

Auswirkungen möglicher agrarpolitischer Entwicklungen auf die Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz sowie zukünftiger Bewässerungsbedarf

Volker Prasuhn^{1*} und Anke Möhring²

Zusammenfassung

Vier verschiedene Maßnahmenkombinationen zur Verminderung der diffusen Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz wurden für den Zeitraum 2010 bis 2025 analysiert. Mit dem Agrarsektormodell SWISSland wurden zunächst die ökonomischen und strukturellen Auswirkungen und der Einfluss auf das Direktzahlungsbudget und das sektorale Einkommen bei einer Umsetzung der emissionsmindernden Maßnahmen untersucht. Mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS wurden anschließend die diffusen Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer modelliert. Abschließend sollen noch Ökobilanzen mit der Methode SALCA erstellt werden. Alle vier Szenarien führen - in unterschiedlichem Maße - zu einer Extensivierung im Acker- und Futterbau. Die Stickstoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Nutzfläche nehmen je nach Szenario zwischen 5% und 25% bis zum Jahr 2025 gegenüber 2010 ab, die Phosphorverluste zwischen 7% und 20%.

Der Wasserbedarf für Bewässerung in der Landwirtschaft wird das verfügbare Wasserangebot in Zukunft in verschiedenen Regionen der Schweiz übersteigen

Schlagwörter: diffuse Quellen, Stickstoff, Phosphor, agrar-ökonomische Auswirkungen, Wasserknappheit

Summary

For the period 2010 to 2025 four different combinations of mitigation measures for reducing diffuse nutrient inputs into surface waters of Switzerland were compared. With the agricultural sector model SWISSland the economic and structural effects and the impact on the budget of direct payments and the sectoral income were examined. With the substance flow model MODIFFUS the diffuse nitrogen and phosphorus losses into surface waters were modeled. Finally, life cycle assessments with the method SALCA should be done. All four scenarios lead to an extensification of arable crops and forage production. Until 2025 the nitrogen inputs from agricultural land decrease between 5% and 25% compared to 2010, depending on the scenario. The phosphorus losses decrease between 7% and 20%.

In future the water demand for irrigation of agricultural land will exceed the available water supply in various regions of Switzerland.

Keywords: diffuse sources, nitrogen, phosphorus, agro-economic impacts, water scarcity

Einleitung

In der Schweiz unterliegen nach wie vor viele Gewässer hohen stofflichen Belastungen, wie die Analyse der Daten der Oberflächengewässer- und Grundwasser-Messstellen des Bundes und der Kantone zur Beobachtung der Wasserqualität zeigt. Mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS wurden die diffusen Stickstoff- (N) und Phosphor- (P) -einträge in die Gewässer für das Jahr 2010 berechnet, um die Eintragsquellen und -pfade räumlich zu identifizieren und zu quantifizieren. MODIFFUS ermöglicht aber auch, die Nährstoffeinträge unter zukünftigen Bedingungen zu berechnen. Mit dem agrarökonomischen Modell SWISSland können die Auswirkungen von Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge auf die Produktion, das landwirtschaftliche Einkommen, die Strukturen und das Agrarbudget bestimmt werden. Für die Verbindung der beiden Modelle wurden Maßnahmenkombinationen definiert, welche das

Modell SWISSland in Richtung einer Flächennutzung mit geringeren Nährstoffeinträgen steuern. Die resultierenden Flächennutzungen und Tierbestände wurden in MODIFFUS übernommen. Um ein umfassendes Bild der Auswirkungen der verschiedenen Szenarien zu erhalten, sollen zusätzlich noch Ökobilanzen mit der Methode SALCA gerechnet werden. Ziel des Projektes war es nicht, politisch relevante Maßnahmenkombinationen (Szenarien) abzubilden, sondern die Auswirkungen der Maßnahmenkombinationen im Sinne des Systemverständnisses ganzheitlich zu analysieren. Die Untersuchungen wurden im Auftrag der Bundesämter für Umwelt (BAFU) und Landwirtschaft (BLW) durchgeführt.

Die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels lassen für die schweizerische Landwirtschaft einen zunehmenden Bewässerungsbedarf erwarten. Die derzeitige Situation und mögliche Auswirkungen in der Zukunft werden im zweiten Teil des Beitrages kurz dargestellt.

