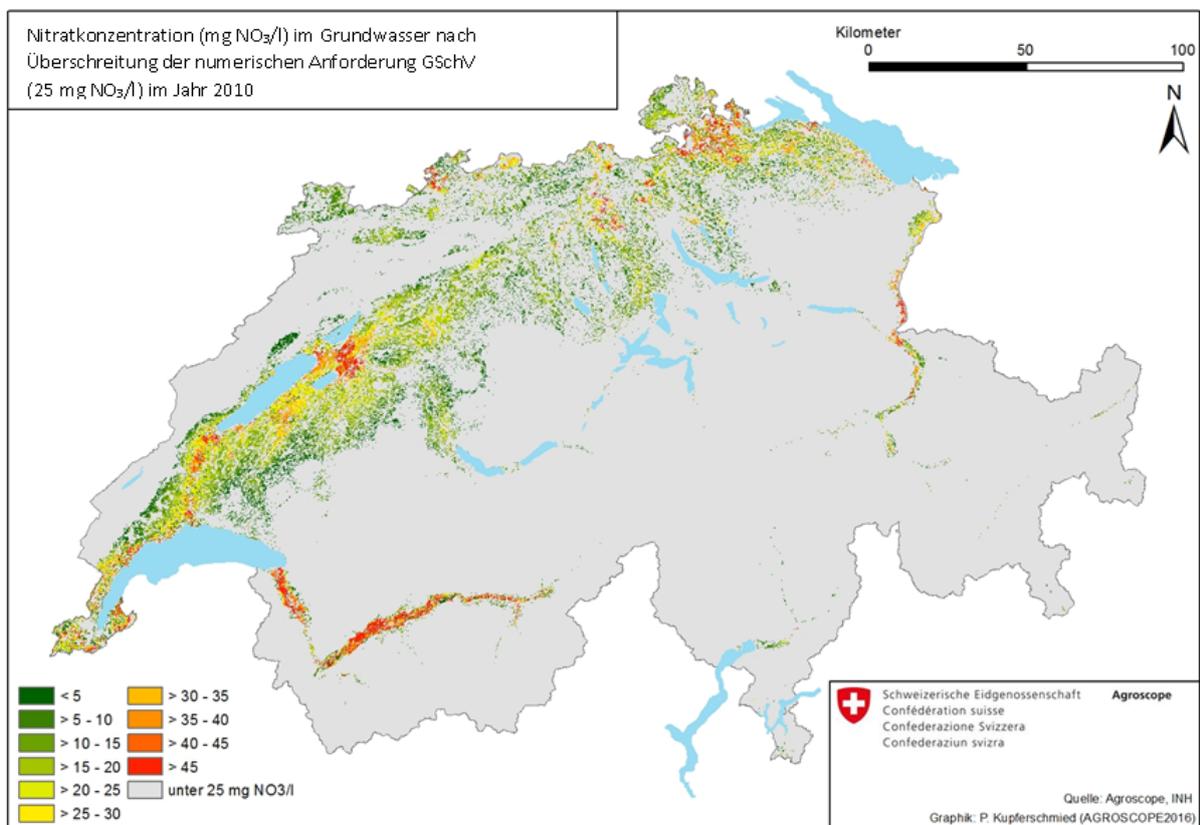


Abb. 37: Flächen mit Nitratkonzentrationen, die die mit MODIFFUS berechneten 25 mg/l Nitrat im Grundwasser überschreiten.

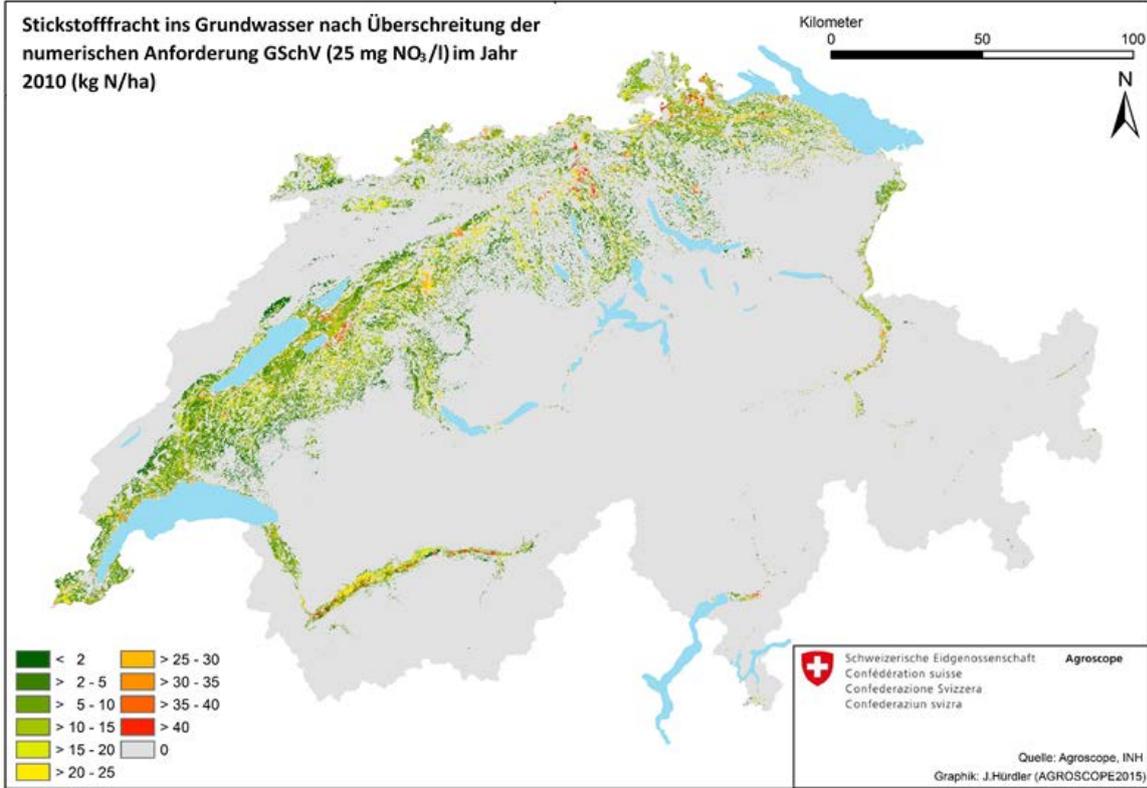


Abb. 38: Flächen mit diffusen N-Frachten, die die mit MODIFFUS berechneten 25 mg/l Nitrat im Grundwasser überschreiten.

