> Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020

Stoffflussanalyse und Entwicklungen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020

Stoffflussanalyse und Entwicklungen

Résumé de cette publication: www.bafu.admin.ch/uw-1309-f
Riassunto della presente pubblicazione: www.bafu.admin.ch/uw-1309-i
Summary of this publication: www.bafu.admin.ch/uw-1309-e

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU
Bern, 2013

Impressum

Herausgeber
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren
Jürg Heldstab, Fabio Leippert, Roger Biedermann, Martin Herren (INFRAS); Othmar Schwank (Schwank Earthpartner)

Projektleitung
Christoph Moor (BAFU)

Begleitung
Beat Achermann, Sabine Augustin, Georges Chassot, Robin Quartier, Regine Röthlisberger, Gaston Theis (BAFU); Daniel Bretscher (ART)

Zitierung
Heldstab J., Leippert F., Biedermann R., Schwank O. 2013: Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020. Stoffflussanalyse und Entwicklungen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1309: 107 S.

Gestaltung
Karin Nöthiger, 5443 Niederrohrdorf

Titelbild
BAFU/E. Ammon

PDF-Download
www.bafu.admin.ch/uw-1309-d
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

© BAFU 2013.

> Inhalt

Abstracts **5**
Vorwort **7**
Zusammenfassung **8**

1 Ausgangslage **12**
1.1 Stickstoff in der Umwelt 12
1.2 Ziel der Studie: Basis-Szenario 2020 und Wenn-Dann-Analysen 14

2 Stoffffluss-Methodik **16**
2.1 Herkunft der Methode 16
2.2 Systemgrenzen 16
2.3 Subsysteme, Prozesse und Stoffflüsse 17
2.3.1 Subsysteme und Prozesse 17
2.3.2 Zusammengesetzte Stickstoffflüsse 17
2.3.3 Bezeichnung der Stickstoffflüsse 18
2.3.4 Treibende und induzierte Stoffflüsse 18

3 Strategien, Szenarien und Ziele **19**
3.1 Szenarien und Strategien 19
3.1.1 Energiestrategie 2050 19
3.1.2 Klimapolitik 2020 19
3.1.3 Luftreinhaltung 20
3.1.4 Land- und Forstwirtschaft, Ernährung 20
3.1.5 Gewässer und Boden 22
3.1.6 Bevölkerungsentwicklung 22
3.2 Zielsysteme Stickstoff/Umwelt 23
3.2.1 Überblick über die Zielsysteme 23
3.2.2 National 24
3.2.3 International 28

4 Basisszenario **30**
4.1 Vorgehen 30
4.2 Stoffflussanalysen 1994 und 2005 32
4.3 Annahmen für das Basisszenario 2020 32
4.3.1 Energie, Klima, Luft 32
4.3.2 Land- und Forstwirtschaft, Ernährung 33
4.3.3 Gewässer & Übrige Böden 36
4.3.4 Unsicherheiten der N-Flüsse und Entwicklungen 37
4.4 Basisszenario 2005–2020 38
4.4.1 Stoffflusssysteme 2005 und 2020 38
4.4.2 Subsysteme im Basisszenario 2020 42
4.5 Entwicklung der Stickstoffflüsse 2005–2020 nach Arbeitsbereichen 51
4.5.1 Energie, Klima, Luft 51
4.5.2 Land-/Forstwirtschaft und Ernährung 52
4.5.3 Gewässer und übrige Böden 54
4.6 Stickstoffbilanzen (1994)–2005–2020 57
4.6.1 Inputs und Verluste reaktiver N-Verbindungen 57
4.6.2 N-Bilanz OSPAR, N-Effizienz 60

5 Wenn-Dann Analysen **63**
5.1 Themen für Wenn-Dann-Analysen mit N-Problematik 63
5.2 Energie-, Klimapolitik und Klimaänderung («E2050») 63
5.3 Luftreinhaltung («LRK») 65
5.4 Landwirtschaft/Ernährung 66
5.4.1 Ziele für ein komplexes System 66
5.4.2 Massnahmenpaket «verstärkte Reduktionsmassnahmen» («MTFR-IIASA») 68
5.4.3 Ernährung 70

6 Zielerreichung und Handlungsbedarf **72**
6.1 Zielerreichung 72
6.2 Handlungsbedarf 75
6.2.1 Konsequenzen aus der Betrachtung zur Zielerreichung 75
6.2.2 Synergien und Zielkonflikte 75
6.3 Fazit 79

Anhang **81**
A1 N-Flüsse und Umrechnungsfaktoren 81
A2 Detaillierte Darstellung der Annahmen zur Berechnung des Basisszenario 85
A3 Details zu den Wenn-Dann Analysen 96

Literatur **102**
Verzeichnisse **106**

> Abstracts

This report quantifies nitrogen flows in Switzerland for the year 2020 and compares them with 2005 and in some instances with 1994. For example, NO_x emissions decrease significantly from 2005 to 2020, but emissions of ammonia and nitrous oxide drop only a little, and the net import of foodstuffs and feed increases. Contingency analysis is used to predict how planned or agreed changes in energy, climate, clean air and agricultural policies will affect nitrogen flows. Using the measures agreed and further planned measures, the targets for reducing reactive nitrogen cannot be achieved by 2020; the potential for reductions in combustion processes and traffic will then be largely exhausted, although there will still be considerable potential for reductions in agriculture. These may be partially achieved by technological improvements.

Keywords:
nitrogen, nitrate, ammonia, nitrogen oxides, system analysis, material flow, trend analysis, scenario

Der Bericht quantifiziert Stickstoffflüsse in der Schweiz für das Jahr 2020 und vergleicht sie mit 2005 und teilweise 1994. Zwischen 2005 und 2020 nehmen zum Beispiel die NO_x-Emissionen deutlich ab, Ammoniak- und Lachgasemissionen jedoch nur wenig, der Netto-Import von Nahrungs- und Futtermitteln nimmt zu. Wie sich geplante oder beschlossene Änderungen in Energie-, Klima-, Luftreinhalte- und Landwirtschaftspolitik auf Stickstoffflüsse auswirken, wird in Wenn-Dann-Analysen analysiert. Die Ziele für die Reduktion von reaktivem Stickstoff können zumindest bis 2020 mit den beschlossenen und weiteren vorgesehenen Massnahmen nicht erreicht werden, Reduktionspotenziale sind dannzumal bei Feuerungen und Verkehr weitgehend ausgeschöpft aber in der Landwirtschaft noch in beträchtlichem Umfang vorhanden. Teilweise lassen sich diese mit technischen Massnahmen realisieren.

Stichwörter:
Stickstoff, Nitrat, Ammoniak, Stickoxide, Systemanalyse, Stoffffluss, Trendanalyse, Szenario

Le présent rapport quantifie les flux d'azote en Suisse en 2020 et les compare aux chiffres de 2005 et à certains chiffres de 1994. Ainsi, entre 2005 et 2020, les émissions de NO_x par exemple enregistrent un net recul tandis que celles d'ammoniac et de protoxyde d'azote n'affichent qu'une faible baisse. Quant aux importations nettes via les denrées alimentaires et les aliments pour animaux, elles progressent. Les répercussions des modifications (décidées et prévues) des politiques de l'énergie, du climat, de la protection de l'air et de l'agriculture sont analysées au moyen de divers scénarios. Les mesures qui ont déjà été décidées et celles qui sont prévues ne permettront pas d'atteindre les objectifs de réduction des émissions d'azote réactif avant au moins 2020: les potentiels de réduction des installations de combustion et des transports sont largement épuisés alors qu'ils restent amplement inexploités dans l'agriculture. Il est néanmoins possible de réaliser une partie des objectifs au moyen de mesures techniques.

Mots-clés:
azote, nitrate, ammoniac, oxydes d'azote, analyse de système, flux d'azote, analyse de tendance, scénario

Il rapporto stima i flussi di azoto previsti per il 2020 in Svizzera, comparandoli con quelli del 2005 e, in parte, del 1994. Fra il 2005 e il 2020, ad esempio, le emissioni di NO_x si ridurranno sensibilmente, quelle di ammoniaca e di protossido di azoto solo in misura esigua, mentre aumenterà l'importazione netta di derrate alimentari e mangimi. Un'analisi di scenario (if-then) consente di esaminare i cambiamenti previsti o decisi nella politica energetica, climatica, agricola e di protezione dell'aria in relazione ai flussi di azoto. Con le misure decise e quelle previste, non sarà possibile raggiungere gli obiettivi di riduzione delle sostanze reattive almeno fino al 2020. I potenziali di riduzione sono pressoché esauriti nel settore degli impianti di combustione e dei trasporti, mentre sono ancora presenti in modo considerevole nell'agricoltura. Tali riduzioni sono in parte realizzabili con misure tecniche.

Parole chiave:
azoto, nitrato, ammoniaca, ossidi di azoto, analisi di sistema, flusso di sostanze, analisi dell'andamento, scenario

> Vorwort

Die durch menschliche Aktivitäten beschleunigte Freisetzung von reaktiven Stickstoffverbindungen führt in mehreren Umweltkompartimenten zu unerwünschten Wirkungen. Die grössten Probleme stellen die Freisetzung von Ammoniak aus der Landwirtschaft und von Stickoxiden aus Verbrennungsprozessen sowie der Eintrag von Nitrat in Grund- und Oberflächengewässer dar. In verschiedenen Bereichen wurden deshalb Massnahmen ergriffen oder vorbereitet, um diese Emissionen zu verringern. Dabei ist immer zu beachten, dass neben diesen Stickstoff-spezifischen Massnahmen aber auch andere Entwicklungen die Stickstoffflüsse beeinflussen.

In dieser Studie wurde berechnet, wie gross die umweltrelevanten Stickstoffflüsse im Jahr 2020 sein werden unter Berücksichtigung bereits eingeleiteter oder beschlossener Massnahmen und weiterer Zukunftsszenarien. In einem Basisszenario wurde die Entwicklung der Stickstoffflüsse auf Grundlage vorhandener Sektor-Szenarien, Literaturrecherchen und Experteneinschätzungen modelliert. Zusätzlich zu diesem Basisszenario wurden drei Wenn-Dann Analysen betrachtet. Dazu gehören die neu ausgerichtete Energiestrategie 2050, die vollständige Umsetzung von Massnahmen des Luftreinhalte-Konzepts des Bundesrats sowie ein Massnahmenpaket zur Reduktion der Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft durch Anwendung von den besten verfügbaren Techniken.

Aus dem Basisszenario wird ersichtlich, dass bis 2020 noch keines der national und international verbindlichen Reduktionsziele erreicht werden kann. Wenn alle Massnahmen des Luftreinhaltekonzepts sowie die neue Energie- und Klimapolitik («E2050») wie geplant umgesetzt werden, können einzelne Ziele erreicht werden. Während beim Verkehr eine deutliche Abnahme zu erwarten ist, kompensiert beim Abwasser die Mehrbelastung durch die wachsende Bevölkerung die technischen Verbesserungen bei der Abwasserreinigung. In der Landwirtschaft sind nur kleine Veränderungen zu erwarten. Im Bericht wird darauf hingewiesen, wo weitere Reduktionspotentiale vorhanden sind.

Beim Erstellen dieser Publikation konnten wir Fachwissen und Mitarbeit von verschiedenen Amtsstellen und Personen in Anspruch nehmen. Ihnen danken wir an dieser Stelle bestens, namentlich der Agroscope Reckenholz-Tänikon, dem Bundesamt für Landwirtschaft, der ETH sowie der Eawag für das Bereitstellen von Daten und Informationen zu Stoffflüssen der Landwirtschaft bzw. zur Hydrologie, den BAFU-Abteilungen Luft und Chemikalien, Wasser, Klima, Wald, Abfall und Rohstoffe, Boden und Biotechnologie. Ebenfalls bedanken wir uns bei den zahlreichen Informanten aus den Kantonen, Beratungsbüros sowie von Industrie und Gewerbe.

Gérard Poffet
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Ausgangslage

Ausgangslage

Stickstoff (chem. Symbol N) ist ein Schlüsselelement für die gesamte belebte Natur. Er ist ein wesentlicher Baustein von Eiweissen und damit unserer Nahrung. Der Mensch hat allerdings mit den Entwicklungen in Verkehr, Industrie, Haushalt und Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten grosse Mengen reaktiver Stickstoffverbindungen in Luft, Boden und Wasser emittiert. Die wichtigsten reaktiven Stickstoffverbindungen sind Ammoniak/Ammonium, Stickstoffmonoxid/-dioxid und Nitrat. Die Emissionen führen zur Anreicherung von Stickstoffverbindungen in Ökosystemen und beeinflussen das Verhältnis zu anderen Elementen. Eutrophierung und Nährstoffungleichgewichte bei Pflanzen, die Versauerung von Böden, sowie die Bildung von sekundärem Feinstaub sind die Folgen. Dies führt zu Schädigungen bei Menschen, Tieren, Pflanzen und ihren Lebensgemeinschaften. Lachgas und Stickstofftrifluorid sind zudem starke Klimagase und tragen zur Klimaänderung (Erwärmung) bei, währenddessen Nitrat, ein wichtiger Pflanzennährstoff, das Trinkwasser belastet und zur Überdüngung insbesondere flacher Meere (Nordsee) beiträgt.

Anfang der 90er Jahre wurde der Stickstoffhaushalt der Schweiz erstmals quantifiziert (GSK 1993 und PG N CH 1996). 2010 hat das BAFU eine Aktualisierung dieser Stoffflussanalyse Schweiz vorgenommen. In «Stickstoffflüsse in der Schweiz» (Heldstab et al. 2010) werden die wichtigsten Flüsse von Stickstoffverbindungen zwischen den verschiedenen Umweltkompartimenten des Jahres 2005 identifiziert und quantifiziert. Gegenüber den früheren Versionen wurde die Methodik überarbeitet und neue Stickstoffflüsse in die Analyse miteinbezogen.

Der vorliegende Bericht zeigt, wie sich diese Stickstoffflüsse bis 2020 in einem wahrscheinlichen «Basisszenario» entwickeln werden. Weiter werden in sogenannten «Wenn-Dann Analysen» die Einflüsse zusätzlicher, aktueller politischer und gesellschaftlicher Entwicklungen bis 2020 auf den Stickstoffkreislauf betrachtet. In der Schweiz sind mehrere Szenarien in den Bereichen Energie/Klima, Luftreinhaltung und Landwirtschaft vorhanden, die zwar alle Auswirkungen auf einzelne Stickstoffflüsse haben; der Blick auf den gesamten Stickstoffkreislauf fehlte aber bisher. Dieser Bericht soll nun eine Gesamtsicht darstellen. Mit Blick auf die verschiedenen Umweltziele für Stickstoffverbindungen lassen sich der Grad der Zielerreichung und der Handlungsbedarf ableiten.

Stoffffluss-Methodik

Stoffffluss-Methodik

Die vorliegende Studie folgt den methodischen Empfehlungen aus der «Stoffflussanalyse Schweiz» (BUWAL 1996a) und baut gleichzeitig auf der Studie «Stickstoffflüsse in der Schweiz, Stoffflussanalyse für das Jahr 2005» auf. Dementsprechend sind die Stickstoffflüsse, Prozesse und Subsysteme mit dieser Studie vergleichbar. Das Stoffflusssystem setzt sich aus vier Subsystemen Land- und Forstwirtschaft, Umwelt, Pro-

dukteherstellung/Produktenutzung und Abfallwirtschaft zusammen, welche einzeln und im Gesamtsystem betrachtet und analysiert werden.

Die räumlichen Systemgrenzen folgen der schweizerischen Landesgrenze. Neben dem Betrag jedes N-Flusses in 1000 Tonnen pro Jahr (kt N) wird für jeden N-Fluss auch eine Unsicherheit ausgewiesen.

Strategien, Szenarien und Ziele

Strategien, Szenarien und Ziele

Die in der Bundesverwaltung vorhandenen Strategien und Szenarien mit potentiellen Auswirkungen auf die Stickstoffflüsse werden aufgelistet. Zusätzlich werden Stickstoff-Ziele genannt, die entweder gesetzlich – national und international – verankert oder in Absichtserklärungen von Fachstellen des Bundes publiziert worden sind.

Basisszenario 2020

Basisszenario 2020

In einem Basisszenario 2020 werden Entwicklungen der Stickstoffflüsse auf Basis vorhandener Sektor-Szenarien, Literaturrecherchen und Experteneinschätzungen aufgezeigt und berechnet (Beispiele für Emissionen in die Atmosphäre und Einträge in Gewässer siehe Tab. 1). Alle Stickstoffflüsse des Basisszenarios werden in einem Stoffflusssystem Schweiz 2020 integriert.

Wichtige Änderungen, die in der Periode 2005–2020 zu erwarten sind:

- Im Subsystem Land- und Forstwirtschaft verringert sich der Stickstoff-Input um ca. 12 kt N, was einer Reduktion um knapp 7 % entspricht. Der Import von Mineraldünger und die N-Depositionen sind rückläufig, der Futtermittelimport nimmt zu.
- Im Subsystem Umwelt ist der Stickstoff-Input ebenfalls rückläufig in der Grössenordnung von 22 kt N. Emissionen aus der Landwirtschaft, aus Verkehr und Feuerungen nehmen ab, während sie aus der Abfallwirtschaft (ARA, KVA) leicht zunehmen. Die Outputs nehmen um ca. 29 kt N ab, wichtig dabei ist die Reduktion des N-Exports via Flüsse und Atmosphäre.
- Im Subsystem Produkteherstellung/Produktenutzung gibt es bei einigen Flüssen geringe Zu- wie auch Abnahmen, die sich in der Summe praktisch aufheben. Erwähnenswert ist die Zunahme der N-Importe bei den Lebensmitteln.
- Im Subsystem Abfallwirtschaft nehmen die Inputs um 5 kt N respektive 10 % zu, und zwar beim Abwasser als Folge des Bevölkerungswachstums.

Kurz zusammengefasst sind das Bevölkerungswachstum, zunehmende Importe von Lebens- und Futtermitteln, ein abnehmender Import von Mineraldünger und der technische Fortschritt in der Abgasbehandlung (Motoren und Feuerungen) die Treiber für die prognostizierten Änderungen.

Wenn-Dann Analysen

Wenn-Dann Analysen

Zusätzlich zum Basisszenario werden drei Wenn-Dann Analysen betrachtet. Dabei handelt es sich dabei um Annahmen, die den jüngsten politischen Entwicklungen Rechnung tragen, wie sie im Basisszenario noch nicht enthalten sind. Dazu gehört die

nach der Katastrophe von Fukushima (2011) vom Bundesrat grundlegend neu ausgerichtete Energiestrategie 2050 («E2050»), die vollständige Umsetzung von Massnahmen, wie sie im Luftreinhalte-Konzept des Bundesrats enthalten sind («LRK») sowie einem Massnahmenpaket zur Minderung der Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft («MTFR-IIASA») durch Anwendung von heute bekannten, besten verfügbaren Techniken.

Zielerreichung und Handlungsbedarf

Zielerreichung und Handlungsbedarf

Die Resultate für das Basisszenario und die Wenn-Dann Analysen werden mit Umweltzielen zum Stickstoff verglichen. Es zeigt sich, dass auf Stufe der relevanten Stickstoffflüsse zumindest bis 2020 noch keines der national und international verbindlichen Reduktionsziele erreicht werden kann. Während die NO_x-Emissionen in die Atmosphäre aufgrund der bislang getroffenen und bereits eingeleiteten Massnahmen die Vorgaben lediglich um ca. 3 kt N verfehlen, so besteht in der Landwirtschaft (betreffend NH_3) und beim Eintrag von Gesamtstickstoff in die Gewässer noch ein Fehlbetrag von 20–28 kt N, je nach betrachtetem Ziel.

Bei den wichtigsten, anthropogenen Treibern des Stickstoffkreislaufs, Verbrennungsprozesse (Verkehr, Feuerungen), Abwasser und Landwirtschaft lassen sich folgende Entwicklungen absehen.

- *Verbrennungsprozesse (Verkehr, Feuerungen):* Vor allem beim Verkehr ist noch eine deutliche Abnahme der NO_x-Emissionen zu erwarten, insgesamt um 36 Prozent. Diese hat eine Reduktion der Depositionen auf Böden zur Folge und damit auch eine Reduktion der Stickstoff-Auswaschung aus den Böden.
- *Abwasser:* Die Stickstoff-Fracht im Abwasser nimmt wegen der wachsenden Bevölkerung zwar noch zu, kann aber mit technischen Verbesserungen in der Abwasserreinigung noch kompensiert werden.
- *Landwirtschaft:* Gegenüber 2005 finden einige Veränderungen in den landwirtschaftlichen N-Flüssen statt, insgesamt nimmt die N-Zufuhr (Futtermittel, Mineraldünger, Deposition und N-Fixierung) aber lediglich um 5 Prozent ab, während die N-Entnahme (pflanzliche und tierische Produkte) um 2 Prozent zunimmt. Ohne weitere Massnahmen bleiben die landwirtschaftlichen N-Flüsse nahezu auf ihrem aktuellen Niveau.

Tab. 1 > Ziele und Basisszenario 2020

Ziele und Basisszenario 2020 absolut in kt N und relativ in Prozent bzgl. 2005. Alle Zahlen sind auf zwei signifikante Stellen gerundet. Die Ziellücke zeigt die Differenz zwischen Basisszenario 2020 und Zielwert.

	Zielsysteme				
	IGW & Crit. Load	Crit. Load	UZL	AP 2014–2017	OSPAR
	Luftemission				Eintrag in Gew.
	No_x	NH_3	NH_3 aus Landw.	NH_3 aus Landw.	N
Ziel (in kt N)	13	31	25	41	42
Niveau 2005 (in kt N)	25	51	49	49	72
Nötige Reduktion zur Zielerreichung (% bzgl. 2005)	50 %	40 %	49 %	16 %	42 %
Niveau Basisszenario 2020 (in kt N)	16	48	45	45	69
Erreichte Reduktion im Basisszenario 2020 (% bzgl. 2005)	41 %	5.7 %	7.8 %	7.8 %	3.2 %
Verbleibende Ziellücke im Basisszenario 2020 (in kt N)	3.5	17	20	4.0	28

Abk.: IGW: Immissionsgrenzwert, UZL: Umweltziele Landwirtschaft, AP 2014–2017: Agrarpolitik 2014–2017.

Das Ergebnis für das Basisszenario verbessert sich unter Einbezug der Massnahmen aus den Wenn-Dann-Analysen. So ist unter der Annahme, dass alle LRK Massnahmen («LRK») sowie die neue Energie- und Klimapolitik («E2050») wie geplant umgesetzt werden, eine Zielerreichung bezüglich des Immissionsgrenzwerts (IGW) für NO_2 möglich. Bezüglich der übrigen drei Ziele wird zwar der Zielerreichungsgrad etwas besser als im Basisszenario, aber weder «E2050» noch der Einsatz aller zusätzlichen Massnahmen im Luftreinhaltekonzept «LRK» vermögen mit ihren Reduktionen die N-Flüsse den Zielvorgaben entscheidend näherzubringen.

Mit den laufenden Aktivitäten in den Sektorpolitiken Energie, Klima, Luftreinhaltung, Gewässer, Landwirtschaft bestehen mehrheitlich Synergien in Bezug auf den Stickstoffkreislauf. Zielkonflikte können mit neuen Gas- und Dampf-Kombikraftwerken (GUD) und bei verstärkter energetischer Nutzung von Biomasse auftreten.

Mit den beschlossenen und vorgesehenen Massnahmen allein können demnach die Reduktionsziele zumindest bis im Jahr 2020 nicht erreicht werden; es besteht sogar noch ein beträchtlicher Handlungsbedarf. Grosse Potenziale sind nur noch in der Landwirtschaft vorhanden; mit einem umfangreichen technischen Massnahmenpaket «MTFR» (IIASA 2011) könnten in diesem Sektor ab 2018 zunehmende Reduktionswirkungen erreicht werden. Weitere Potentiale bestehen im Bereich der Ernährung.

In einem ausführlichen Anhang sind Annahmen und Erläuterungen zum Basisszenario und zu den Wenn-Dann Analysen zusammengestellt.

In diesem Bericht werden technische Entwicklungen und Varianten und deren Wirkung beurteilt; nicht untersucht werden ökonomische und soziale Wirkungen.

1 > Ausgangslage

Stickstoff ist ein Schlüsselelement für das Leben auf der Erde. Die Menschen haben in den vergangenen Jahrzehnten die Umsätze reaktiver Stickstoffverbindungen vervielfacht, was sich zunehmend negativ auf die Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit, Wälder, Wasserqualität, Luftqualität und die menschliche Gesundheit ausgewirkt hat. Für 1994 und 2005 liegen Stoffflussanalysen für die Schweiz vor. Diese werden in der vorliegenden Studie bis 2020 fortgeschrieben in Form eines Basisszenarios und ergänzender Wenn-Dann-Analysen.

1.1 Stickstoff in der Umwelt

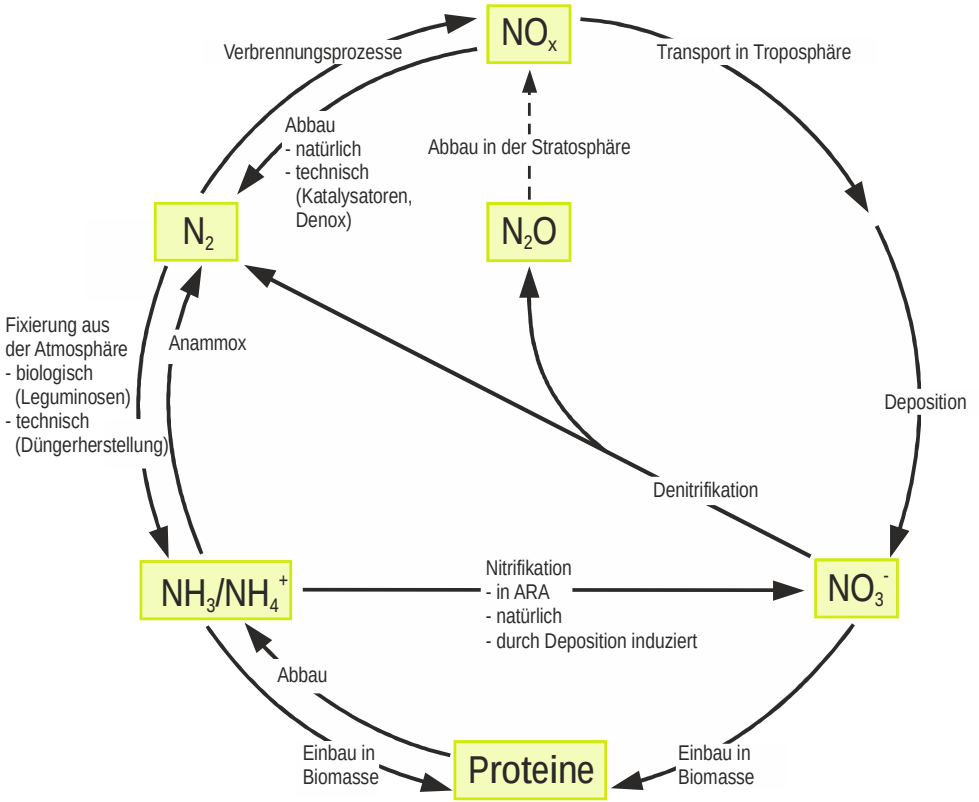
Stickstoff (chem. Symbol N) ist mit seinen vielfältigen Erscheinungsformen und dank seiner Funktion als Nährstoff ein Schlüsselelement für die gesamte organische Natur. Er ist der wesentliche Baustein von Eiweissen und damit unserer Nahrung. Der Mensch hat allerdings mit den Entwicklungen in Verkehr, Industrie, Haushalt und Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten grosse Mengen reaktiver Stickstoffverbindungen in Luft, Boden und Wasser emittiert. Die wichtigsten reaktiven Stickstoffverbindungen sind Ammoniak/Ammonium (NH_3/NH_4^+), Stickstoffmonoxid/-dioxid (NO, NO_2), Nitrat (NO_3^-). Dies führt zu einer N-Anreicherung in Ökosystemen und beeinflusst das Verhältnis zu anderen Elementen. Nährstoffungleichgewichte mit negativen Wirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und ihren Lebensgemeinschaften sind Folgen davon. Zudem sind Distickstoffoxid (N_2O, Lachgas) und Stickstofftrifluorid (NF_3) starke Klimagase, die zur Klimaänderung (Erwärmung) beitragen. Nitrat (NO_3^-) belastet Grund- und Trinkwasser und trägt zur Überdüngung flacher Meere (Nordsee) bei.

Stickstoff ist reaktionsfreudig und geht eine grosse Zahl verschiedener chemischer Bindungen ein (es kommen sieben Oxidationsstufen vor), die sich in allen Umweltkompartimenten bewegen. In der Atmosphäre macht Stickstoff zwar vier Fünftel des Volumens aus, liegt dort allerdings als nicht-reaktives Molekül N_2 vor, welches als Reservoir für die Gewinnung reaktiver Verbindungen durch chemische, biologische und technische Prozesse zur Verfügung steht. Abb. 1 zeigt die wichtigsten Verbindungen und Umwandlungsprozesse. Die Abbildung stammt aus Heldstab et al. (2010), dort sind die verschiedenen Verbindungen mit ihren Auswirkungen, die Umwandlungsprozesse und die Stickstoff-Reservoirs detailliert beschrieben.

Der globale Stickstoff-Kreislauf ist in den vergangenen 50 Jahren wegen der wachsenden Nutzung fossiler Energieträger in verschiedenartigen Verbrennungsprozessen und der landwirtschaftlichen Praxis (Produktion von N-Düngern mittels des Haber-Bosch-Verfahrens, Intensivierung der Tierproduktion, etc.) in empfindlicher Weise verändert worden. Diese Prozesse setzen grosse Mengen reaktiver Stickstoffverbindungen in die gesamte Umwelt frei. Abb. 2 zeigt, wo diese Prozesse stattfinden und welche Stickstoffverbindungen dort massgeblich beteiligt sind.

Abb. 1 > Stickstoffverbindungen und -umwandlungen

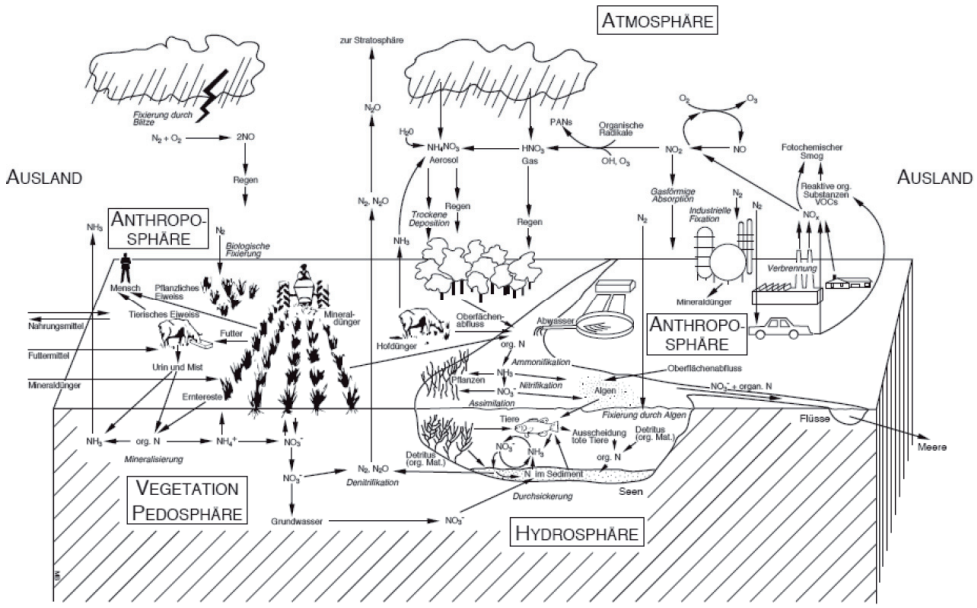
Vereinfachte schematische Darstellung der wesentlichen Umwandlungsprozesse im Stickstoffkreislauf. Im Kreislauf durchläuft Stickstoff verschiedene Umweltkompartimente (bspw. Wasser, Boden, etc.) und Oxidationszustände. N_2, N_2O, NO_x und NH_3 emittieren in die Luft. Die Anammox (Anaerobe Ammonium Oxidation) läuft wie die Denitrifikation unter anaeroben Bedingungen ab.



Heldstab et al. (2010)

Abb. 2 > Stickstoffkreislauf

Vereinfachte Darstellung des Stickstoffkreislaufs in der Natur und der anthropogen beeinflussten Umwelt. In den letzten Jahren sind zusätzliche Prozesse (z. B. Vergärung) relevant geworden, die in der Abbildung nicht enthalten sind.



GSK (1993)

An der internationalen Konferenz «Nitrogen and Global Change» (Edinburgh 2011) rückte neben den bekannten Schadenswirkungen auf Böden (inkl. Wälder), Gewässer, Luft und Biodiversität zunehmend auch die Frage ins Zentrum, inwiefern der Stickstoffkreislauf die Klimaänderung verstärkt oder bremst oder davon beeinflusst wird. Stickstoffverbindungen beeinflussen das «radiative forcing», und sie nehmen teil an noch weitgehend unerforschten Rückkopplungseffekten durch die verstärkte «CO_2-Düngung» und Temperaturerhöhungen.

1.2 Ziel der Studie: Basis-Szenario 2020 und Wenn-Dann-Analysen

In der Schweiz werden derzeit wichtige, politische Weichen mit Auswirkungen auf den N-Kreislauf gestellt:

- In der Landwirtschaft wird die nächste Etappe der Agrarpolitik für 2014–2017 in Angriff genommen. Darin werden für diese Zeitperiode quantifizierte Ziele festgelegt (Erhöhung N-Effizienz, Reduktion der Stickstoffüberschüsse und der Ammoniakverluste, siehe BLW 2012, p. 26, 71, 72).
- Im Frühling 2011 hat das BLW seine «Klimastrategie Landwirtschaft» veröffentlicht. Sie nennt ehrgeizige Reduktionsziele für die landwirtschaftlichen Klimagasemissionen, beschreibt mögliche Handlungsfelder und skizziert das weitere Vorge-

hen für deren Konkretisierung. Es bleibt offen, mit welchen Prioritäten und mit welchen Etappen die Ziele erreicht werden sollen.