¹ Agroscope, Reckenholzstraße 191, CH-8046 Zürich

² Agroscope, Tänikon 1, CH-8356 Ettenhausen

* Ansprechpartner: Dr. Volker Prasuhn, volker.prasuhn@agroscope.admin.ch

Das Stoffflussmodell MODIFFUS

Das statistisch-empirische Modell MODIFFUS (**Modell zur Abschätzung diffuser Stoffeinträge in die Gewässer**) ist ein für schweizerische Verhältnisse entwickeltes mesoskaliges Emissionsmodell (Hürdler et al. 2015a und b); vergleichbar mit den Modellen MONERIS für Deutschland (Fuchs et al. 2010) und STOBIMO für Österreich (Zessner et al. 2011). Die Berechnung der N- und P-Einträge aus diffusen Quellen in die Gewässer mit MODIFFUS 3.0 erfolgt überwiegend mit dem Geoinformationssystem ArcGIS 10.2. Mit Hilfe einer Geodatenbankstruktur werden Eingangsdaten, Teilergebnisse und Endergebnisse differenziert bereitgehalten. In zwischengeschalteten, eigenständigen und anpassungsfähigen Berechnungsmodulen werden die Grundlagendatenraster mit verschiedenen Faktoren verrechnet. Durch dieses modulare Konzept besteht die Möglichkeit, auf Änderungen in der landwirtschaftlichen Nutzung oder in gesetzlichen Vorgaben einzugehen (Szenarienberechnung).

Grundlage aller Berechnungen bildet die Landnutzung. Sie liegt im Hektarraster vor und wurde zu 16 Klassen aggregiert. Alle anderen Grundlagendaten wurden ins Hektarraster transformiert, auch wenn sie feiner (z. B. Erosionsrisikokarte im 2-Meter-Raster) oder gröber (z. B. Bodenkarten als Polygone oder Hofdüngeranfall auf Gemeindeebene) aufgelöst vorliegen. In einem ersten Schritt werden die Wasserflüsse für jedes Hektar berechnet. Im zweiten Schritt werden mit MODIFFUS sieben verschiedene Eintragungspfade bzw. Prozesse für jede Landnutzung separat berechnet:

- Abschwemmung gelöster Stoffe mit dem Oberflächenabfluss,
- Bodenerosion (= Transport partikulär gebundener Stoffe mit dem Oberflächenabfluss auf Ackerflächen),
- sonstige Erosion (= Transport partikulär gebundener Stoffe über Verwitterung, Rutschungen, Bachbetterosion etc.),
- Deposition von Stoffen auf die Gewässeroberflächen,
- diverse Direkteinträge (Laub- und Streueintrag, weidenes Vieh am Gewässer, Einträge von Hofflächen und durch Weidetrieb auf entwässerten Strassen etc.),
- Drainageverluste auf drainierten landwirtschaftlich genutzten Flächen,
- Auswaschung mit dem Sickerwasser aus dem Wurzelraum ins Grundwasser.

Mit MODIFFUS 3.0 wurden die diffusen N- und P-Einträge in die Gewässer der Schweiz flächendeckend im Hektarraster für das Jahr 2010 berechnet (Hürdler et al. 2015a und b). Insgesamt betragen die Stoffeinträge 51'493 t Stickstoff, 3'490 t Gesamt-Phosphor und 909 t gelöster Phosphor. Beim Stickstoff liefert die Auswaschung unter Ackerland die größte Belastung, beim Gesamt-Phosphor die natürliche Erosion auf Geröll, Fels und Gletschern und beim gelösten Phosphor die Abschwemmung von Dauergrünland. Schwerpunktgebiete mit hohen Stickstoffverlusten befinden sich im Mittelland und den großen Flusstälern auf intensiv bewirtschafteten (z.B. Gemüse-, Kartoffel- oder Maisanbau) oder drainierten Flächen. Eintragungsschwerpunkte für gelösten Phosphor liegen in der von Grasland dominierten voralpinen Region mit gleichzeitig erhöhten Tierzahlen. Die mittleren

flächenspezifischen Einträge betragen schweizweit 12 kg/ha Stickstoff, 0,85 kg/ha Gesamt-Phosphor und 0,22 kg/ha gelöster Phosphor, wobei es zu deutlichen regionalen und landnutzungsspezifischen Unterschieden kommt.