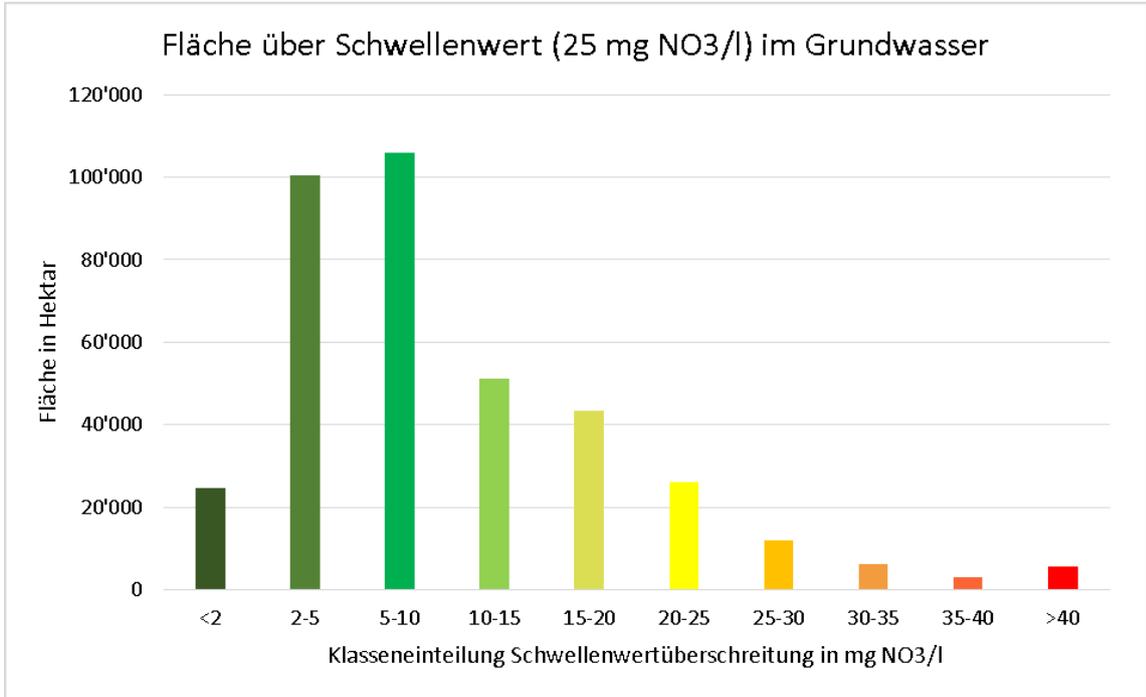


Abb. 39: Häufigkeitsverteilung der Flächen aus Abb. 38 mit einer Überschreitung von 25 mg/l Nitrat.

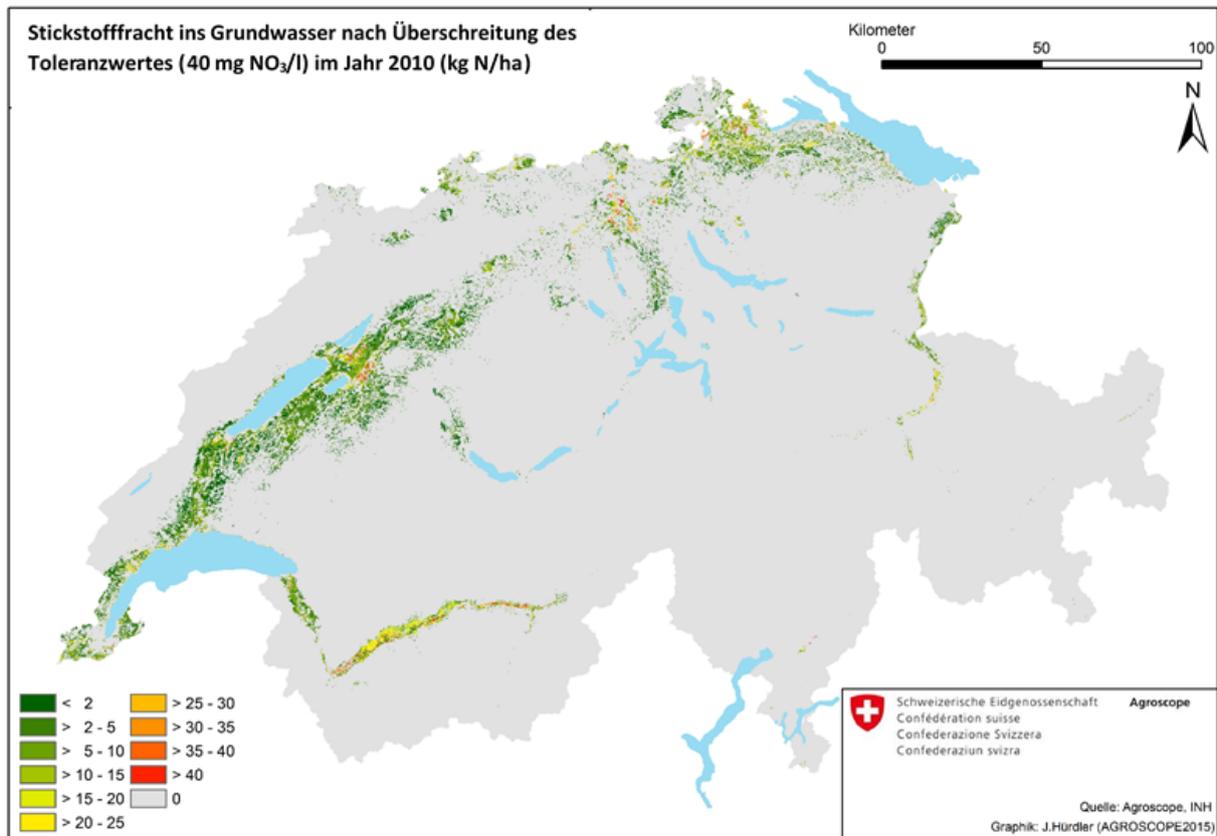


Abb. 40: Flächen mit diffusen N-Frachten, die die mit MODIFFUS berechneten 40 mg/l Nitrat im Grundwasser überschreiten.

Auf knapp 380'000 ha Fläche, das sind gut 9% der Landesfläche der Schweiz bzw. 83% der modellierten Ackerland und Reb-, Obst- und Gartenbauflächen, werden 25 mg/l Nitrat im Sickerwasser überschritten. Auf dem grössten Teil der modellierten Fläche (61%) beträgt die Überschreitung von 25 mg/l Nitrat weniger als 10 mg/l Nitrat. Auf rund 27'000 ha bzw. 7% der modellierten Fläche liegt die Konzentration um mehr als 25 mg/l über dem Schwellenwert von 25 mg/l, d.h. sie ist grösser als 50 mg/l Nitrat.