- Die Klimaverhandlungen sind seit der Konferenz in Kopenhagen im Dezember 2009 ins Stocken geraten, während gleichzeitig die Klimagasemissionen global ungebrochen ansteigen. Das Parlament hat Ende 2011 einer Totalrevision des CO_2-Gesetzes zugestimmt (Bundesrat 2011).
- Die Katastrophe von Fukushima im März 2011 hat den Bundesrat dazu bewogen, die Energiestrategie auf einen schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie auszurichten. Im Gegenzug sollen erneuerbare Energien vermehrt genutzt, die Energieeffizienz gesteigert und allfällige vorübergehende Versorgungslücken durch den Bau von Gaskraftwerken oder Importen gedeckt werden. Das hat auch Auswirkungen auf den Stickstoffkreislauf.
- Die «Strategie Biodiversität Schweiz» wurde im April 2012 vom Bundesrat verabschiedet. Unter der strategischen Zielsetzung sticht heraus, dass die Ressourcennutzung nachhaltig erfolgen soll und dass die Ökosystemleistungen zukünftig volkswirtschaftlich gefördert und verstärkt berücksichtigt werden. Hiermit ist insbesondere auch die Stickstoffnutzung in der Landwirtschaft angesprochen, welche einen massgebenden Einfluss auf die Biodiversität hat. Bis der geplante Aktionsplan vorliegt, welcher die Erreichung der Ziele konkretisiert, wird es noch mindestens zwei Jahre dauern.

Wie verändern sich unter diesen Rahmenbedingungen die Stickstoffflüsse in der Schweiz bis 2020 – und was bedeuten die zu erwartenden Veränderungen für die in verschiedenen Konzepten niedergeschriebenen ökologischen Ziele in Bezug auf Stickstoff? Die vorliegende Studie hat sich zum Ziel gesetzt, ausgehend vom Zustand 2005 die Stickstoffflüsse in einem Basisszenario 2020 abzuschätzen und mit Blick auf mögliche Änderungen der politischen Rahmenbedingungen deren Auswirkungen auf die Stickstoffflüsse durch Wenn-Dann Analysen zu beschreiben. Es sollen Aussagen zur Zielerreichung formuliert und der Handlungsbedarf aufgezeichnet werden. Weiter sollen Synergien und Zielkonflikte bezeichnet werden, die zwischen den Aktivitäten der Sektorpolitiken zu erwarten sind.

Anfang der 90er Jahre wurde der Stickstoffhaushalt der Schweiz erstmals quantifiziert (GSK 1993). 1996 wurde die Stickstoffbilanz auf das Bezugsjahr 1994 aktualisiert (PG N CH 1996), und 2010 hat das BAFU eine weitere Aktualisierung dieser Stoffflussanalyse Schweiz publiziert. In «Stickstoffflüsse in der Schweiz» (Heldstab et al. 2010) werden die wichtigsten Flüsse von Stickstoffverbindungen zwischen den verschiedenen Umweltkompartimenten des Jahres 2005 identifiziert und quantifiziert. Gegenüber den früheren Versionen (GSK 1993, PG N CH 1996) wurde die Methodik überarbeitet und neue Stickstoffflüsse in die Analyse miteinbezogen. Die Studie beschreibt nicht nur den Zustand im Jahr 2005, sondern stellt auch Vergleiche zum Zustand 1994 her.

2 > Stoffffluss-Methodik

Stoffflussanalysen bewähren sich seit vielen Jahren in der Untersuchung von Umweltfragen. Für die Schweiz gibt es vom Bundesamt für Umwelt eine Anleitung, nach der nationale Analysen durchzuführen sind. Auch die vorliegende Studie folgt dieser Anleitung. Die Stickstoffflüsse, Prozesse und Subsysteme werden aus der Stoffflussanalyse Schweiz 2005 übernommen

2.1 Herkunft der Methode

Die benutzte Methodik für die Stoffflussanalyse der Schweiz für 2005 (Heldstab et al. 2010) basiert auf der Anleitung des BUWAL «Stoffflussanalyse Schweiz» (BUWAL 1996a). Diese stützt wesentlich auf das Lehrbuch Regionaler Stoffhaushalt; Erfassung, Bewertung, Steuerung von P. Baccini und H.-P. Bader ab (1996).

Mit einer Stoffflussanalyse werden Herkunft, Entstehung, Umwandlung und Entsorgungswege von Stoffen erfasst. Grundelemente der Stoffflussanalyse sind Prozesse und Stoffflüsse. Die Stoffflüsse verbinden die Prozesse als Inputs und Outputs. Wenn beim Bilanzieren Inputs und Outputs eines Prozesses gleich sind, liegt ein Fliessgleichgewicht vor, andernfalls gibt es Lagerveränderungen oder Stoffabbau/-aufbau. Die BUWAL-Anleitung «Stoffflussanalyse Schweiz» schlägt Prozesse, Prozessgruppen («Subsysteme»), Begriffe und Bilanzierungen vor. Für die Analyse der Stoffflüsse 2005 werden diese Vorschläge mit gewissen Anpassungen übernommen. Die vorliegende Analyse baut methodisch auf der Studie «Stickstoffflüsse in der Schweiz» auf. Die wichtigsten Entstehungs- und Umwandlungsprozesse von Stickstoff wurden in dieser Studie beschrieben (Heldstab et al. 2010).

2.2 Systemgrenzen

Räumlich wird das System von der schweizerischen Landesgrenze abgesteckt. Die Emissionen sind gemäss dem Territorialprinzip erhoben, d. h. es sind nur die auf schweizerischem Territorium entstehenden Emissionen berücksichtigt (relevant beim Strassen- und Luftverkehr). Zeitliche Systemgrenze für das Basisszenario ist das Jahr 2020, das heisst, die Stickstoffflüsse beziehen sich auf 2020[1], während die Zwischenjahre nicht betrachtet werden.

[1] Beachte, dass bei Stickstoffflüssen mit hoher Variabilität der mehrjährigen Messdaten, die Werte 1994 und 2005 mit Mittelwerten berechnet wurden, zum Beispiel bei der Stickstofffracht in den Abflüssen aus der Schweiz. Für die Projektionen 2020 stellt sich diese Frage nicht.

2.3 Subsysteme, Prozesse und Stoffflüsse

2.3.1 Subsysteme und Prozesse

Die stickstoffrelevanten Prozesse der Schweiz werden in die vier Subsysteme unterteilt:

- Land- und Forstwirtschaft (L)
- Produkteherstellung/Produktenutzung (P)
- Umwelt (U)
- Abfallwirtschaft (A)

Das Subsystem P umfasst die Sektoren Industrie, Haushalte und Verkehr. Zusätzlich zu diesen Subsystemen wird das Ausland als spezielles Subsystem definiert, um Importe und Exporte erfassen zu können.

Die vier Subsysteme L, P, U, A werden in 14 Prozesse a) bis n) zerlegt, die Prozesse sind Ursprung und Ziel der betrachteten Stickstoffflüsse im System (Tab. 2).

Tab. 2 > Prozesse

Übersicht zu den vier Subsystemen und zugehörigen Prozessen.

Land- und Forstwirtschaft (L)	a) Tierhaltung b) Landwirtschaftsböden und Pflanzenbau (Acker, Weiden etc.) c) Wald (Bäume und Boden)
Produkteherstellung/Produktenutzung (P)	d) Verkehr e) Feuerungen f) Produkteherstellung und übrige Nutzungen
Umwelt (U)	g) Atmosphäre h) Hydrosphäre (Oberflächengewässer und Grundwasser) i) übrige Böden
Abfallwirtschaft (A)	j) KVA, SAVA (Kehricht- und Sonderabfallverbrennungsanlagen) k) ARA (Abwasserreinigungsanlagen) l) Kompostierung m) Vergärung n) Deponien

Heldstab et al. 2010

2.3.2 Zusammengesetzte Stickstoffflüsse

Zwischen den Prozessen und den Subsystemen fliesst der Stickstoff in Form verschiedener Verbindungen (NO_x, NH_3 etc.) hin und her. Um diese miteinander vergleichen zu können, werden alle Frachten konsequent auf ihren Stickstoffanteil bezogen und in der Einheit 1000 Tonnen N (kt N) angegeben (Umrechnungsfaktoren für die einzelnen Verbindungen siehe Tab. 23 im Anhang A1). In den Stoffflussdiagrammen kann ein einzelner Fluss, z. B. Luftemissionen aus der Tierhaltung, mehrere Verbindungen, Ammoniak und Lachgas, enthalten. Wo relevant, sind die Komponenten einzeln ausgewiesen, weil ihre Wirkungen auf Umwelt und Gesundheit unterschiedlich sein können, man denke etwa an Pflanzenverfügbarkeit von Düngern, Reaktivität in der Um-

welt (z. B. Wasserlöslichkeit) und Gesundheitsgefährdung (reaktive Stickstoffverbindungen in der Luft).

Auch ist es grundsätzlich sinnvoll, zwischen **nicht-reaktivem (N_{nr})** Stickstoff (Luftstickstoff N_2, und **reaktiven (N_r)**, potentiell biologisch verfügbaren Stickstoffformen (NO_x, NO_3^-, N_2O, NH_3/NH_4^+, organisch gebundener Stickstoff[2]) zu unterscheiden. Wo dies von Bedeutung ist, wird es für den entsprechenden Fluss angegeben.

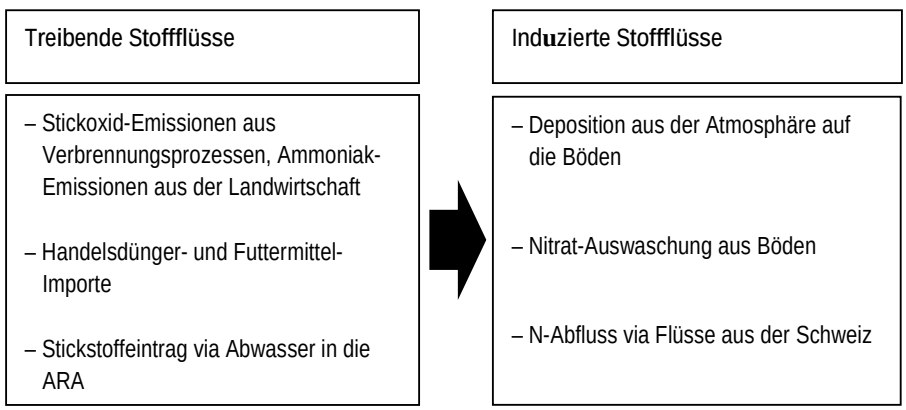
2.3.3 Bezeichnung der Stickstoffflüsse

Jeder Fluss wird mit einem Buchstaben und einer fortlaufenden Zahl eindeutig charakterisiert. Der Buchstabe am Anfang des jeweiligen Stoffflusses bezieht sich auf den Anfangsbuchstaben des Subsystems (L, P, U, A), aus dem der Stofffluss hervorgeht, z. B. L1, P1. Die auf den Buchstaben folgende Zahl dient der Unterscheidung der Flüsse aus demselben Subsystem. Die Nummerierung ist zufällig, es ist keine Reihenfolge der Flüsse festgelegt. Flüsse, die sowohl aus reaktiven Stickstoffverbindungen als auch aus nicht-reaktivem Luftstickstoff bestehen, werden mit der Ergänzung (tot) versehen, z. B. A3 (tot). Wird der Fluss zerlegt, wird die Bezeichnung dieser Teilflüsse erweitert durch ein (N_r) für reaktive Stickstoffverbindungen und ein (N_{nr}) für den nicht-reaktiven Luftstickstoff.

2.3.4 Treibende und induzierte Stoffflüsse

Stoffflüsse können vereinfacht in treibende und induzierte unterschieden werden (Abb. 3). Treibende Stoffflüsse sind besser steuerbar als die induzierten Stoffflüsse. In Szenarien werden typischerweise die treibenden Stoffflüsse quantifiziert, während die induzierten Stoffflüsse oftmals schwierig zu quantifizieren sind. Im Vergleich zum häufig verwendeten Begriffssystem für Indikatoren Driver-Pressure-State-Impact-Response entsprechen treibende Stoffflüsse den Drivers und Pressures, die induzierten Stoffflüsse den State und Impact Indikatoren.

Abb. 3 > Beispiele für treibende und induzierte Stoffflüsse



[2] Organisch gebundener Stickstoff wird zumindest im nicht wissenschaftlichen Bereich nicht oder nur eingeschränkt als reaktive N-Verbindung angesehen (z. B. ist er nur nach bakteriellem Umbau pflanzenverfügbar, die Düngerichtlinien anerkennen ihn jeweils nur in Teilen als verfügbar).

3 > Strategien, Szenarien und Ziele

Es werden nationale Strategien und Szenarien vorgestellt, die im Zusammenhang mit Stickstoff stehen und die für die Quantifizierung des Basisszenario (Kapitel 4) und der Wenn-Dann Analysen (Kapitel 5) bedeutsam sind. Ausserdem werden Umweltziele aufgezählt, die mit Stickstoff zu tun haben

3.1 Szenarien und Strategien

3.1.1 Energiestrategie 2050

Das Bundesamt für Energie BFE erarbeitet seit der Gesamtenergiekonzeption von Mitte der 1970er Jahre periodisch Energieperspektiven, um Optionen für die Planung einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik aufzuzeigen. Zwischen 2004 und 2007 wurden Energieperspektiven bis ins Jahr 2035 entwickelt (BFE 2007). Die Resultate bilden die Grundlage für die Ausgestaltung der schweizerischen Energie- und Klimapolitik. Zusammen mit weiteren Studien (Ecoplan 2008) sind sie auch Grundlage für die Einschätzung der erwarteten, energiebedingten Emissionen, welche im Emissionsinformationssystems Schweiz (EMIS) ausgewiesen werden und der Trendentwicklung 2020 der Treibhausgasemissionen des 5. Nationalen Klimaberichts der Schweiz (National Communication, FOEN 2009c). Zurzeit wird aufgrund der Nuklearkatastrophe von Fukushima die Schweizerische Energiepolitik aktualisiert. Die Energieperspektiven werden im Hinblick auf einen Ausstieg aus der Kernenergie durch das BFE unter dem Titel «Energiestrategie 2050» überarbeitet (BFE 2011).

Stickstoffrelevanz Energie: Beim Verbrennen fossiler Energieträger entstehen aus nicht-reaktivem Luftstickstoff reaktive Stickoxide (NO_x) und Lachgas (N_2O)

3.1.2 Klimapolitik 2020

Das Parlament hat im Dezember 2011 das revidierte Bundesgesetz über die Reduktion der CO_2-Emissionen verabschiedet (Bundesrat 2011). Darin sind Reduktionsziele für die Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2020 und verschiedene klimapolitische Massnahmen festgelegt. Verschiedene Emissionsszenarien, welche die Entwicklungen der Treibhausgasemissionen mit und ohne Massnahmen beschreiben, sind im 5. Nationalen Klimabericht detailliert publiziert (FOEN 2009c). Basis bilden die oben erwähnten Energieperspektiven 2035 des BFE (2007) und Annahmen zur Entwicklung der Landwirtschaft.

Stickstoffrelevanz Klima: Lachgas enthält Stickstoff (N_2O) und ist eine starkes Klimagas. Stickoxide (NO_x) sind Vorläufer von Ozon, das seinerseits stark klimawirksam ist.

Das Bundesamt für Landwirtschaft hat 2011 eine Klimastrategie publiziert (BLW 2011). Siehe dazu Kapitel 3.1.4.

3.1.3 Luftreinhaltung

Das USG und die LRV enthalten die rechtsverbindlichen Vorgaben für die nationale Luftreinhaltung bei stationären Anlagen. Die Abgasvorschriften für Motorfahrzeuge sind in Verordnungen zum Strassenverkehrsgesetz festgelegt. Für wichtige Luftschadstoffe hat der Bundesrat in seinem Luftreinhaltekonzept nationale Ziele zur Emissionsminderung vorgegeben.Trotz beachtlicher Erfolge konnten bisher nicht alle Ziele erreicht werden. Der Bundesrat hat deshalb 2009 sein Luftreinhaltekonzept neu aufgelegt (Bundesrat 2009a) und darin Vorgehensweisen zur Schliessung der Lücken vorgezeichnet, indem er mögliche Massnahmen in drei Pakete zusammengefasst hat: Rechtskräftig beschlossene, bereits eingeleitete und zusätzliche Massnahmen (Bundesrat 2009a). Die rechtskräftig beschlossenen Massnahmen sind als «Referenzszenario» im Emissionsinformationssystem Schweiz (EMIS) implementiert. Es basiert auf den Energieperspektiven des BFE (2007) und auf dem Treibhausgas-Emissionsszenario «with measures implemented» aus FOEN (2009c). Diese Daten werden unter anderem auch für die jährlichen Submissionen des schweizerischen Luftschadstoff-Inventars unter dem UNECE-Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) verwendet (FOEN 2011a).

Stickstoffrelevanz Luft: Reaktive Stickstoffverbindungen in der Luft sind oft gesundheitsschädlich. Auf Böden und Gewässern deponiert, führen sie zu Überdüngung und Versauerung.

In einer Analyse «Szenarien für die Luftschadstoffemissionen bis 2030» (BAFU 2012) wurden die Wirkungen der bereits eingeleiteten und der zusätzlichen Massnahmen des Luftreinhaltekonzepts (LRK) bis 2030 und des revidierten CO_2-Gesetzes auf die Emissionen der wichtigsten Luftschadstoffe berechnet. Zusätzlich wurden die Wirkung lufthygienisch relevanter Massnahmen der Energiestrategie 2050 (z. B. Bau von Gaskraftwerken, verstärkte Nutzung von WKK) quantitativ abgeschätzt.

3.1.4 Land- und Forstwirtschaft, Ernährung

Die strategischen Leitlinien für die Landwirtschaft werden vom Bundesrat in der im Vierjahresrhythmus angepassten Agrarpolitik vorgezeichnet, aktuell durch die Agrarpolitik 2014–2017 (AP 2014–2017). Die Botschaft zur AP 2014–2017 enthält agrarökologische Etappenziele für 2017, die auch umweltrelevante Stickstoffflüsse betreffen (BLW 2012).

Stickstoffrelevanz Land- und Forstwirtschaft: Stickstoff ist als einer der drei essenziellen Nährstoffe unabdingbar für die landwirtschaftliche Produktion. Die grossen Verluste reaktiver Stickstoffverbindungen führen zur Belastung der Gewässer, der Wälder und zur Verarmung der Biodiversität.

Ausserdem hat das BLW kürzlich seine «Klimastrategie Landwirtschaft» publiziert (BLW 2011b), in der Emissionsreduktions- und Anpassungsziele für die Landwirtschaft 2050 entsprechend dem 2 °C Klimaziel festgelegt sind. Die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen sollen um einen Drittel bis 2050 (bezogen auf 1990) vermindert werden. Weiter sind eine Reihe untergeordneter, jedoch nicht quantifizierter Teilziele und mögliche Massnahmen erwähnt. Diese werden bezüglich Reduktionspotenziale grob bewertet inkl. Hinweise auf Zielkongruenzen und -konflikte. Die Klimastrategie Landwirtschaft betont die Wichtigkeit nachgelagerter Bereiche der Landwirtschaft: Verarbeitung, Handel, Konsum und Entsorgung. Die «Klimastrategie Landwirtschaft» ist übrigens jünger als die AP 2014–2017 und ist erst erschienen, als jene bereits in der Vernehmlassung war.

Quantitative Informationen zur Entwicklung landwirtschaftlicher Stickstoffflüsse finden sich in mehreren Publikationen der landwirtschaftlichen Forschungsanstalten und Fachhochschulen, z. B. in ART (2011), Peter und Lehmann (2010), Kupper und Menzi (2011), welche Grundlagen für die AP 2014–2017 lieferten, und zudem in den Submissionen des BAFU an die UNECE (2009a, 2010, 2011a). Problematisch ist dabei, dass den Arbeiten unterschiedliche Entwicklungen und Rahmenbedingungen (AP 2014–2017, Wirkungen WDZ, Agrarfreihandel, etc.) zugrunde liegen und dass vor allem die einzelnen Studien nicht aufeinander abgestimmt sind. Als Leitlinie bleiben somit die Absichten von AP 2014–2017, welche im heutigen Zeitpunkt (Anfangs 2012) die Richtung vorgeben, aber noch keinen verbindlichen Charakter haben.

Bezüglich Waldpolitik hat der Bundesrat am 31.08.2011 die strategische Ausrichtung der Waldpolitik 2020 (Bundesrat 2011a) des Bundes festgelegt. Darin werden die unterschiedlichen und nicht selten divergierenden Interessen der Gesellschaft untereinander abstimmt. Unter dem Ziel 4.7. «Waldböden, Trinkwasser und Vitalität der Bäume sind nicht gefährdet» wird auch der Stickstoff thematisiert. Um den Stickstoffeintrag und die Deposition im Wald auf ein ökologisch noch vertretbares Niveau zu reduzieren, werden Werte von maximal 20 kg N/ha pro Jahr im Wald angestrebt. Um diesen erreichen zu können, müssen die Immissionen weiter reduziert werden. Dazu braucht es «sektorübergreifende Ansätze», «z. B. Reduktion von Stickstoff Immissionen aus Verkehr und Landwirtschaft». Dieses Ziel ist in dem im LRK formulierten Ziel der critical loads (vgl. Kap 3.2.2) enthalten.

Schliesslich gibt es weitere Publikationen mit Bezug zu Land- und Forstwirtschaft sowie Ernährung, die im Hinblick auf mögliche Szenarienbildung ausgewertet wurden:

- *Diskussionspapier Land- und Ernährungswirtschaft 2025 (BLW 2010):* Das Diskussionspapier soll als Grundlage für die politische Diskussion zur strategischen Ausrichtung der zukünftigen Agrarpolitik dienen. Es enthält jedoch keine quantifizierten Zielvorgaben und wird daher nicht für die Szenarienbildung, aber für die Diskussion des Handlungsbedarfs in Kapitel 6 berücksichtigt.
- *5. Schweizerischer Ernährungsbericht (BAG 2005):* Darin werden das Ernährungsverhalten und entsprechende Trends in der Schweiz untersucht. Der Bericht enthält keine Strategien, Ziele oder Szenarien, welche der vorliegenden Fragestellung dienlich sein könnten.
- BAFU-Bericht CO_2-Senken und -Quellen in der Waldwirtschaft (Fischlin et al. 2006). Der Bericht stellt eine Grundlage zur Festlegung einer Senken-Politik (Kyoto-Protokoll) dar, indem er den Beitrag der Holznutzung zum Klimaschutz quantifiziert. Diese Arbeit spielt für die Szenarienbildung Stickstoff keine Rolle.
- Das Positionspapier des Schweizerischen FAO Komitees setzt sich mit den Herausforderungen für die Nahrungsmittelproduktion durch Klimawandel und Bio-/Agroenergieproduktion auseinander. Es enthält keine Daten für eine Szenarienbildung, weist jedoch auf die vielen Herausforderungen und Komplexität dieses Themas aus Sicht der Nahrungsmittelproduktion hin (CNS-FAO 2008).
- Mit der Vision einer nachhaltigen und optimalen Produktion, Verarbeitung und Nutzung von Biomasse haben die Bundesämter für Energie, Landwirtschaft, Raumentwicklung und Umwelt gemeinsam eine Strategie erarbeitet (BFE, BLW, ARE BAFU 2009). Acht umfassende strategische Ziele dienen nun als Grundlage für die

zukünftige Ausgestaltung der verschiedenen Politiken auf Stufe Bund. In Bezug auf den Stickstoffkreislauf ist vor allem das Ziel V des Kreislaufprinzips sowie das Ziel III der Ressourceneffizienz («Produktion mit optimalem Ressourceneinsatz») von Bedeutung.

3.1.5 Gewässer und Boden

- Auf Bundesebene liegen keine quantifizierten Strategien oder Referenzszenarien für 2020 vor, welche N-Stoffflüsse in Gewässer oder die Auswaschung aus nicht landwirtschaftlich genutzten Böden thematisieren. Einzig in den Zuströmbereichen von genutzten Grundwasservorkommen werden in Umsetzung von Art. 62a GSchG erfolgreich Massnahmen zur Vermeidung der Auswaschung von Nitrat eingesetzt.
- Im Weiteren wurde im Oktober 2010 das Postulat Walter «Wasser und Landwirtschaft» vom Nationalrat überwiesen. Darin wird eine nationale Wasserstrategie gefordert, welche die Sicht und Bedürfnisse der wichtigsten Nutzer einbezieht, dabei aber auf die quantitative Verteilung des Wassers fokussiert. Für die vorliegende Analyse der N-Flüsse hat diese keine unmittelbare Bedeutung.
- Basierend auf einer Trendanalyse wichtiger externen Einflussfaktoren beschreibt der Bericht «Wasserwirtschaft Schweiz 2025» (BAFU/BaslerFonds 2007) unter anderem die Herausforderungen und Auswirkungen für die Schweizer Abwasserwirtschaft. Das Papier enthält zwar keine quantifizierten Aussagen, weist aber qualitativ auf Fragen mit Relevanz für Stickstoffflüsse hin. Darunter fallen die im Zuge des Ausbaus der ARAs schrittweise verbesserte Eliminationsleistung von reaktiven N-Verbindungen, die Abwasser-Frachtzunahme durch Wachstum der Bevölkerung, zunehmende Frachten aus Regenüberläufen wegen zunehmender Bodenversiegelung und der Trend zu häufigeren Starkniederschlägen (Klimaänderung).
- Die «Standortbestimmung für die Siedlungswasserwirtschaft» (BAFU 2006) dokumentiert u.a. die gegenwärtige Stickstoffeliminationsleistung der Schweizer ARAs
- Ausserdem sind Forschungsprojekte im Gange. Dazu gehört das Projekt CCHydro sowie die Kennzahlenermittlung für die Siedlungsentwicklung des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA).

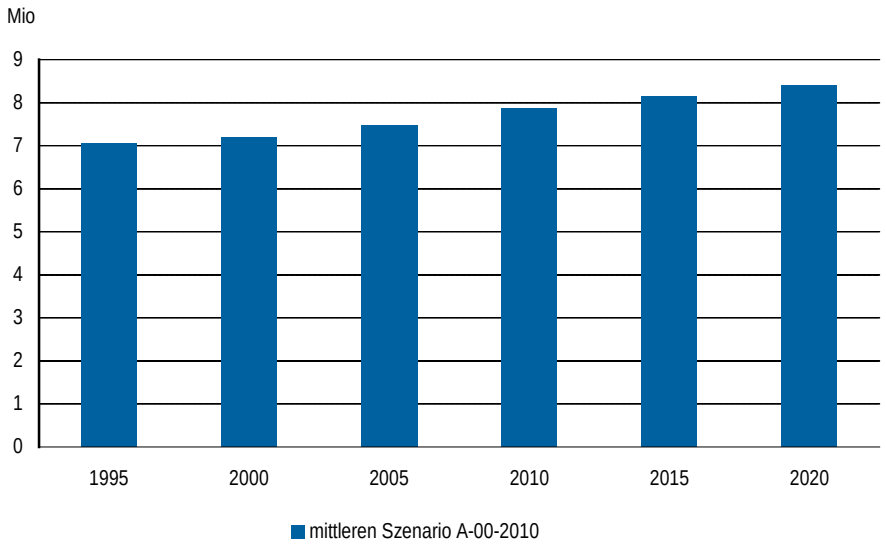
Stickstoffrelevanz Gewässer/-Boden: Gewässer und Böden sind nachgelagerte Systeme, in denen sich ein erhöhter Gehalt an Stickstoffverbindungen negativ auswirken, z. B. auf deren Ökosysteme und die Biodiversität.

3.1.6 Bevölkerungsentwicklung

Für die Festlegung des Basisszenarios ist die hinterlegte Bevölkerungszahl der Schweiz ein wichtiger Parameter. Unter anderem beeinflusst er den Energieverbrauch und damit die Emissionen in die Luft, die Produktion aus der Landwirtschaft die Importe von Nahrungs- und Futtermitteln wie auch die N-Fracht im Abwasser respektive die Einträge in die Kläranlagen. Das BFS hat drei Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz veröffentlicht (BFS 2011). Das mittlere Szenario schreibt die sozioökonomischen Entwicklungen der vergangenen Jahre fort und bezieht auch Trends im Zusammenhang mit der Personenfreizügigkeit ein. Im Jahre 2020 rechnet das BFS in diesem mittleren Szenario mit rund 8,4 Mio. Einwohnern in der Schweiz. Dies entspricht einer Zunahme von knapp 7 % gegenüber 2010 und 13 % gegenüber 2005 (Abb. 4).

Stickstoffrelevanz Bevölkerung: wachsende Bevölkerung und wachsender Konsum sind unmittelbare Treiber der wichtigsten Stickstoffflüsse: landwirtschaftliche Produktion resp. Nahrungsmittelimporte, Nahrungsmittel, Energieverbrauch, Abwasser.

Abb. 4 > Bevölkerungsentwicklung Schweiz 2000–2020



BFS 2011

3.2 Zielsysteme Stickstoff/Umwelt

3.2.1 Überblick über die Zielsysteme

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu wichtigen Zielsystemen auf nationaler und internationaler Ebene mit Bezug zur Stickstoffthematik. Die Liste ist aufgrund der Vielfalt des Stickstoffverbindungen und betroffenen Umweltbereiche keineswegs abschliessend.

Tab. 3 > Zusammenfassung Zielsysteme

Relevante nationale und internationale Rechtserlasse, Politiken, Konventionen und Protokolle.

Gesetze	Umweltschutzgesetz (USG)
	Gewässerschutzgesetz (GSchG), insbesondere Art. 14, 27, 28, 51, 53, 62a GSchG
	Landwirtschaftsgesetz (LwG) insbesondere Art. 77a/b (Grundlage des Ressourcenprogrammes)
	Revidiertes CO_2 Gesetz (N_2O neu enthalten)
	Indirekt, über Verordnung: Chemikaliengesetz (ChemG), Strassenverkehrsgesetz (SVG)
Verordnungen	Luftreinhalte-Verordnung (LRV): insbesondere Art. 3–11, Art 31–34 Massnahmenpläne
	Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR), insbesondere Art. 47, Anh. 4 Ziff. 212 GSchV
	Chemikalien-Risikoreduktionsverordnung (ChemRRV)
	VO über die techn. Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) SR 741.41
internationale Konventionen & Protokolle	UNO-Klimakonvention und Kyoto-Protokoll
	Genfer Konvention (CLRTAP), Göteborg Protokoll
	Internationale Nordseeschutz-Konferenzen (INK), OSPAR-Übereinkommen
	Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), Beschlüsse der Unterzeichnerstaaten
Politikfelder	AP 2014–2017
	Umweltziele Landwirtschaft (UZL)
	Luftreinhalte-Konzept (LRK)
	Klimastrategie Landwirtschaft
	Waldpolitik 2020 (Bundesrat 2011a)

3.2.2 National

Umweltschutzgesetz (USG, SR 814.01)

Mit dem Umweltschutzgesetz von 1984 sollen nach Art. 1 Menschen, Tiere und Pflanzen sowie ihre Lebensräume vor schädlichen und lästigen Einwirkungen geschützt werden. Von Menschen verursachte Emissionen sollen gemäss Grundsatz des USG an der Quelle und unabhängig von der bereits bestehenden Umweltbelastung im Rahmen der Vorsorge begrenzt werden.

Luftreinhalte-Verordnung (LRV, SR 814.318.142.1)

Gestützt auf das USG regelt die Luftreinhalte-Verordnung (LRV) von 1986 die höchstzulässige Belastung der Luft, um Menschen, Tiere, Pflanzen, deren Lebensgemeinschaften und Lebensräume sowie den Boden vor schädlichen und lästigen Luftverunreinigungen zu schützen.

- In den Artikeln 3 bis 11 der LRV finden sich die Bestimmungen über die Emissionsbegrenzungen von stationären Anlagen. Diese sind in den Anhängen der LRV konkretisiert. Falls keine Emissionsbegrenzungen vorliegen, sind die Emissionen in die Luft von der Behörde vorsorglich so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Darüber hinaus kann die Behörde Emissionsbegrenzungen verschärfen, falls eine Anlage übermässige Immissionen verursacht.
- Weiter gibt die LRV Immissionsgrenzwerte (IGW) unter anderem für Stickstoffdioxid vor. Sind diese trotz vorsorglicher Emissionsbegrenzungen überschritten, sind die Kantone nach den Artikeln 31 bis 34 LRV verpflichtet, einen Massnahmenplan zu erstellen und die Massnahmen zu verwirklichen.

> Sämtliche Kantone (ausser Jura) haben Massnahmenpläne erstellt, da in der Schweiz die Immissionsgrenzwerte für Stickstoffdioxid in Städten und entlang von Verkehrsachsen, und jene von Ozon grossräumig, überschritten werden. Bei übermässigem Stickstoffeintrag in empfindliche Ökosysteme kann eine Behörde, wie z. B. der Kanton Luzern (UWE 2007), neben einem Massnahmenplan für Stickoxide auch einen Teilmassnahmenplan Ammoniak erstellen, der den Handlungsbedarf auf Überschreitungen von Critical Loads abstützt. Da viele Massnahmen in die Zuständigkeit des Bundes fallen, können die Kantone ihre Massnahmenpläne dem Bundesrat unterbreiten und entsprechende Anträge stellen.

Luftreinhalte-Konzept (LRK) des Bundesrats vom 11.9.2009 (Bundesrat 2009a)

Das LRK führt die lufthygienischen Ziele und den noch bestehenden Handlungsbedarf auf. Dazu führt es Massnahmen auf, eingeteilt in «rechtskräftig beschlossene», «eingeleitete» und «zusätzliche», welche die Erreichung dieser Ziele ermöglichen sollen. Tab. 4 zeigt die darin festgelegten, stickstoffrelevanten Ziele. Neben diesen Zielen ist im Zusammenhang mit der Stickstoffbelastung auch der Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM10) von Bedeutung, da stickstoffhaltige Luftschadstoffe auch zur Bildung von sekundärem Feinstaub beitragen.

Tab. 4 > Ziele Luftreinhalte-Konzept

Stickstoffrelevante Ziele des Luftreinhalte-Konzepts nach Schadstoff, angestrebte Emissionsreduktion und Schutzziel.

Schadstoff	Notwendige Emissionsreduktion gegenüber 2005	Aufgrund des Schutzziels
Stickoxide NO_x	ca. 50 %	Critical Load für Säure Immissionsgrenzwert Ozon Critical Load für Stickstoff
Ammoniak NH_3	ca. 40 %	Critical Load für Stickstoff/Säure

Landwirtschaftsgesetzgebung

Das Landwirtschaftsgesetz (LwG, SR 910.1) setzt die bereits in der Bundesverfassung (Art.104) festgehaltenen Ansprüche an eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion um. Dabei wird u. a. der ökologische Leistungsnachweis (ÖLN) konkretisiert, welcher gemäss Art. 70 LwG Voraussetzung der Direktzahlungen ist.