Das Agrarsektormodell SWISSland

SWISSland (= **StrukturWandel InformationsSystem Schweiz**) ist ein agentenbasiertes Agrarsektormodell der Schweiz, das sowohl das sektorale Angebot als auch die sektorale Nachfrage an Rohprodukten modelliert (www.swissland.org) (Möhring et al. 2015). SWISSland liefert die Basisinformationen zur Flächen- und Tierbestandsentwicklung, zur Entwicklung der inländischen Produktion sowie zu den Import- und Exportmengen für die Modelle MODIFFUS und SALCA. Über eine Datenschnittstelle fließen die Resultate aus SWISSland in die beiden anderen Modellsysteme ein. Sämtliche Flächennutzungs- und Tierkategoriedaten von SWISSland wurden vorgängig mit den entsprechenden Eingangsdaten von MODIFFUS und SALCA harmonisiert, um einen reibungslosen Transfer zu gewährleisten.

Das Modellsystem SWISSland besteht aus einem Angebotsmodul, das mit einem Nachfragemodul verknüpft ist. Die exogenen Inputgrößen bilden zum einen die inländische Agrar- und Handelspolitik (Direktzahlungssystem, Zollsystem), die makroökonomischen Rahmenbedingungen (Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Wechselkurse) sowie die Weltmarktpreis- und Inputpreisentwicklung (EU- bzw. Weltmarktpreise und Kosten für Vorleistungen und Investitionen) ab, welche für die Entscheidungen der Marktakteure relevant sind. Zum anderen umfassen die exogenen Inputgrößen auch die Datengrundlage zur Kalibrierung des Angebotsmoduls (u. a. Buchhaltungsdaten, GIS-Daten) und die Datengrundlagen zur Modellierung des Produktivitätswachstums (Annahmen zur Naturalertrags- und Kostenentwicklung). Das Angebotsmodul bildet die Entscheidung der Produzenten ab, während das Nachfragemodul die Entscheidung der Konsumenten (Großhandel, Endverbraucher) modelliert. Die Modellannahmen beruhen auf den im Januar 2015 vorhandenen Daten und Informationen zur wirtschaftlichen Entwicklung in der EU und auf den Weltmärkten, den makroökonomischen Prognosen für die Schweiz sowie der aktuell geltenden Schweizer Agrarpolitik (AP14-17) (Möhring 2016).

Insgesamt werden 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 (*Tabelle 1*). 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 um jährlich 10% und eine Importpreissenkung für Kartoffeln um jährlich 10%. Bei Gemüse wurde der Produzentenpreis

Tabelle 1: 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 Nährstoffeinträge in Gewässer durch Extensivierung von Futter- und Ackerbau	Verminderung der Nährstoffeinträge in Gewässer durch verstärkten Anbau von auswaschungs- und erosionsärmeren Kulturen	Verminderung der Nährstoffeinträge in Gewässer durch Umwandlung von Acker- in Grünland sowie Vermeidung höherer Stoffverluste aufgrund eines größeren Tierbestandes
Beginn	ab 2014	ab 2018	ab 2018	ab 2018
Umfang	-	jährlich 10 %	jährlich 10 %	jährlich 5 %

Tabelle 2: Veränderungen der Landnutzung in den vier Szenarien gegenüber den Ausgangswerten im Jahr 2010.

Landnutzung	(ha) 2010	Szenarien Fläche (ha)				Differenz zu 2010 (ha)				Veränderung zu 2010 (%)			
		Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25	Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25	Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25
Ackerland	407.309	392.201	387.282	386.959	250.971	-15.109	-20.027	-20.351	-156.339	-3,7	-4,9	-5,0	-38,4
Dauergrünland	482.142	483.992	485.579	481.235	524.335	1.850	3.437	-907	42.193	0,4	0,7	-0,2	8,8
Weiden	130.686	137.331	137.210	134.866	155.546	6.644	6.524	4.180	24.860	5,1	5,0	3,2	19,0
Reb-, Obstbau	20.578	17.527	17.871	17.056	16.854	-3.051	-2.706	-3.522	-3.724	-14,8	-13,2	-17,1	-18,1
LN	1.040.716	1.031.050	1.027.943	1.020.116	947.705	-9.666	-12.773	-20.600	-93.011	-0,9	-1,2	-2,0	-8,9

jährlich um 10% gesenkt. Für Zucker wurde eine jährliche 10%ige Senkung des obligatorischen Zolls für das Zuckerpflanzgebiet eingesetzt. Mit dem Szenario ZOLL soll der Anbau besonders auswaschungs- und/oder erosionsgefährdeter Kulturen 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 Tiere, 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 (Möhring 2016).