Da in der Realität mit einer starken Durchmischung der Sickerwassermengen und Nitratkonzentrationen zu rechnen ist, kann man die Karten auch so interpretieren, dass alle Flächen, die Nitrat-Konzentrationen von >25 mg/l zeigen, zu einer Anreicherung des Grundwassers mit Nitrat führen, alle anderen Flächen zu einer Verdünnung (wenn man die Anforderung von 25 mg/l im genutzten Grundwasser zu Grunde legt).

Summiert man die ausgewaschene N-Fracht der Fläche, die über 25 mg/l Nitrat liegt, auf, ergibt sich eine Fracht von **4'066 t N** für die ganze Schweiz, d.h. ca. 14 % der Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. Man könnte dies auch so formulieren, dass eine gezielte Reduktion von 4'066 t N notwendig wäre, um auf jeder Hektare in der Schweiz eine Nitratkonzentration im Grundwasser unter 25 mg/l Nitrat zu erreichen. Oben gemachte Einschränkungen bei der Interpretation der Daten sind aber zwingend zu beachten. Die Fracht aller Hektaren, die über 40 mg/l Nitrat liegen, beträgt für die Schweiz 1'210 t N.

Wie bereits oben angesprochen, ist bei diesen Flächen unklar, ob sie der Trinkwassernutzung dienen und somit für das UZL Nitrat bzw. die numerische Anforderung an das genutzte Grundwasser (25 mg/l) relevant sind oder nicht. Daher wurde die bestehende Karte mit der Karte der „Gebiete mit nutzbaren Grundwasservorkommen und die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete“ vom BAFU (Abb. 41) im GIS verschnitten. Dadurch verkleinert sich die Fläche, ist aber immer noch massiv höher als die Fläche des Zuströmbereichs. Weiterhin wurde die Karte der „Grundwasserschutzzonen und -areale“ vom BAFU verwendet (Abb. 42). Hier unterschätzt man die Fläche gewaltig. In beiden digitalen Karten fehlen die Flächen aus den Kantonen Luzern und Waadt. Beide Kantone haben die entsprechenden digitalen GIS-Daten nicht freigegeben (in Abbildung 41 und 42 sind sie aber enthalten). Dadurch sind auch die Flächenangaben und Frachten zu gering.

Die Fläche der Gebiete mit nutzbaren Grundwasservorkommen und die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete beträgt 1'615'670 ha (ohne LU, VD). Davon decken sich 12% bzw. 190'974 ha mit den in Abb. 38 ausgeschiedenen Flächen, die 25 mg/l Nitrat überschreiten. Die aufsummierte N-Fracht derjenigen Flächen, die in diesem Überschneidungsbereich liegen, beträgt 2'210 t N. Somit stammt etwas mehr als die Hälfte (54%) der 4'066 t N, die von Flächen mit >25 mg/l Nitrat im Grundwasser nach obigen Berechnungen stammen, aus Gebieten mit nutzbaren Grundwasservorkommen und den zu ihrem Schutz notwendigen Randgebieten (ohne Kantone LU und VD).

„Grundwasserschutzzonen dienen dazu, Trinkwassergewinnungsanlagen und das Grundwasser unmittelbar vor seiner Nutzung als Trinkwasser vor Beeinträchtigungen zu schützen. Sie sind um die im öffentlichen Interesse liegenden Grundwasserfassungen auszuscheiden, d.h. um alle Fassungen, deren Wasser den Anforderungen der Lebensmittelgesetzgebung entsprechen muss, sowie um Grundwasser-Anreicherungsanlagen. Die Grundwasserschutzzonen sind das wichtigste Instrument des nutzungsorientierten planerischen Grundwasserschutzes“ (BUWAL 2004). Grundwasserschutzzonen werden gegliedert in:

- Zone S1
- Zone S2
- Zone S3

In diesen Gebieten gelten besondere Schutzmassnahmen und Nutzungsbeschränkungen (siehe BUWAL 2004). Grundwasserschutzzonen sind speziell ausgeschiedene Gebiete, in welchen der Schutz des unterirdischen Gewässers im Hinblick auf eine künftige Grundwasserbewirtschaftung (Nutzung oder Anreicherung) vorsorglich sichergestellt werden soll (Art. 21 GSchG).

Die Fläche der Gebiete mit Grundwasserschutzzonen und -arealen beträgt 220'357 ha (ohne LU, VD). Davon decken sich nur 4% bzw. 9'784 ha mit den in Abb. 38 ausgeschiedenen Flächen, die 25 mg/l Nitrat überschreiten. Die aufsummierte N-Fracht derjenigen Flächen, die in diesem Überschneidungsbereich liegen, ist mit 103 t N sehr gering. Zu beachten ist hierbei noch, dass bei der Verschnidung der (überwiegend sehr kleinen) Polygone der Grundwasserschutzzonen und -areale im GIS mit den Hektarrasterdaten der Nitratfrachten aus MODIFFUS alle Hektarrasterdaten, die ein Grundwasserpolygon anschneiden, vollständig als Hektare mit N-Fracht gezählt werden. Entsprechend ist der ausgeschiedenen Datensatz viel zu gross. Es liegen so gut wie keine Flächen >25 mg/l Nitrat vollständig in den Grundwasserschutzzonen.