Agrarpolitik 2007

Von den 2002 im Rahmen der Weiterentwicklung der Agrarpolitik 2007 erstmalig festgelegten sieben agrarökologischen Etappenzielen betrafen zwei relevante den Stickstoff. Dabei wurde sowohl das Reduktionsziel für die umweltrelevanten N-Verluste als auch dasjenige für NH_3 nicht erreicht (BLW 2008).

In der Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik 2011 (AP 2011) wurde der agrarökologische Handlungsbedarf neu beurteilt. Folgende Ziele wurden gesetzt:

> Reduktion der N-Überschüsse um 23 % bis 2015 auf 95 000 t N gegenüber dem Ausgangswert für 1994 von 123 000 t N (N-Bilanz nach OSPAR).
> Reduktion landwirtschaftlicher NH_3–Emissionen um 23 % bis 2009 gegenüber 1990.

Das ursprüngliche Ziel bezüglich N-Bilanz wurde damit von 2005 auf 2015 verschoben, dasjenige für die Ammoniakemissionen für 2009 auf 41 000 t N festgelegt. Zum Nitrat wurde kein weiteres Ziel definiert (BLW 2008) (vgl. dazu auch Heldstab et. al 2010).

Agrarpolitik 2014–2017 (BLW 2012)

In der Botschaft zur AP 2014–2017 sind agrarökologische Ziele definiert, welche allerdings rechtlich nicht bindend sind. Diese sollen vorwiegend durch eine Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems (WDZ) und der Weiterführung und des Ausbaus der Ressourcenprogramme (Einführung von «Ressourceneffizienzbeiträgen») erreicht werden. Neben allgemeinen ökologischen Zielen (v. a. Biodiversitätsziel) mit starken Synergien zu den Stickstoffzielen, sind insbesondere folgende zwei Ziele explizit stickstoffrelevant:

- *Stickstoffeffizienz:* Steigerung von 29 % (2007/2009) auf 33 % im Jahr 2017.
- *NH_3 – Emissionen:* Reduktion von 49 000 t NH_3-N (im Jahr 2007) auf 41 000 t NH_3-N aus der Landwirtschaft. Das NH_3 Ziel ist somit identisch mit dem Ziel, das bereits mit der AP 2011 hätte erreicht werden sollen.

Ressourcenprogramme

Nach dem Grundsatz von Art. 77a LwG (unter Titel 3a «Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen») richtet der Bund bis zu einem bestimmten Prozentsatz Beiträge an regionale und branchenspezifische Projekte zu einer Verbesserung der Nachhaltigkeit in der Nutzung natürlicher Ressourcen aus. Die Höhe der Beiträge richtet sich laut Art. 77b LwG nach der ökologischen und agronomischen Wirkung des Projekts, namentlich der Steigerung der Effizienz im Einsatz von Stoffen und Energie.

Umweltziele Landwirtschaft (UZL)

BAFU und BLW haben zusammen quantitative Umweltziele für die Landwirtschaft publiziert (BAFU/BLW 2008, Umwelt-Wissen Nr. 08|20). Diese beruhen auf bestehenden rechtlichen Grundlagen wie Gesetzen, Verordnungen, internationalen Abkommen und Bundesratsbeschlüssen und wurden gemäss wissenschaftlichen Erkenntnissen konkretisiert. Bezüglich Stickstoff sind für die Landwirtschaft folgende Umweltziele festgehalten:

- Die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft betragen maximal 25 000 Tonnen Stickstoff pro Jahr.
- Maximal 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen oder dafür vorgesehen sind und deren Zuströmbereich hauptsächlich von der Landwirtschaft genutzt wird.
- Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985 (basiert auf OSPAR Ziel).

Indirekt in Zusammenhang mit Stickstoff stehen auch folgende UZL:

- Beitrag der Landwirtschaft zum Erhalt und der Förderung einheimischer Arten und ihrer Lebensräume, Stabilisierung der THG gemäss 2 °C Ziel, Erhalt der Vielfalt der Natur- und Kulturlandschaften.

«Waldpolitik 2020» (Bundesrat 2011a)

- Das Ziel von 20 kg N/ha pro Jahr Stickstoffeintrag in den Wald soll mit der Erreichung der im LRK formulierten Emissionsreduktionsziele für Stickoxide und Ammoniak (vgl. Kap 3.2.2) erreicht werden.

Gewässerschutzgesetzgebung

Das Gewässerschutzgesetz (GSchG 1991, SR 813.20) legt die bereits von der Bundesverfassung (Art.76) verlangten Grundsätze und Vorschriften über den Schutz und die Erhaltung der Wasservorkommen fest. In Artikel 14 finden sich konkrete Anforderungen an Betriebe mit Nutztierhaltung, wie z. B. die Einhaltung einer ausgeglichenen Düngerbilanz und nach Artikel 27 sind Böden so zu bewirtschaften, dass die Gewässer nicht beeinträchtigt werden. Artikel 28 verlangt von den Kantonen, dass sie, falls nötig, dafür sorgen, dass zusätzliche Massnahmen an den Gewässern selbst getroffen werden. Die Behörden können die von ihnen angeordneten Massnahmen zwangsweise anordnen (Art. 53). Anhang 2 GSchV stellt die numerischen Anforderungen an ober- und unterirdische Gewässer für Nitrat und Ammonium, welche jederzeit einzuhalten sind und bei deren Überschreitung die Kantone gemäss Artikel 47 GSchV die Ursachen abklären sowie die Wirksamkeit von Massnahmen ermitteln und die erforderlichen Massnahmen ergreifen müssen. Die numerische Anforderung für den Nitratgehalt im Grundwasser beträgt 25 mg/l. Weiter kann nach Artikel 61 GSchG der Bund den Kantonen Abgeltungen an die Erstellung und Beschaffung von Anlagen und Einrichtungen zur Stickstoffelimination bei zentralen Abwasserreinigungsanlagen gewähren, soweit sie der Erfüllung völkerrechtlicher Vereinbarungen dienen. Anhang 4 Ziffer 212 GSchV verlangt, dass die Kantone die zum Schutz des Wassers erforderlichen Massnahmen festlegen und zählt eine Reihe solcher Massnahmen auf, die im Falle einer Gewässerverunreinigung durch Dünger in Frage kommen. Artikel 62a GSchG wiederum erlaubt die Abgeltung für solche Massnahmen der Landwirtschaft zur Verhinderung der Auswaschung oder Abschwemmung von Stoffen, z. B. von Nitrat ins Grundwasser im Rahmen gezielter Sanierungsprogramme für belastete Gewässer.

ChemRRV

Die Anwendung von Düngemitteln sowie der Umgang mit Kompost, Gärgut etc. sind im Anhang konkret geregelt. Stickstoffhaltiger Dünger darf nur dann ausgebracht werden, wenn die Pflanzen diesen auch aufnehmen können, die im Boden vorhandenen Nährstoffe und der Nährstoffbedarf der Pflanzen (gemäss den Düngungsempfehlungen) müssen berücksichtigt werden. Zusammen mit Artikel 14 und 27 GSchG sowie Artikel 71 ChemV bedeutet dies, dass alle landwirtschaftlichen Betriebe eine ausgeglichene (d. h. auf den Nährstoffbedarf der Kulturen, die Bodenvorräte usw. abgestimmte) Stickstoffbilanz aufweisen müssen. Zudem regelt die Verordnung im Anhang, wo Dünger nicht ausgebracht werden darf.

Verordnung über die techn. Anforderungen an Strassenfahrzeuge und weitere Verordnungen zur Festlegung von NO_x-Emissionsgrenzwerten der Motorfahrzeuge.

In diesem Zusammenhang ebenfalls bedeutend, ist die Biomassestrategie Schweiz (BFE et al. 2009), welche das Problem der Biomassenutzung und möglicher Nutzungs- und Zielkonflikte bezüglich Umwelt aus Stoffflusssicht analysiert (bspw. Zielkonflikte zwischen Verwertung von Biomasse wie Holz, Biogasproduktion und N-haltigen Luftschadstoffemissionen).

Tab. 5 > Inland- Zielvorgaben für N-Frachten in Luft und Gewässer

Zusammenfassung der aktuellen quantitativen schweizerischen Zielvorgaben bezüglich Stickstoff, aus der Landwirtschaft.

Vorgabe	Quelle	Spezifikation
Erhöhung Stickstoffeffizienz bis 2017 auf 33 %	AP 2014–2017	Ausgangswert 2006/2008: 28 %
Reduktion NH_3 Emissionen der Landwirtschaft bis 2017 auf 41 000 t NH_3 -N.	AP 2014–2017	Ausgangswert 2007: 49 kt NH_3 -N. Zielwert 2017: 41 kt NH_3 -N (-16 %)
Reduktion der Stickstoff-Überschüsse aus der Landwirtschaft	AP 2014–2017	Ausgangswert 114 kt N (Mittel 2008–11) Zielwert 2017: 95 kt N
Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft betragen maximal 25 000 Tonnen Stickstoff pro Jahr.	UZL	
Reduktion um 2,6 kt N/a aus ARA's im Rheineinzugsgebiet ab 2005	GSchV. Anhang 3 Ziffer 3	Reduktion der jährlichen Einleitung von N im Einzugsgebiet des Rheins gegenüber 1995
Einträge generell: maximal 25 mg Nitrat pro Liter für Grundwasser mit Trinkwassernutzung (oder dafür vorgesehen); spezifisch definiert für die Landwirtschaft in den UZL	GSchV. Anhang 2 & UZL	Anforderung gilt für alle genutzten oder zur Nutzung vorgesehenen Grundwasservorkommen (und somit für alle Emittenten); die UZL verdeutlichen diese Anforderung für die Landwirtschaft als wichtigste Emittentin.
Reduktion N-Einträge um 50 % relativ zu 1985	UZL	Abfluss N 1985 nur Rhein 75,2 kt N und Anteil aus Landwirtsch. daran ca. 40 %.

3.2.3 International

Es gibt eine Reihe von der Schweiz ratifizierter internationaler Abkommen, welche Ziele im Bereich Stickstoff und Umwelt definieren:

Genfer Konvention (CLRTAP)

Die 1979 in Genf unterzeichnete UNECE Konvention über weiträumige, grenzüberschreitende Luftverunreinigung («Convention on Long-range Transboundary Air Pollution» CLRTAP), auch «Genfer Konvention» genannt, ist 1983 in Kraft getreten. Das gemeinsame Ziel der ratifizierenden Staaten ist eine Reduktion der Luftverunreinigungen und deren schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Auf dieser Grundlage wurden bisher sieben Protokolle mit jeweils konkreten Emissionsbegrenzungen verhandelt (UNECE 2009a). Dabei ist v. a. das Göteborg-Protokoll zur Bekämpfung der Versauerung, der Eutrophierung und des troposphärischen Ozons relevant im Bereich Stickstoff. Es enthält unter anderem das längerfristige Ziel, die Überschreitungen der Critical Loads für Stickstoff- und Säureeinträge schrittweise abzubauen. Dabei legt es für die Schweiz u.a. folgende quantitative Emissionshöchstmengen fest (UNECE 2009b):

- Die jährlich ausgestossene Menge an NO_x darf ab 2010 höchstens noch 79 000 t (in t NO_2) betragen, was einer Reduktion von 52 % gegenüber 1990 entspricht.
- Für NH_3 Emissionen besteht die Verbindlichkeit, diese im Zeitraum 1990 bis 2010 von 72 000 t NH_3/Jahr auf 63 000 t NH_3/Jahr zu senken, was einer Reduktion um 13 % entspricht.

Die Schweiz hat diese beiden Ziele gemäss FOEN (2012) erreicht. Diese Emissionshöchstmengen des jetzigen Protokolls stellen jedoch nur einen ersten diesbezüglichen Schritt dar, genügen aber gerade bei den Stickstoffeinträgen bei weitem nicht, um die Critical Loads einzuhalten. Das Göteborg-Protokoll formuliert deshalb zusätzlich die

Verpflichtung, ein weiteres Etappenziel auszuhandeln (UNECE 2009b). Diese Verhandlungen wurden im Mai 2012 abgeschlossen. Die Schweiz hat sich zu folgenden neuen Emissionsreduktionszielen 2020 für die stickstoffhaltigen Luftschadstoffe verpflichtet, unter Vorbehalt der Genehmigung durch das Parlament:

- *NH_3 Ziel:* Reduktion von 8 % bezogen auf das Niveau 2005.
- *NO_x Ziel:* Reduktion von 41 % bezogen auf das Niveau 2005.

OSPAR-Übereinkommen

Im OSPAR-Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks verpflichten sich die Vertragsparteien alle nur möglichen Massnahmen zu treffen, um Verschmutzungen zu verhüten und zu beseitigen. Sie unternehmen alle notwendigen Schritte zum Schutz des Meeresgebiets vor den nachteiligen Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten, um die menschliche Gesundheit zu schützen, die Meeresökosysteme zu erhalten und, soweit durchführbar, beeinträchtigte Meereszonen wiederherzustellen (OSPAR 2009). Konkret wurde folgendes Ziel vereinbart, welches auch für die Schweiz als Oberlieger im Einzugsgebiet der Nordsee verbindlich ist: Reduktion der Stickstoffeinträge in die Gewässer bis 1995 um 50 % gegenüber 1985 (FAL 2003).

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)

Die Unterzeichnerstaaten haben beschlossen, die Stickstoffeinträge in die Nordsee von 1985 so bald als möglich (Zielgrösse 2002/2005) um 50 % zu vermindern. Eine Bestandsaufnahme für das Jahr 1996 zeigte, dass die gesamten anthropogenen Stickstoffeinträge um 26 % verringert werden konnten (IKSR 2000). In ihrem Programm zur nachhaltigen Entwicklung des Rheins 2020 decken sich die gefassten Ziele zur Wasserqualität mit den OSPAR Schutzzielen (Sintra-Erklärung).

UNO-Klimakonvention und Kyoto-Protokoll (Lachgas, Stickoxide)

Das Kyoto-Protokoll, welches 2005 für 128 Vertragsstaaten in Kraft getreten ist, verpflichtet die unterzeichnenden Industriestaaten, den Ausstoss der Treibhausgase im Zeitraum 2008–2012 insgesamt um 5,2 % unter das Ausgangsniveau von 1990 zu senken. Die Schweiz hat sich mit ihrer Ratifizierung 2003 zu einer Reduktion um 8 % verpflichtet. Für die einzelnen Treibhausgase, zu denen auch N_2O gehört, bestehen keine expliziten Reduktionsziele. Auch für NO_x als indirektes Treibhausgas gibt es keine quantitative Reduktionsverpflichtung (UNFCCC 1997). Die Gesamtemissionen der Treibhausgase ohne Senkenanrechnung der Wälder liegen im Jahr 2010, um 2,2 % höher als 1990. Für 2020 haben Bundesrat und Parlament ein Reduktionsziel von 20 % im Inland gegenüber 1990 beschlossen.

Tab. 6 > Zielvorgaben International

Zusammenfassung der quantitativen internationalen Zielvorgaben bezüglich Stickstoffs.

Vorgabe	Quelle
Zielwert CLRTAP: NO_x 79 000 t bis 2010	UNECE 2009b
Zielwert CLRTAP: NH_3 63 000 t bis 2010	UNECE 2009b
Neue Ziele revidiertes Göteborg-Protokoll, vorbehältlich Ratifizierung durch das Parlament: NO_x 41 % und NH_3 8 % Reduktion ggü. Niveau 2005	UNECE 2012
Kyoto: CO_2 eq. -8 % im Durchschnitt der Jahre 2008–2012 bzgl. 1990.	UNFCCC 1997
OSPAR: 50 % Reduktion N-Einträge Gewässer gegenüber 1985, kein Zieljahr	OSPAR 2009
IKSR: 50 % Reduktion N-Einträge Gewässer gegenüber 1985, kein Zieljahr	www.iksr.org

4 > Basisszenario

Das Vorgehen und die Annahmen für das Basisszenario werden erläutert. Zudem sind die wichtigsten Stickstoffflüsse 2020 und die zugehörigen Stoffflussdiagramme aufgeführt. Die Stoffflüsse 2020 werden mit jenen für 2005 verglichen und zwei Zeitreihen 1994–2005–2020 zeigen auf, wie sich die Stickstoffinputs und -verluste in dieser Periode entwickelt haben.

4.1 Vorgehen

Das Basisszenario wird über drei Schritte erarbeitet (Abb. 5), wobei der Ausgangspunkt die BAFU-Studie «Stickstoffflüsse in der Schweiz, Stoffflussanalyse für das Jahr 2005» (Heldstab et al. 2010) ist. Die darin erstellte Stoffflussanalyse bildet die Grundlage für das Basisszenario. Im ersten Schritt werden die Stoffflüsse 2005 unverändert übernommen[3], müssen aber zwecks Kompatibilität mit den in Kapitel 3 beschriebenen Szenarien 2020 geeignet aggregiert werden; einzelne Prozesse werden deshalb zusammengefasst. In einem zweiten Schritt werden die so aggregierten Flüsse hinsichtlich ihrer Entwicklung bis 2020 analysiert. Für die Stickstoffflüsse 2020 werden keine neuen Daten erhoben, sondern bereits vorliegende Daten zu den Stoffflüssen und zu der Entwicklung der wichtigsten Einflussfaktoren bis 2020 zusammengestellt. Dabei löst sich der Fokus von der spezifischen Stoffflussanalyse (Stickstoffffluss Modell) und verlegt sich auf eine aggregierte Betrachtung von den folgenden drei Arbeitsbereichen: «Energie, Klima, Luft», «Land- und Forstwirtschaft, Ernährung», «Gewässer und übrige Böden» (siehe Abb. 6).

Für die vorliegende Arbeit wird das bestehende Stoffflusssystem 2005 iterativ durch ein neues Stoffflusssystem 2020 ersetzt, also nicht mit Systemgleichungen modelliert. Entsprechend kann das Basisszenario keine vollständige Kohärenz zwischen den zugrunde liegenden Szenarien einzelner Subsysteme herstellen. Zudem wird zur Vereinfachung nur die Trendentwicklung von N-Stoffflüssen ab 5 kt N für 2020 abgeschätzt. Flüsse kleiner als 5 kt N pro Jahr werden zwar berücksichtigt, aber wenn keine quantitativen Zahlen zur Trendentwicklung des jeweiligen Flusses existieren, werden sie bis 2020 als konstant angenommen.

[3] einzig die NH3 Emissionen und die Abflusswerte in der Hydrosphäre aus der Schweiz wurden für 2005 angepasst, vgl. mit Kapitel 4.3.2 und Anhang A2-2.1.

Abb. 5 > Vorgehen zur Abschätzung der N-Flüsse 2020

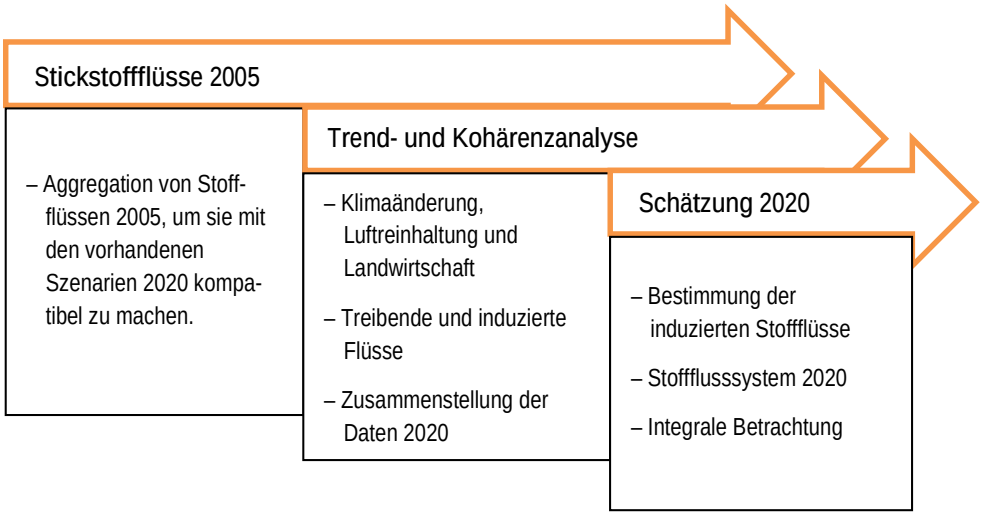
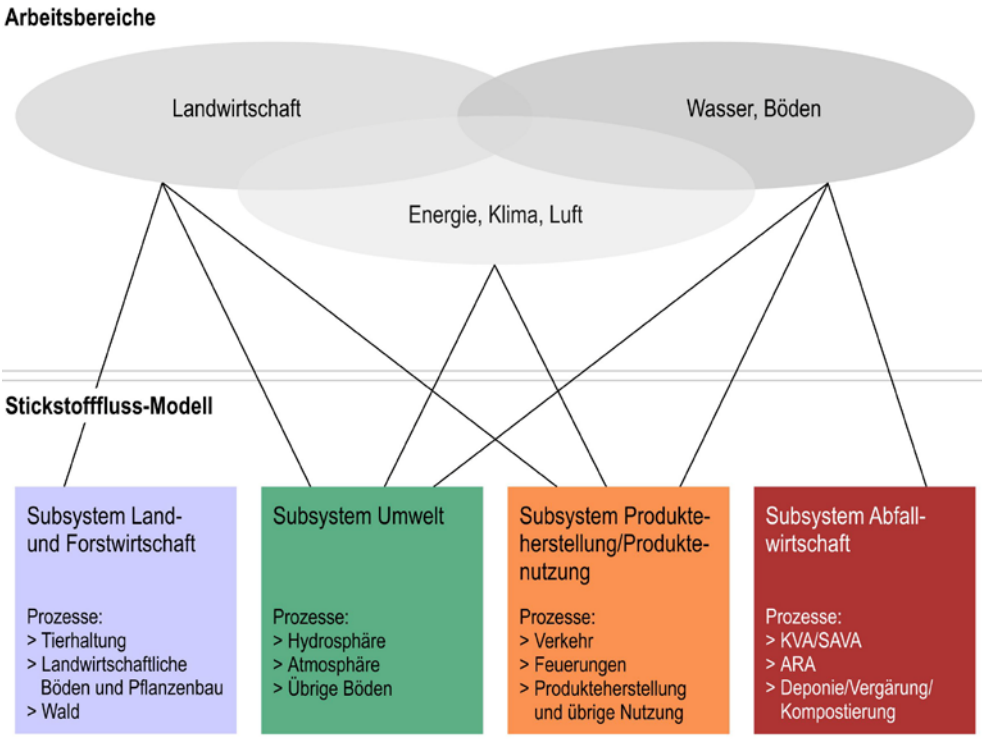


Abb. 6 > Beziehung zwischen Subsystemen des Stoffflusssystems und Arbeitsbereichen

Integrale Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den drei Arbeitsbereichen basierend auf dem Basisszenario 2020 des Stoffflussmodells.



Für die quantifizierten Flüsse 2005 werden in Heldstab et al. (2010) bestehende Unsicherheiten angegeben. Durch die Prognose 2020 wird die Unsicherheit generell um geschätzte fünf Prozentpunkte vergrössert. Eine Bilanz wird als ausgeglichen betrachtet, wenn sich die Unsicherheitsintervalle für die Summen der Input- und der Output-Flüsse überlappen (vgl. dazu Kapitel 4.3.4).

4.2 Stoffflussanalysen 1994 und 2005

Die erste, nationale Stoffflussanalyse Schweiz wurde in den Jahren 1993 und 1996 zum Bezugsjahr 1994 (BUWAL, 1993 und PG N CH 1996) durchgeführt. Kürzlich hat das BAFU eine Aufdatierung auf das Bezugsjahr 2005 erarbeiten lassen und publiziert (Heldstab et al. 2010). Sofern möglich, werden die Stickstoffflüsse 2005 und 2020 auch mit jenen fürs Jahr 1994 verglichen und deren Entwicklung interpretiert. Man beachte, dass für die Daten 1994 keine Angaben zur Unsicherheit vorliegen.

4.3 Annahmen für das Basisszenario 2020

Die Annahmen für die Trendentwicklung der einzelnen Stickstoffflüsse werden zum einfacheren Verständnis nachfolgend **thematisch** nach den drei Arbeitsbereichen aus Abb. 6 gegliedert: 1. Energie, Klima, Luft; 2. Land-, Forstwirtschaft und Ernährung; 3. Gewässer, übrige Böden.

4.3.1 Energie, Klima, Luft

Übersicht über die Stickstoffflüsse

Die wichtigsten Stickstoffflüsse des Arbeitsbereichs Energie, Klima, Luft sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Sie sind alle gasförmig und fliessen in die oder aus der Atmosphäre. Sie werden durch die menschlichen Aktivitäten energetischer und industrieller Nutzungen getrieben, die Emissionen aus der Landwirtschaft sind davon ausgenommen und werden im Arbeitsbereich Land-, Forstwirtschaft und Ernährung behandelt.

Tab. 7 > Treibende und induzierte Flüsse des Arbeitsbereichs Energie, Klima, Luft

Typ	Luft/Energienutzung	Luft
treibende Flüsse	• Emissionen aus Verbrennungsprozessen • Technische N-Fixierung • Import Energieträger	• Biologische N-Fixierung. • Import Luftschadstoffe aus Ausland
Indiinduzierte Flüsse	• Export Luftschadstoffe	• Depositionen • Denitrifikation

Grundlagen für das Basisszenario 2020 sind:

Grundlagen für die Änderungen 2005–2020

- die Energieperspektiven des BFE (2007),
- die Emissionsdaten gemäss Submission 2011 an dieUNECE, (FOEN 2011); diese berücksichtigen die rechtskräftig beschlossenen Luftreinhalte-Massnahmen des LRK (Bundesrat 2009a),
- das Klimaszenario «with measures implemented» (FOEN 2009c),
- das mittlere BFS Bevölkerungsentwicklungsszenario (BFS 2011).

Die treibenden Flüsse werden hauptsächlich durch die Bevölkerungsentwicklung und deren Verhalten (Art der Energieproduktion, Energiesparen, etc.) sowie technologischen Entwicklungen (Abgasreinigung, Effizienz, etc) bestimmt. Dabei wurden für das Basisszenario Verhaltensänderungen durch die bisher beschlossenen Massnahmen für Luftreinhaltung und Klimapolitik und deren Auswirkungen berücksichtigt, ebenso die bis 2020 wirksamen technischen Entwicklungen (bspw. EURO Normen im Strassenverkehr zur Reduktion der NO_x Emissionen, techn. Abluftreinigung). Dies gilt ebenfalls für die aus dem Ausland importierten gasförmigen N-Verbindungen.

Aus den treibenden Flüssen leiten sich die induzierten Flüsse ab. Sie bestehen hauptsächlich aus der Deposition der N-haltigen Verbindungen aus der Atmosphäre. Dabei ist die Deposition auf vier verschiedene Flüsse aufgeteilt: Deposition auf landwirtschaftliche Böden, forstwirtschaftliche Böden, übrige Böden und Gewässer. Reduktionen der treibenden N-Flüsse aus inländischer Produktion und des Imports aus dem nahen Ausland reduzieren entsprechend die Deposition und den Export ins Ausland. Dabei wirken sich innerhalb der Schweiz Reduktionen beim NH_3 stärker aus als beim NO_x, bei dem ein grösserer Anteil wieder exportiert wird (für Details zur Berechnung der Deposition vgl. A2-1.3, insbesondere Abb. 17).

Der induzierte Fluss der Denitrifikation aus Böden ist von den Inputflüssen in die Böden selbst abhängig. Dabei wird reaktiver Stickstoff im Boden bakteriell umgebaut und als N_2, N_2O und NO_x in die Atmosphäre emittiert. Es ist jedoch unklar, wie die Denitrifikation, resp. der resultierende und aus den verschiedenen N-Verbindungen bestehende N-Fluss, auf eine leichte Reduktion des Inputs reagiert. Wenn die Denitrifikationsrate gleich bleibt, wäre bei abnehmendem Input eine Reduktion der Denitrifikation zu erwarten. Mangels Grundlagendaten wird der gesamte N-Fluss der Denitrifikation für 2005–2020 jedoch konservativ abgeschätzt und konstant gehalten.

Die detaillierten Annahmen sind im Anhang A2-1.3 dargestellt, die Ergebnisse für die einzelnen Flüsse im Kapitel 4.4

4.3.2 Land- und Forstwirtschaft, Ernährung

Übersicht über die Stickstoffflüsse

Die Landwirtschaft ist einer der wichtigsten Treiber der N-Flüsse und bestimmt die Intensität des Stickstoffkreislaufs massgeblich. Die N-Einträge, welche direkt von der landwirtschaftlichen Produktion, d. h. von der Tierzahlentwicklung und der Bewirtschaftungsintensität der landwirtschaftlich genutzten Flächen abhängig sind, beeinflussen direkt die Frachteinträge (Verluste) in die Hydrosphäre und die Atmosphäre.

Für die Bestimmung von N-Flüssen im Bereich Land-, Forstwirtschaft und Ernährung sind folgende treibende und induzierte Flüsse relevant:

Tab. 8 > Treibende und induzierte Flüsse des Arbeitsbereichs Land- und Forstwirtschaft, Ernährung

Sphäre	Landwirtschaft	Forstwirtschaft	Ernährung
treibende Flüsse	• Luftemissionen aus Tierhaltung. • Art und Menge Pflanzenbau → N-Verluste. • Futtermittelimporte • N-Düngerimporte • biogene Abfälle/Recycling-dünger. • Entwicklung der ldw. Nutzfläche (z. B. Überbauung)	• Holznutzung • Luftemissionen aus energetischer Holznutzung • Import/Export Holz	• Bevölkerung → N in Nahrungsmitteln • N-Gehalt Nahrung/Ernährungsgewohnheiten. • Import/Export Lebensmittel
induzierte Flüsse	• Auswaschung • Abschwemmung • Deposition • Emissionen aus Landwirtschaftsböden (Produkte der Nitrifikation/Denitrifikation)	• Auswaschung • Abschwemmung • Emissionen aus Landwirtschaftsböden (Produkte der Nitrifikation/Denitrifikation)	Abwasser/Klärschlamm

Annahmen für die Änderungen 2005–2020

Grundlagen für das Basisszenario 2020 sind:

- > die Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion gemäss Umsetzung der Agrarpolitik 2014–2017 (BLW 2011a 2012)
- > das mittleren BFS-Szenario für die Bevölkerung (BFS 2011)
- > die Schweiz tritt bis 2020 keinem Agrarfreihandelsabkommen bei.

Für die Forstwirtschaft wird aufgrund der geringen Bedeutung der Holznutzung für die N-Flüsse von einem grundsätzlich konstanten Umfeld ausgegangen. Die meisten Flüsse 2005–2020 werden konstant gehalten. Für die N-Auswaschung aus den fortwirtschaftlichen Böden wird von einer Entwicklung proportional zur Entwicklung der Deposition ausgegangen.

Die Entwicklung für zwei Treiber der landwirtschaftlichen Produktion, zukünftige Ernährungsgewohnheiten und Lebensmittelimporte, basiert auf den Annahmen, dass bis 2020 keine Veränderung der Stickstoffaufnahme (Fleisch, Eier, Milch, etc.) im Vergleich zu 2005 stattfindet und die Lebensmittelexporte 2005–2020 konstant bleiben (während die Importe zunehmen).

Es gibt zahlreiche unterschiedliche Publikationen zur zukünftigen Entwicklung der Landwirtschaft, insbesondere der Tierhaltung und den damit verbundenen Veränderungen der Stickstoffflüsse (ART 2011, Peter et al. 2010, Kupper und Menzi 2011, FOEN 2011a, FOEN 2010). Problematisch dabei ist, dass den Studien unterschiedliche Referenzentwicklungen, Rahmenbedingungen (AP 2014–2017, Wirkungen WDZ, Agrarfreihandel, etc.) und Datenstände der Emissionsdaten zugrunde liegen (jährliche Aktualisierung des Luftschadstoffinventares UNECE). Die Studien sind somit nicht vergleichbar und es gibt kein Szenario, welches einen aktuellen Stand bezüglich Ressour-

cenprogrammen, Reduktionsmassnahmen NH_3, Nitratauswaschung und weitere N-haltige Luftschadstoffe konsistent abbildet. Aus diesem Grund wurde für das Basisszenario die wahrscheinliche Entwicklung unter AP 2014–2017 verwendet. Dabei wird von einer Umsetzung gemäss Botschaft zur AP 2014–2017 ausgegangen (BLW 2012). Dieses Vorgehen garantiert eine möglichst konsistente Abschätzung der Entwicklung der landwirtschaftlichen N-Flüsse bis 2020. Abgrenzungsprobleme zwischen N-Flüssen mit unterschiedlicher Datenherkunft und somit differierenden Basisentwicklungen resp. Rahmenbedingungen werden vermieden. Die Datengrundlage stammt von der ART Reckenholz-Tänikon, welche die ökonomischen Auswirkungen der AP 2014–2017 und WDZ (ART 2011) berechnet hat. Darauf aufbauend wurden auch Szenarien zur Entwicklung der ökologischen Parameter berechnet indem die ökonomischen Modellergebnisse mit durchschnittlichen Produktionsdaten ergänzt und mit den LCA-Daten und -Modellen der Gruppe Ökobilanzen der ART verknüpft wurden (ART/BLW 2011).

Einen Spezialfall stellen bei den landwirtschaftlichen N-Flüssen die NH_3-Emissionen als einer der bedeutendsten Flüsse dar. Im Rahmen der AP 2014–2017 ist die Einführung von Ressourceneffizienzbeiträgen vorgesehen, welche unter anderem den effizienten Einsatz von Stickstoff durch die Einführung technischer Massnahmen fördern und damit die Anstrengung der Ressourcenprogramme zur Reduktion der NH_3 Verluste weiterführen. Die Studie von Kupper und Menzi (2011) berechnet mithilfe des Modells Agrammon die Wirkung der Ressourcenprogramme und des technischen Fortschritts zusätzlich zu den in ART/BLW (2011) bereits berücksichtigten Auswirkungen der AP 2014–2017. Die Wirkung aus beiden Studien wird berücksichtigt, um die Entwicklung der NH_3 Emissionen bis 2020 abzuschätzen.