Ergebnisse SWISSland - Flächennutzungsänderungen

Die mit SWISSland berechnete Entwicklung der landwirtschaftlich genutzten Flächen zeigt für alle Szenarien einen Rückgang (Tabelle 2). 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 GRAS nimmt die LN dagegen mit knapp 9% bzw. gut 90'000 ha deutlich stärker ab. Die Umwandlung von Ackerland in Dauergrünland 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 Dauergrünland- und Weideflächen fast überall zunehmen. Im GRAS-Szenario führt die Umwandlung von Acker- in Dauergrünland zu einer massiven Abnahme der Ackerfläche von 38% bzw. 156'000 ha und zu einer Zunahme der Dauergrünland- und Weideflächen von 67'000 ha.

Innerhalb der Ackerflächen gibt es außer beim Szenario GRAS meist nur kleinere Verschiebungen, bedingt durch den hohen Außenschutz insbesondere auf den Getreide-

Tabelle 3: Veränderungen von düngbarer Fläche, Großvieheinheiten und Nährstoffanfall aus Hofdüngern in den vier Szenarien gegenüber den Ausgangswerten im Jahr 2010.

Hofdünger	2010	Szenarien Werte				Differenz zu 2010				Veränderung zu 2010 (%)			
		Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25	Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25	Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25
düngbare Fläche (DF) (km ²)	9.698	9.299	9.250	9.244	7.896	-398	-448	-454	-1.802	-4,1	-4,6	-4,7	-18,6
GVE (in Tausend)	1.323	1.237	1.250	1.210	1.071	-86	-73	-113	-252	-6,5	-5,5	-8,5	-19,1
N-Anfall (t N)	131.323	126.491	122.092	118.243	104.982	-4.831	-9.231	-13.080	-26.340	-3,7	-7,0	-10,0	-20,1
P-Anfall (t P)	21.564	20.820	20.168	19.474	17.291	-745	-1.396	-2.090	-4.273	-3,5	-6,5	-9,7	-19,8
N-Anfall (kg/ha DF)	135,4	136,0	132,0	127,9	133,0	0,6	-3,4	-7,5	-2,5	0,4	-2,5	-5,5	-1,8
P-Anfall (kg/ha DF)	22,2	22,4	21,8	21,1	21,9	0,2	-0,4	-1,2	-0,3	0,7	-1,9	-5,3	-1,5

märkten 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 Senkung des Kontingentszollansatzes und steigt der Futtergetreideanbau wegen der Erhöhung des Schwellenpreises. Beim Dauergrünland und den Weiden steigt bei allen Szenarien der Anteil extensiv oder wenig intensiv genutzter Flächen deutlich.

Die düngbare Fläche nimmt in allen Szenarien wegen des Rückgangs der LN und der Zunahme extensiv genutzter Wiesen und Weiden ab, im Szenario GRAS um knapp 19% (Tabelle 3). Die Tierbestände bzw. Großvieheinheiten (GVE) sinken in allen Szenarien, damit nimmt auch der Nährstoffanfall über Hofdünger in allen Szenarien ab. Ursache hierfür ist einerseits das Aufstockungsverbot ab 2018 (Szenario GRAS), andererseits die Abnahme der Ackerfutterfläche und der Strukturwandel in der Schweizer Landwirtschaft allgemein. Im Szenario REF nimmt die düngbare Fläche stärker ab als der Hofdüngeranfall, so dass hier der flächenspezifische Nährstoffanfall leicht zunimmt, in den anderen Szenarien nimmt er dagegen leicht ab (Prasuhn et al. 2016).

Ergebnisse SWISSland - Ökonomische Auswirkungen

Inlandproduktion und Importmengen ändern sich je nach Szenario und Produkt unterschiedlich. So nimmt z. B. im Szenario ZOLL die Futtergetreideproduktion im Inland zu, was bei abnehmenden Tierbeständen zu geringeren Futtermittelimporten führt. Bei den anderen drei Szenarien sinkt die Inlandproduktion leicht, so dass die Nachfrage an Futtergetreide steigt, was die Importmenge erhöht. Bei Kartoffeln dagegen nimmt die Inlandproduktion in den Szenarien ZOLL und GRAS ab, dadurch steigen die Importmengen an Kartoffeln deutlich an.