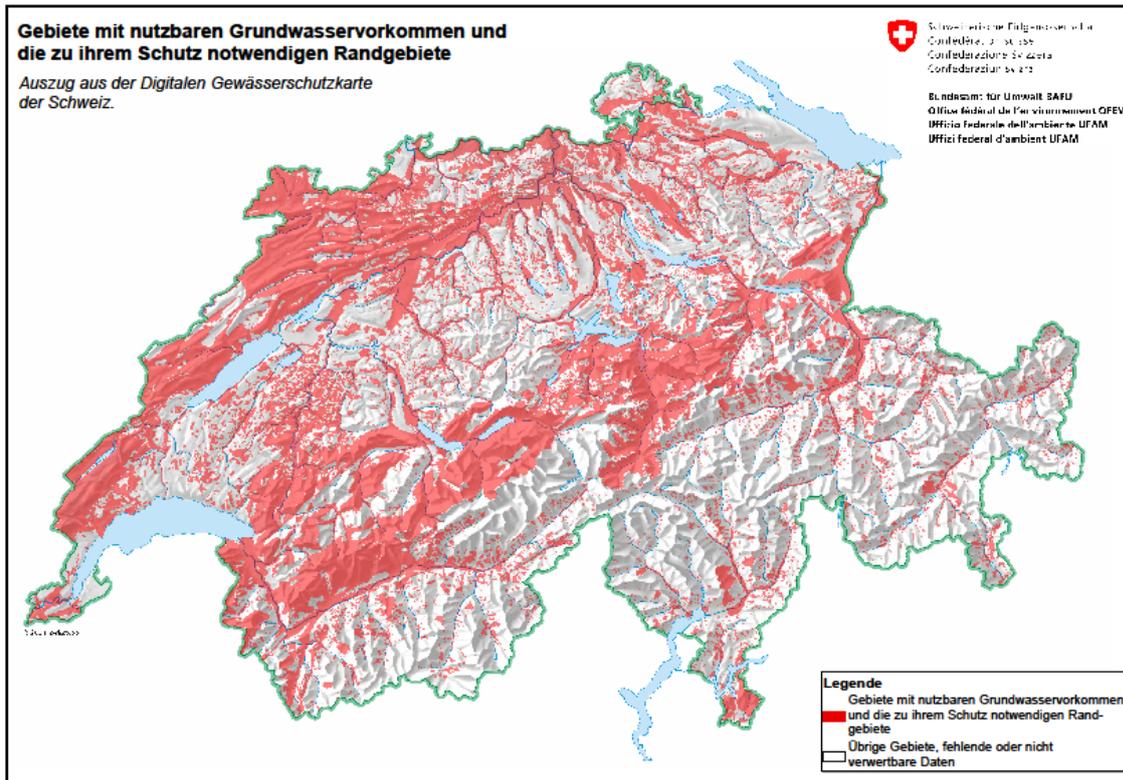


Abb. 41: Gebiete mit nutzbaren Grundwasservorkommen und die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete. Auszug aus der Digitalen Gewässerschutzkarte der Schweiz (Quelle: BAFU).

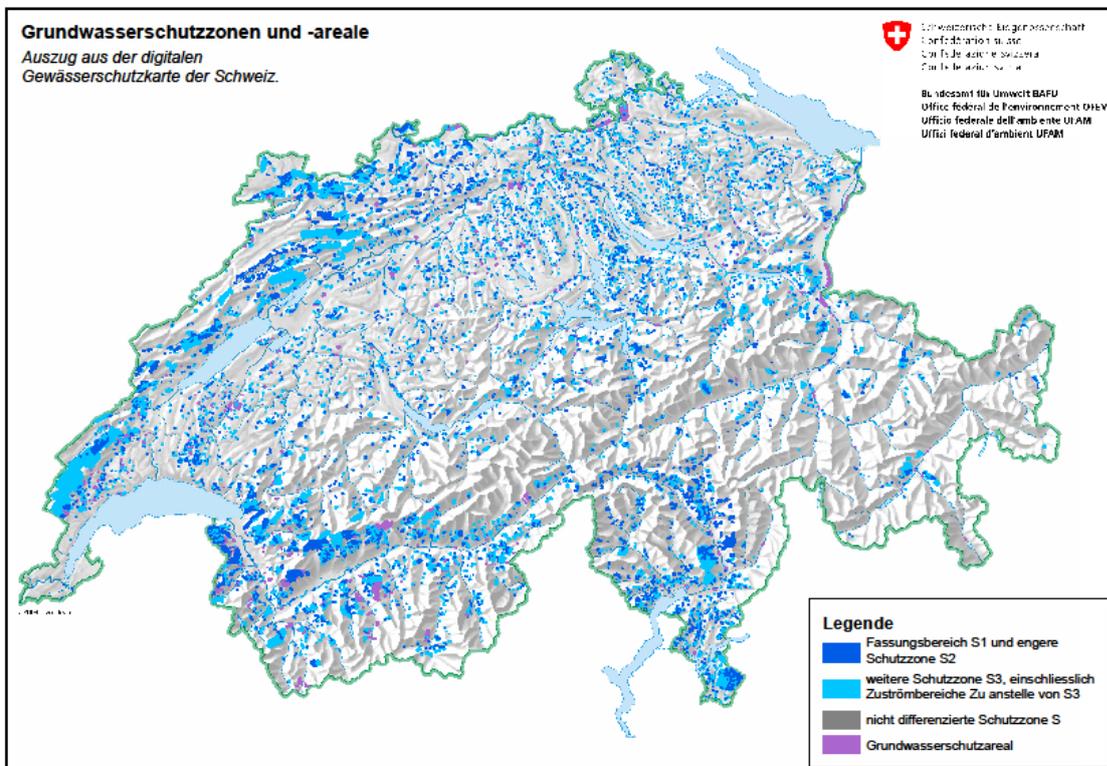
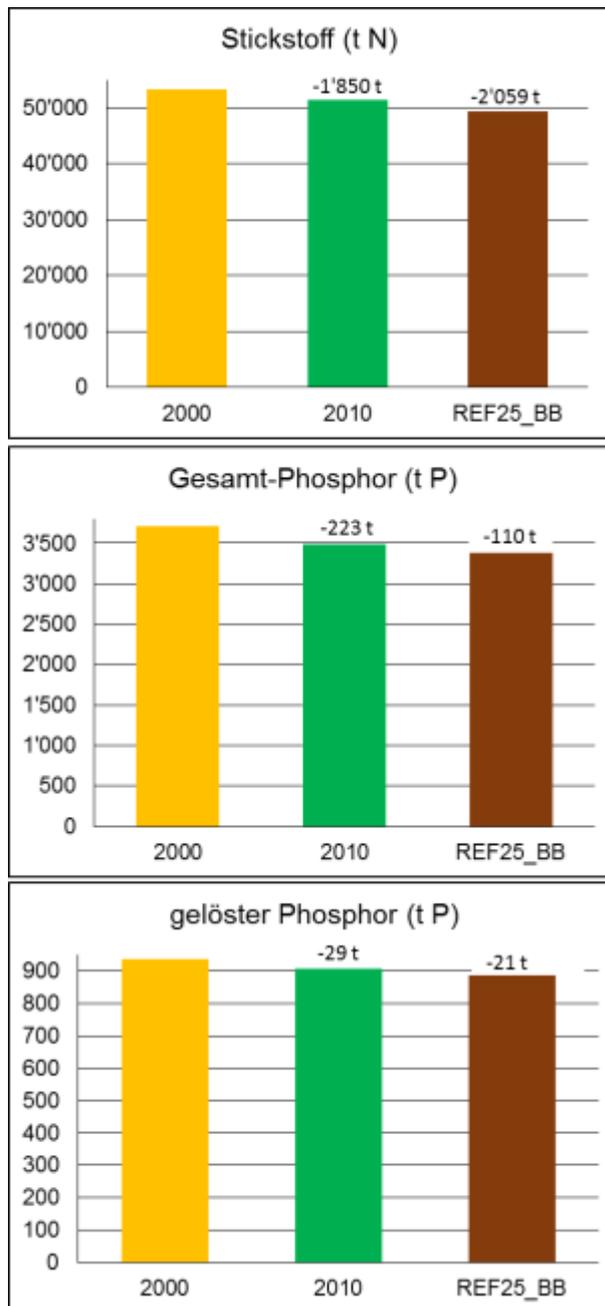


Abb. 42: Grundwasserschutz-zonen und -areale. Auszug aus der Digitalen Gewässerschutzkarte der Schweiz (Quelle: BAFU).