Weiter wurde in der Stoffflussanalyse 2005 das Niveau der NH_3 Emissionen aus der Landwirtschaft, abweichend von Heldstab et al. (2010) (FOEN 2009a), gemäss dem Emissionsinventar 2010 (FOEN 2010) aktualisiert (vgl. dazu A2-2). Der Grund liegt darin, dass in FOEN (2010) ein neues, detaillierteres Berechnungsmodell (Agrammon) verwendet wurde. Damit liegt das Emissionsniveau in FOEN 2010 generell höher als noch in der Submission 2009 (FOEN 2009a), welche in Heldstab et. al (2010) verwendet wurde. Ohne diese Anpassung des Niveaus 2005, hätte die bedeutende NH_3 -Emissionsreduktion 2005–2020 aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlagen nicht korrekt abgebildet werden können (vgl. dazu auch A2-2.1).

Basierend auf den Berechnungen von ART/BLW (2011) wird die Auswaschung von Stickstoffverbindungen (v. a. Nitrat) aus den landwirtschaftlichen Böden für 2005–2020 konstant belassen. Dies aufgrund von zwei gegenläufigen Trends: Einerseits muss aufgrund der Flächennutzungsveränderungen unter der AP 2014–2017 (Zunahme Getreide, Abnahme Silomais) von einer Zunahme der direkten NO_3-Auswaschung ausgegangen werden, andererseits nimmt die Deposition aus der Luft markant ab. Es wird angenommen, dass sich die Trends (näherungsweise) kompensieren.

Die detaillierten Annahmen sind im Anhang A2-2 dargestellt, die Ergebnisse für die einzelnen Flüsse im Kapitel 4.4

4.3.3 Gewässer & Übrige Böden

Übersicht über die Stickstoffflüsse

Für diesen Arbeitsbereich werden sowohl die Hydrosphäre (ober- und unterirdische Gewässer) als auch «übrige Böden» (alle bebauten und nicht bebauten Oberflächen ausserhalb der Forst- und Landwirtschaft, aber ohne Wald) in die Betrachtung der N-Flüsse einbezogen. In diesen beiden Prozessen sind folgende treibende und induzierte Flüsse auszumachen:

Tab. 9 > Treibende und induzierte N-Flüsse des Arbeitsbereichs Gewässer & Übrige Böden

	Hydrosphäre	Übrige Böden
Treibender Fluss	• Import durch Zuflüsse aus dem Ausland. • Unbehandeltes Siedlungs- und Industrieabwasser (industrielle und gewerbliche Produktion) • Behandeltes Abwasser • Ungereinigtes Abwasser im Überlauf	• Bewirtschaftung von Gärten, Parks, Sportanlagen (inkl. Düngung)
Induzierter Fluss	• N-Abflüsse via Flüsse (Export durch Rhein, Rhone etc.) • Deposition • N-Fixierung • Sedimentation	• Deposition • Auswaschung aus übr. Böden • Abschwemmung aus übr. Böden • N-Fixierung/Aufnahme durch Vegetation • Emissionen aus übr. Böden (Produkte der Nitrifikation/Denitrifikation)

Die N-Flüsse in beiden Prozessen sind mehrheitlich induziert. Neben dem Import durch Zuflüsse aus dem Ausland, spielt vor allem das unbehandelte Abwasser eine treibende Rolle.

Annahmen für die Änderungen 2005–2020

Folgende Annahmen werden für das Basisszenario 2020 getroffen:

> Mittleres BFS Szenario für die Bevölkerung 2020 (BFS 2011)
> Konstanter N-Umsatz pro Einwohner von 11 g/Tag (Ernährungsgewohnheiten unverändert)
> Reinigungsleistung der ARA steigt bis 2020 leicht an (um 2 %)[4]
> Änderung des Niederschlagsregimes und die Temperaturerhöhung aufgrund des Klimawandels werden für 2020 noch nicht berücksichtigt.

Ein wichtiger Fluss in der Hydrosphäre stellt das Abwasser aus der Siedlungsentwässerung und der Produkteherstellung dar. Anhand von Bevölkerungsentwicklung, N-Umsatz pro Kopf und der Stickstoffeliminationsleistung der ARA können weitere induzierte Flüsse (behandeltes Abwasser und Emissionen aus der Siedlungswasserwirtschaft) abgeleitet werden. Gemäss den Ausführungen im Kapitel 4.3.2 bleibt die Auswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden konstant. Die Auswaschung aus der Forstwirtschaft in Gewässer nimmt jedoch analog zur Deposition um 18 % ab. Es wird zudem angenommen, dass die Sedimentation und die Denitrifikation konstant bleiben. Die N-Fracht aus Regenüberläufen nimmt nur marginal zu, da angenommen wird, dass

[4] Gemäss KI und VSA 2011: hat sich die Reinigungsleistung zwischen 2005 und 2010 um 2–3 % auf 47 % verbessert. Insgesamt werden jedoch nur 45 % des Abwassers denitrifiziert (Abegglen, Siegrist 2012). Es wird angenommen, dass sich die Reinigungsleistung aufgrund ausgeschöpfter Potenziale und geringer zusätzlichen Investitionen bis 2020 um höchstens 2 % verbessert.

der Bau von ARA-Rückhaltebecken und Versickerungsanlagen die Wirkung häufigerer Starkniederschläge in etwa ausgleichen werden. Generell gilt für diese Studie, dass bis 2020 keine Auswirkungen der langfristig absehbaren Klimaänderung zu erwarten sind. Daher wird dem Klimaszenario eine Fortschreibung der Klimaparameter aus der Dekade 2000–2010 in die Dekade 2010–2020 hinterlegt. So wird beispielsweise davon ausgegangen, dass das Niederschlagsregime 2010–2020 im Mittel unverändert bleibt. Diese Annahme wird von den Swiss Climate Change Scenarios (CH 2011) gestützt. Ebenso wird bei der Abschätzung induzierter Flüsse vereinfachend von keiner weiteren Temperaturerhöhung ausgegangen. Die aktuellen Energieperspektiven (Prognos 2009) unterstellen dagegen ein sich bis 2035/2050 schrittweise erwärmendes Klima. Für den Gesamtabfluss aus der Schweiz schliesslich wurden die Modellwerte für das Jahr 2005 aufgrund einer neuen Analyse von Zobrist (2013) von 72,5 auf 70,5 kt N angepasst.

Für die N-Flüsse in und aus übrigen Böden wird folgende Annahme getroffen: Die versiegelte Fläche aufgrund der Siedlungsentwicklung nimmt bis 2020 gegenüber 2005 um 4 % zu. Die Annahmen zur Deposition sind im Kapitel 4.3.1 beschrieben. Die Veränderung der Deposition hat dabei unmittelbaren Einfluss auf die Auswaschung.

Die detaillierten Annahmen sind im Anhang A2-3 dargestellt, die Ergebnisse für die einzelnen Flüsse im Kapitel 4.4

4.3.4 Unsicherheiten der N-Flüsse und Entwicklungen

Zur Abschätzung der Unsicherheiten der einzelnen Flüsse wurde ein einfacher, pauschaler Ansatz gewählt:

- Für die N-Flüsse 2005 wird die Unsicherheitsabschätzung aus der Stoffflussanalyse 2005 übernommen (Heldstab et al. 2010).
- Um der unvermeidbaren Prognoseunsicherheit Rechnung zu tragen, werden die Unsicherheiten der N-Flüsse 2020 um (geschätzte) 5 Prozentpunkte gegenüber 2005 erhöht.
- Die Unsicherheiten der N-Flüsse werden benutzt, um die Geschlossenheit der Bilanzen 2020 (Input = Output plus Lagerveränderung) für alle Prozesse zu prüfen: Wenn sich das Unsicherheitsintervall des Inputs mit dem Unsicherheitsintervall des Outputs (inkl. allfälliger Lagerveränderung) überlappt, wird die Differenz als nicht signifikant betrachtet, und die Bilanz wird als ausgeglichen akzeptiert[5].
- Veränderungen von N-Flüssen zwischen 2005 und 2020 werden in der Stoffflussanalyse berücksichtigt, auch wenn sie geringer sind als ihr Unsicherheitsintervall. Obwohl nicht alle Änderungen im Sinn der Statistik signifikant sind, bedeutet das nicht, dass sie vernachlässigt werden können[6].

[5] Beispiel: Wenn Summe aller Inputs = 40 ± 4 kt N und Summe der Outputs =45± 5 kt N, überlappen die Unsicherheitsbereiche. Die Bilanz geht damit im Rahmen der Unsicherheit auf (trotz rechnerischer Differenz von 40–45 kt N = -5 kt N).

[6] Das Unsicherheitsintervall der schweizerischen Klimagasemissionen ist z. B. auch grösser als die jährlichen Veränderungen; trotzdem wird gegenüber dem Klimasekretariat eine Zu- resp. Abnahme kommuniziert.

4.4 Basisszenario 2005–2020

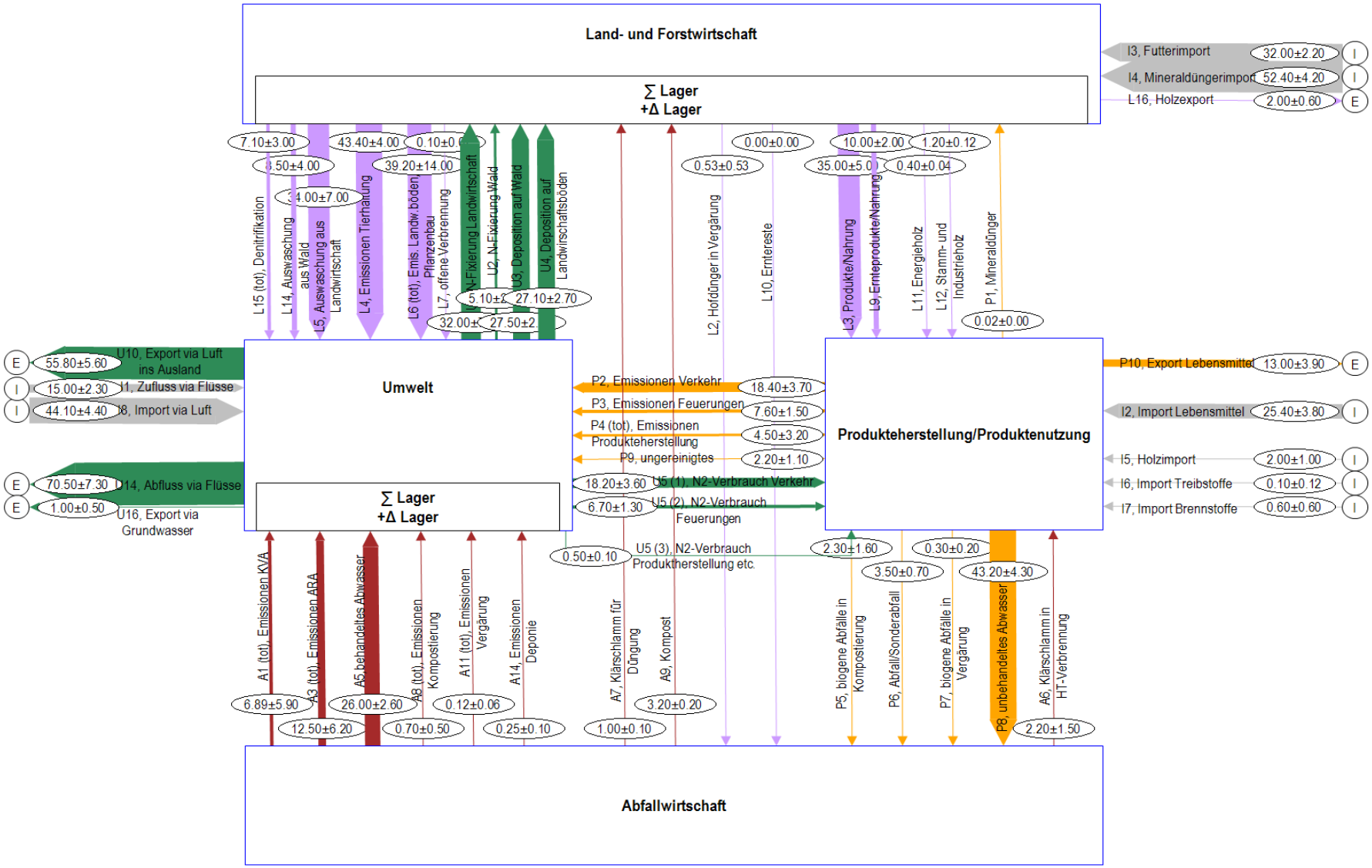
4.4.1 Stoffflusssysteme 2005 und 2020

Die folgende Abb. 7 zeigt den Zustand des N-Stoffflusssystems Schweiz im Jahre 2005. Das System besteht aus den Subsystemen Land- und Forstwirtschaft, Umwelt, Produktherstellung/-nutzung und Abfallwirtschaft. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs-Subsysteme. Die Systemgrenzen entsprechen dem Territorium der Schweiz inklusive Import und Export. Die grossen Input-Flüsse aus dem Ausland sind Dünger-, Futter- und Lebensmittelimporte sowie Importe via Luft und Gewässer. Die grossen Output-Flüsse erfolgen über die Luft und die Gewässer, sowie über den Lebensmittelexport. Innerhalb der Schweiz fliessen zahlreiche Stickstoffflüsse zwischen den Subsystemen hin- und her. Die grössten Stickstoffflüsse treten zwischen den Subsystemen Land-/Forstwirtschaft und Umwelt auf; zusätzlich sind im Subsystem Abfallwirtschaft Abfälle und Abwasser wichtige Stickstoffträger.

Die folgende Abb. 8 zeigt das im Basisszenario prognostizierte Stoffflusssystem für 2020. Das Stoffflussdiagramm sieht grundsätzlich ähnlich aus wie in Abb. 7. Die grössten Input-Flüsse aus dem Ausland sind Dünger-, Futter- und Nahrungsmittelimporte sowie Importe via Luft und Gewässer. Die grössten Stickstoffflüsse treten zwischen den Subsystemen Land-/Forstwirtschaft und Umwelt auf und die Output-Flüsse erfolgen ebenfalls über die Luft und Gewässer. Im Vergleich zu 2005 reduzieren sich aber folgende treibende Flüsse markant: Emissionen aus dem Verkehr (P2 und U5), Mineraldüngerimport (I4), Import via Luft (I8) sowie die Emissionen aus der Tierhaltung (L4). Andererseits nehmen folgende N-Flüsse bis 2020 deutlich zu: Hofdünger Weidegang (L1), Unbehandeltes Abwasser (P8), Futterimport (I3) sowie der Import von Lebensmitteln und übrigen Stoffen (I2).

Abb. 7 > Stoffflussanalyse Stickstoff 2005

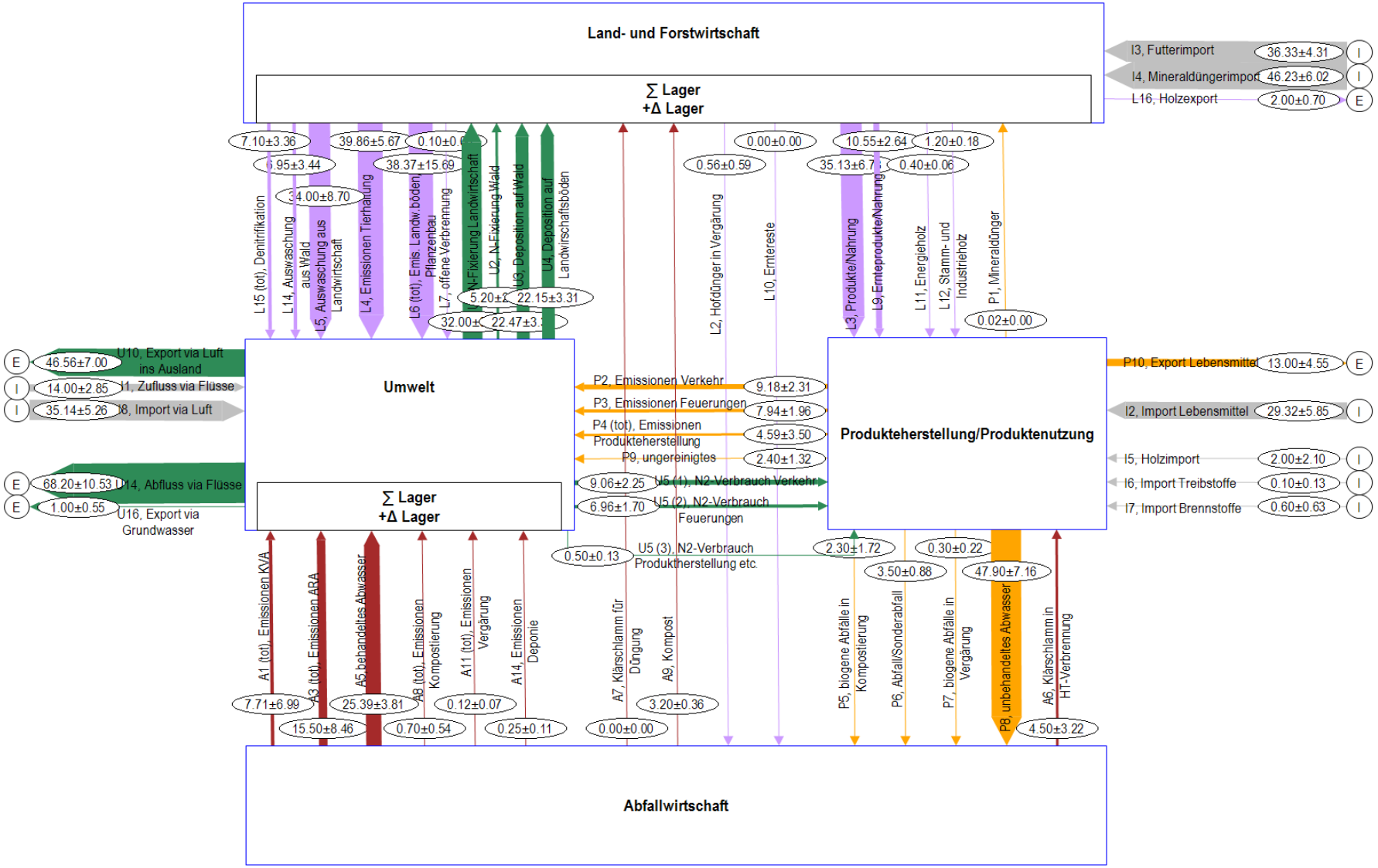
Alle N-Flüsse in kt N mit zwei Nachkommastellen. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs-Subsysteme: violett = Land- und Forstwirtschaft, grün = Umwelt, gelb = Produkteherstellung/Produktenutzung, rot = Abfallwirtschaft, grau = Import. Abk. E: Exportflüsse, I: Importflüsse. Flüsse, welche sowohl reaktiven als auch nicht-reaktiven Stickstoff (N_2) enthalten, sind mit der Ergänzung (tot: total) versehen.



Heldstab et al. 2010

Abb. 8 > Stoffflusssystem Stickstoff 2020 (Basisszenario)

Alle N-Flüsse in kt N mit zwei Nachkommastellen. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs-Subsysteme: violett = Land- und Forstwirtschaft, grün = Umwelt, gelb = Produkteherstellung/Produktenutzung, rot = Abfallwirtschaft, grau = Import. Abk. E: Exportflüsse, I: Importflüsse. Flüsse, welche sowohl reaktiven als auch nicht-reaktiven Stickstoff (N_2) enthalten, sind mit der Ergänzung (tot: total) versehen.



Wichtige Änderungen, die in der Periode 2005–2020 zu erwarten sind.

- Im Subsystem Land- und Forstwirtschaft verringert sich der Stickstoff-Input um ca. 12 kt N, was einer Reduktion um knapp 7 % entspricht. Der Import von Mineraldünger und die N-Depositionen sind rückläufig, der Futtermittelimport nimmt zu.
- Im Subsystem Umwelt ist der Stickstoff-Input ebenfalls rückläufig in der Grössenordnung von 22 kt N. Emissionen aus der Landwirtschaft, aus Verkehr und Feuerungen nehmen ab, während sie aus der Abfallwirtschaft (ARA, KVA) leicht zunehmen. Die Outputs nehmen um ca. 29 kt N ab, wichtig dabei ist die Reduktion des N-Exports via Flüsse und Atmosphäre.
- Im Subsystem Produkteherstellung/Produktenutzung gibt es bei einigen Flüssen geringe Zu- wie auch Abnahmen, die sich in der Summe praktisch aufheben. Erwähnenswert ist die Zunahme der N-Importe bei den Lebensmitteln.
- Im Subsystem Abfallwirtschaft nehmen die Inputs um 5 kt N respektive 10 % zu, und zwar beim Abwasser als Folge des Bevölkerungswachstums.

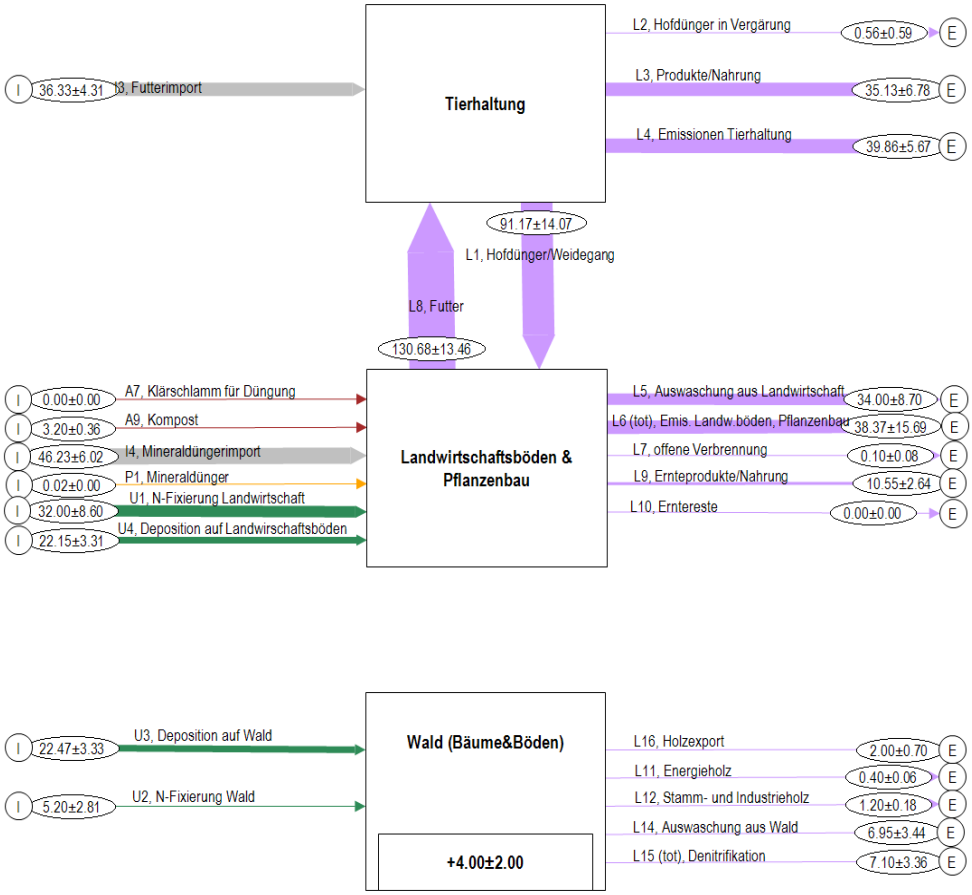
Kurz zusammengefasst sind das Bevölkerungswachstum, zunehmende Importe von Lebens- und Futtermitteln, ein abnehmender Import von Mineraldünger und der technische Fortschritt in der Abgasbehandlung (Motoren und Feuerungen) die Treiber für die prognostizierten Änderungen.

4.4.2 Subsysteme im Basisszenario 2020

Subsystem Land- und Forstwirtschaft 2020

Abb. 9 > Subsystem Land- und Forstwirtschaft 2020 (Basisszenario)

Alle N-Flüsse und ihre Unsicherheiten in kt N, 2 Nachkommastellen. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs-Subsysteme: violett = Land- und Forstwirtschaft, grün = Umwelt, gelb = Produkteherstellung/Produktenutzung, rot = Abfallwirtschaft, grau = Import. Flüsse welche sowohl reaktiven als auch nicht reaktiven Stickstoff N_2 enthalten, sind mit der der Ergänzung (tot) versehen.



Beachte: Zwischen den Prozessen Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau und Wald tritt zwar kein N-Fluss auf, die beiden Prozesse sind aber durch Flüsse via Atmosphäre (Emission und Deposition) miteinander verbunden.

Die folgende Tabelle zum Subsystem Land/Forstwirtschaft zeigt die Bilanzierung aller Input-Flüsse, Output-Flüsse, interne Flüsse und Lagerveränderungen. Ebenfalls wird die Unsicherheit jedes Flusses sowie des gesamten Inputs und Outputs aufgeführt. Da sich die Unsicherheitsbereiche der Summe von Out-Flüssen (+Senke) und der Summe von In-Flüssen überlappen, ist die Differenz zwischen Input und Output nicht signifikant, die Bilanz wir als ausgeglichen betrachtet. Detailliertere Berechnungsgrundlagen finden sich im Anhang A2, eine kurze Charakterisierung der einzelnen Flüsse findet sich in Tab. 22.

Tab. 10 > Input Output Tabelle Subsystem Land- und Forstwirtschaft

Die Flüsse in kt N sind auf ganze Zahlen gerundet. Flüsse kleiner 0,5 kt N sind als < 1kt N angegeben, daher kann eine Addition der einzelnen Flüsse von der angegebenen Summe abweichen. Für die Flüsse (tot), welche auch nicht-reaktiven Stickstoff N_2 enthalten, ist der reaktive Anteil in einer separaten Zeile in kursiver Schrift angegeben (Nr). Die Spalte «Uns. 2020» stellt die (absoluten) Unsicherheiten in kt N dar. In der Summenbetrachtung des In-und Outputs werden die Unsicherheiten der einzelnen Flüsse gemäss Fehlerfortpflanzung addiert.

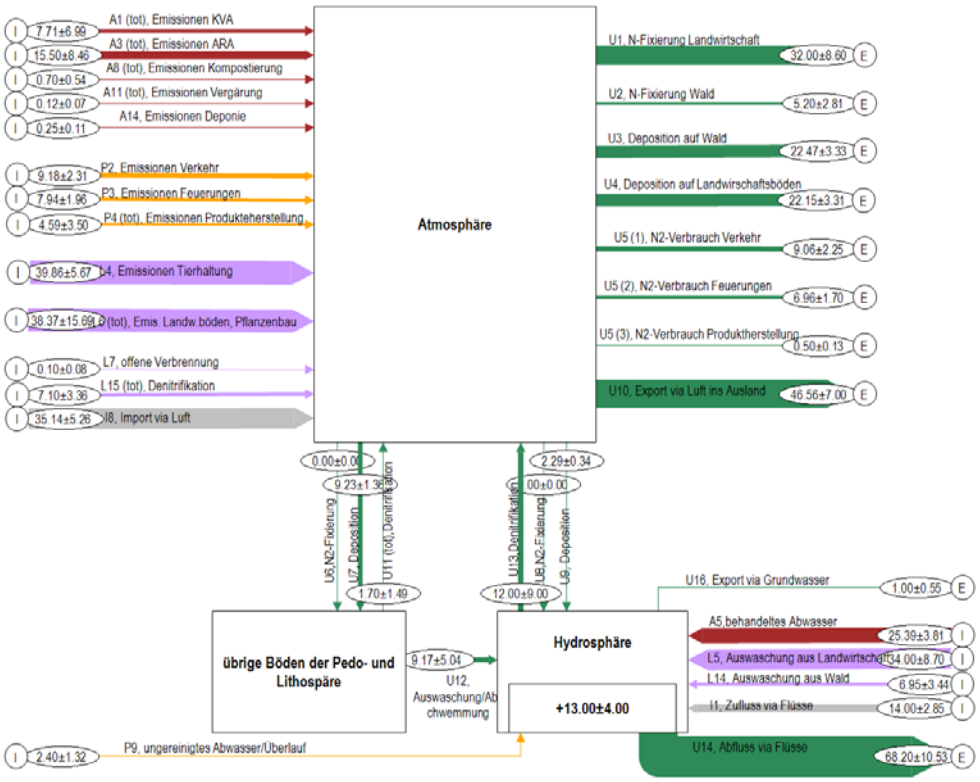
Land- und Forstwirtschaft				
Code	Prozess	2005	2020	Uns. 2020
		in kt		
Input				
I4	Mineraldüngerimport	52	46	6
I3	Futterimport	32	36	4
U1	N-Fixierung Landwirtschaft	32	32	9
U3	Deposition auf Wald	28	22	3
U4	Deposition auf Landwirschaftsböden	27	22	3
U2	N-Fixierung Wald	5	5	3
A9	Kompost	3	3	< 1
A7	Klärschlamm für Düngung	1	0	< 1
P1	Mineraldünger Inlandproduktion	< 1	< 1	< 1
Summe		180	168	155–180
Output				
L4	Emissionen Tierhaltung	43	40	6
L6 (tot)	Emissionen Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	39	38	16
L6 (Nr)	*Nr Landw.böden & Pflanzenbau*	*11*	*10*	
L3	Produkte/Nahrung	35	35	7
L5	Auswaschung aus Landwirtschaft	34	34	9
L9	Ernteprodukte/Nahrung	10	11	3
L14	Auswaschung aus Wald	9	7	3
L15 (tot)	Denitrifikation	7	7	3
L15 (Nr)	*Nr Denitrifikation*	*1*	*1*	
L16	Holzexport	2	2	1
L12	Stamm- und Industrieholz	1	1	< 1
L2	Hofdünger in Vergärung	1	1	1
L11	Energieholz	< 1	< 1	< 1
L10	Erntereste	< 1	< 1	< 1
L7	offene Verbrennung	< 1	< 1	< 1
	Senke Wald (Holzzuwachs, entspr. Outputfluss)	4	4	2
Summe		186	180	159–201

Land- und Forstwirtschaft				
Code	Prozess	2005	2020	Uns. 2020
		in kt		
interne Stoffflüsse				
L1	Hofdünger/Weidegang	86	91	14
L8	Futter	132	131	13
Gesamtbilanz				
	Total Input-Output	-5	-13	

Abb. 10 > Subsystem Umwelt 2020 (Basisszenario)

Subsystem Umwelt 2020

Alle N-Flüsse und ihre Unsicherheiten in kt N, 2 Nachkommastellen. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs-Subsysteme: violett = Land- und Forstwirtschaft, grün = Umwelt, gelb = Produkteherstellung/Produktenutzung, rot = Abfallwirtschaft, grau = Import. Flüsse welche sowohl reaktiven als auch nicht reaktiven Stickstoff N_2 enthalten, sind mit der der Ergänzung (tot) versehen.



Die folgende Tabelle zum Subsystem Umwelt zeigt die Bilanzierung aller Input-Flüsse, Output-Flüsse, interne Flüsse und Lagerveränderungen. Ebenfalls wird die Unsicherheit jedes Flusses sowie des gesamten Inputs und Outputs aufgeführt. Da sich die Unsicherheitsbereiche der Summe von Out-Flüssen (+Senke) und der Summe von In-Flüssen überlappen, ist die Differenz zwischen Input und Output nicht signifikant, die

Bilanz wird als ausgeglichen betrachtet. Detailliertere Berechnungsgrundlagen finden sich im Anhang A2, eine kurze Charakterisierung der einzelnen Flüsse findet sich in Tab. 22.

Tab. 11 > Input Output Tabelle Subsystem Umwelt

Die Flüsse in kt N sind auf ganze Zahlen gerundet. Flüsse kleiner 0,5 kt sind als < 1kt angegeben. Daher kann eine Addition der einzelnen Flüsse von der angegebenen Summe abweichen. Für die Flüsse (tot), welche auch nicht-reaktiven Stickstoff N_2 enthalten, ist der reaktive Anteil in einer separaten Zeile in kursiver Schrift angegeben (Nr). Die Spalte «Uns. 2020» stellt die (absoluten) Unsicherheiten in kt N dar. In der Summenbetrachtung des In-und Outputs werden die Unsicherheiten der einzelnen Flüsse gemäss Fehlerfortpflanzung addiert.

Umwelt				
Code	Prozess	2005	2020	Uns. 2020
		in kt		
Input				
L4	Emissionen Tierhaltung	43	40	6
L6 (tot)	Emissionen Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	39	38	16
L6 (Nr)	*Nr Landw.böden & Pflanzenbau*	*11*	*10*	
I8	Import via Luft	44	35	5
L5	Auswaschung aus Landwirtschaft	34	34	9
A5	behandeltes Abwasser	26	25	4
I1	Zufluss via Flüsse	15	14	3
A3 (tot)	Emissionen ARA	13	16	8
A3 (Nr)	*Nr Emissionen ARA*	*1*	*1*	
P2	Emissionen Verkehr	18	9	2
P3	Emissionen Feuerungen	8	8	2
A1 (tot)	Emissionen KVA	7	8	7
A1 (Nr)	*Emissionen KVA*	*1*	*1*	
L15 (tot)	Denitrifikation	7	7	3
L15 (Nr)	Nr Denitrifikation	1	1	
L14	Auswaschung aus Wald	9	7	3
P4 (tot)	Emissionen Produkteherstellung	5	5	3
P4 (Nr)	*Nr Emissionen Produkteherstellung*	*1*	*1*	
P9	ungereinigtes Abwasser/Überlauf	2	2	1
A8 (tot)	Emissionen Kompostierung	1	1	1
A8 (Nr)	*Nr Emissionen Kompostierung*	*< 1*	*< 1*	
A14	Emissionen Deponie	< 1	< 1	< 1
A11 (tot)	Emissionen Vergärung	< 1	< 1	< 1
A11 (Nr)	*Nr Emisisonen Vergärung*	*< 1*	*< 1*	
L7	offene Verbrennung	< 1	< 1	< 1
Summe		271	249	225–273

Umwelt				
Code	Prozess	2005	2020	Uns. 2020
		in kt		
Output				
U14	Abfluss via Flüsse	71	68	10
U10	Export via Luft ins Ausland	56	47	7
U1	N-Fixierung Landwirtschaft	32	32	9
U3	Deposition auf Wald	28	22	3
U4	Deposition auf Landwirschaftsböden	27	22	3
U5 (1)	N_2-Verbrauch Verkehr	18	9	2
U5 (2)	N_2-Verbrauch Feuerungen	7	7	2
U2	N-Fixierung Wald	5	5	3
U16	Export via Grundwasser	1	1	1
U5 (3)	N_2-Verbrauch Produktherstellung etc.	1	1	< 1
	Sedimentation Hydrosphäre (entspr. Outputfluss)	12	13	4
Summe		256	227	210–244
interne Stoffflüsse				
U13	Denitrifikation	12	12	9
U12	Auswaschung/Abschwemmung	9	9	5
U7	Deposition	9	9	1
U11 (tot) *U11 (Nr)*	Denitrifikation *Nr Denitrifikation*	2 *< 1*	2 *< 1*	1
U9	Deposition	2	2	< 1
U8	N_2-Fixierung	0	0	
U6	N_2-Fixierung	0	0	
Gesamtbilanz				
	Total Input-Output	14	22	

Abb. 11 > Subsystem Produkteherstellung/Produktenutzung 2020 (Basisszenario)

Alle N-Flüsse und ihre Unsicherheiten in kt N, 2 Nachkommastellen. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs-Subsysteme: violett = Land- und Forstwirtschaft, grün = Umwelt, gelb = Produkteherstellung/Produktenutzung, rot = Abfallwirtschaft, grau = Import. Flüsse welche sowohl reaktiven als auch nicht reaktiven Stickstoff N_2 enthalten, sind mit der der Ergänzung (tot) versehen.