Der in der Vergangenheit beobachtete Strukturwandel mit einer Aufgaberrate von durchschnittlich rund 2% der Landwirtschaftsbetriebe pro Jahr wird sich voraussichtlich auch in Zukunft fortsetzen. Bis zum Ende des Projektionszeitraumes im Jahr 2025 wird gemäß den Modellrechnungen die Anzahl der Betriebe im Mittel der Szenarien um rund 15'000 abnehmen. Das Budget für produktunabhängige

Direktzahlungen ändert sich bei den Szenarien REF und ZOLL kaum, während sich eine Mehrbelastung des Direktzahlungsbudgets im Szenario EXT von ca. 8% im Vergleich zu Basisjahr 2010 ergibt. Die starke Flächenreduktion im Szenario GRAS wirkt sich dagegen eher entlastend auf diese Position (-5,5%) aus. Das Nettounternehmenseinkommen des Gesamtsektors liegt in allen Szenarien über dem Ausgangswert von 2010. Die konstante landwirtschaftliche Erzeugung, sinkende Aufwendungen für Vorleistungen durch sinkende Betriebsmittelkosten und steigende Erträge aus Direktzahlungen führen im Szenario EXT zu einem deutlich höheren Anstieg des Nettounternehmenseinkommens im Vergleich zu den anderen Szenarien. Das ZOLL-Szenario hat mit Abstand den geringsten Einkommensanstieg, da durch die Abnahme der Flächen mit wirtschaftlich lukrativen Ackerkulturen (Gemüse, Kartoffeln, Zuckerrüben) die monetären Leistungen aus der landwirtschaftlichen Erzeugung, insbesondere in der pflanzlichen Produktion, deutlich sinken (Möhring 2016).

Verknüpfung SWISSland-Modellergebnisse mit Stoffflussmodell MODIFFUS

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.

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 nach dem Zufallsprinzip durchgeführt. Sollen also z. B. 10% der Ackerfläche in Grasland überführt

Tabelle 4: Veränderungen der Stickstoff- und Gesamt-Phosphoreinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer der Schweiz in den vier Szenarien gegenüber den Ausgangswerten im Jahr 2010.

Stickstoff	(t N) 2010	Szenarien N-Eintrag (t N)				Differenz zu 2010 (t N)				Veränderung zu 2010 (%)			
		Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25	Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25	Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25
Ackerland	19.449	18.185	18.059	17.282	11.557	-1.264	-1.390	-2.167	-7.891	-6,5	-7,1	-11,1	-40,6
Dauergrünland	4.044	3.979	3.962	3.947	4.475	-65	-82	-97	431	-1,6	-2,0	-2,4	10,7
Weiden	3.664	3.717	3.712	3.647	4.146	52	48	-18	482	1,4	1,3	-0,5	13,1
Rebbau, Obstbau	1.087	988	991	971	961	-99	-96	-116	-126	-9,1	-8,9	-10,7	-11,6
LN	28.244	26.868	26.723	25.847	21.140	-1.376	-1.521	-2.397	-7.104	-4,9	-5,4	-8,5	-25,2

Gesamt-Phosphor	(t P) 2010	Szenarien P-Eintrag (t P)				Differenz zu 2010 (t P)				Veränderung zu 2010 (%)			
		Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25	Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25	Ref25	Ext25	Zoll25	Gras25
Ackerland	364,4	329,4	325,8	319,5	200,9	-35,0	-38,6	-44,9	-163,5	-9,6	-10,6	-12,3	-44,9
Dauergrünland	254,6	242,9	241,1	239,9	259,4	-11,7	-13,5	-14,7	4,8	-4,6	-5,3	-5,8	1,9
Weiden	142,1	145,1	145,0	144,0	153,7	3,1	2,9	1,9	11,6	2,1	2,0	1,4	8,2
Rebbau, Obstbau	54,6	42,2	42,3	41,2	40,1	-12,4	-12,3	-13,4	-14,5	-22,7	-22,6	-24,6	-26,5
LN	815,7	759,6	754,1	744,6	654,2	-56,1	-61,6	-71,2	-161,5	-6,9	-7,5	-8,7	-19,8

werden, wurden 10% der bestehenden schweizweiten Ackerflächenpixel zufällig 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 aus dem Jahr 2010 in jeder Gemeinde um 10% reduziert hat.