5. Zusammenstellung der wichtigsten Resultate aller Szenarien



Die diffusen N-Einträge in die Gewässer der Schweiz betragen im Jahr 2000 nach den Berechnungen mit MODIFFUS 53'342 t N. Sie konnten bis zum Jahr 2010 um 1'850 t N bzw. 3,5% reduziert werden. Nimmt man das Szenario REF25_BB als das wahrscheinlichste Szenario für die weitere Entwicklung an, würden die N-Einträge um weitere 2'059 t N bzw. 4% vermindert werden und lägen im Jahr 2025 bei 49'433 t N (Abb. 43).

Die diffusen Gesamt-P-Einträge in die Gewässer der Schweiz betragen im Jahr 2000 nach den Berechnungen mit MODIFFUS 3'713 t P. Sie konnten bis zum Jahr 2010 um 223 t P bzw. 6% reduziert werden. Nach Szenario REF25_BB würden die P-Einträge um weitere 110 t P bzw. 3% vermindert werden und lägen im Jahr 2025 bei 3'379 t P (Abb. 43). Die gelösten P-Einträge lagen im Jahr 2000 bei 938 t P und konnten um 29 t P bzw. 3% bis 2010 und um weitere 21 t P bzw. 2% bis 2025 vermindert werden. Bei der Prognose für 2025 muss berücksichtigt werden, dass mit dem Szenario REF25_BB nur Änderungen gemäss AP14-17 im Bereich Landwirtschaft berücksichtigt wurden. Mögliche Änderungen bei der N- und P-Deposition, Einflüsse des prognostizierten Klimawandels oder Auswirkungen anderer agrarpolitischer Rahmenbedingungen sind nicht enthalten.

Abb. 43: Entwicklung der diffusen Stoffeinträge in die Gewässer der Schweiz von 2000 bis 2010 und Prognose für 2025.

Da sich die verschiedenen berechneten Szenarien in erster Linie auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche auswirken, sind in Abbildung 44 und 46 die Stoffeinträge nur aus diesen Flächen dargestellt. Bei den N-Einträgen in die Gewässer der Schweiz werden nur im Szenario GRAS mit seinen verschiedenen Varianten Reduktionen von mehr als 10% gegenüber den N-Einträgen aus dem Jahr 2010 erzielt (Abb. 44). Das drastische Szenario GRAS25 mit einer Umwandlung von über 160'000 Ackerland führt zu einer deutlichen Reduktion von 25% bzw. 27% (Hotspot). Bei allen anderen Szenarien werden Reduktionen von 4-9% der N-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen gegenüber 2010 erreicht. Der Einbezug von konservierender Bodenbearbeitungsverfahren bringt nur geringe Verbesserungen, auch der Ansatz mit den Hotspots bewirkt nur bescheidene zusätzliche Reduktionen (Abb. 45). Das Konzept der „beitragenden Flächen“ bzw. Hotspots gilt nicht für die Nitratauswaschung (vgl. FREY et al. 2011a) und zeigt entsprechend kaum Wirkung. Bei der N-Belastung handelt es sich eher um ein flächenhaftes Problem, das mit angepasstem Management auf einem kleinen Teil der Flächen meist nicht gelöst werden kann.

Sollte die Nitratbelastung im Sickerwasser auf keiner Fläche der Schweiz 25 mg/l Nitrat überschreiten, wäre gemäss Berechnungen mit MODIFFUS eine Reduktion von etwas über 4'000 t N nötig. Eine Reduktion in dieser Höhe würde nur mit dem Szenario GRAS erreicht.

Bei den P-Einträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen nehmen die Reduktionen vom Szenario REF über EXT, ZOLL und GRAS zu und sind bei den Szenarien REF, EXT und ZOLL auch etwas grösser als beim Stickstoff (Abb. 46). Ähnlich wie beim Stickstoff wird auch beim Phosphor mit dem drastischen Szenario GRAS25 die deutlich grösste Reduktion erzielt. Die Berücksichtigung der Wirkung von konservierender Bodenbearbeitung im Szenario REF und der zusätzliche Ansatz der Realisierung dieser Massnahme auf den Hotspots zeigen aber deutlich Wirkung (Abb. 47). Im Szenario REF25_BB_Hotspot werden immerhin 133 t P bzw. 16% Reduktion der P-Einträge gegenüber 2010 erzielt.