Die folgende Tabelle zum Subsystem Produkte/Produktenutzung zeigt die Bilanzierung aller Input-Flüsse und Output-Flüsse. Ebenfalls wird die Unsicherheit jedes Flusses sowie des gesamten Inputs und Outputs aufgeführt. Da sich die Unsicherheitsbereiche der Summe von Out-Flüssen (+Senke) und der Summe von In-Flüssen überlappen, ist die Differenz zwischen Input und Output nicht signifikant, die Bilanz wird als ausgeglichen betrachtet. Detailliertere Berechnungsgrundlagen finden sich im Anhang A2, eine kurze Charakterisierung der einzelnen Flüsse findet sich in Tab. 22.

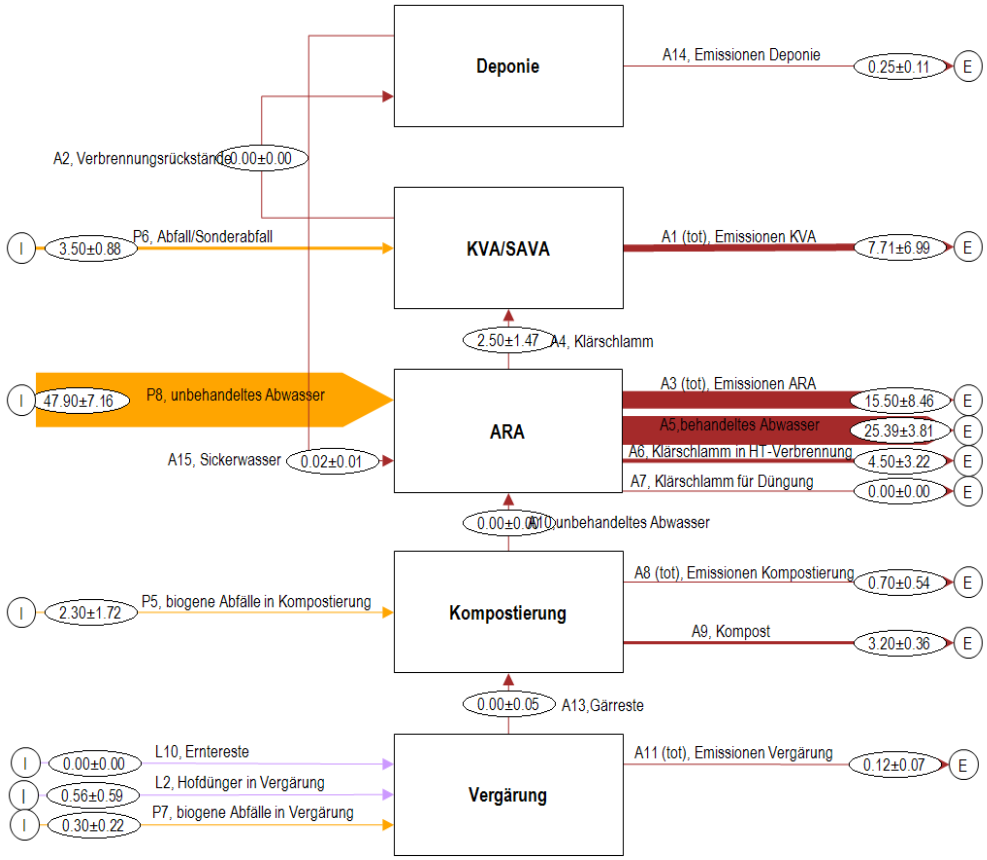
Tab. 12 > Input Output Tabelle Subsystem Produkteherstellung/Produktenutzung

Die Flüsse in kt N sind auf ganze Zahlen gerundet. Flüsse kleiner 0,5 kt sind als < 1kt angegeben, daher kann eine Addition der einzelnen Flüsse von der angegebenen Summe abweichen. Für die Flüsse (tot), welche auch nicht-reaktiven Stickstoff N_2 enthalten, ist der reaktive Anteil in einer separaten Zeile in kursiver Schrift angegeben (Nr). Die Spalte «Uns. 2020» stellt die (absoluten) Unsicherheiten in kt N dar. In der Summenbetrachtung des In-und Outputs werden die Unsicherheiten der einzelnen Flüsse gemäss Fehlerfortpflanzung addiert.

Produkteherstellung				
Code	Prozess	2005	2020	Uns. 2020
		in kt		
Input				
L3	Produkte/Nahrung	35	35	7
I2	Import Lebensmittel und übrige Stoffe	25	29	6
L9	Ernteprodukte/Nahrung	10	11	3
U5 (1)	N_2-Verbrauch Verkehr	18	9	2
U5 (2)	N_2-Verbrauch Feuerungen	7	7	2
A6	Klärschlamm in HT-Verbrennung	2	5	3
L12	Stamm- und Industrieholz	1	1	< 1
I7	Import Brennstoffe	1	1	1
U5 (3)	N_2-Verbrauch Produktherstellung etc.	1	1	< 1
I6	Import Treibstoffe	< 1	< 1	< 1
L11	Energieholz	< 1	< 1	< 1
I5	Holzimport	< 1	2	2
Summe		100	100	88–108
Output				
P8	unbehandeltes Abwasser	43	48	7
P10	Export Lebensmittel und übrige Stoffe	13	13	5
P2	Emissionen Verkehr	18	9	2
P3	Emissionen Feuerungen	8	8	2
P4 (tot) *P4 (Nr)*	Emissionen Produkteherstellung *Nr Emissionen Produkteherstellung*	5 *1*	5 *1*	3
P6	Abfall/Sonderabfall	4	4	1
P9	ungereinigtes Abwasser/Überlauf	2	2	1
P5	biogene Abfälle in Kompostierung	2	2	2
P7	biogene Abfälle in Vergärung	< 1	< 1	< 1
P1	Mineraldünger Inlandproduktion	< 1	< 1	< 1
Summe		95	91	81–101
Gesamtbilanz				
	Total Input-Output	5	9	

Abb. 12 > Subsystem Abfallwirtschaft 2020 (Basisszenario)

Alle N-Flüsse und ihre Unsicherheiten in kt N, 2 Nachkommastellen. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs-Subsysteme: violett = Land- und Forstwirtschaft, grün = Umwelt, gelb = Produkteherstellung/Produktenutzung, rot = Abfallwirtschaft, grau = Import. Flüsse welche sowohl reaktiven als auch nicht reaktiven Stickstoff N_2 enthalten, sind mit der der Ergänzung (tot) versehen.



Die folgende Tabelle zum Subsystem Abfallwirtschaft zeigt die Bilanzierung aller Input-Flüsse und Output-Flüsse sowie der internen Flüsse. Ebenfalls wird die Unsicherheit jedes Flusses sowie des gesamten Inputs und Outputs aufgeführt. Da sich die Unsicherheitsbereiche der Summe von Out-Flüssen (+Senke) und der Summe von In-Flüssen überlappen, ist die Differenz zwischen Input und Output nicht signifikant, die Bilanz wird als ausgeglichen betrachtet. Detailliertere Berechnungsgrundlagen finden sich im Anhang A2, eine kurze Charakterisierung der einzelnen Flüsse findet sich in Tab. 22.

Tab. 13 > Input Output Tabelle Subsystem Abfallwirtschaft

Die Flüsse in kt N sind auf ganze Zahlen gerundet. Flüsse kleiner 0,5 kt sind als < 1kt angegeben, daher kann eine Addition der einzelnen Flüsse von der angegebenen Summe abweichen. Für die Flüsse (tot), welche auch nicht-reaktiven Stickstoff N_2 enthalten, ist der reaktive Anteil in einer separaten Zeile in kursiver Schrift angegeben (Nr). Die Spalte «Uns. 2020» stellt die (absoluten) Unsicherheiten in kt N dar. In der Summenbetrachtung des In-und Outputs werden die Unsicherheiten der einzelnen Flüsse gemäss Fehlerfortpflanzung addiert.

Abfallwirtschaft				
Code	Prozess	2005	2020	Uns. 2020
		in kt		
Input				
P8	unbehandeltes Abwasser	43	48	7
P6	Abfall/Sonderabfall	4	4	1
P5	biogene Abfälle in Kompostierung	2	2	2
L2	Hofdünger in Vergärung	1	1	1
P7	biogene Abfälle in Vergärung	< 1	< 1	< 1
Summe		50	55	47–62
Output				
A5	behandeltes Abwasser	26	25	4
A3 (tot)	Emissionen ARA	13	16	8
A3 (Nr)	*Nr Emissionen ARA*	*1*	*1*	
A1 (tot)	Emissionen KVA	7	8	7
A1 (Nr)	*Nr Emissionen KVA*	*1*	*1*	
A9	Kompost	3	3	< 1
A6	Klärschlamm in HT-Verbrennung	2	5	3
A7	Klärschlamm für Düngung	1	0	< 1
A8 (tot)	Emissionen Kompostierung	1	1	1
A8 (Nr)	*Nr Emissionen Kompostierung*	*< 1*	*< 1*	
A14	Emissionen Deponie	< 1	< 1	< 1
A11 (tot)	Emissionen Vergärung	< 1	< 1	< 1
A11 (Nr)	*Nr Emissionen Vergärung*	*< 1*	*< 1*	
Summe		53	57	45–69
interne Stoffflüsse				
A4	Klärschlamm	3	3	1
A13	Gärreste	< 1	< 1	< 1
A15	Sickerwasser	< 1	< 1	< 1
A2	Verbrennungsrückstände	0	0	0
A10	Abwasser	0	0	0
Gesamtbilanz				
	Total Input-Output	-3	-3	

4.5 Entwicklung der Stickstoffflüsse 2005–2020 nach Arbeitsbereichen

Die folgenden Kapitel und Abbildungen zeigen die relevanten N-Flüsse und deren Veränderung im Basisszenario 2005 bis 2020. Dabei sind die Flüsse zwecks besseren Leseverständnisses thematisch nach den drei Arbeitsbereichen: «Energie, Klima, Luft» (Tab. 14) «Land-, Forstwirtschaft und Ernährung» (Tab. 15) und «Gewässer und übrige Böden» (Tab. 16) aggregiert. **Es gilt zu beachten, dass in diesen Tabellen Bilanzen Inputs minus Outputs nicht sinnvoll sind (für Bilanzzwecke sind die obigen Tabellen zu den vier Subsystemen zu verwenden).**

4.5.1 Energie, Klima, Luft

Im Vergleich zu 2005 kann bei zahlreichen gasförmigen Flüssen bis 2020 eine Abnahme der Stickstofffracht erwartet werden. Diese Abnahme der Emissionen gasförmiger Stickstoffverbindungen aus dem Energieverbrauch/KVA (NO_x, N_2O, NH_3, N_2) wird primär durch einen signifikanten Rückgang der NO_x Emissionen des Verkehrs um fast 50 % verursacht, als Folge der neuen Euronormen (EURO 5 ab 2010, EURO 6 ab 2014, bzw. EURO VI) und trotz steigender Verkehrsleistung. Gleichzeitig wird für die Emissionen aus Kehrichtverbrennungsanlagen und Feuerungen aus dem Dienstleistungs-, Haushalts- und Industriebereich eine Zunahme aufgrund des Bevölkerungswachstums und der bereits weitgehend ausgeschöpften technischen Reduktionsmassnahmen angenommen. Insgesamt resultiert jedoch eine deutliche Abnahme der Emissionen in die Luft. Diese wird ebenfalls in den umliegenden Nachbarländern der Schweiz in annähernd gleichem Masse erwartet und gilt daher auch für die importierten Luftschadstoffe.

Daraus ergibt sich eine Reduktion der atmosphärischen Deposition sowie der aus der Schweiz exportierten Luftschadstoffe in ähnlichem Ausmasse (zu Detail vgl. Anhang A2-1.3).

Werden nur N-Flüsse betrachtet, welche effektiv in den Prozess Atmosphäre hinein und hinaus transportiert werden, so nehmen auf aggregierter Ebene sowohl die Input- als auch die Output-Frachten um 20–30 kt N bis 2020 ab.

Tab. 14 > N-Flüsse Energie, Klima, Luft 2005 und 2020 (Basisszenario)

N Flüsse (kt N, gerundet) und deren absolute (kt N) und relative (%) Veränderung 2005–2020.

Fluss	N-Quelle	2005	2020	Differenz	Trend 2020/2005	Fluss/ Aggregation
Import Luftschadstoffe	N aus NO_x, NH_3	44	35	-9.0	-20%	I8
Export Luftschadstoffe		56	47	-9.2	-17%	U10
Total Depositionen		69	56	-12.6	-18%	U3, U4, U7, U9
Technische N-Fixierung	Fixierung von atm. N_2 durch Verbrennungsprozesse	25	17	-8.9	-35%	U5 (1, 2, 3)
Luftemissionen En.-verbrauch & KVA	N in Luftschadstoffen	37	29	-8.0	-21%	P2, P3, A1, P4
Import Energieträger	N in Energieträgern	<5	<5	0.0	0%	I7, L11
Luftemissionen aus Land-/Forstwirtschaft	siehe Land-/Forstwirtschaft					

4.5.2 Land-/Forstwirtschaft und Ernährung

Die Flüsse des Arbeitsbereiches Land-, Forstwirtschaft und Ernährung zeigen ein unterschiedliches Bild in der Entwicklung des Basisszenarios 2005–2020.

Generell ist im Basisszenario eine markante Zunahme der treibenden N-Flüsse «Import von Lebensmitteln» und «Futtermittelimporte» bis 2020 erkennbar. Die Futtermittelimporte führen bei praktisch konstant bleibender Inlandfuttermittelproduktion zu einer Zunahme des Inputs von Stickstoff in die tierische Produktion. Obwohl die Tierzahlen aller Nutztiere und die Fleischproduktion rückläufig sind, nimmt die Milchproduktion stark zu (alle Flüsse abgeschätzt gemäss AP 2014–2017, Berechnungen durch die ART (2011)). Diese Intensivierung der Milchproduktion zeigt sich wegen des tiefen N-Gehaltes der Milch (-produkte) bei den Produkten jedoch fast nicht. Hingegen nimmt der von den Tieren ausgeschiedene Stickstofffluss zu und gelangt nach Abzug der Stickstoffverluste (Emissionen im Stall, bei der Hofdüngerlagerung) als N-Fluss «Hofdünger/Weidegang» auf die landwirtschaftlichen Böden. Der zweite aktive N-Input in die Böden, die biologische N-Fixierung, wird mangels Daten und Hinweisen auf eine Nutzungsänderung (verstärkter Leguminose-Anbau), als konstant betrachtet. Der dritte Input, die Deposition, nimmt ab. Insgesamt sollte durch die Zunahme des «tierischen» Stickstoffes welcher im Fluss «Hofdünger/Weidegang» als Dünger auf den Feldern wirkt, die Menge des eingesetzten synthetischen Düngers und damit der Düngermittelimporte um diese Menge reduziert werden. Diese Bilanzierung aus den Stoffflussbetrachtungen, wird durch die ART Berechnungen (ART 2011) bestätigt: Es wird von einer Abnahme des Mineraldüngerimports in der Grössenordnung der Zunahme des Flusses «Hofdünger/Weidegang» ausgegangen.

Trotz Intensivierung des N-Inputs in die tierische Produktion nehmen die Umweltbelastungen durch N-Verluste ab. In erster Linie wird erwartet, dass die N-Emissionen in

die Atmosphäre abnehmen, hauptsächlich verursacht durch eine Reduktion der NH_3 Emissionen aufgrund von technischen Massnahmen. Die relative Abnahme des Flusses «L4», der Luftemissionen der Tierhaltung» (98 % davon ist NH_3) ist mit 8 % bedeutend stärker, als die in Tab. 15 ausgewiesene Reduktion der gesamten Luft-N-Emissionen aus der Landwirtschaft. Dies v. a. auch aus dem Grund, dass die nicht-reaktiven N_2-Verbindungen konstant bleiben. Die Auswaschung von Nitrat aus dem Wald nimmt ebenfalls ab, während die Auswaschung aus landwirtschaftlichen Böden konstant bleibt (vgl. dazu Kap 4.3.2).

Weil die Schweizer Bevölkerung wächst, steigt auch der Kalorienbedarf, resp. der Konsum von Nahrungsmitteln. Der Export von Lebensmitteln wird in der Periode 2005–2020 als unverändert betrachtet, sodass der höhere Kalorienbedarf durch eine Steigerung der Nahrungsmittelimporte ausgeglichen wird.

Ein weiterer bedeutender Inputfluss, die biologische N-Fixierung, wird als annähernd konstant angenommen. Dies weil, abgesehen von einer leichten Zunahme der Waldfläche, keine Entwicklungen absehbar sind, die den gezielten Ausbau der biologischen N-Fixierung fördern würden (bspw. verstärkter Anbau von Leguminosen).

In der Forstwirtschaft wird vereinfachend angenommen, dass die Holznutzung und der Import/Export von Holz konstant bleiben. Aufgrund der geringen Bedeutung der Holznutzung bezüglich der N-Flüsse (Holzexport/-import: je 2 kt N, Stamm- und Industrieholz 1,2 kt N) ist dies vertretbar.

Tab. 15 > N-Flüsse Land-/Forstwirtschaft und Ernährung 2005 und 2020 (Basisszenario)

N Flüsse (kt N, gerundet) und deren absolute (kt N) und relative (%) Veränderung 2005–2020.

Fluss	N-Quelle	2005	2020	Differenz	Trend 2020/2005	Fluss/ Aggregation
Futterproduktion	N aus Inlandproduktion Futtermittel	132	131	-1.3	-1%	L8
Hofdünger/ Weidegang	N aus Tierausscheidungen, Wiese/Acker (inkl. Ausbr)	86	91	4.9	6%	L1
Luftemissionen aus Landwirtschaft	alles N (NH_3, N_2O, NO_x, N_2) aus Aussch. Tiere & LW Böden	82	78	-4.2	-5%	L4, L6
Düngerimporte	Techn. fixiertes N_2 aus Mineraldünger (Haber-Bosch)	52	46	-6.2	-12%	I4
Auswaschung LW & FW	N (Nitrat) aus Böden in Gewässer	43	41	-2.1	-5%	L5, L14
Biologische N-Fixierung	Fixierung von atm. N_2 durch Pflanzen	37	37	0.1	0%	U1, U2
Futtermittelimporte	N aus Eiweiss-/Getreidefuttermittel	32	36	4.3	14%	I3
«Tierische» Produktion	N aus Inlandproduktion Fleisch/Milch/Eier etc.	35	35	0.1	0%	L3
Import Lebensmittel	N aus Nahrung	25	29	3.9	15%	I2
Export Lebensmittel		13	13	0.0	0%	P10
Pflanzl. Produktion	N aus Inlandproduktion Pflanzen	10	11	0.5	5%	L9
Dentrifikation	N (NO_2, N_2, NO_x) aus Denitrifikation in Böden	9	9	0.0	0%	L15, U11
Holznutzung	N aus Holz	<5	<5	0.0	0%	L11, L12
Import/Export Holz	N aus Holz	<5	<5	0.0	0%	I5, L16

4.5.3 Gewässer und übrige Böden

Tab. 16 gibt die relevanten Flüsse in den beiden Prozessen Gewässer und übrige Böden, sowie deren Veränderung bis 2020 wieder. Der grösste Inputfluss in die Gewässer stammt aus den Einträgen aus der Landwirtschaft durch Auswaschung von Hof- und Mineraldüngern und Mineralisierung organischer Substanz[7]. Zudem gelangen erhebliche Frachten über das in den ARAs behandelte Abwasser aus der Siedlungsentwässerung und Industrie in das Subsystem Umwelt. Deshalb ist innerhalb des Prozesses Gewässer neben der dominierenden Auswaschung aus landwirtschaftlichen Böden auch die Abwasserreinigung in den ARAs ein wichtiger Faktor. Die Reinigungsleistung (N-Elimination) der installierten ARAs bestimmt, welche Anteile der Stickstofffracht in die Oberflächengewässer, respektive in den Klärschlamm und in die Atmo-

[7] Ein wesentlicher Faktor der Nitratbelastung im Grundwasser ist die intensive Bodenbearbeitung (regelmässiger Bodenumbruch) und die dadurch geförderte Mineralisierung des im Boden gespeicherten organischen Materials. Bei Sanierungsprojekten unter Art. 62a GSchG mit Abdeckung von grossen Zuströmbereichen kann bei intensiver Viehzucht auf die entstehenden Dauer- oder Kunstwiesen nicht weniger, sondern in der Regel sogar mehr Stickstoff ausgebracht werden ohne die Auswaschung zu verstärken.

sphäre weitergeleitet werden. Die Stickstofffracht in unbehandeltem Abwasser aus der Industrie und aus Haushalten, welche nicht an eine ARA angeschlossen sind, ist vergleichsweise klein. Der grösste Output-Fluss ist der Abfluss ins Ausland via Oberflächengewässer, welcher einen grossen Teil aller systeminternen Stickstofffrachten schliesslich aufnimmt. Für den Prozess übrige Böden sind nur ein Input- respektive ein Output-Fluss relevant (Deposition und Auswaschung). In der Grössenordnung entsprechen sich die beiden Flüsse in etwa.

Im Vergleich zu 2005 sind bei zahlreichen Flüssen Veränderungen der Stickstofffracht bis 2020 zu erwarten. Als Folge einer steigenden Bevölkerungszahl zeichnet sich eine deutliche Zunahme der in die ARA eingeleiteten Stickstofffracht ab (von 43 auf 48 kt N). Die verbesserte Reinigungsleistung der ARAs vermag diese Zunahme aufzufangen bzw. evtl. sogar leicht zu überkompensieren (Abnahme der N-Fracht im behandelten Abwasser um 0,6 kt N bis 2020). Zudem ist in der Tendenz eine Abnahme der Frachten bei den Einträgen aus den nicht landwirtschaftlichen Böden zu erwarten. Hauptursache ist die abnehmende Deposition auf Wald und die damit reduzierte Auswaschung in Gewässer (1,6 kt N). Ebenfalls rückläufig ist der atmosphärische N-Import aus dem Ausland, aufgrund der dortigen Luftreinhalte-Massnahmen. Werden nur diejenigen N-Flüsse betrachtet, welche effektiv in Gewässern transportiert werden (NH_3 und NO_3^-), so nehmen auf aggregierter Ebene die Output-Frachten des Prozesses Hydrosphäre um 2,3 kt N bis 2020 ab.

Für den Prozess übrige Böden wird ebenfalls eine Abnahme der N-Frachten bis 2020 erwartet. Diese liegt im Bereich von 2 kt N und ist auf die deutliche Reduktion der Deposition auf die übrigen Böden aus der Atmosphäre zurückzuführen.

Tab. 16 > N-Flüsse Gewässer und übrige Böden 2005 und 2020 (Basisszenario)

N Flüsse (kt N, gerundet) und deren absolute (kt N) und relative (%) Veränderung 2005–2020.

Fluss	N-Quelle	2005	2020	Differenz	Trend 2020/2005	Fluss/ Aggregation
Abfluss via Flüsse	N-Einträge in Oberflächen-gewässer in der Schweiz	71	68	-2.3	-3%	U14
Unbehandeltes Abwasser	Siedlungsentwässerung, produzierende Industrie	43	48	4.7	11%	P8
Auswaschung aus Land- und Forstwirtschaft	Hof-, Mineraldünger, Klär-schlamm, Kompost, Waldböden	43	41	-2.1	-5%	L5, L14
Behandeltes Abwasser	Gereinigtes Abwasser aus ARA	26	25	-0.6	-2%	A5
Zufluss via Flüsse	N-Import Ausland	15	14	-1.0	-7%	I1
Emissionen ARA in Atmosphäre	Abwasser	13	16	3.0	24%	A3
N-Sedimentation Seen	N-Fluss in Oberflächengewässer	13	13	0.0	0%	U17
Denitrifikation von Hydrosphäre	Flüsse und Seen	12	12	0.0	0%	U13
Ungereinigtes Abwasser/Überlauf	Ungereinigtes Abwasser aus Regenüberlauf	2	2	0.2	9%	P9
Klärschlamm	N in Klärschlamm, versch. Verwendungen	5	7	2.5	56%	A4, A6, A7
Deposition auf Übrige Böden	Atmosphäre	11	9	-2.1	-18%	U7
Auswaschung Übrige Böden	Böden Pedosphäre (inkl. Siedlungsflächen)	11	9	-1.8	-17%	U12

4.6 Stickstoffbilanzen (1994)–2005–2020

4.6.1 Inputs und Verluste reaktiver N-Verbindungen

Aus den Stoffflussanalysen 1994 und 2005 (Heldstab et al. 2010) und dem neuen Basisszenario 2020 lassen sich aussagekräftige Summendiagramme gemäss der Bilanzierungsmethodik des European Nitrogen Assessment (ENA 2011) bilden. Diese geben eine Übersicht der Entwicklung der wichtigsten Inputs («Treiber» des schweizerischen Stickstoffflusssystems) und der Verluste reaktiver Stickstoffverbindungen (Nr) für das System Schweiz. Siehe dazu die Darstellungen in Abb. 14.

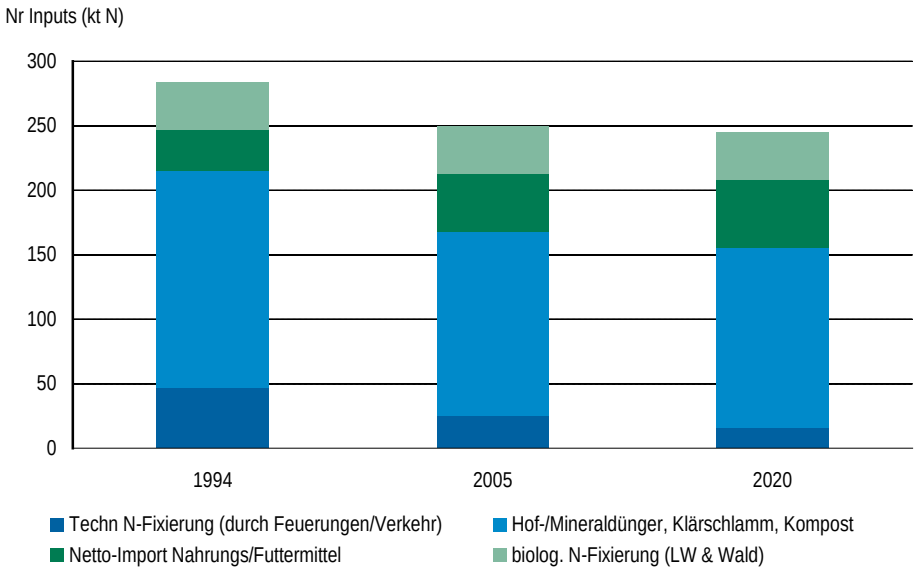
Die Zahlen zu den Abbildungen sind in der folgenden Tab. 17 angegeben. Die Inputs reaktiver Stickstoffverbindungen bleiben in der Periode 2005–2020 insgesamt praktisch konstant (Abnahme 1 %). Der Netto-Import von Futter- und Nahrungsmittel nimmt zwar zu, der Einsatz von Hof-/Mineraldünger und die technische Fixierung nehmen aber fast im selben Masse ab. Die gesamten Verluste nehmen 2005–2020 dank Emissionsreduktionen von gasförmigen N-Verbindungen (v. a. NO_x) um 10 % ab, die Verluste in die Atmosphäre nehmen um 4 %–36 %, diejenigen in die Hydrosphäre um 5 % ab. Die Abnahmen sowohl der Inputs (1 %) als auch der Verluste (10 %) sind zwar nicht signifikant, die Unsicherheitsbereiche 2005 und 2020 überlappen in beiden Fällen, trotzdem darf die die 10 %-Abnahme bei den Verlusten als wichtig bezeichnet werden[8].

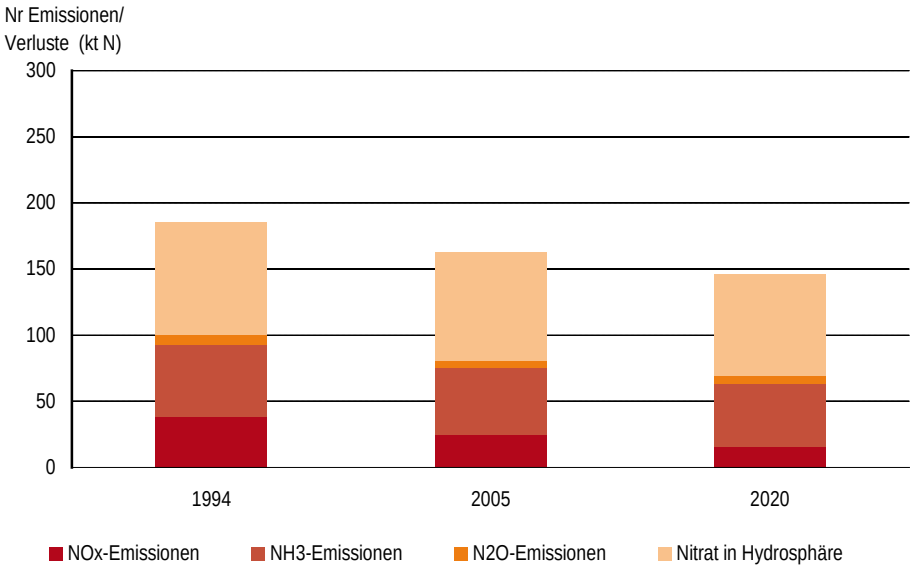
Die Differenz zwischen den Inputs und den Verlusten setzt sich zusammen aus nichtreaktiven N_2-Flüssen, Netto-Verfrachtungen in der Atmosphäre und in den Zu- und Abflüssen aus der Schweiz (total ca. 100 kt N). 1994 und 2005 betragen die Nr-Verluste 65 %–66 % gemessen an den Nr-Inputs; im Basisszenario 2020 sollte das Verhältnis auf 60 % absinken.

[8] Zum Sprachgebrauch «signifikant» und «wichtig» siehe Statistische Datenanalyse von W. Stahel p. 217 (Stahel 2000)

Abb. 13 > Entwicklung der reaktiven Stickstoffverbindungen

Oben: Nr-Inputs, Darstellung gemäss «European Nitrogen Assessment» (ENA 2011) («Treiber» des CH-Stoffflusssystems) inkl. Unsicherheitsbereiche (2005: ± 5 %, 2020: ± 8 %).
Unten: Nr-Emissionen in die Atmosphäre (NO_x, NH_3, N_2O) und Nr-Verluste in die Hydrosphäre (Nitrat) inkl. Unsicherheitsbereiche (2005: ± 13 %, 2020; ± 17 %; für 1994 wurden keine Unsicherheiten erhoben.).





Tab. 17 > Zeitreihe für Inputs und Verluste reaktiver Stickstoffverbindungen in die resp. aus der Schweiz gemäss Bilanzierungsmethode ENA

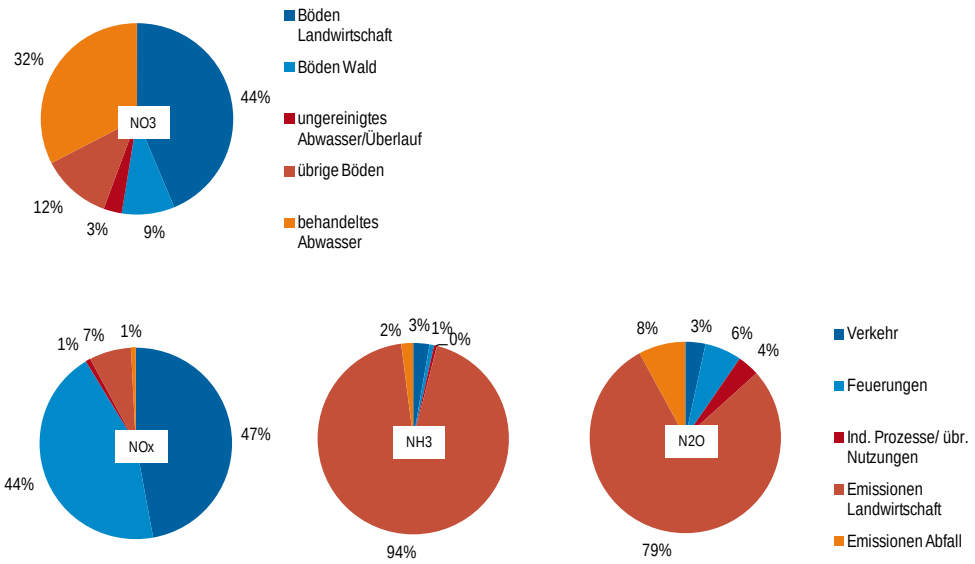
Codes: Im Tabellenteil Nr-Inputs setzt sich jede Zeile durch die auf derselben Zeile genannten Flüsse zusammen (Bsp. biolog. N-Fixierung ist die Summe aus U1, U2, U6, U8). Bei den gasförmigen Emissionen entspricht die Summe NOx, NH_3 plus N_2O der Summe aller Flüsse L4, L6,…A14. Flüsse in kt N auf ganze Werte gerundet.