Für die Berechnungen der vier Szenarien REF, EXT, ZOLL und GRAS für das Jahr 2025 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. 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.

Ergebnisse MODIFFUS - Stickstoffverluste

Knapp 70% der diffusen N-Verluste aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Jahr 2010 resultieren aus dem Ackerland und hier vor allem aus der Nitratauswaschung. In allen Szenarien nimmt die Nitratauswaschung unter Ackerland deutlich ab, am stärksten mit über 40% im Szenario GRAS (Tabelle 4). Ursache für die Abnahme ist vor allem der Rückgang der Ackerfläche in allen Szenarien.

Die flächenspezifischen Nitratauswaschungswerte unter Ackerland (kg/ha) gehen im Szenario ZOLL mit gut 6% am stärksten zurück, da hier die Kartoffel- und Gemüseanbaufläche mit sehr hoher Auswaschung stark abgenommen hat. In den anderen Szenarien nehmen die flächenspezifischen Verluste aufgrund der jeweils veränderten Kulturartenzusammensetzung leicht ab (REF = -3%, EXT = -4%; GRAS = -3%). Die N-Verluste unter Dauergrünland nehmen bei den Szenarien REF, EXT und ZOLL um 1-2% ab, auch die flächenspezifischen N-Verluste nehmen bei diesen Szenarien um 2% ab. Die Zunahme der Dauergrünlandfläche bei REF und EXT wird durch die starke Extensivierung der Dauergrünlandnutzung mehr als kompensiert. Im Szenario GRAS nehmen die N-Verluste unter Dauergrünland wegen der deutlichen Zunahme der Dauergrünlandfläche trotz Extensivierung um knapp 11% zu. Die N-Verluste unter Weiden nehmen in den Szenarien REF und EXT leicht, im Szenario GRAS deutlich zu, und im Szenario ZOLL leicht ab. Die Zunahme der Weidefläche in allen Szenarien wird durch die starke Extensivierung der Weidefläche in allen Szenarien nur teilweise kompensiert. Beim Reb- und Obstbau erfolgt bei allen Szenarien ein deutlicher Rückgang der N-Verluste, bedingt durch die starke Abnahme der Reb- und Obstbauflächen (Prasuhn et al. 2016).

Bezieht man die mit den vier berechneten Szenarien erzielten N-Reduktionen auf die gesamten diffusen N-Verluste der Schweiz (inklusive Verluste von nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen), fallen die Ergebnisse eher bescheiden aus (Abbildung 1). Bei den Szenarien REF und EXT werden rund 3%, bei ZOLL 4% Reduktion erreicht. Selbst mit den drastischen Maßnahmen im Szenario GRAS gehen die diffusen N-Einträge nur um rund 13% zurück.

Ergebnisse MODIFFUS - Phosphorverluste

Auch beim Phosphor spielen im Jahr 2010 die diffusen P-Verluste von Ackerlandflächen mit 47% der gesamten diffusen Verluste von landwirtschaftlich genutzten Flächen eine wichtige Rolle, allerdings tragen hier die Pfade Abschwemmung, Auswaschung und Erosion maßgeblich bei. In allen Szenarien nehmen die P-Verluste von Ackerland deutlich

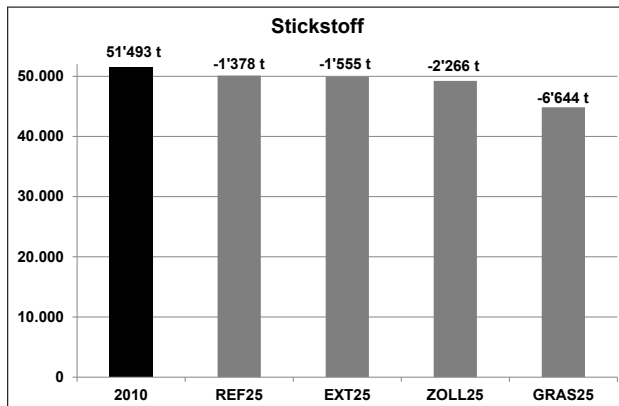


Abbildung 1: Diffuse Stickstoffeinträge (t N) in die Gewässer der Schweiz für das Jahr 2010 sowie für die vier berechneten Szenarien 2025 und erzielte Reduktionen.