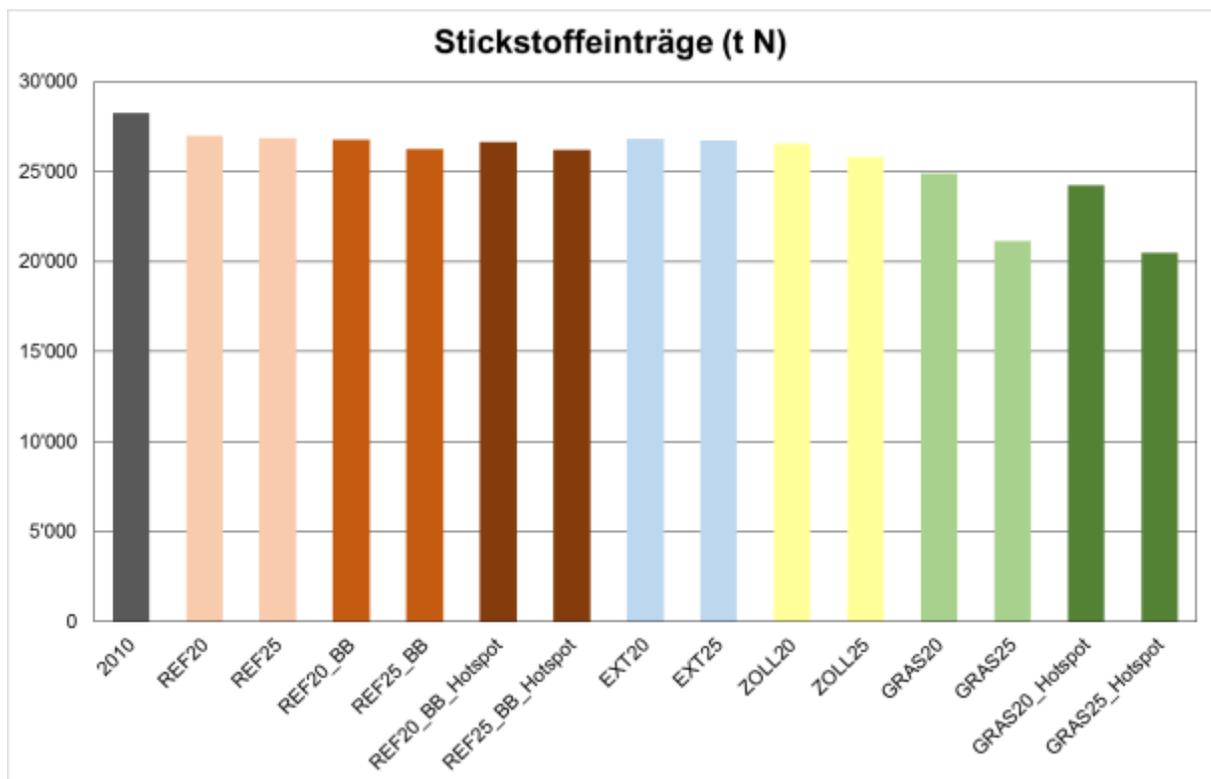


Abb. 44: Diffuse N-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer der Schweiz aller Szenarien im Vergleich zu den N-Einträgen im Jahr 2010.

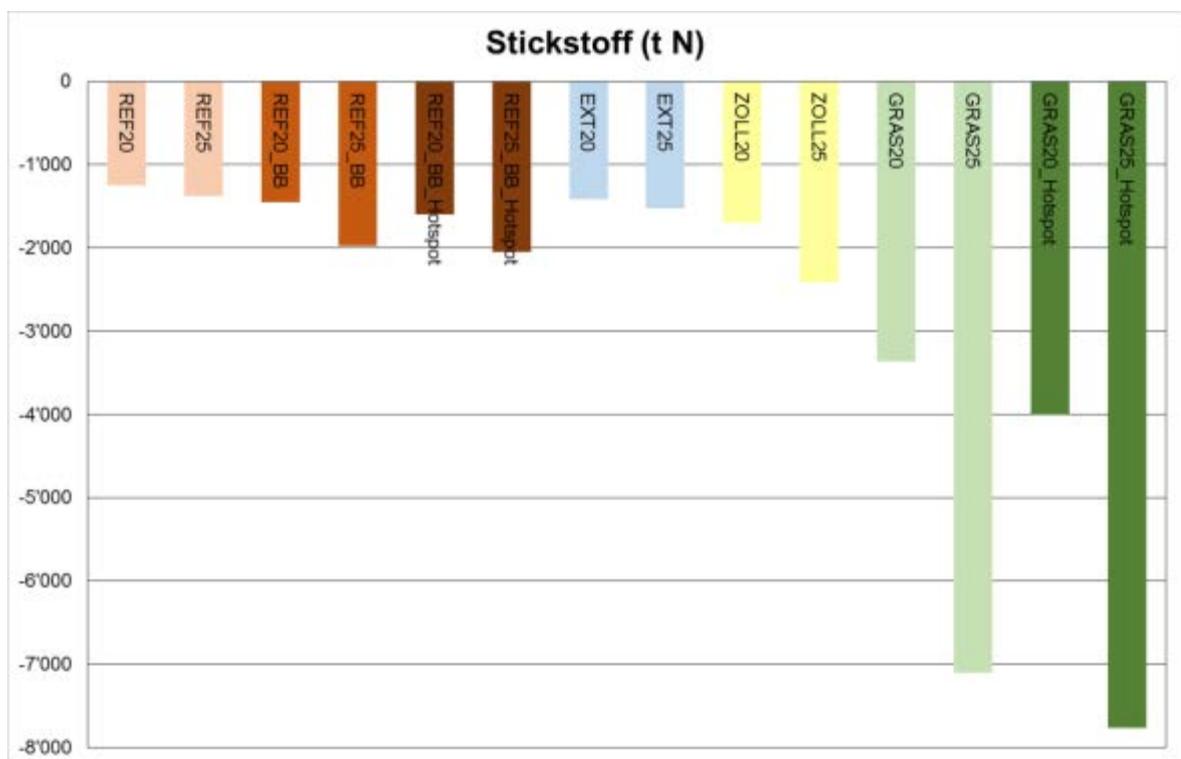


Abb. 45: Reduktion der diffusen N-Einträge aller Szenarien gegenüber den N-Einträgen aus dem Jahr 2010.

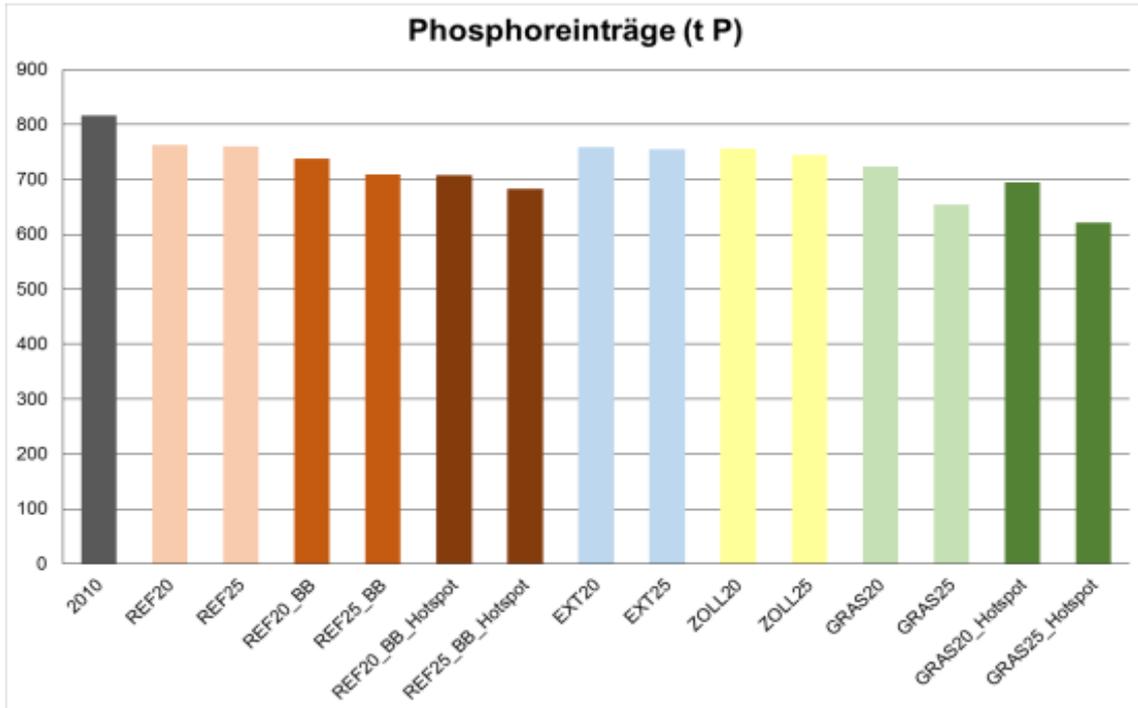


Abb. 46: Diffuse P-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer der Schweiz aller Szenarien im Vergleich zu den P-Einträgen im Jahr 2010.