Nr-Inputs		1994	2005	2020	1994	2005	2020	Trends	
	Codes	kt N			Anteile			'94–'05	'05–'20
Techn N-Fixierung (durch Feuerungen/Verkehr)	U5	47	25	17	17 %	10 %	7 %	-46 %	-35 %
Hof-/Mineraldünger, Klärschlamm, Kompost	L1, I4, A7, A9	168	143	141	59 %	57 %	57 %	-15 %	-2 %
Netto-Import Nahrungs/Futtermittel	I2, I3, P10	32	44	53	11 %	18 %	21 %	39 %	19 %
biolog. N-Fixierung (LW, Wald)	U1, U2, U6, U8	37	37	37	13 %	15 %	15 %	0 %	0 %
Summe		284	250	247	100 %	100 %	100 %	-12 %	-1 %

Nr-Verluste (Emissionen)		1994	2005	2020	1994	2005	2020	Trends	
	Codes	kt N			Anteile			'94–'05	'05–'20
NOx-Emissionen	L4, L6, L7, L15, P2, P3, P4, U11, U13, A1, A3, A8, A11, A14	38	25	16	21 %	15 %	11 %	-33 %	-36 %
NH3-Emissionen		55	51	48	30 %	31 %	32 %	-8 %	-6 %
N2O-Emissionen		7,3	7	6	4 %	4 %	4 %	-9 %	-4 %
Nitrat in Hydrosphäre	L5, L14, P9, U12, A5	85	82	78	46 %	50 %	52 %	-3 %	-5 %
Summe		185	165	148	100 %	100 %	100 %	-11 %	-10 %

Abb. 14 > Charakterisierung der Emissionen reaktiver Stickstoffverbindungen im Jahr 2020

Quellenanteile der reaktiven Stickstoffverbindungen gemäss Tab. 17.



4.6.2 N-Bilanz OSPAR, N-Effizienz

Die Stickstoff-Effizienz kann aus der Bilanz nach OSPAR-Methodik bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden alle N-Inputs in das System Landwirtschaft addiert und mit den N-Frachten der landwirtschaftlichen Produkte verglichen, die das System Landwirtschaft verlassen. Die Differenz zwischen diesen beiden Grössen sind die N-Verluste, der Quotient zwischen dem Output und dem Input wird als N-Effizienz bezeichnet. Siehe dazu Tab. 18.

Die Inputs nehmen gesamthaft um 5 % zwischen 1994 und 2005 ab und nochmals 5 % in der nachfolgenden Periode 2005 bis 2020. Die Unsicherheit aller Inputs beträgt 2005 ± 6 % und 2020 ± 9 %. Die Trends 2005–2020 der einzelnen Input-Flüsse sind signifikant (die Unsicherheiten der Trends, die aus den Unsicherheiten der Flüsse 2005 und 2020 berechnet werden können, sind kleiner als die Trends selber). Der Trend 2005–2020 für die Summe der Inputs hingegen ist nicht signifikant, -5 % ± 10 %, weil die Trends der einzelnen Flüsse gegenläufig sind und sich in der Summe gegenseitig abschwächen. Für den Trend 1994–2005 kann die Unsicherheit nicht berechnet werden, weil die Unsicherheiten der Flüsse 1994 nicht quantifiziert sind.

Die Outputs nehmen gesamthaft um 13 % zwischen 1994 und 2005 ab und weitere 8 % in der nachfolgenden Periode 2005 bis 2020. Die Unsicherheit aller Outputs beträgt 2005 ± 12 % und 2020 ± 16 % und ist damit etwa doppelt so hoch wie bei den Inputs. Die Trends 2005–2020 der einzelnen Input-Flüsse sind alle nicht signifikant, weil die Änderungen gering, die Unsicherheiten aber gross sind. Auch der Trend 2005–2020 für die Summe der Outputs ist nicht signifikant, 2 % ± 19 %. Wie für die Inputs kann die Unsicherheit für den Trend 1994–2005 nicht berechnet werden, weil die Unsicherheiten der Flüsse 1994 nicht quantifiziert sind.

Die Berechnung der N-Effizienz ergibt eine Steigerung von 24,5 % im Jahr 1994 bis auf 31,0 % ± 3,7 % im 2005. Mit den Flusswerten für das Basisszenario ergibt sich für 2005–2020 nochmals eine Steigerung auf 33,3 % ± 5,9 %. Aus Grösse der Unsicherheiten ist zu schliessen, dass der Trend 2005–2020 nicht signifikant ist, aber aufgrund des Vorzeichens sicher wichtig. Der Wert für die N-Effizienz 2005 gemäss vorliegender Stoffflussrechnung (31 %) ist um ca. 1 % höher als der vom BLW im Agrarbericht ausgewiesene Wert (BLW 2008, Abb. 15 und BLW 2012). Grund für die Abweichungen sind geringe Unterschiede in der biologischen N-Fixierung und im Import von Futtermitteln, die für die vorliegende Untersuchung aus dem Treibhausgasinventar übernommen wurden (ART 2008). Die Differenz liegt innerhalb des Unsicherheitsintervalls und ist damit nicht signifikant. Die relativen Entwicklungen 1994–2005 der N-Effizienz gemäss BLW und gemäss der vorliegenden Studie, stimmen aber mit einer Zunahme von 6 % sehr gut überein.

Tab. 18 > N-Bilanz nach OSPAR

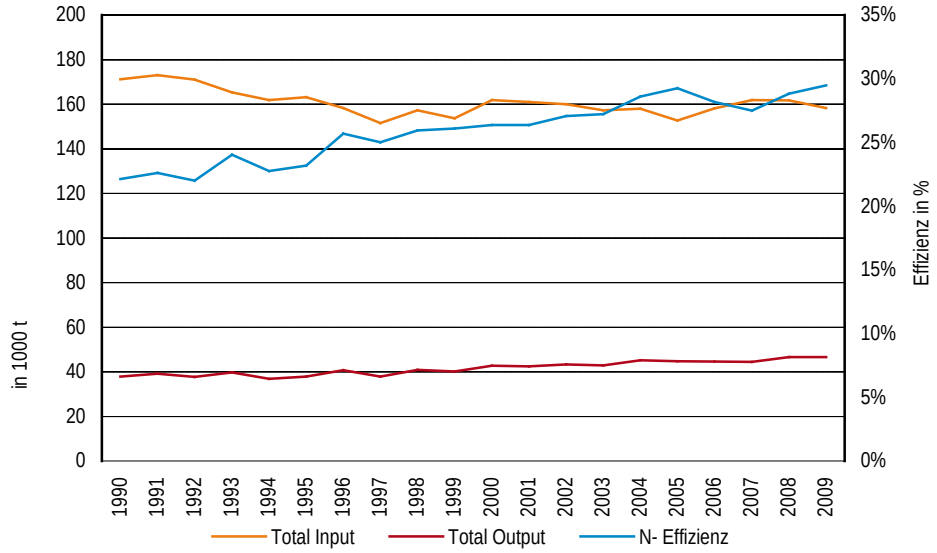
Input- und Outputflüsse, Verluste und N-Effizienz in der Landwirtschaft gemäss OSPAR-Methode für die Jahre 1994, 2005, 2020 sowie Trends. Die Flüsse sind in kt N und auf eine Nachkommastelle gerundet angegeben, die Trends in Prozent. Die letzte Spalte zeigt die Unsicherheit des Trends 2005–2020. Hinweise zur Signifikanz sind im Text zu finden.

N-Bilanz nach OSPAR	Codes	1994	2005	2020	Trends		
		k t N			1994–2005	2005–2020	Uns. 05–20
Input (Zufuhr)							
Importierte Futtermittel	I3	26,0	32,0	36,3	23 %	14 %	8 %
Mineraldünger	I4	59,0	52,4	46,2	-11 %	-12 %	8 %
Kompost und Klärschlamm für Düngung	A9, A7	7,0	4,2	3,2	-40 %	-24 %	10 %
Deposition auf Landwirtschaftsböden	A4	31,0	27,1	22,1	-13 %	-18 %	9 %
N-Fixierung LW [1]	U4	32,0	32,0	32,0	0 %	0 %	12 %
Summe IN		155,0	147,7	139,9	-5 %	-5 %	10 %
Output (Entnahme)							
Pflanzliche Produkte	L9	10,0	10,0	10,5	0 %	5 %	11 %
Tierische Produkte	L3	28,0	35,0	35,1	25 %	0 %	9 %
Hofdünger/Erntereste in die Vergärung	P7, L2	0,0	0,8	0,9	0 %	4 %	18 %
Summe OUT		38,0	45,8	46,5	21 %	2 %	19 %
Verluste: Differenz (IN-OUT)		117,0	101,9	93,4	-13 %	-8 %	
N-Effizienz (OUT/IN*100 %)		24,5 %	31,0 %	33,3 %	---	---	

[1] Der Wert für die N-Fixierung aus der ursprünglichen N-Analyse 1994 (Heldstab et al. 2010) wurde von 37 auf 32 korrigiert. Damit ist eine konsistente Zeitreihe gemäss der für das Schweizer Treibhausgasinventar (FOEN 2011b) verwendeten Daten möglich und die N-Effizienzzahlen sind vergleichbar.

Abb. 15 > N-Effizienz nach BLW

Im Vergleich dazu, weist das BLW für 1995 eine N-Effizienz von ca. 23 % und für 2005 29 % aus, d. h. die Entwicklung von + 6 % zwischen 1995 und 2005 stimmt mit derjenigen aus dem Stickstoffflusssystem (vgl. Tab. 18) überein.



BLW 2012a

5 > Wenn-Dann Analysen

Ergänzend zum Basisszenario werden hier Politikszenarien für Schlüsselbereiche skizziert und Reduktionspotenziale gegenüber dem Basisszenario 2020 dargestellt. Die Szenarien und deren Auswirkungen auf die Stickstoffflüsse werden einzeln in Form von Wenn-Dann-Analysen dargestellt und diskutiert.

5.1 Themen für Wenn-Dann-Analysen mit N-Problematik

Die folgenden Wenn-Dann-Analysen betrachten aus einer Vielzahl von möglichen Themen drei Szenarien in den Schlüsselbereichen aktueller politischer und gesellschaftlicher Diskussionen mit Bezug zum Stickstoffkreislauf. So werden die nach Fukushima grundlegend neu ausgerichtete Energiestrategie («E2050») und eine vollständige und flächendeckende Umsetzung der Massnahmen in der Luftreinhaltung gemäss dem bundesrätlichen Luftreinhalte-Konzept beurteilt («LRK»). Schliesslich werden die Wirkungen von Emissionsminderungen im Bereich Landwirtschaft (Maximum Technical Feasible Reduction «MTFR-IIASA») und Ernährung skizziert.

5.2 Energie-, Klimapolitik und Klimaänderung («E2050»)

In der Energie- und Klimapolitik sind derzeit zwei Stossrichtungen relevant.

- Erstens hat der Bundesrat für den Ausstieg aus der Kernenergie eine neue Energiestrategie 2050 definiert. Ein entsprechendes Massnahmenpaket wird ausgearbeitet. Die Bemühungen konzentrieren sich angebotsseitig auf den Ausbau der erneuerbaren Energien, die intensivierte Nutzung von fossiler Wärme-Kraftkopplung (WKK) sowie auf neue Gas- und Dampf-Kombikraftwerke (GUD) und Stromimporte. Nachfrageseitig steht die Energieeffizienz im Mittelpunkt. Der BFE-Bericht «Energiestrategie 2050» (BFE 2011) zeigt dazu diverse Angebotsvarianten auf. Beim forcierten Ausbau von neuen WKK und GUD und vermehrter Nutzung von Holzenergie entstehen zusätzliche NO_x-Quellen, wobei die bis 2020 zu erwartende Emissionszunahme unsicher ist.
- Zweitens wurde das CO_2-Gesetz total revidiert (Bundesrat 2011). Die Revision verschärft existierende Vorschriften besonders bei den Gebäuden und teilweise im Verkehr und sieht zahlreiche neue Massnahmen vor. Diese neuen Vorgaben zur Reduktion von Treibhausgasen werden sich über eine Verminderung des Verbrauchs von Brennstoffen auch auf Emissionen von N-Verbindungen auswirken.

Für die Wenn-Dann-Szenario Analyse «E2050» werden folgende Annahmen getroffen:

- Die neue Energiepolitik wird forciert und gemäss Faktenblatt Energieperspektiven 2050 umgesetzt (BFE 2011). Dies entspricht stromangebotsseitig der Variante 2 (C&E sowie D&E) des Bundesrates, in welcher das Potenzial der erneuerbaren

Energien gänzlich ausgeschöpft wird (BFE 2011). Dabei wird ein Fokus auf den Ausbau von WKK und den Zubau von mindestens einem GUD mit einer Leistung von 550 MW bis 2020 gelegt. Gleichzeitig sorgt ein Paket von Effizienzmassnahmen zu einem Rückgang der Endenergienachfrage.

> Das revidierte CO_2-Gesetz (Bundesrat 2011) wird folgendermassen umgesetzt: die in der Schweiz entstehenden CO_2-Emissionen sollen mit verschiedenen Massnahmen gegenüber dem Stand 1990 bis 2020 im Inland um 20 % reduziert werden. Betreiber der GUD müssen die Emissionen vollständig kompensieren, bis zu 50 % davon können jedoch im Ausland realisiert werden. Wie nachfolgend erläutert, hat die Art der Kompensation nur eine geringe Auswirkung auf die N-Flüsse in der Schweiz.

Falls diese Massnahmen vollständig umgesetzt werden, so können folgende Auswirkungen auf die N-Flüsse in der Schweiz bis 2020 erwartet werden: Bei den treibenden Flüssen werden die N-Emissionen aus der Verbrennung von Treib- und Brennstoffen teils verringert, teils vergrössert: Im Vergleich zum Basisszenario wird je nach Ausgestaltung der Angebotsseite in der neuen Energiepolitik eine Zunahme um 0,2–0,3 % der gesamten N-Flüsse in die Atmosphäre erwartet (WKK, GUD). Gleichzeitig werden dank Effizienzmassnahmen die Einträge in die Atmosphäre abnehmen. Schliesslich führen die Massnahmen aus dem revidierten CO_2-Gesetz zu einer weiteren Reduktion der N-Flüsse im Jahre 2020. Aus der Summe dieser drei Wirkungen kann im Vergleich mit dem Basisszenario mit einer resultierenden **Reduktion der N-Emissionen von ca. 1 % gerechnet werden.** (Details siehe Anhang A3-1 und A3-2)

Während die neue Klimapolitik die Reduktionen der Treibhausgas-Emissionen um 20 % (im Zeitraum 1990–2020) anstrebt, ist der Einfluss auf die N-Emissionen sehr gering. Mehrere Gründe sind dafür verantwortlich. Erstens lassen sich die CO_2-Wirkungen von angebotsseitigem Ausbau von Biomassenutzung nicht auf die Stickstoffemissionen übertragen: Holzfeuerungen substituieren fossiles durch klimaneutrales CO_2, erzeugen jedoch pro Einheit Primärenergie höhere N-Emissionen als Gas- und Ölfeuerungen. Zweitens erreicht man mit den nachfrageseitigen verschärften Verbrauchsvorschriften für Fahrzeuge zwar die erwünschten Reduktionen der CO_2-Emissionen, aber die N-Emissionen werden nicht zwingend mitreduziert, weil die N-Emissionen von der Motorentechnologie (Euro Normen, Benzin/Dieselmotoren) und nicht vom Treibstoffverbrauch abhängig sind. Drittens entstehen zusätzliche N-Emissionen durch neue GUD und WKK-Anlagen. Die GUD werden zwar ihre CO_2 Emissionen kompensieren müssen, aber wie die bisherigen Kompensationen zeigen, erfolgen diese am häufigsten über Biogasanlagen. Diese substituieren wieder fossiles durch klimaneutrales CO_2, was für die N-Emissionen in die Luft keine Bedeutung hat. Hingegen bleiben reaktive N-Verbindungen durch die CH_4-Produktion aus organischer Substanz in den Biogasanlagen zurück. Zudem können durch die Beigabe von Co-Gärsubstrat der N- Gehalt der Vergärungsprodukte und wegen der prozessbedingten Erhöhung des pH die möglichen N-Verluste bei Lagerung, weiterer Behandlung und Ausbringung erhöht werden. Insgesamt haben die umfangreichen Bemühungen zur CO_2-Reduktion in der Schweiz entsprechend nur bescheidene Auswirkungen auf die N-Flüsse. Sie betreffen primär die NO_x-Emissionen in die Atmosphäre und sekundär die induzierten Flüsse Deposition und Auswaschung.

Die Klimaänderung führt voraussichtlich zu geringerem Heizenergiebedarf im Winter und zu höherem Kühlenergiebedarf im Sommer – der Netto-Effekt auf die N-Flüsse wurde bisher nicht quantifiziert; es ist aber davon auszugehen, dass die Effekte in der Periode 2010–2020 erst schwach ausgeprägt sein werden. In diesem Bericht werden die Auswirkungen der Klimaänderung deshalb nicht explizit berücksichtigt.

5.3 Luftreinhaltung («LRK»)

Im Luftreinhaltekonzept (Bundesrat 2009a) sind zahlreiche Massnahmen zur Minderung der Emissionen in die Atmosphäre vorgesehen, und ein Teil davon wird heute bereits umgesetzt. Ergänzt werden diese durch die kantonalen Massnahmenpläne, welche weitere Anstrengungen zur Luftreinhaltung vorsehen. Die Wirkung der Massnahmen des Luftreinhaltekonzepts auf die wichtigsten Luftschadstoffe wurde bis 2030 abgeschätzt (BAFU 2012). Der Schwerpunkt der Luftreinhaltepolitik liegt in der Reduktion reaktiver N-Verbindungen und des Feinstaubs, entsprechend liegt der Fokus in der Wenn-Dann-Analyse auf den NOx- und NH_3-Emissionen in die Atmosphäre. Die Emissionen aus der Landwirtschaft werden in diesem Abschnitt noch ausgeklammert, dafür im nächsten Kapitel zu Landwirtschaft und Ernährung ausführlich diskutiert.

Für die Wenn-Dann-Analyse «LRK» wird folgende Annahme zur Luftreinhaltung getroffen: Alle Massnahmen des Luftreinhaltekonzepts mit Ausnahme Landwirtschaft, welche nicht schon im Basisszenario enthalten sind, werden berücksichtigt. Dies bedeutet, dass die gesamte aggregierte Wirkung der «eingeleiteten» und der «zusätzlichen» Luftreinhaltemassnahmen für die Wenn-Dann-Analyse bis 2020 betrachtet wird (vgl. dazu auch Anhang A3-2).

Unter diesen Voraussetzungen ergeben sich Reduktionen der treibenden N-Flüsse, nämlich Verminderungen der Luftschadstoffemissionen durch technologische Fortschritte und Verhaltensänderungen. Allerdings sind auch hier nur relativ geringe Reduktionen der N-Flüsse in der Grössenordnung von 2,2 % im Vergleich zum Basisszenario zu erwarten. Diese können zu einem grossen Teil auf den verringerten Ausstoss von NO_x zurückgeführt werden, während die Wirkung auf NH_3 sehr gering ist. Entsprechend dieser geringen Wirkung im Bereich Luftreinhaltung sind auch die Auswirkungen auf die induzierten Flüsse wie Deposition oder der Im- und Export via Luft sehr klein.

Ähnlich wie in der Wenn-Dann-Analyse «E2050» haben die «LRK»-Massnahmen trotz beträchtlichem Aufwand voraussichtlich keinen grossen Effekt auf den N-Kreislauf und die N-Emissionen im Speziellen. Dies hat mehrere Gründe. Der Löwenanteil der Luftschadstoffemissionsreduktionen durch die EURO-Normen im Strassenverkehr ist bereits in der Basisentwicklung berücksichtigt. Ebenfalls wurden bei den grossen industriellen Quellen bereits erhebliche Reduktionen der Prozessemissionen erreicht, beispielsweise in der Zementindustrie. Zudem entsteht der Grossteil der industriellen NO_x-Emissionen nicht bei den Prozessen, sondern bei der Energieerzeugung. Diese Potenziale werden in der Wenn-Dann Analyse «E2050» berücksichtigt.

5.4 Landwirtschaft/Ernährung

5.4.1 Ziele für ein komplexes System

Die Klimastrategie Landwirtschaft, die Umweltziele Landwirtschaft und das Luftreinhaltekonzept geben ehrgeizige ökologische Ziele (insbesondere für NH_3) vor (BLW 2011b). Die Agrarpolitik 2014–2017 mit der Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems stellt einen ersten Schritt in diese Richtung dar (BLW 2012). Mit den beschlossenen Massnahmen des Basisszenarios werden die landwirtschaftlichen NH_3-Verluste um ca. 8 % reduziert (hauptsächliche Fluss L4, vgl. auch Tab. 17 für die NH_3 Emissionen aller Sektoren), das UZL verlangt aber eine Reduktion von 49 % (bezogen auf 2005). Beim NO_3^- wird für die Auswaschung aus landwirtschaftlichen Böden im Basisszenario keine Veränderung erwartet (L5), das UZL beträgt -47 % (bezogen auf 2005), wobei dieses Ziel aber für die gesamte Auswaschung (alle Böden) formuliert ist. Damit sind weitere Massnahmen notwendig. Für die Weiterentwicklung der Agrarpolitik sei noch das «Diskussionspapier Land- und Ernährungswirtschaft» erwähnt (BLW 2010). Es wurde vom BLW in der Absicht veröffentlicht, in der Diskussion mit interessierten Kreisen Impulse für die AP 2014–2017 und die folgenden Etappen der Agrarpolitik zu sammeln.

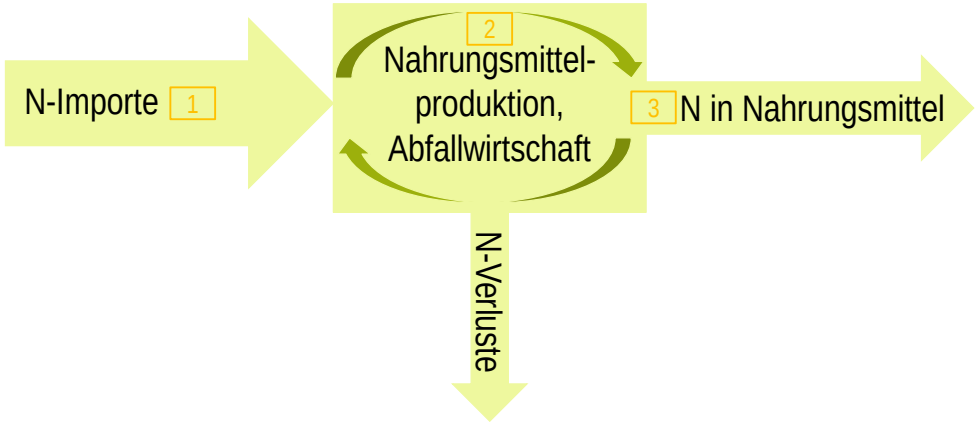
Die Landwirtschaft als wichtigster Treiber der N-Flüsse bestimmt massgeblich die Intensität des Stickstoffkreislaufs und damit auch die Verluste von reaktivem Stickstoff in die Umwelt. Damit ist sie auch das wichtigste Steuerungssystem, um den Stickstoffkreislauf zu entlasten. Die grössten umweltrelevanten Verlustflüsse der Landwirtschaft bilden die NH_3-Emissionen (hier ist die Landwirtschaft mit über 90 % Anteil auch die grösste Quelle) sowie die NO_3-Auswaschung aus den Böden in die Gewässer. Die Bedeutung von Reduktionsmassnahmen für NH_3 wird bei der Betrachtung von absoluten Frachten Ammoniak oder NO_x verstärkt durch die Tatsache, dass eine Tonne NH_3 bezüglich «N-Anteil», 2,7 Tonnen NO_x entspricht (vgl. dazu Tab. 23). NH_3-Reduktionserfolge schlagen in einer Stickstoffflussbetrachtung demnach fast dreimal höher zu Buche als Reduktionen der gleichen Menge NO_x. Die Reduktion der NH_3 Verluste erhöht jedoch auch das Potenzial für N-Verluste aus den landwirtschaftlichen Böden ins Grundwasser in Form von NO_3^-. Zu beachten ist aber, dass die Minderung der NH_3-Emissionen zu geringeren N-Depositionen im Wald und deshalb zu geringeren Verlusten aus dem Waldboden ins Grundwasser führt. Die relativ zunehmende Bedeutung der NH_3-Emissionen aus der Landwirtschaft ergibt sich durch die Tatsache, dass in der Luftreinhaltung in den vergangenen Jahren erfolgreich bedeutende Reduktionsanstrengungen bezüglich NO_x umgesetzt worden sind und weitere bedeutende Reduktionen bis 2020 zu erwarten sind.

Für das Jahr 2020 ist eine Reduktion des N-Inputs (Futtermittel-, Düngerimporte) über die Entwicklung des Basisszenarios hinaus unwahrscheinlich (Bereich 1 gemäss Abb. 17). Somit bleibt als weitere Massnahme zur Reduktion der N-Verluste im schweizerischen Landwirtschaftssystem die schrittweise Schliessung der Stoffkreisläufe (Bereich 2 gemäss Abb. 17. Die landwirtschaftliche Produktion hängt wesentlich von der Bodennutzung («Grasland Schweiz»), von den Bedürfnissen der Konsumenten (Milchprodukte, Fleisch, Getreide) und von den politischen Rahmenbedingungen ab

(Direktzahlungssystem). Der Zusammenhang zwischen der Ernährung / den Konsumenten und der Landwirtschaft wird in Abb. 17 mit dem Bereich 3 symbolisiert. N-Reduktionsmassnahmen, nämlich Verringerung des Konsums tierischer Produkte, könnten auch hier ansetzen, sind im hier betrachteten Zeithorizont jedoch als unrealistisch zu betrachten (siehe auch Kapitel 5.4.3).

Abb. 16 > Kontext der Nahrungsmittelproduktion

Das Schema weist auf den Kontext, in dem die Nahrungsmittelproduktion eingebettet ist. Massnahmen zur Reduktion der N-Verluste sind zwar in allen Bereichen 1–3 möglich, aber bezüglich Fristigkeit und Realisierbarkeit sehr unterschiedlich (siehe Text 5.4.1–5.4.3).



Die im Folgenden dargestellten Wenn-Dann-Analysen für Landwirtschaft/Ernährung (Wenn-Dann «MTFR-IIASA») fokussieren auf den quantitativ grob abschätzbaren Bereich der kurz bis mittelfristig realisierbaren technischen und betrieblichen Massnahmen (Abb. 17, Bereich 2). Dass mit einem solchen Paket verbindlicher Massnahmen inklusive Kontrollen innerhalb von 20 Jahren eine grosse Reduktion der NH_3 Emissionen erreicht werden kann, zeigt das Beispiel Dänemark. Mit den Massnahmen wurden nicht nur die Emissionen, sondern auch die induzierte Deposition reduziert. In der Folge wird nun, zeitlich verzögert, auch eine Verminderung der Nitratauswaschung beobachtet (Hansen 2011).

Da sich bei den Ernährungsgewohnheiten (Abb. 17, Bereich 3) ein Wandel nicht über Gebote oder gar Verbote steuern lässt, fehlen entsprechende Datengrundlagen für eine Wenn-Dann-Analyse. Das Ernährungssystem hat hohe Rückkopplungen und gleichzeitig sind vielfältige Handelsbeziehungen mit dem Ausland (Import/Export von Nahrungs-, Futter- und Düngemittel) zu beachten. Im Rahmen dieser Studie soll im zweiten Unterkapitel 5.4.3 aber zumindest auf den Einfluss der Ernährungsgewohnheiten auf den N-Kreislauf hingewiesen werden, ohne den Anspruch zu erheben, daraus einfache Lösungen ableiten zu können.

5.4.2 Massnahmenpaket «verstärkte Reduktionsmassnahmen» («MTFR-IIASA»)

Für die vorliegende Wenn-Dann Analyse wird das Potenzial und die Wirkung eines «maximum technical feasible reduction» (MTFR) Szenarios für die Schweiz bis 2020 und darüber hinaus abgeschätzt. Die Datengrundlage stammt aus einer Szenarienbetrachtung des Internationalen Instituts für angewandte Systemanalyse (IIASA) zur Abschätzung der noch vorhandenen Reduktionspotenziale für die Revision des Göteborg Protokolls (IIASA 2011). Dadurch könnten gemäss des IIASA die NH_3 Emissionen bis 2020 um 21 % reduziert werden (bezogen auf 2005).

Von diesem durch die IIASA abgeschätzten MTFR-Potenzial muss die bereits im Basisszenario berücksichtigte Wirkung (AP 2014–2017; Ressourcenprogramme) abgezogen werden (8 %). Damit resultiert ein verbleibendes Potenzial von 13 %. Bei Einführung des Massnahmenpakets ab 2018 wird angenommen, dass bis 2020 davon ein Drittel realisiert werden kann. Das heisst, es kann eine zusätzliche Reduktion von ca. 4 % der NH_3-Emissionen realisiert werden (vgl. Anhang A3-3). Umgerechnet auf die Summe reaktiver N-Verbindungen, die 2020 in die Atmosphäre gelangen werden (v. a. NO_x und NH_3, zusammen ca. 64 kt N), entspricht dies einer Reduktion um 3 %. Wenn zudem von einer ähnlichen Entwicklung der Auswaschung wie in Dänemark ausgegangen wird (Hansen 2011), dann wird sich diese längerfristig ab 2020 deutlich reduzieren, da die direkten N-Verluste ins Wasser abnehmen.

Im MTFR Szenario des IIASA wird die Implementierung von einigen wichtigen Massnahmen gemäss dem UNECE «Guidance document for preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources» (UNECE 2007) angenommen. Die UNECE Massnahmen zur NH_3-Emissionsminderung beschreiben den heutigen Stand der Technik und setzen bei den drei Hauptquellen der Landwirtschaft an: Im Stall, bei der Lagerung und bei der Ausbringung des Hofdüngers. Von entscheidender Bedeutung für eine maximale Wirkung ist, dass die N-Verluste über alle Stoffflüsse, d. h. entlang der ganzen Wirkungskette (Stall-Lager-Ausbringung) erfasst werden.

Die Auswahl für das IIASA-MTFR Szenario basiert jedoch nur auf einer Teilmenge der verfügbaren Massnahmen. So besteht das Szenario aus einer Auswahl von Massnahmen der UNECE Kategorie 1 («gut erforscht, praktisch erfolgreich erprobt und mit quantitativen Daten belegt»). Eine Potenzialbetrachtung des BAFU zur «Weiterentwicklung des Luftreinhaltekonzepts» (BUWAL 2005) hat bedeutend grössere NH_3-Reduktionspotenziale von bis zu 35 % ergeben. Eine Szenarioanalyse der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2030 hat ein maximales technisches Reduktionspotenzial in dieser Grössenordnung bestätigt (SHL 2011:)[9]. Einzelne Teilbereiche wie zum Beispiel die Verluste in die Atmosphäre bei der Ausbringung sind Gegenstand aktueller Forschung (Sintermann, Neftel et al. 2012). Die im vorliegenden Wenn-Dann Szenario verwendeten technischen NH_3–Reduktions-potenziale des IIASA sind damit, langfristig gesehen, eher konservativ geschätzt.

Nachfolgend soll der Vergleich mit Dänemark aufzeigen, dass eine signifikante Reduktion mit dem MTFR Szenario für die Schweiz erwartet werden kann. Neben verschie-

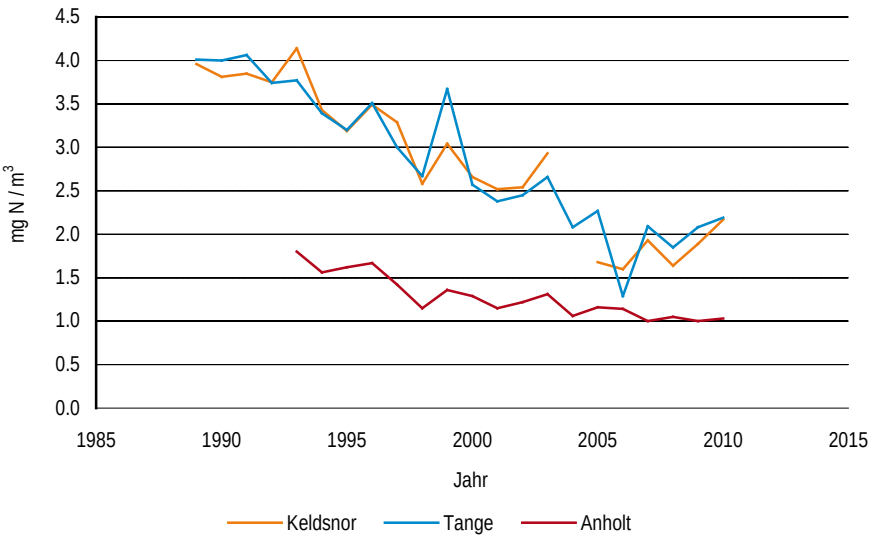
[9] Siehe auch eine frühere Studie der: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau: «Ammoniak-Emissionen in der Schweiz» (FAL 1997)

denen Unterschieden besitzt Dänemark eine mit der Schweiz vergleichbare durchschnittliche Nutztierdichte (ca. 1,5 GVE/ha), was für die NH_3-Emissionen wichtig ist. 1990 hatte Dänemark in ländlichen Regionen ähnliche Immissionskonzentrationen (Summe NH_3 und NH_4^+) wie die Schweiz (ca. 4 µg N/m³). In Dänemark haben die Konzentrationen mit der Umsetzung der Massnahmen kontinuierlich abgenommen, während sie in der Schweiz unverändert hoch blieben. Heute misst Dänemark nur etwa halb so hohe Immissionen (EMEP 2011a) infolge der Minderung der NH_3-Emissionen um 40 % innerhalb von 20 Jahren. Diese Reduktion der treibenden Flüsse zeigt sich nun mit zeitlicher Verzögerung auch in einer Reduktion der induzierten Flüsse, insbesondere einer Reduktion der Nitratbelastung des Grundwassers und der damit einhergehenden Auswaschung (Hansen 2011). Gemäss einer Modellierung von Kronvang et. al (2008) hat sich die Auswaschung aus den landwirtschaftlichen Böden in 20 Jahren um 33 % reduziert.

Verantwortlich für diese Reduktionen ist ein Massnahmenpaket, das im Wesentlichen aus UNECE Massnahmen der Kategorie 1 und 2 besteht. Daneben wurde ein umfassendes Massnahmenpaket zur Reduktion der Nitratauswaschung umgesetzt (vgl. dazu auch Tab. 31). Dieses enthält Massnahmen wie Optimierung der Fruchtfolgen, Bodenbedeckung im Winter, Umbruchverbot, Anforderungen an den Anbau von Zwischenfrüchten («catch crops»), etc. In der Schweiz sind solche Massnahmen ebenfalls heute schon in Ausführung von Art. 62a GSchG umgesetzt, allerdings nur auf Flächen in Zuströmbereichen von belasteten Grundwasserfassungen.

Abb. 17 > Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in Dänemark

Zeitreihen gemessener Ammoniak (NH_3)- und Ammonium (NH_4^+)-Konzentrationen in der Luft an drei Standorten. Keldsnor und Tange sind mitten in Landwirtschaftsgebieten, Anholt ist ein Hintergrundstandort, eine Insel zwischen Dänemark und Schweden (ca. 50 km vom jeweiligen Festland entfernt).