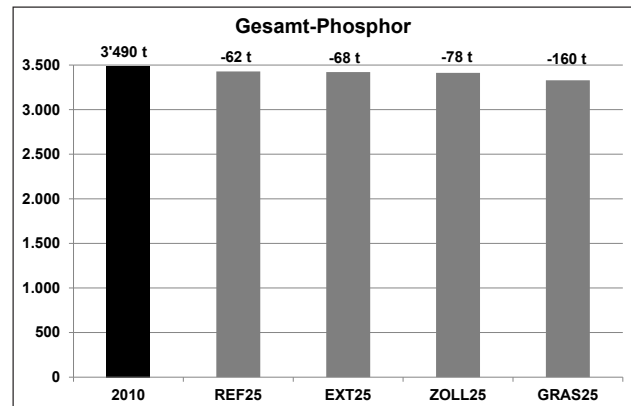


Abbildung 2: Diffuse Gesamt-Phosphoreinträge (t P) in die Gewässer der Schweiz für das Jahr 2010 sowie für die vier berechneten Szenarien 2025 und erzielte Reduktionen.

und prozentual stärker als beim Stickstoff ab (Tabelle 4). Neben der Abnahme der Ackerfläche in allen Szenarien modifizieren andere Faktoren die P-Verluste von Ackerland. Die Veränderung bei der Kulturartenzusammensetzung hat den C-Faktor der Bodenerosionsberechnung verändert. Dies führt vor allem beim Szenario ZOLL wegen der geringeren Kulturanteile von erosionsanfälligen Kulturen wie Kartoffeln und Gemüse zu einer deutlichen Abnahme der P-Verluste durch Bodenerosion. Weniger Klee graswiesen (Klee graswiesen sind Teil der Fruchtfolge und zählen zum Ackerland, machen in der Schweiz rund 33% der Ackerkulturen aus und werden häufig gegüllet) in allen Szenarien sowie geringerer P-Anfall pro Hektar düngbarer Fläche in den Szenarien EXT, ZOLL und GRAS führen zu geringeren P-Verlusten durch Gülleabschwemmung. Höherer P-Anfall pro Hektar düngbarer Fläche im Szenario REF erhöht dagegen die P-Verluste durch Gülleabschwemmung von Ackerland. Beim Dauergrünland gibt es eine Abnahme von 5-6% bei den Szenarien REF, EXT und ZOLL sowie eine leichte Zunahme beim Szenario GRAS. Die Zunahme der Dauergrünlandfläche bei REF, EXT und ZOLL wird durch die starke Extensivierung der Dauergrünlandnutzung mehr als kompensiert. Die Extensivierung und die Abnahme des Hofdüngeranfalls führen hier zu einer Abnahme der P-Verluste durch Gülleabschwemmung. Im Szenario GRAS nehmen die P-Verluste unter Dauergrünland wegen der deutlichen Zunahme der Dauergrünlandfläche trotz Extensivierung und abnehmender Tierzahlen um knapp 2% zu (Prasuhn et al. 2016).

Bezieht man die mit den vier berechneten Szenarien erzielten P-Reduktionen auf die gesamten diffusen P-Verluste der Schweiz (inklusive Verluste von nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen), sind die erzielten Reduktionen nur gering (Abbildung 2). Bei den Szenarien REF, EXT und ZOLL werden rund 2%, beim Szenario GRAS rund 5% Reduktion gegenüber dem Ausgangswert von 2010 erreicht.

Die Ökobilanzmethode SALCA

Die Ökobilanzmethode von Agroscope SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) quantifiziert und bewertet die potenziellen Umweltwirkungen eines Produkts oder

einer Dienstleistung (Baumgartner et al. 2015, Bystricky und Nemecek 2015, Bystricky et al. 2015). Durch die Analyse des gesamten Lebenszyklus, von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung oder Wiederverwertung der Abfälle, werden alle mit einem Produktsystem verbundenen Umweltwirkungen erfasst. Dabei wird eine möglichst vollständige Erfassung aller Umweltwirkungen angestrebt, damit allfällige Verschiebungen von Umweltbelastungen erkannt werden können. Dadurch werden z. B. auch Umweltwirkungen, die durch den Import von Nahrungs- oder Futtermitteln im Ausland entstehen, erfasst. Für alle vier Szenarien sollen Ökobilanzen gerechnet werden. SWISSland und MODIFFUS liefern die Eingangsdaten dafür. Erst wenn auch die Ökobilanzen gerechnet sind, kann eine umfassende Beurteilung der vier ausgewählten Szenarien erfolgen.