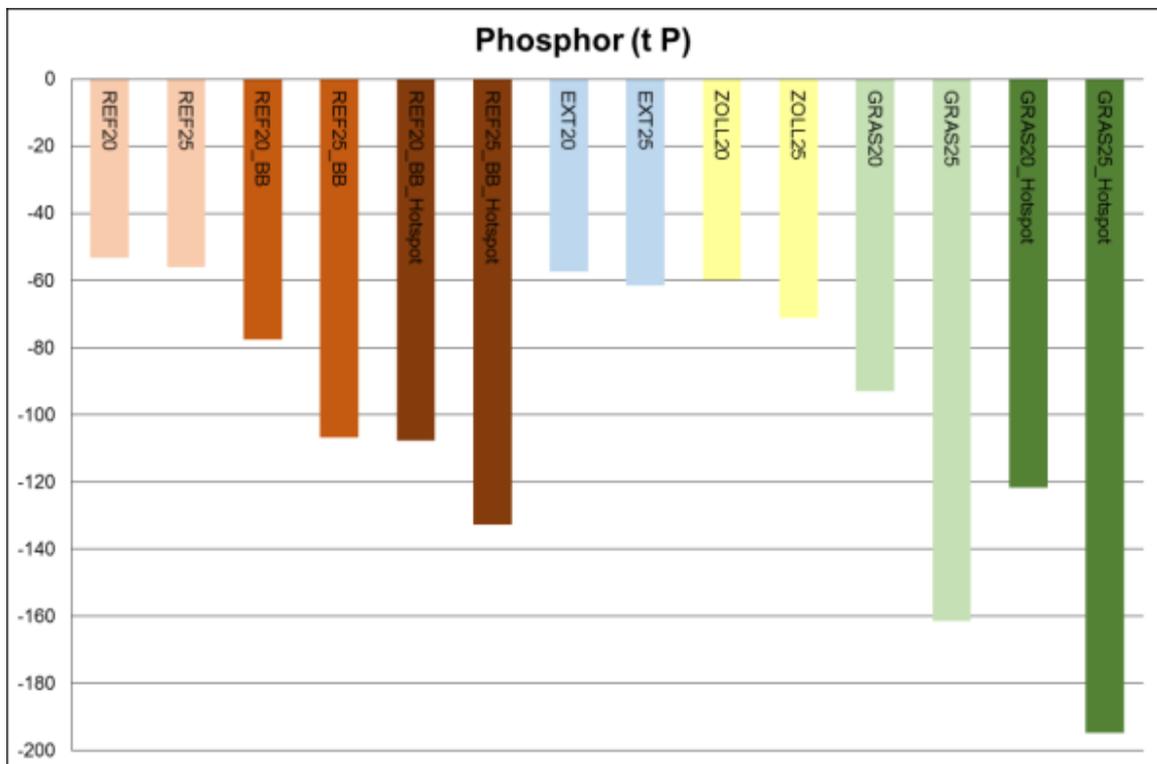


Abb. 47: Reduktion der diffusen P-Einträge aller Szenarien gegenüber den P-Einträgen aus dem Jahr 2010.

6. Ausblick

Die Stoffeinträge in die Gewässer der Schweiz wurden mit MODIFFUS zwar auf Hektarraster-ebene gerechnet (Arealstatistik), sind aber nur aggregiert für grössere Gebiete (ab ca. 50 km²) zu interpretieren. Wir verfügen derzeit über keine digitalen Parzellenpläne und entsprechend auch nicht über Angaben, welche Kulturen, welche Bodenbearbeitungsverfahren und welche Düngungsmengen und -verfahren pro Parzelle eingesetzt werden. Die in den verschiedenen Szenarien gerechneten Massnahmen können daher nur relativ grob abgebildet werden und umfassen nur eine beschränkte Auswahl an Massnahmen. Die Wirkung anderer Massnahmen müsste auf Parzellen- bzw. Betriebsebene getestet werden. Erst wenn gesicherte Kenntnisse dazu vorliegen, kann überlegt werden, wie diese schweizweit in die Berechnungen mit MODIFFUS integriert werden könnten.

Weitere mögliche Massnahmen, die im Rahmen dieses Projektes diskutiert wurden, aber nicht, nur indirekt oder nur teilweise mit MODIFFUS berechnet wurden, sind:

- Optimierung der Fruchtfolge
In MODIFFUS können für die ganze Schweiz keine Fruchtfolgen auf Parzellenebene gerechnet werden, da die Daten dazu nicht zur Verfügung stehen. Auch Angaben über Zwischenkulturen liegen nicht schweizweit vor. Wichtige Aspekte der Fruchtfolge wie Kulturarten, Kunstwiesen-, Leguminosen- und Zwischenkulturanteile und -arten etc. werden aus den statistischen Betriebsstrukturhebungsdaten abgeleitet und z.B. bei der Berechnung der C-Faktoren für die Bodenerosion oder bei der Nitratauswaschung über die Nitratmatrix in MODIFFUS indirekt berücksichtigt.
- Umfassende standortangepasste Bewirtschaftung (Prinzip schonender Ackerbau unter spezieller Berücksichtigung der standortspezifischen natürlichen Gegebenheiten bezüglich Relief, Boden, Klima etc. mit möglichst wenig Befahren des Bodens, wenig Bodenbearbeitung, viel Bodenbedeckung, angepasste Fruchtfolge; optimale Weideführung mit maximaler Weidedauer (arrundierte Weide); gezielte P-effiziente Düngung (P-Bodenvorräte beachten).
Auch hierzu liegen die entsprechenden Daten schweizweit nicht digital vor, parzellenscharfe Angaben wären notwendig. Angaben zur Verbreitung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren gibt es, aber es ist nicht bekannt, auf welchen Parzellen welche Massnahmen durchgeführt werden (und damit kann nicht beurteilt werden, ob standortangepasst oder nicht bewirtschaftet wird). Zur Befahrung/Verdichtung sind keine flächenhaften Angaben digital verfügbar. Die P-Vorräte sind nicht parzellenscharf digital für die ganze Schweiz verfügbar. Die Weideführung ist nicht parzellenscharf bekannt.
- Bedeutung der Kunstwiese in der Fruchtfolge (carry-over-Effekte: positive Nachwirkungen von Kunstwiesen bezüglich Bodenstruktur, Humusgehalt, biologischer Aktivität etc. auf die Folgekultur; Umbruchproblem)
Auch hier wären parzellenscharfe Angaben notwendig. Es ist nur bekannt, wieviel Kunstwiese pro Gemeinde pro Jahr angebaut wird, aber nicht auf welcher Parzelle und auch nicht, wann die Kunstwiese umgebrochen wurde (Herbst oder Frühjahr). Kunstwieseanteile werden indirekt bei MODIFFUS berücksichtigt (Nitrat-Matrix).