EMEP 2011a

5.4.3 Ernährung

In der Schweiz werden relativ viele tierische Nahrungsmittel (Fleisch, Milch und Milchprodukte wie Käse, etc.) konsumiert. Die Produktion von hochwertigen tierischen Nahrungsmitteln benötigt bedeutend mehr Ressourcen (Futtermittel, Wasser etc.) als die Produktion einer vergleichbaren Kalorienmenge an pflanzlichen Nahrungsmitteln[10]. Zudem verursacht die Produktion von importierten Futtermitteln im Herkunftsland meist einen erheblichen, stickstoff- und klimarelevanten, ökologischen Fussabdruck. Verschiedene neue Studien (bspw. Zessner 2011) weisen darauf hin, dass die Menschen in der westlichen Welt deutlich mehr tierische Proteine als nötig aufnehmen. Der Fleischkonsum ist zudem oft sogar höher als es für eine ausgewogene, gesunde Ernährung optimal wäre. Die Diskussion über die gesundheitlichen Aspekte werden jedoch kontrovers geführt. Dazu kommt, dass in den letzten Jahrzehnten der Konsum von wenig edlen Fleischstücken zurückgegangen ist, während das für den Menschen wertvolle Protein aus den Nebenprodukten der Fleischverarbeitung vermehrt in die Tiermehlfraktion gelangt. Folglich könnten durch eine Anpassung der Ernährungsgewohnheiten erhebliche Synergien zwischen Gesundheit und Ressourcenverbrauch und den damit zusammenhängenden negativen Umweltauswirkungen bezüglich Luft, Klima, Boden, Wasser genutzt werden (Kaenzig & Jolliet 2006).

Eine Reduktion des Konsums von Fleisch- und Milchprodukten und/oder deren besserer Verwertung wird auch zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zwecks Bekämpfung der Klimaänderung gefordert. Gemäss Garnett (2011) und Stehfest et. al (2009) ist dies eine der wichtigsten und einflussreichsten Massnahmen mit hoher Priorität im Landwirtschaftsbereich. Auch in der Klimastrategie Landwirtschaft ist es ein Element (BLW 2011b). So soll eine «entsprechende Entwicklung der Konsum- und Produktionsmuster» einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen aus dem Sektor Landwirtschaft-Konsum-Ernährung leisten. Bei der Betrachtung des Bezugsjahres 2020 kann bezüglich Ernährungsumstellung kein relevanter Beitrag zur Lösung der Problematik erwartet werden. Diese sehr komplexe Angelegenheit soll denn auch dieser Stelle nicht vertieft behandelt werden.

Zusammenfassend darf davon ausgegangen werden, dass bei den Ernährungsgewohnheiten und bei der Optimierung der Verwertung der Nahrungsmittel zwar ein erhebliches Potenzial für Massnahmen zur Entlastung des N-Kreislaufs brach liegt. Es lässt sich aber bestenfalls langfristig realisieren. Das Erreichen der dazu notwendigen gesellschaftlichen Akzeptanz dieser Handlungsfelder für die Anpassung an eine globale Nachhaltigkeit (Rio + 20) ist ein kritischer Faktor. Dänemark hat mit seinem technischen Massnahmenpaket «verstärkte Reduktionsmassnahmen» Erfolge erzielt. Es empfiehlt sich daher, dieses Stickstoffreduktionsprogramm angepasst an Schweizer Verhältnisse zu übertragen und umzusetzen (siehe A3-3). Zusätzliche Reduktionen beim N-Input wären in Ergänzung zu den Massnahmen nach AP 2014–2017 ab ca. 2020 möglich und würden zu einer besseren Schliessung der Stoffkreisläufe beitragen.

[10] Um das in der Schweiz als Grasland anfallende Raufutter zu verwerten, ist allerdings die Produktion von Milch und Fleisch über Wiederkäuer sinnvoll.

Exkurs zum Selbstversorgungsgrad

Für die Landwirtschaftspolitik stellt sich eine weitere Herausforderung, welche im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht speziell behandelt werden konnte: Es bestehen unterschiedliche Ansprüche an den Selbstversorgungsgrad[11] der Schweiz mit Nahrungsmitteln. Dadurch werden Bedingungen an die Inlandproduktion gestellt, welche im Lichte der Stickstoffproblematik zu diskutieren sind. Es stellt sich die Frage, ob die Schweiz genügend Boden-Ressourcen besitzt und diese angemessen schützt, um mit nachhaltiger landwirtschaftlicher Produktion den gegenwärtigen Bruttoselbstversorgungsgrad von knapp 60 % (BLW 2012) (der Nettoselbstversorgungsgrad beträgt 52 % gemäss SBV 2010) aufrecht zu erhalten. In der Botschaft zur Agrarpolitik (BLW 2012, Tab. 9) wird das Ziel anvisiert, die Bruttoproduktion bis 2017 um 1,2 % zu steigern (Nettoproduktion um 2,8 %). In diese Diskussion um den Selbstversorgungsgrad sollten die Ernährungsgewohnheiten und die Verluste im «Nahrungsmittelsystem» Schweiz einbezogen werden. Im aktuellen Basisszenario mit dem relativ starken Bevölkerungswachstum nimmt der Selbstversorgungsgrad jedenfalls ab. Faktum ist, dass weltweit pro Kopf der Bevölkerung ca. 72 Aren landwirtschaftliche Nutzfläche zur Verfügung stehen, während die Schweiz im Inland lediglich über 14 Aren pro Kopf verfügt (Lehmann 2011). Eine Folge davon zeigt auch ein Artikel des BAFU-Magazins «Umwelt», der angibt, wie viele Hektaren Kulturland in anderen Ländern benötigt werden, um den Futterbedarf der Nutztiere in der Schweiz zu decken (BAFU 2011a).

[11] Der Selbstversorgungsgrad ist definiert als Verhältnis zwischen der Inlandproduktion und dem inländischen Gesamtverbrauch. Je nachdem, ob der Import von Futtermitteln eingerechnet wird oder nicht, spricht man von Bruttoselbstversorgungsgrad (inkl. importierte Futtermittel) oder Nettoselbstversorgungsgrad (exkl. Futtermmittelimport).

6 > Zielerreichung und Handlungsbedarf

Aus den Stickstoffflüssen 2020 lässt sich ableiten, dass bis 2020 selbst unter weitergehenden Wenn-Dann Annahmen die gesetzten Ziele nicht erreicht werden können. Es besteht demnach ein zusätzlicher Handlungsbedarf. In den Bereichen Energie/Klima («E2050»), und Luftreinhaltung («LRK») werden die Potenziale weitgehend ausgeschöpft. In der Landwirtschaft («MTFR-IIASA») sind noch bedeutende Potenziale vorhanden.

6.1 Zielerreichung

In diesem Kapitel wird die Wirkung der vorgesehenen Reduktionsmassnahmen bis 2020 mit den in Kapitel 3.2 erwähnten nationalen und internationalen Zielvorgaben verglichen. Tab. 19 gibt einen Überblick zu der Zielerreichung im Basisszenario bis 2020.

Erläuterung zu den Spalten von Tab. 19**:**
Pro Spalte wird jeweils ein Zielsystem für Stickstoff betrachtet:

- *«IGW & Crit. Load»:* Der LRV-Immissionsgrenzwert (IGW) für Ozon, und der Critical Load für Säure implizieren ein Reduktionsziel für NO_x-Emissionen.
- *«Crit. Load»:* Der Critical Load für Stickstoff impliziert ein Reduktionsziel für NH_3-Emissionen.
- *«UZL»:* Das Umweltziel Landwirtschaft für die NH_3-Emissionen.
- *«AP 2014–2017»:* Das Ziel der Agrarpolitik 2014–2017 für die NH_3-Emissionen.
- *«OSPAR»:* Das Ziel des OSPAR-Abkommens zur Reduktion des N-Eintrags in die Nordsee um 50 % gegenüber 1985 wird in den UZL sinngemäss auf alle Grenzflüsse ausgedehnt. Der in der Tabelle genannte Wert 42 kt N stammt aus Zobrist (2013).

Erläuterung zu den Zeilen von Tab. 19**:**

- *«Ziel»:* Für jedes Zielsystem (in den Tabellenspalten) werden die Stickstoff-bezogenen Ziele aufgeführt (in kt N).
- *«Niveau 2005»:* N-Flüsse 2005 aus den Stoffflusssystemen Kapitel 4.4 (in kt N).
- «Nötige Reduktion zur Zielerreichung (% bezüglich 2005)»: Die zur Erreichung des Zieles benötigte Reduktion in Prozent, bezogen auf das Niveau 2005.
- *«Niveau Basisszenario 2020»:* N-Flüsse 2020 aus den Stoffflusssystemen Kapitel 4.4, (kt N).
- *«Erreichte Reduktion im Basisszenario 2020»:* Die auf dem Weg zur Erreichung des Zieles bereits erwartete prozentuale Reduktion im Jahr 2020, bezogen auf das Niveau 2005.
- *«Verbleibende Ziellücke im Basisszenario 2020»:* Differenz zwischen Ziel und Basisszenario 2020, absolut in kt N.

Tab. 19 > Ziele und Basisszenario 2020

Ziele und Basisszenario 2020 absolut in kt N und relativ in Prozent bzgl. 2005. Alle Zahlen sind auf zwei signifikante Stellen gerundet. Die Ziellücke zeigt die Differenz zwischen Basisszenario 2020 und Zielwert.

	Zielsysteme				
	IGW & Crit. Load	Crit. Load	UZL	AP 2014–2017	OSPAR
	Luftemission				Eintrag in Gew.
	No_x	NH_3	NH_3 aus Landw.	NH_3 aus Landw.	N
Ziel (in kt N)	13	31	25	41	42
Niveau 2005 (in kt N)	25	51	49	49	72
Nötige Reduktion zur Zielerreichung (% bzgl. 2005)	50 %	40 %	49 %	16 %	42 %
Niveau Basisszenario 2020 (in kt N)	16	48	45	45	69
Erreichte Reduktion im Basisszenario 2020 (% bzgl. 2005)	41 %	5.7 %	7.8 %	7.8 %	3.2 %
Verbleibende Ziellücke im Basisszenario 2020 (in kt N)	3.5	17	20	4.0	28

Abk.: IGW: Immissionsgrenzwert, UZL: Umweltziele Landwirtschaft, AP 2014–2017: Agrarpolitik 2014–2017.

Tab. 20 gibt einen Überblick zu den zusätzlichen, d. h. über das Basisszenario hinausgehenden Reduktionspotenzialen der drei Wenn-Dann-Analysen (E2050, LRK, MTFR-IIASA). Die angegebenen Werte sind mit der Zeile «Erreichte Reduktion im Basisszenario 2020 (% bzgl. 2005)» in Tab. 18 zu vergleichen: Sie geben die zusätzlichen Reduktionspotenziale bis 2020 in Prozentpunkten an.

Tab. 20 > Reduktionspotenziale der Wenn-Dann Analysen

Reduktionspotenziale der Wenn-Dann Analysen 2020 in Prozenten bzgl. 2005. Das Ziel der AP 2014–2017 ist nicht aufgeführt, da die Wirkungen der betrachteten Wenn-Dann Szenarien erst nach 2017 einsetzen. Lesebeispiel: Das Szenario E2050 bewirkt bis 2020 eine zusätzliche NO_x-Reduktion von 4,2 %, d. h. zusammen mit dem Basisszenario (Tab. 19) ergibt sich eine Gesamtreduktion 45 % gegenüber 2005. Für Reduktionspotenziale, die nicht quantifiziert werden können, werden qualitative Angaben gemacht. «Positiv» heisst, dass eine zusätzliche (erwünschte) Reduktion erwartet werden kann.

Potenziale	Zielsysteme				
	IGW & Crit. Load	Crit. Load	UZL	AP 2014–2017	OSPAR
	Luftemission				Eintrag in Gew.
Wenn-Dann Szenario	NO_x	NH_3	NH_3 aus Landw.	NH_3 aus Landw.	N
E2050	4,2 %	gering positiv[1)]	keine Wirkung		keine Wirkung
LRK	8,7 %	gering positiv[2)]	gering positiv		keine Wirkung
Teilumsetzung MTFR-IIASA bis 2020	keine Wirkung	4,4 %	4,7 %		gering positiv
Langfristiges Potenzial MTFR-IIASA nach 2020	gering positiv	13,3 %	14,2 %		gering positiv

[1)] so betragen bspw. die NH3 Mehremissionen aus einem GuD ca. 0,1 % der gesamten Schweizer NH3 Emissionen.

[2)] die Wirkung der NH3-Massnahmen des LRK werden im Sz. MTFR-IIASA berücksichtigt.

Die Werte in den Tabellen zeigen, dass auf Stufe der relevanten Stickstoffflüsse zumindest bis 2020 noch keines der national und international verbindlichen Reduktionsziele erreicht werden kann. Während die NO_x-Emissionen in die Atmosphäre aufgrund der bislang getroffenen Massnahmen die Vorgaben lediglich um ca. 3,5 kt N verfehlen, so liegen die Ziele in der Landwirtschaft (NH_3) und beim Eintrag von Gesamtstickstoff in die Gewässer (vor allem in Richtung Nordsee) mit 28 kt N noch in weiter Ferne. Die Analysen zum Basisszenario zeigen ausserdem, dass es neben den vermutlich leicht positiven Entwicklungen bezüglich Reduktion der Stickstoffüberschüsse und der NH_3 Emissionen (beides explizite agrarökologische Etappenziele der AP 2014–2017) auch unerwünschte Entwicklungen gibt: Die Modellierung nach den Vorgaben von AP 2014–2017 ergibt z. B. eine deutliche Zunahme der Futtermittelimporte u.a. als Folge der weiter steigenden Milchleistung.

Das Ergebnis für das Basisszenario verbessert sich unter Einbezug der Massnahmen aus den Wenn-Dann-Analysen. So ist unter der Annahme, dass alle LRK Massnahmen («LRK») sowie die neue Energie- und Klimapolitik («E2050») wie geplant umgesetzt werden, eine Zielerreichung bezüglich des IGW für NO_2 möglich.

Bezüglich der übrigen drei Ziele wird zwar der Zielerreichungsgrad etwas besser, aber weder «E2050» noch der Einsatz aller zusätzlichen Massnahmen im Luftreinhaltekonzept «LRK» vermögen mit ihren Reduktionen, die N-Flüsse den Zielvorgaben entscheidend näherzubringen. Mit einem umfangreicheren Massnahmenpaket in der Landwirtschaft («MTFR-IIASA») könnten hingegen ab 2018 zunehmend deutlichere Wirkungen erreicht werden.

Die Bedeutung von Reduktionsmassnahmen für NH_3 hat in einer Stickstoffflussbetrachtung deshalb ein hohes Gewicht, weil, wie in Kapitel 5.5.1 erwähnt, NH_3-Reduktionserfolge fast dreimal höher zu Buche schlagen als Reduktionen der gleichen Massen an NO_x. Wie aus der Entwicklung des Basisszenarios ersichtlich, wird die Bedeutung der NH_3-Emissionen aus der Landwirtschaft durch die Tatsache grösser, dass in der Luftreinhaltung in den vergangenen Jahren erfolgreich bedeutende Reduktionsanstrengungen bezüglich NO_x umgesetzt wurden (z. B. laufende Anpassungen der Emissionsgrenzwerte bei Feuerungen und beim Verkehr an den Stand der Technik) und die Reduktionspotenziale für NO_x zu einem grossen Teil ausgeschöpft sind.

6.2 Handlungsbedarf

6.2.1 Konsequenzen aus der Betrachtung zur Zielerreichung

Die Ergebnisse der Wenn-Dann Analysen zur Zielerreichung zeigen in Bezug auf die N-Flüsse für 2020 noch einen umfassenden Handlungsbedarf auf. Im Rahmen der Umsetzung des totalrevidierten CO_2-Gesetzes und der Ausarbeitung der bundesrätlichen Strategie zum Ausstieg aus der Atomenergie werden zurzeit intensiv Massnahmen geprüft, welche auch eine gewisse Wirkung bezüglich der Reduktion von Stickstoffemissionen entfalten. Hier darf mit erwünschten Veränderungen in den kommenden Jahren gerechnet werden, auch wenn sie je nach N-Komponente bescheiden ausfallen werden. Mit einer erfolgreichen Luftreinhaltepolitik konnten ab Mitte der 80er Jahre wirksame und kostengünstige Massnahmen auf allen Stufen Bund, Kantone und Gemeinden umgesetzt und damit Stickoxidemissionen aus Feuerungen und Motorfahrzeugen deutlich reduziert werden. Die «tiefhängenden Früchte» sind weitgehend geerntet, zusätzliche Massnahmen sind zwar möglich, haben aber geringere Reduktionspotenziale bei gleichzeitig höherem Aufwand (tiefere Kostenwirksamkeit).

In der Landwirtschaft wurden bezüglich Stickstoff bisher hinsichtlich Frachtreduktion erst eine begrenzte Anzahl wirksamer Massnahmen umgesetzt. Dies erfolgte in der Vergangenheit oft auf freiwilliger Basis. Seit 2008 werden Ressourcenprogramme bezüglich Verminderung der N-Verluste umgesetzt und werden mit ökonomischen Anreizen unterstützt. Ab 2014 sollen zusätzlich noch Ressourceneffizienzbeiträge eingeführt werden (BLW 2012, p. 221). Auch unter Berücksichtigung der Komplexität des Systems Landwirtschaft / Nahrungsmittelproduktion ist im Sektor Landwirtschaft noch ein erhebliches technisches und betriebliches Reduktionspotenzial vorhanden. Wenn dieses realisiert werden kann, hat das nicht nur für die Landwirtschaft, sondern auch für die Umwelt und die Abfallwirtschaft positive Auswirkungen (siehe Abb. 16). Zusätzliche Potentiale bestehen im Bereich Ernährung und Konsum.

6.2.2 Synergien und Zielkonflikte

Das Stoffflusssystem zeigt anschaulich, dass jede erwünschte, direkte Änderung auch indirekte Wirkungen nach sich zieht. Diese können sich in ihren Auswirkungen ergänzen und gegenseitig verstärken und somit Synergien erzeugen. Umgekehrt können Massnahmen untereinander auch Zielkonflikte auslösen. Diese sollen an dieser Stelle für die betrachteten Zielsysteme untersucht und aus der Sicht Stickstoff grob bewertet werden.

Tab. 21 zeigt eine Matrix mit Zielsystemen aus den Wenn-Dann-Analysen. Die Matrix ist symmetrisch, die Bewertungen oberhalb und unterhalb der Diagonalen sind deshalb identisch, weshalb die untere Hälfte weggelassen wird. Die Diagonalelemente selber sind zielkongruent und werden deshalb nicht bewertet. Jedes Matrixelement gibt mit seiner Farbe an, ob eine Synergie auftritt (dunkelgrün für eine starke, hellgrün für eine schwache Synergie) oder ein Zielkonflikt wahrscheinlich ist (rot für starke, hellrot für schwache Zielkonflikte). Weiss bedeutet, dass keine direkte Wechselbeziehung besteht.

Für ein Zielsystem als Ganzes lassen sich allerdings nur begrenzt Aussagen zu Synergien und Zielkonflikten machen, solange offen bleibt, mit welchen Instrumenten und Massnahmen die Ziele erreicht werden sollen. Deshalb sind in der Spalte «Spezifikationen» der Tab. 21 die Zielsysteme weiter aufgefächert und teilweise mit der vorgeschlagenen Strategie zur Zielerreichung ergänzt, wo dies sinnvoll und möglich ist:

- *Klimastrategie Landwirtschaft:* Sie enthält noch keine konkreten Massnahmen und Instrumente, aber die AP 2014–2017 mit ihren Massnahmen (WDZ) wird als erster Schritt in Richtung der umfassenden Ziele der Klimastrategie betrachtet.
- *Umweltziele Landwirtschaft (UZL):* Hier werden nur die stickstoff-spezifischen Ziele betrachtet: Reduktion der NH_3–Emissionen und Reduktion von Gesamtstickstoffemissionen in die Gewässer.
- Luftreinhaltekonzept (LRK). Hier sind die nationalen Reduktionsziele bezüglich N-haltigen Luftschadstoffen subsummiert und es werden die «eingeleiteten» und «zusätzlichen» Massnahmen betrachtet.
- Energiestrategie 2050 mit dem CO_2–Gesetz als erstem Schritt der Energiestrategie. Die möglichen Massnahmen werden unterschieden in Massnahmen zur Energieeffizienz, der Förderung von erneuerbaren Energien und der Erstellung neuer GUD/Forcierung WKK.

*An dieser Stelle sei betont, dass die folgende Übersicht nur Synergien und Zielkonflikte aus Sicht Umwelt, und sogar noch eingeschränkter nur **aus Sicht Stickstoff** enthält. Es gäbe noch weitere Synergien und Zielkonflikte, wenn die gesamte Umwelt (z. B. weitere Schadstoffe, Biodiversität, Landschaft) berücksichtigt würde und erst recht wenn auch noch soziale und ökonomische Aspekte einbezogen würden.*

Tab. 21 > Synergien und Zielkonflikte verschiedener Zielsysteme

Die Synergien S1-S8 und die Zielkonflikte Z1-Z2 sind unter der Tabelle in Stichworten charakterisiert, im nachfolgenden Text ausführlicher erläutert. Abk. LRK: Luftreinhaltekonzept, UZL Umweltziele Landwirtschaft.

Zielsysteme		Energiestrategie 2050 und CO_2-Gesetz			LRK	UZL	Klimastrategie Landwirtschaft & AP 14–17
	Spezifikationen	Energie-effizienz	Erneuerb. Energie	GuD/ WKK	Eingeleitete & zus. Massn.	NH_3: -40%, N in Gew.: -50%	Reduktion N2O / NH_3
Klimastrategie Landwirtschaft & AP 14–17	Reduktion N2O / NH_3	S4	S1 / Z1	Keine Wirkung	S5, S8	S7 / S8	
UZL	NH3: -40%, N in Gew.: -50%	S3	S2 / Z1	Z2	S6		
LRK	Eingeleitete & zusätzliche Massnahmen	S1	S2 / Z1	Z2			
Energiestrategie 2050 und CO_2-Gesetz	Energieeffizienz						
	Erneuerbare Energien						
	GuD/ WKK						

Zielkonflikt	Synergie
schwach	schwach
stark	stark

S1 Verbrauchsreduktion fossiler Energieträger => weniger N-Emissionen.
S2 Substitution fossiler Energieträger => weniger N-Emissionen.
S3 Geringere N-Emissionen durch Energieeffizienz, dadurch geringere Deposition.
S4 Klimastrategie Landwirtschaft enthält auch Effizienzziele, Verminderung N_2O-Emissionen trägt zur Erreichung der Klimaziele bei.
S5 weniger N_2O-Emissionen => ziel-kongruent mit LRK, weniger N-Einträge.
S6 weniger NH_3-Emissionen (UZL) => ziel-kongruent mit LRK, weniger N-Einträge.
S7 Die Klimaziele der UZL weisen in dieselbe Richtung wie jene der Klimastrategie Landwirtschaft.
S8 Reduktion der Tierbestände gemäss WDZ vermindert NH_3-Emissionen.
Z1 Vermehrte Nutzung von Biomasse/Holz => höhere NO_x-Emissionen, evtl. höhere NH_3-/Nitratverluste bei Vergärung in Biogasanlagen.
Z2 Neue GUD/WKK => zusätzliche NO_x/NH_3-Emissionen.

Tab. 21 zeigt auf den ersten Blick, dass die Synergien zwischen den berücksichtigten Zielsystemen überwiegen (mehr grünliche als rötliche Felder). In den folgenden Beschreibungen werden Wirkungsbeziehungen zwischen dem erstgenannten und den übrigen Zielsystemen diskutiert (beginnend mit der 1. Zeile).

Wirkungsbeziehungen zwischen «Klimastrategie Landwirtschaft & AP 2014–2017» und der «Energiestrategie 2050/CO_2-Gesetz», dem «LRK» und den «UZL»

> Zwischen der Klimastrategie Landwirtschaft und der neuen Energiestrategie 2050 ergeben sich mehrheitlich Synergien, weil die Förderung von Energieeffizienz **(S4)** und erneuerbaren Energien **(S1)** gemeinsame Elemente beider Strategien sind und das Ziel übereinstimmt. Es gibt jedoch in der Energiestrategie 2050 nur wenige spezifische Massnahmen, welche für die Landwirtschaft relevant sind. Die intensivierte

Nutzung von Holz und Biomasse ist dabei eine Ausnahme. Bei einer Steigerung der Biogas-Produktion fallen mehr Vergärungsprodukte an, welche ein NH_3- und Nitrat-Verlustpotenzial besitzen **(Z1).** Die Tragweite dieses Zielkonfliktes hängt von der eingesetzten Technologie und der Lagerung bzw. Verwendung respektive der Ausbringungstechnik der Vergärungsprodukte ab. Die geplanten GUD/WKK haben für die Emissionen aus der Landwirtschaft keine Bedeutung.

> Die Klimastrategie Landwirtschaft zeigt Synergien sowohl mit dem LRK als auch mit den UZL: Primär wird eine Reduktion der N_2O- **(S5)** (und CH_4-Emissionen) angestrebt, sekundär wird durch Reduktion des Energieverbrauchs eine zusätzliche Verminderung von Luftschadstoffemissionen erreicht. Im Weiteren entspricht das UZL-Klimaziel auch dem 2-Grad-Klimaziel, das heisst es ist mit dem Ziel der Klimastrategie Landwirtschaft kongruent **(S7)** Eine weitere wichtige Synergie ist die beabsichtigte ökologische Optimierung der Suisse-Bilanz[12] im Rahmen der Klimastrategie. Den Beweis der Emissionsreduktion muss die Suisse-Bilanz jedoch noch erbringen. Mit der durch die AP 2014–17 prognostizierten Reduktion der Tierbestände ist in Übereinstimmung mit dem LRK und den UZL auch eine Reduktion der NH_3-Emissionen zu erwarten **(S8)**.

Wirkungsbeziehungen zwischen den «UZL» und der «Energiestrategie 2050/CO_2-Gesetz» und dem «LRK»

> Durch die verminderten NO_x-Emissionen aufgrund der Energieeffizienzmassnahmen **(S3)** gelangt auch weniger Stickstoff durch Deposition auf Landwirtschaftsflächen. Weitere analoge Synergien ergeben sich auch aus dem forcierten Einsatz erneuerbarer Energien (Sonnen-, Windenergie sowie Geothermie) **(S2).**

> Gleichzeitig entstehen Zielkonflikte aus dem forcierten Einsatz von Holzfeuerungen und Biogasanlagen **(Z1).** Die Tragweite dieses Zielkonfliktes hängt von der eingesetzten Technologie und der Verwendung respektive der Ausbringungstechnik der Vergärungsprodukte ab.

> Der geplante Bau von neuen GUD und der Ausbau fossil betriebener WKK-Anlagen wird einen gewissen Anstieg der NO_x-Emissionen zur Folge haben. In kleinerem Umfang gilt dies auch für NH_3-Emissionen (Verluste aus SCR-Abgasreinigungstechnologien). Damit entsteht ein Zielkonflikt **(Z2).** Auch hier gilt wieder, dass das Ausmass des Konflikts von der Anzahl neuer GUD und des Ausbaus der WKK-Anlagen abhängig ist.

> Hinsichtlich der Luftreinhaltekonzeptes (LRK) ergeben sich ausschliesslich Synergien **(S6).** Die Vorgaben der UZL sind hinsichtlich Emissionen (NH_3) und Immissionen (Critical Levels/Loads) auf die Ziele des LRK ausgerichtet und sind damit kongruent.

Wirkungsbeziehungen zwischen dem «Luftreinhaltekonzept» und der «Energiestrategie 2050/ CO_2-Gesetz»

> Das LRK sieht eine Reduktion der Emissionen von NO_x in die Atmosphäre vor. Synergien **(S1)** ergeben sich dabei mit den Energieeffizienzmassnahmen im Gebäudebereich der Energiestrategie 2050. Der Verbrauch von fossilen Energieträgern

[12] Die Suisse-Bilanz ist ein Vollzugs- und Planungsinstrument und dient zum Nachweis einer «ausgeglichenen Stickstoff- bzw. Phosphorbilanz», gemäss Direktzahlungsverordnung

wird dadurch reduziert und damit primär auch der Ausstoss von NO_x in die Atmosphäre.
> Derselbe Synergieeffekt ergibt sich bei den erneuerbaren Energien aus dem forcierten Einsatz von Sonnen- und Windenergie sowie Geothermie **(S2).**
> Zielkonflikte hingegen entstehen zwischen dem LRK und der Energiestrategie dort, wo angebotsseitig zusätzliche NO_x-Emissionen entstehen **(Z1).** Dies ist dann der Fall, wenn Holz und Biogas vermehrt als Brennstoffe genutzt werden. Z1 hängt jedoch auch stark von der eingesetzten Technologie der Holzfeuerungen (NO_x) sowie der Verwendung der Vergärungsprodukte (NH_3, NO_3) und der Technologie der Biogasanlagen (NO_x) ab.
> Der geplante Bau von neuen GUD/WKK wird einen Anstieg der NO_x-Emissionen zur Folge haben, in kleinerem Umfang gilt dies auch für NH_3-Emissionen **(Z2).**

Angesichts der Vielzahl an vorgeschlagenen Massnahmen insbesondere in der Klimastrategie Landwirtschaft, wurden hier weitere mögliche Zielkonflikte mit anderen Umweltzielen, bspw. dem UZL zu Biodiversität, nicht analysiert. Mögliche Zielkonflikte und Trade-offs könnten sein: Intensivierung vs. Extensivierung des landwirtschaftlichen Produktionssystems, Kühlung/Abluftreinigung von Stallanlagen zwecks Luftreinhaltung vs. Energieverbrauch, vermehrte Kraftfutterproduktion im Inland vs. Importe, Aufrechterhaltung des Produktionsniveaus bei starkem Bevölkerungswachstum vs. Zunahme der Nahrungsmittelimporte. Ähnliches gilt für Synergien. So zielen die Grundsätze der Klimastrategie Landwirtschaft auf eine Annäherung zwischen der Klima- und der Ressourcenthematik sowie der Biomassestrategie («hohe Zielkongruenz zur nachhaltigen Ressourcennutzung», BLW 2010). Ob und wie stark diese Synergien auch bezüglich Stickstoff eine positive Wirkung entfalten, hängt massgeblich davon ab, mit welchen weiteren Massnahmen die Klimastrategie konkret umgesetzt wird (ein Aktionsplan fehlt vorläufig in der Klimastrategie Landwirtschaft).

6.3 Fazit

> Die Aktivitäten in der Energie-, Klima- und Luftreinhaltepolitik tragen nicht nur zu ihren sektoriellen Zielen bei, sondern auch insgesamt zur Optimierung des Stickstoffkreislaufs, weil sie die Frachten N-haltiger Luftschadstoffe reduzieren. Mit Ausnahme der NO_x-Emissionen erreichen sie allerdings mit den bisher ergriffenen Massnahmen nur eine relativ geringe Wirkung im gesamten Stickstoffkreislauf. Die verschiedenen Stickstoffziele können daher zumindest bis 2020 nicht erreicht werden. Ausserdem sind bei den geplanten Aktivitäten Zielkonflikte zu beachten (GUD, WKK, Holznutzung). Es besteht demnach weiterer Handlungsbedarf zur Reduktion von N-Verlusten. Die Stoffflussanalyse zeigt auf, dass in Bezug auf den Stickstoff keine einfachen und effizienten Massnahmen in Sicht sind, solange es nicht gelingt, den Netto-Input in das System Schweiz zu reduzieren. Die Potenziale der beschlossenen, sich in Umsetzung befindenden Massnahmen bei den NO_x-Emissionen werden bis 2020 weitgehend ausgeschöpft.
> Auch bei den Gewässern werden die Ziele bis 2020 nicht erreicht, gleichzeitig sind die Möglichkeiten zur weiteren N-Reduktion beschränkt, weil es sich bei den Flüssen in die Gewässer mit Ausnahme der Abwässer nicht um treibende, sondern um induzierte Flüsse handelt. Weitere grössere Investitionen in die Abwasserreinigung

wären im Verhältnis zu Massnahmen in der Landwirtschaft zudem volkswirtschaftlich nicht optimal (PG N CH 1996). Als Handlungsgrundlage sollte zunächst eine Wasserstrategie erarbeitet werden, welche dem gegenwärtigen Forschungsstand (CCHydro und NFP 61) entspricht und in der Plattform Wasseragenda 21 diskutiert werden soll. Dabei wäre auch die Frage zu diskutieren, wie weit aufgrund der Klimaänderung mit einer Zunahme der Fracht aus Regenüberläufen zu rechnen ist (Extremwetterereignissen) und welche neuen Anforderungen damit an die Siedlungsentwässerung gestellt werden.

> In der Landwirtschaft werden die Ziele bis 2020 nicht erreicht, doch hier sind die bedeutendsten Reduktionspotenziale vorhanden. Die Wenn-Dann Analyse «MTFR-IIASA» und das Beispiel Dänemark zeigen, dass ein umfassendes, auf Schweizer Verhältnisse angepasstes Massnahmenpaket grosse Wirkungen erzielen könnte. In der Schweiz müsste hierfür die zukünftige Agrarpolitik konsequent auf die Reduktion der N-Verluste und die Steigerung der N-Effizienz ausgerichtet werden. Dazu braucht es verbindlichere und kohärente Etappenziele, nach denen die Agrarpolitik und ihre Instrumente und Massnahmen ausgerichtet werden können und welche regelmässig auf ihre Zielerreichung überprüft werden. Aufgrund der Synergien ist es wichtig, dass die Klimastrategie Landwirtschaft in die zukünftige Agrarpolitik eingebettet und mit konkreten, terminierten Massnahmenpaketen versehen wird. Besonders zielführend ist – wie auch im Diskussionspapier Land- und Ernährungswirtschaft (BLW 2010) gefordert – ein weiterentwickeltes Direktzahlungssystem (im Rahmen einer Agrarpolitik, die nach 2017 verfolgt wird), welches noch expliziter auf ökologische Ziele ausgerichtet ist. Auch das Schliessen der Nährstoffkreisläufe (Nutzung von Speiseresten und Schlachtabfällen, Umsetzung des Kreislaufprinzips der Biomassestrategie, verstärkte biologische N-Fixierung, etc.) sowie die Förderung standortgerechter, einheimischer Produktionsformen scheinen grosses Potenzial zur Optimierung des N-Kreislaufs zu besitzen. Zu beachten ist ausserdem die Diskussion um den Selbstversorgungsgrad der Schweiz. Sollte dieser in der nächsten Zeit vom Bundesrat vorgegeben werden, hat dies wichtige Implikationen für den Stickstoffkreislauf in der Schweiz.