Zukünftiger Bewässerungsbedarf in der Schweiz

In der Schweiz werden bisher insgesamt etwa 43'000 ha regelmäßig und zusätzlich ca. 12'000 ha in Trockenjahren bewässert (Weber und Schild 2007). Die Nachfrage nach Bewässerung bzw. Bewässerungsanlagen steigt und wird im Rahmen des prognostizierten Klimawandels weiter ansteigen. Mit steigenden Temperaturen nimmt der Wasserbedarf der Kulturpflanzen zu, bei gleichzeitig sinkendem Wasserangebot im Sommer. Der steigende Bewässerungsbedarf verursacht nicht nur ökonomische und ökologische Probleme, er stellt auch ein Konfliktpotential für Landwirtschaft, Wirtschaft, Naturschutz und Gesellschaft dar. Fuhrer und Jasper (2009) haben mit einem hydrologischen Modell (WaSim) die schweizweite Bewässerungsbedürftigkeit berechnet. Dabei wurden die klimatischen Bedingungen, die Topographie und Bodenverhältnisse sowie die Ansprüche von Ackerkulturen und Grasland berücksichtigt. Insgesamt besteht auf 26% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (ca. 400'000 ha) bzw. 41% der Ackerfläche (275'000 ha) heute bereits ein Bewässerungsbedarf. Berechnungen auf Einzugsgebietsebene zeigen, dass der Bewässerungsbedarf das verfügbare Wasserangebot in Oberflächengewässern schon heute in einzelnen Regionen und Jahren übersteigen kann

und dass je nach verwendetem Klimaszenario die Wasserknappheit in den Sommermonaten in Zukunft zunehmen wird (Fuhrer 2012).

Literatur

- Baumgartner D.U., Bystricky M. & Nemecek T. (2015) Konzept der betrieblichen Ökobilanzierung. In: Bericht Abschlusstagung des Projektes FarmLife. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, 13-22.
- Bystricky M. & Nemecek T. (2015) SALCA-Emissionsmodelle: Anwendung in Österreich. In: Bericht Abschlusstagung des Projektes FarmLife. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, 23-32.
- Bystricky M., Alig Ceesay M., Nemecek T. & Gaillard G. (2015) Ökobilanz von Schweizer Landwirtschaftsprodukten im Vergleich zum Import. *Agrarforschung Schweiz* 6, 264-269.
- Fuchs S., Scherer U., Wander R., Behrendt H., Venohr M., Opitz D., Hiltenbrand T., Marscheider-Weidemann F. & Götz T. (2010) Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. UBA-Texte 45/2010, 177 S.
- Fuhrer J. (2012) Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen. Interner Bericht Agroscope, Zürich, 48 S.
- Fuhrer J. & Jasper K. (2009) Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *Agrarforschung* 16, 396-401.
- Hürdler J., Prasuhn V. & Spiess E. (2015a) 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.
- Hürdler J., Spiess E. & Prasuhn V. (2015b) Diffuse Nährstoffeinträge in Gewässer. *Aqua & Gas* 9, 66-78.
- Möhring A. (2016) Schlussbericht SWISSland-Modiffus - Ökonomische Auswirkungen bei der Verminderung von Nährstoffeinträgen in die Oberflächengewässer der Schweiz. Interner Bericht, Agroscope, Ettenhausen, 60 S.
- Möhring A., Mack G., Ferjani A., Kohler A. & Mann S. (2015) Swiss Agricultural Outlook 2014–2024. Pilotprojekt zur Erarbeitung eines Referenzszenarios für den Schweizer Agrarsektor. *Agroscope Science*, Nr. 23.
- Prasuhn V., Kupferschmid P., Spiess E. & Hürdler J. (2016) Szenario-Berechnungen für das Projekt zur Verminderung diffuser Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz mit MODIFFUS. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Agroscope Zürich.
- Weber M. & Schild A. (2007) Stand der Bewässerung in der Schweiz. Bericht zur Umfrage 2006. Interner Bericht Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- Zessner M., Gabriel O., Kovacs S., Thaler S., Hochedlinger G., Schilling C. & Windhofer G. (2011) Stoffbilanzmodellierung für Nährstoffe auf Einzugsgebietsebene als Grundlage für Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme (STOBIMO-Nährstoffe). Endbericht, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der TU Wien in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt Wien, Wien, 190 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 (JASSS)*.