- Besseres Hofdüngermanagement (z.B. 2,5 DGVE/ha im Talgebiet, Ausbringungsmenge und -technik)
Der Hofdüngereinsatz wird über die Tierzahlen aus den Betriebszählungsdaten auf Gemeindeebene ermittelt. Der Hofdüngeranfall fließt dann in die Berechnung der Auswaschung/Abschwemmung/Drainage ein. Es gibt aber keine Parzellendaten zu Ausbringungsmenge und -technik pro Standort, entsprechend kann der Hofdüngeranfall nur pauschal berücksichtigt werden.
- Kontingent Mineralstickstoffdünger z.B. in Funktion des Bodens
Es existieren keine digitalen Angaben zum Mineralstickstoffdüngereinsatz auf Parzellenebene. Selbst regionale Daten fehlen. Auch Bodenkarten liegen nur sehr eingeschränkt für wenige Regionen in ausreichender Qualität vor. Der Zusammenhang zwischen N-Mineraldüngung und Auswaschung sowie Bodenfunktionen und Auswaschung ist ebenfalls weitgehend unbekannt.
- Optimierung der N-Düngung (z. B. Precision-Farming (sensor- und GPS-gesteuerte, teilflächenspezifische Düngung), Düngungsplan
Angaben zur räumlichen Verbreitung von Precision-Farming sind nicht bekannt. Auch dessen Auswirkungen auf die Stoffverluste sind standortabhängig und daher nicht bekannt. Precision-Farming im Bereich Düngung wird bisher sehr selten eingesetzt. Die Auswirkungen eines Düngungsplans auf mögliche Stoffverluste müssten zuerst bekannt sein bzw. quantifiziert werden (müsste auf Betriebs- oder Parzellenebene getestet werden).

Ein weiterer wichtiger Punkt, der in den Szenarien unberücksichtigt bleiben musste, sind die Auswirkungen veränderter Stickstoff- und Phosphordepositionen. Diese können Auswirkungen sowohl auf Stoffverluste von landwirtschaftlich genutzten Flächen, vor allem aber auch auf andere Flächen wie den Wald haben. Dazu müssten digitale Depositionskarten für 2020 und 2025 (Modellrechnungen) vorliegen.

Die Umsetzung von Massnahmen auf beitragenden Flächen (Hotspot-Szenarien) führte vor allem beim Phosphor zu deutlichen Reduktionen. Die schweizweite Identifizierung der beitragenden Flächen ist mit der räumlichen Auflösung der verwendeten Eingangsdaten in MODIFFUS (Hektarraster bzw. Gemeindedaten) aber nur bedingt möglich. Können diese Flächen z.B. in einem kleinen Einzugsgebiet exakt lokalisiert werden und werden dann auf diesen Flächen gezielt Massnahmen im Sinne einer standortangepassten Bewirtschaftung realisiert, ist mit einer erheblichen Reduktion der Stoffeinträge - insbesondere Phosphor - in diesem Einzugsgebiet zu rechnen. Die vorliegenden, schweizweiten Berechnungen zum Hotspotansatz unterschätzen vermutlich die möglichen Stoffreduktionen. Das Konzept der beitragenden Flächen wird für Erosion, Phosphor- und Pflanzenschutzmittelverluste nach Literaturstudien, Massenbilanzüberlegungen und Felduntersuchungen von FREY et al. (2011b) und STAMM et al. (2012) unterstützt, während es sich demnach für Nitratauswaschung weniger eignet, da es sich bei dieser mehrheitlich um ein flächenhaftes Problem handelt.

7. Literatur

- BAFU (2014): Karte Stickstoffdeposition 2000 und 2007. Homepage Bundesamt für Umwelt.
- BAFU & BLW (2008): Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) und vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- Basch, G., Geraghty, J., Streit, B., Sturny, W. (2008): No-tillage in Europe - state of the art: constraints and perspectives. In: Goddard, T., Zoebisch, M., Gan, Y., Watson, A., Sombatpanit, S. (Eds.), No-Till Farming Systems. World Association of Soil and Water Conservation (WASWC), Special Publication No. 3, pp. 159-168.
- BFS (2015): Die Bodennutzung der Schweiz. Auswertungen und Analysen, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- BFS (2015): Landwirtschaftliche Betriebszählungen und landwirtschaftliche Betriebsstrukturerhebungen (diverse Jahrgänge). Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- BUWAL (2004): Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 141 S.
- Frey, M., Konz, N., Stamm, C. und Prasuhn, V. (2011a): Identifizierung von Flächen, die überproportional zur Gewässerbelastung beitragen. *Agrarforschung Schweiz* 2(4), 156-161.
- Frey, M., Konz, N., Stamm, C., Prasuhn, V. (2011b): Machbarkeitsstudie Kartierung beitragender Flächen. Studie im Auftrag des BAFU. EAWAG und ART, 93 S.
- Hürdler, J., Prasuhn, V., Spiess, E. (2015): Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz. MODIFFUS 3.0. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Agroscope Zürich, 117 S.
- Möhring, A., Ferjani, A., Mack, G. & Mann, S. (2016). Nährstoffreduktion in Gewässern – Modellergebnisse SWISSland. *Agroscope Science*, Nr. 31.
- Prasuhn, V. (2012): On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured over 10 years in Switzerland. *Soil & Tillage Research* 120, 137-146.
- Schoop, J. & Fischler, M. (2016): Schonende Bodenbearbeitung. Direktzahlung: Ressourceneffizienzbeiträge REB, Beitragsdauer 2014 – 2019, Agridea-Merkblatt
- Spiess, E. (20011): Nitrogen, phosphorus and potassium balances and cycles of Swiss agriculture from 1975 to 2008. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 91, 351–365.
- Stamm, C., Doppler, T., Prasuhn, V., Singer, H. (2012): Standortgerechte Landwirtschaft bezüglich der Auswirkung von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen auf Oberflächengewässer: Projekt-Schlussbericht, Studie im Auftrag des BAFU. Hrsg.: Eawag-Forschungsinstitut des ETH-Bereichs und Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich, 1-36 S.
- Zimmermann, A., Möhring, A., Mack, G., Ferjani, A. & Mann, S. (2015): Pathways to truth: Comparing different upscaling options for an agent-based sector model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.