Mit den beschlossenen und vorgesehenen Massnahmen allein können demnach die Reduktionsziele zumindest bis im Jahr 2020 nicht erreicht werden. Vornehmlich in der Landwirtschaft sind aber noch beträchtliche Reduktionspotenziale vorhanden. Die umfassende Darstellung im N-Stoffflusssystem zeigt die Komplexität der Problematik und die Vielfältigkeit der Wechselwirkungen auf. Mögliche Lösungsansätze und Massnahmen sind immer im Kontext dieses Gesamtsystems zu betrachten. Gelingt eine Optimierung des Stickstoffkreislaufs, dient dies nicht nur Verbesserungen bei der Biodiversität, der Qualität der Gewässer im In- und Ausland, der Luftqualität (Volksgesundheit), der Bodenqualität (Bodenfruchtbarkeit, Nahrungsmittel), sondern schafft gleichzeitig auch gute Voraussetzungen für die Anpassung an den Klimawandel.

An dieser Stelle sei nochmal darauf hingewiesen, dass in dieser Studie lediglich technisch-ökologische Wirkungen analysiert werden. Sollten Massnahmen zur Optimierung des Stickstoffkreislaufs konkretisiert werden, müssten diese auch hinsichtlich ökonomischen und sozialen Wirkungen geprüft werden, um entscheiden zu können, wo die – begrenzten – Mittel eingesetzt werden sollen, um einen möglichst grossen Gewinn für die Umwelt und die Gesellschaft bezüglich Stickstoff zu erzielen.

> Anhang

A1 N-Flüsse und Umrechnungsfaktoren

Tab. 22 > Charakterisierung sämtlicher Flüsse des Stoffflusssystems

Die Tabelle gibt eine Übersicht zu sämtlichen im schweizerischen Stoffflusssystem verwendeten N-Flüssen mit den jeweiligen Codes (L1, L2, etc.). Weitere Informationen zu den Flüssen finden sich in Heldstab et. al 2010, die Codes stimmen überein.

L1 Hofdünger/Weidergang	Tierhaltung → Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Pflanzenbau (Land- und Forstwirtschaft)
Charakterisierung	Organisch gebundener und mineralisierter Stickstoff (NH3, NH4+, NO3-) im Hofdünger, der im Pflanzenbau eingesetzt wird inkl. Eintrag von Stickstoff in Weideflächen durch Weidegang von Hoftieren. Enthalten sind Stickstofffrachten, welche durch Emissionen (NOx, N2O, NH3 und N2) aus Landwirtschaftsböden hervorgehen, beim Austrag von Hofdünger entstehen (hier nur NOx- und N2O- Emissionen, ohne NH3-Emissionen) und beim Weidegang verloren gehen (NOx, N2O, NH3). (Entspricht den Emissionen aus Hofdünger von Fluss L6). Nicht enthalten sind Stickstofffrachten, welche durch Emissionen (NH3, NOx, N2O und N2) aus der Tierhaltung und aus Hofdüngerlager in die Atmosphäre gelangen, sowie NH3-Emissionen, die beim Ausbringen des Hofdü0ngers auf Landwirtschaftsflächen entstehen. (Entspricht den Emissionen aus Hofdünger von Fluss L4).
L2 Hofdünger in Vergärung	Tierhaltung → Vergärung (Abfallwirtschaft)
Charakterisierung	Organisch gebundener und mineralisierter Stickstoff (NH3, NH4+, NO3-) im Hofdünger, der in die Vergärung gelangt
L3 Produkte/Nahrung	Tierhaltung → Produkteherstellung und übrige Nutzungen (Produkteherstellung/Produktenutzung)
Charakterisierung	Organisch gebundener Stickstoff in tierischen Produkten wie Milch, Eier, Honig etc.und im Schlachtvieh, welche in die Produkteherstellung und Produktenutzung gelangen
L4 Emissionen	Tierhaltung → Atmosphäre (Umwelt)
Charakterisierung	NH3, NOx, N2O und N2-Emissionen aus der Tierhaltung in die Atmosphäre. Dazu gehören die NH3-Emissionen, die aus Ställen, Hofdüngerlagern und beim Ausbringen des Hofdüngers auf Landwirtschaftsflächen in die Atmosphäre entweichen (ohne NOx- und N2O-Emissionen – diese sind in Fluss L6 enthalten). Die NH3-Emissionen, die beim Weidegang der Tiere entstehen, gehören jedoch nicht dazu.
L5 Auswaschung/Abschwemmung	Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Pflanzenbau → Hydrosphäre (Umwelt)
Charakterisierung	Nitrat-Auswaschung und -Abschwemmung aus Landwirtschaftsböden in Grund- und Oberflächengewässer, verursacht durch den über die landwirtschaftliche Praxis (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung) mobilisierten Stickstoff sowie Einträge von Hofdünger, Mineraldünger, Kompost, etc.
L6 Emissionen	Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Pflanzenanbau, inkl. landwirtschaftlich genutzte organisch Böden → Atmosphäre (Umwelt)
Charakterisierung	Emissionen von NOx, N2O und NH3 aus Landwirtschaftsböden durch Weidegang und Austrag von Hofdünger (hier nur NOx- und N2O- Emissionen, ohne NH3-Emissionen, diese sind im Fluss L4 enthalten), Mineraldünger, Kompost und Klärschlamm, aus Ernterückständen, N-fixierenden Pflanzen und organischen Böden sowie indirekte Emissionen.
L7 Emissionen aus offener Verbrennung	Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Planzenanbau → Atmosphäre (Umwelt)
Charakterisierung	Stickstoffemissionen aus offener Verbrennung von landwirtschaftlichen Abfällen.

L8 Futterpflanzen Charakterisierung	Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Pflanzenbau → Tierhaltung (Land- und Forstwirtschaft) Netto-Fluss an organisch gebundenem Stickstoff in Futterpflanzen, die für die Tierhaltung verwendet werden (Fütterungsverluste im Stall gehen via Mist wieder zurück auf Landwirtschaftsböden).
L9 Ernteprodukte/Nahrung Charakterisierung	Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Pflanzenbau → Produkteherstellung und übrige Nutzungen (Produkteherstellung/Produktenutzung) Stickstofffracht in Produkten für die Lebensmittelindustrie, in Saatgut, non-food Produkten und in Energiepflanzen.
L14 Auswaschung/Abschwemmung Charakterisierung	Wald (Bäume und Böden) → Hydrosphäre (Umwelt) Nitratverluste (NO3-) aus Waldböden in Gewässer. Es findet hauptsächliche eine Auswaschung ins Grundwasser statt. Abschwemmung aus Waldböden in Oberflächengewässer vernachlässigbar klein.
L15 Denitrifikation Charakterisierung	Wald (Bäume und Böden) → Atmosphäre (Umwelt) Stickstoffemissionen (NO2, N2, NOx) durch Denitrifikation aus dem Wald in die Atmosphäre.
L 18 Holzzuwachs im Wald Charakterisierung	Wald → Wald (Land- und Forstwirtschaft) Akkumulation von organisch gebundenem und mineralisiertem Stickstoff im Wald, die durch den Zuwachs von Holz/Aufforstung zustande kommt.
P2 Emissionen NOx, NHy, N2O Charakterisierung	Verkehr → Atmosphäre (Umwelt) NOx-, NHy-, N2O-Emissionen, verursacht durch Flugverkehr (Inland), Strassenverkehr, Schienenverkehr, Schiffsverkehr, Militärflugverkehr und übrigen Offroadverkehr.
P3 Emissionen NOx, NHy, N2O Charakterisierung	Feuerungen → Atmosphäre (Umwelt) N NOx-, NHy-, N2O-Emissionen aus Energieproduktion und Feuerungen, flüchtige Emissionen und Verluste.
P4 Emissionen NOx, NHy, N2O Charakterisierung	Produkteherstellung und übrige Nutzungen → Atmosphäre (Umwelt) NOx-, NHy-, N2O-Emissionen aus industriellen Prozessen (Metallindustrie, Chemie etc.) und Produktenutzung (Sprays, Anästhesie etc.).
P8 unbehandeltes Abwasser Charakterisierung	Produkteherstellung und übrige Nutzungen → ARA (Abfallswirtschaft) Stickstofffracht im Abwasser aus Produkteherstellung und übrigen Nztzungen (Industrie und Haushalte), welches in Abwasserreinigungsanlagen gereinigt wird. Frachtgehalt: mehr als 99 % NO3, NH4 und organisch marginal und kleiner als 1 %.
P9 ungereinigtes Abwasser/Überlauf Charakterisierung	Produkteherstellung und übrige Nutzungen → Hydrosphäre Stickstofffracht in ungereinigtem Abwasser welches direkt den Gewässern zufliesst
P10 Export aus Lebensmittelindustrie und übrige Produkte Charakterisierung	Produkteherstellung und übrige Nutzungen → Ausland Stickstofffracht in exportierten Lebens- und Genussmitteln und deren Ausgangsprodukten aus der Schweiz ins Ausland.
U1 N-Fixierung Charakterisierung	Atmosphäre → Landwirtschaftsböden (Acker, Weiden etc.) und Pflanzenbau (Land- und Forstwirtschaft) Fixierung von Luftstickstoff durch landwirtschaftliche Nutzpflanzen.
U2 N-Fixierung Wald Charakterisierung	Atmosphäre → Wald (Land- und Forstwirtschaft) Fixierung von Luftstickstoff durch Waldpflanzen.
U3 Deposition auf Wald Charakterisierung	Atmosphäre → Wald (Land- und Forstwirtschaft) Atmosphärische Deposition von Stickstoffverbindungen (NOx, NHy) auf Waldböden& Wald
U4 Deposition auf Landwirtschaftsböden Charakterisierung	Atmosphäre → Landwirtschaftsböden (Land- und Forstwirtschaft) Atmosphärische Deposition von Stickstoffverbindungen (NOx, NHy) auf Landwirtschaftsböden
U5 N2-Verbrauch durch Verkehr, Feuerungen, Prozesse Charakterisierung	Atmosphäre → Produkteherstellung/Produktenutzung Verbrennung von Luftstickstoff (N2) durch Verkehr, Feuerungen und weitere Prozesse

U7 Deposition auf übrige Böden Charakterisierung	Atmosphäre → Übrige Böden der Pedo- und Lithosphäre (Umwelt) Atmosphärische Deposition von Stickstoffverbindungen (NOx, NHy) auf übrige Böden der Pedo- und Lithosphäre
U10 Verfrachtung via Luft ins Ausland Charakterisierung	Atmosphäre → Ausland Atmosphärische Verfrachtung von reaktiven Stickstoffverbindungen ins Ausland.
U11 Emissionen N2O, N2 Charakterisierung	Übrige Böden → Atmosphäre (Umwelt) Emissionen von Stickstoffverbindungen (Denitrifikation) aus Übrigen Böden
U12 Auswaschung/Abschwemmung Charakterisierung	Übrige Böden → Hydrosphäre (Umwelt) Nitrat-Auswaschung und -Abschwemmung aus übrigen Böden der Pedo- und Lithosphäre.
U13 Denitrifikation N2O, N2 Charakterisierung	Hydrosphäre → Atmosphäre (Umwelt) Stickstoffemissionen (N2O, N2, NOx) durch Denitrifikation aus öffentlichen Gewässern
U14 Abfluss via Flüsse Charakterisierung	Hydrosphäre → Ausland Abfluss an Stickstoff mit den Flüssen Rhein, Rhône, Ticino, Inn, und weiteren Grenzflüssen, die aus der Schweiz fliessen.
U17 Zuwachs der Seesedimente Charakterisierung	Hydrosphäre → Hydrosphäre (Umwelt) Akkumulation von organisch gebundenem und mineralisiertem Stickstoff, die durch Zuwachs der Seesedimente zustande kommt (Sedimentation von organischen Partikeln).
A1 Emissionen Charakterisierung	KVA/SAVA → Atmosphäre (Umwelt) Emissionen (NOx, NHy, N2O) aus KVA/SAVA in die Atmosphäre
A3 Emissionen Charakterisierung	ARA → Atmosphäre (Umwelt) Emissionen (Nox, N2O, NH3, N2) aus Abwasserreinigungsanlagen durch Nitrifikation, Denitrifikaiton und Verbrennung von Klärgas.
A5 gereinigtes Abwasser Charakterisierung	ARA → Hydrosphäre (Umwelt) Stickstofffrachten (NH4+, NO3-) im gereinigten Abwasser aus Kläranlagen in öffentliche Gewässer
I1 Zufluss via Flüsse Charakterisierung	Ausland → Hydrosphäre (Umwelt) Zufluss von Stickstoff mit Flüssen, die in die Schweiz fliessen.
I2 Import aus Lebensmittelindustrie und übrige Produkte Charakterisierung	Ausland → Produkteherstellung und übrige Nutzungen Stickstofffracht in importierten Lebens- und Genussmitteln und deren Ausgangsprodukte aus dem Ausland in die Schweiz.
I3 Futter Charakterisierung	Ausland → Tierhaltung (Land- und Forstwirtschaft) Stickstofffracht in Futter-Importen für die Tierhaltung. Importierte Futtermittel umfassen hauptsächlich a) Getreide und Getreideprodukte, Stroh (Spreu), Heu, Sojabohnen, Sonnenblumensamen, andere geniessbare pflanzliche Waren und b) Rückstände aus der Gewinnung von Sojaöl und anderen Ölen, Backfutter und anderes zubereitetes Futter, Rückstände aus der Zucker- und Stärkefabrikation, und andere Tierfutter pflanzlicher Art, Fischmehl (Statistik Bauernverband 2007).
I4 Mineraldüngermiport Charakterisierung	Ausland → Landwirtschaftsböden und Pflanzenbau (Land- und Forstwirtschaft) Stickstofffracht im Mineraldünger aus ausländischer Produktion, der in der Landwirtschaft eingesetzt wird (Anteil Inlandmineraldünger siehe Fluss P1).
I8 Verfrachtung via Luft aus Ausland Charakterisierung	Ausland → Atmosphäre (Umwelt) Atmosphärische Verfrachtung von reaktiven Stickstoffverbindungen aus dem Ausland (Import).

Faktoren zur Umrechnung der verschiedenen Stickstoffverbindungen in kt N zwecks Vergleichbarkeit der Flüsse im Stoffflusssystem.

Tab. 23 > Umrechnungsfaktoren Stickstoffverbindungen

Umrechnung	Rückrechnung
1 t NO_x-N = 3,29 t NO_x*	1 t NO_x = 0,304 t N
1 t NH_3-N = 1,22 t NH_3	1 t NH_3 = 0,824 t N
1 t N_2O-N = 1,57 t N_2O	1 t N_2O = 0,636 t N
1 t NO_3-N = 4,43 t NO_3	1 t NO_3 = 0,226 t N

*NO_x-Emissionen werden in NO_2-Äquivalent ausgewiesen.

A2 Detaillierte Darstellung der Annahmen zur Berechnung des Basisszenario

A2-1 Luft, Klima, Energie

A2-1.1 N-Flüsse aus der Energienutznung

- Die NO_x und NH_3 Emissionen aus der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen für das Basisszenario 2020 werden direkt den Emissionsdaten (Projektionen) der UNECE Submission 2011 (FOEN 2011a) entnommen. D. h. sie sind kompatibel mit dem Emissionsinformationssystem für Luftschadstoffe und Klimagase der Schweiz (Emissionsdatenbank EMIS des BAFU).
- Für die N_2O Emissionen gibt es keine Projektionen; diese gibt es nur für CO_2 und CO_2 Äquivalente (NC5, FOEN 2009c). Da die N_2O Emissionen jedoch nur eine marginale Bedeutung an den Stickstoffflüssen haben, werden sie 2009–2020 konstant gehalten. Eine Prognose der landwirtschaftlichen N_2O unter AP 2014–2017 aus ART/BLW (2011) wurde nicht verwendet, da die Systemgrenzen unterschiedlich sind. Für die vorliegende Arbeit ist dies irrelevant, da die Unterschiede im Bereich von 3 % bezügl. N_2O liegen.
- Die in EMIS implementierten Daten zum Energieverbrauch basieren auf dem mittleren Bevölkerungsentwicklungsszenario des Bundesamts für Statistik aus dem Jahr 2008 (BFS 2008), welches noch von einem tieferen Wachstum ausgegangen war als die aktualisierten Szenarien BFS (2011). Für das Jahr 2020 beträgt der Unterschied in der Zahl der Einwohner zwischen den beiden Szenarien ca. 3 %. Dies führt zu kleineren Inkonsistenzen im Datengerüst, weil die N-Flüsse welche auf die Stickstoffflüsse der vorliegenden Arbeit aber nur einen marginalen Einfluss haben.
- Die N-Flüsse für das Jahr 2005 aus Heldstab et al. (2010) basieren auf den UNECE und UNFCCC Submissionen des Jahres 2009 (FOEN 2009a, FOEN 2009b). Sie werden bis auf die Ausnahme der NH_3 Emissionen aus der Tierhaltung nicht verändert, auch wenn es aufgrund neuer Submissionen der Treibhaus- oder Luftschadstoffinventare seither kleinere Veränderungen gegeben hat.
- Für die Entwicklung im Basisszenario werden nur die gemäss Luftreinhaltekonzept (Bundesrat 2009a) als «umgesetzt» bezeichnete Massahmen (rechtskräftig beschlossen) der Luftreinhaltepolitik berücksichtigt (vgl. Tab. 24) im Gegensatz zu einer auch möglichen Übernahme eines Szenarios «eingeleitete Massnahmen» bis 2020 aus der Studie «Szenarien für die Luftschadstoffemissionen bis 2030» (BAFU 2012). Die Abschätzungen der Wirkung der gemäss LRK «eingeleiteten» und «zusätzlichen» Massnahmen werden in der Wenn-Dann Analysen «LRK» des Kapitels 5 betrachtet.
- Die für die Entwicklung im Basisszenario verwendeten Annahmen zur Klimapolitik beruhen auf den vom BAFU publizierten Szenarien die auch für den nationalen Klimabericht National Communication 5 (FOEN 2009c) verwendet wurden. Die darin enthaltenen Klimamassnahmen beruhen auf dem Stand Mitte 2009 (Ecoplan 2009), d. h. die Revision des CO_2- Gesetzes ist noch nicht enthalten.
- Nicht in der Entwicklung des Basisszenarios berücksichtigt werden die möglichen Veränderungen in der Energiepolitik und -produktion der Schweiz durch die neue Energiestrategie 2050 und deren Auswirkungen auf die N-haltigen Verbindungen. Die Auswirkungen werden in einer Wenn-Dann Analyse betrachtet.

> Nicht berücksichtigt sind die Veränderungen des Energieverbrauchs aufgrund der AP 2014–2017 gemäss ART/BLW (2011). Dies bedeutet eine Inkonsistenz mit den Annahmen im Arbeitsbereich Land-/Forstwirtschaft und Ernährung, die aber bezüglich N Flüssen irrelevant ist.
> Der Import von Energieträgern (fossile Brenn- und Treibstoffe, Holz) beträgt zusammen < 1 kt N im 2005 (Heldstab et al. 2010) und wird 2005–2020 konstant gehalten.
> Die technische N-Fixierung durch synth. Düngerproduktion ist in der Schweiz vernachlässigbar klein (< 0,01 kt N, Heldstab et al. 2010) und wird für 2005–2020 als konstant betrachtet.

A2-1.2 Luftreinhaltung/Landnutzung

> In EMIS ist die Entwicklung der landwirtschaftlichen N-Emissionen bis 2020 ohne Ressourcenprogramme und ohne Umsetzung der AP 2014–2017 gerechnet.
> Die Entwicklung im Basisszenario der landwirtschaftlichen N-Emissionen erforderte damit grösserer Anpassungen aufgrund der WDZ gemäss AP 2014–2017 und Ressourcenprogramme. Vergleiche dazu A2-2.1.
> Die biologische N-Fixierung auf der Landwirtschaftsfläche wird 2005–2020 als konstant angenommen, da gemäss ART (2011) die totale Ackerfläche konstant bleibt und im biologischen Prozess der N-Fixierung sowie der Bewirtschaftung der Flächen (bspw. durch verstärkten Anbau von Leguminosen) keine signifikanten Veränderungen zu erwarten sind.
> Die biologische N-Fixierung im Wald nimmt aufgrund einer erwarteten 2 % Zunahme der Waldflächen 2005–2020 proportional dazu um 2 % zu. Die Abschätzung der Waldflächenzunahme basiert auf der Annahme, dass von 2010–2020 der Wald nochmals gleich stark zunimmt (1,03 % gemäss Landesforstinventar LFI) wie zwischen 2005–2010, also insgesamt um 2 %.

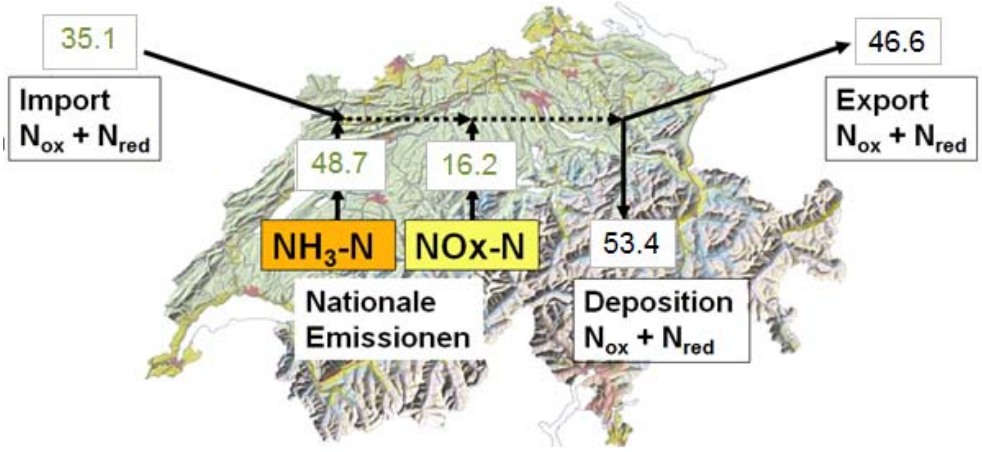
A2-1.3 Induzierte Flüsse

> Für die Importe von stickstoffhaltigen Luftschadstoffen NO_x und NH_3 aus dem Ausland in die Schweiz durch grossräumige Schadstofftransporte müssen Annahmen zu der Entwicklung der Situation im Ausland getroffen werden. Diese Entwicklung wird basierend auf den Emissionsprognosen 2005–2020 aus CEIP (2010) abgeschätzt. Darin wird ein Mittelwert der Entwicklungen der unmittelbaren Nachbarländer Italien, Deutschland, Österreich und Frankreich, eine NO_x Reduktion von 44 % und eine NH_3 Reduktion von 2 % ausgewiesen.

Veränderte NH_3 und NO_x Importe und Emissionen haben eine Veränderung der N-Depositionen auf Landwirtschafts-, Wald- und übrige Böden zur Folge. Die Abschätzung der Depositionsentwicklung basiert auf dem Depositionsmodell aus Heldstab et al. (2010). Dazu werden die reduzierten N Importe sowie die schweizerischen NO_x/NH_3 Emissionen in der Bilanz angepasst (vgl. grüne Zahlen in Abb. 18.). Beim NH_3 wird eine Depositionsentwicklung in der Schweiz bis 2020 von -20 %, für NO_x eine von -50 % angenommen und die Input-Output Bilanz anschliessend analog der Verteilung im Modell 2005 ausgeglichen. Daraus resultiert eine generelle Abnahme der Deposition um ca 18 %.

Abb. 18 > Bilanz der Luftschadstoffe NO_X (N_{ox}) und NH_3 (N_{red}) in der Schweiz 2020

Aktualisiertes Depositionsmodell für 2020, Flüsse in kt N pro Jahr.



Tab. 24 > Luftreinhaltemassnahmen im Basisszenario

Folgende Tabelle zeigt die im Basisszenario enthaltenen Luftreinhaltemassnahmen des LRK (Bundesrat 2009a).

1.1	Strassenverkehr – Anpassung Abgasvorschriften an den Stand der Technik
1.2	Luftreinhalte-Verordnung: Anpassung an den Stand der Technik im Bereich Feinstaub
1.3	Differenzierte Treibstoffsteuerrückerstattung
1.4	Partikelfilterpflicht für neue Schiffe
1.5	Partikelfilterpflicht für neue Dieselfahrzeuge des Bundes
1.6	CO2 – Abgabe für Brennstoffe
1.7	Partikelfilter für Baumaschinen
2.1	Anpassung Abgasvorschriften für schwere Nutzfahrzeuge an Stand der Technik: Euro VI
2.2	Strassenverkehr: Anpassung Abgasvorschriften an Stand der Technik: Partikelanzahl
2.6	Verminderung der Lösemittelemissionen (aus Farben und Lacken)
3.2	Verschärfte Abgasvorschriften für Motorräder

BAFU 2012

Tab. 25 > N-Flüsse Energie, Klima, Luft

Übersicht der Grundlagen für die Abschätzung relevanter N-Flüsse.

Fluss	N-Quelle	Berücksichtige Faktoren und Annahmen für Abschätzung 2020	Bemerkungen
Emissionen aus Energieverbrauch & KVA	Fixierung von atmosphärischem N_2 durch Verbrennung von Energieträgern	Beschlossene Reduktionsmassnahmen, Prognosen aus FOEN 2011a und FOEN 2011b	kleine Inkonsistenz aufgrund Update der Treibhausgas- und Schadstoffinventare im vgl. zur Datenbasis des Jahres 2005.
Technische N-Fixierung		2005–2020 konstant	aus Heldstab et al. (2010)
Import Luftschadstoffe	N aus NO_x, NH_3	Proportional zu Entwicklungen im angrenzenden Ausland gemäss CEIP (2010)	
Export Luftschadstoffe		Proportional zur Entwicklung Luftschadstoffe in der Schweiz (FOEN 2011a) und Import.	
Total Depositionen		Aus Bilanzierung von Import/Export und Inlandproduktion	
Biologische N-Fixierung	Fixierung von atm. N_2 durch Pflanzen	2005–2020 proportional zur Flächenentwicklung Wald, Landw. konstant	
Import Energieträger	N in Energieträgern	2005–2020 konstant	aus Heldstab et al. (2010)
Emissionen aus Land-/Forstwirtschaft	siehe Land-/Forstwirtschaft		

A2-2 **Land- und Forstwirtschaft, Ernährung**

A2-2.1 Landwirtschaft

Das Basisszenario unterstellt bis 2020 folgende grundsätzliche Annahmen:

- > Die Schweiz tritt keinem Agrarfreihandelsabkommen bei.
- > Die Rahmenbedingungen der Landwirtschaft entwickeln sich gemäss der Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik 2014–2017 (BLW 2012) inklusive der darin beschriebenen Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems (WDZ).
- > Das Ressourcenprogramm wird wie heute fortgeführt und durch ein Ressourceneffizienzprogramm im Rahmen der AP 2014–2017 ergänzt.
- > Wo die N-Flüsse aufgrund von Berechnungen für 2017 aus ART/BLW (2011) abgeschätzt wurden, wurde deren Entwicklung für 2017 bis 2020 linear fortgeschrieben.

Für die Berechnung der landwirtschaftlichen N-Flüsse wurde folgendes Vorgehen gewählt. In der Stoffflussanalyse 2005 (Heldstab et al. 2010) wurden die landwirtschaftlichen N-Flüsse aus der UNECE-Submission 2009 (FOEN 2009) verwendet. Kurz darauf standen verbesserte Emissionsergebnisse aus dem Agrammon-Modell zur Verfügung (Agrammon 2009). Weil diese für 2005 (und 2020) deutlich höher lagen als die bisherigen Werte, wurden die verbesserten Zahlen für die vorliegende Studie für 2005 und 2020 verwendet. Sie entsprechen den Daten, die die Schweiz in der UNECE Submission 2010 rapportiert hat (FOEN 2010). Auf diese Daten wurden zusätzliche

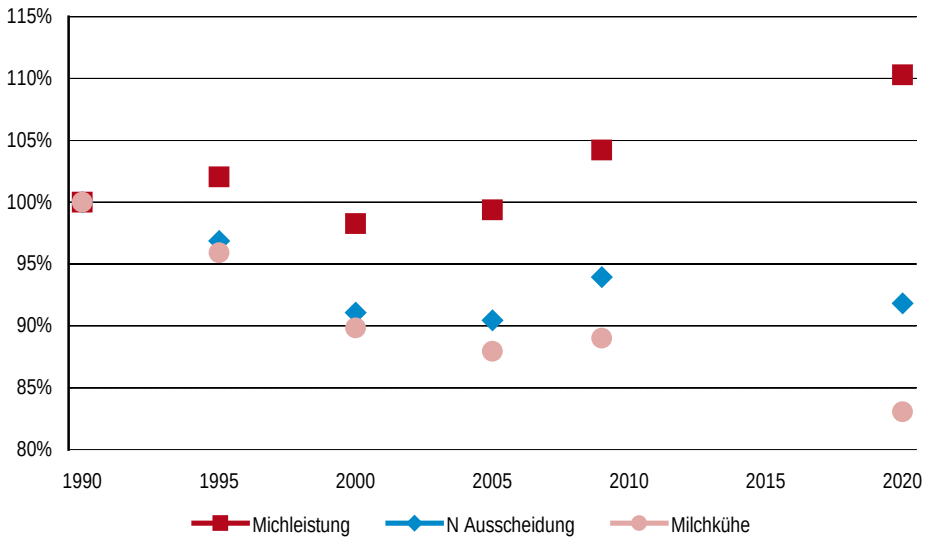
Änderungen durch AP 2014–2017 und Ressourcenprogramme/WDZ prozentual angewendet. Für alle anderen N-Komponenten der landwirtschaftlichen Emissionen (NO_x, N_2O, N_2) folgt die Entwicklung 2005–2020 innerhalb eines jeweiligen N-Flusses (L4, L5, etc) derjenigen von NH_3. Ein Vergleich mit den detaillierten LCA Modellierungen aus ART/BLW (2011) bestätigt, dass diese Vereinfachung mit geringen Abweichungen vertretbar ist.

Einzelheiten zur Abschätzung der landwirtschaftlichen NH_3-Emissionen:

- Die Entwicklung der Tierzahlen sowie der Acker- und Wiesenflächen unter AP 2014–2017 folgen den Berechnungen der ART zu den Auswirkungen WDZ (ART 2011).
- Auf den Resultaten von ART (2011) aufbauend, wurden in ART/BLW (2011) die ökonomischen Modellergebnisse mit durchschnittlichen Produktionsdaten ergänzt und mit den LCA-Daten respektive LCA–Modellen der Gruppe Ökobilanzen von ART verknüpft. Damit konnten die N-Verluste in Luft und Wasser für 2005/2007 und 2017 berechnet werden. Für das Basisszenario 2020 wurden diese Entwicklungen verwendet und bis 2020 linear extrapoliert.
- Weitere Wirkungen auf die NH_3-Emissionen mussten wegen der laufenden Ressourcenprogramme abgeschätzt werden. Dazu konnten Resultate von Kupper und Menzi (2011) benutzt werden, welche mit dem Modell Agrammon auf Basis einer aktualisierten Betriebserhebung und mit einem realistischen Umsetzungsgrad (expert judgment) die NH_3-Reduktionen durch die Ressourcenprogramme bestimmten.
- Zur Abschätzung der Trendentwicklung des N-Flusses «Hofdünger/Weidegang (L1)» aus der Schweizer Tierhaltung (gesamter Stickstofffluss der tierischen Ausscheidungen minus Luft-Emissionen in Stall und Lagerung) gibt es keine publizierten Zahlen. Die Tierzahlentwicklung gemäss ART (2011) sieht von 2005–2020 eine Reduktion der GVE um fast 10 % vor, hauptsächlich verursacht durch eine entsprechende Abnahme der Milchkühe (welche die häufigste Tierkategorie in der Schweiz sind). Gleichzeitig steigt die Milchproduktion um ca. 11 %. Dies bedeutet, dass mit weniger Milchkühen mehr Milch produziert wird und dazu die Tiere mit zusätzlichem Kraftfutter gefüttert werden müssen. Die Stickstoffausscheidung der Milchkühe wächst jedoch nicht einfach proportional mit der Zunahme der Milchproduktion. Gemäss dem Modell zur Berechnung der Treibhausgasemissionen für den Sektor Landwirtschaft, nimmt die Stickstoffausscheidung pro 1000 l gesteigerter Milchleistung um 2 % zu. Dies würde bei der bis 2020 zu erwartenden Zunahme der Milchleistung zu einer Erhöhung der N-Ausscheidung der Milchkühe von 1,4 % führen. Die Abschätzung der Stickstoffausscheidung 2020 des gesamten Tierbestandes wurde in der vorliegenden Studie mit Bilanzüberlegungen der N-Flüsse im Prozess «Tierhaltung» abgeschätzt, indem die Bilanzgleichung (Summe der Inputs ist gleich Summe der Outputs) nach der Summe der Flüsse «Hofdünger/Weidegang (L1) und «Emissionen Tierhaltung (L4)»aufgelöst wird L1+L4 = I3+L8-L2-L3, vgl. Abb. 9). Dies entspricht der Stickstoffausscheidung des gesamten Tierbestandes und ergibt eine Zunahme von 1,6 %. Der Vergleichswert von 1,4 % aus dem Modell zur Berechnung der Treibhausgasemissionen für die dominierenden Milchkühe bestätigt diese Entwicklung als plausibel.

Abb. 19 > Entwicklung der Tierzahlen, Milchleistung und N Ausscheidung

Prozentuale Entwicklung (indiziert auf 1990) der Milchkühe (1 Kuh = 1 GVE), der Milchleistung (Liter) und der gesamten N-Ausscheidung (Tonnen). Bis 2009 stammen die Zahlen aus dem THG Inventar Schweiz. Die Prognosen 2020 der Anzahl Milchkühe und Milchleistung stammen aus der Entwicklung unter AP2014–2017 (ART/BLW 2011), diejenige der N Ausscheidung aus der oben beschriebenen Bilanzierung.



- > Für die Schweine konnte aus modelltechnischen Gründen die Stickstoffausscheidung nicht separat berechnet werden und folgt der vorgehend beschriebenen Methodik der Bilanzbetrachtung. Dies gilt auch für alle anderen Tierkategorien.
- > Die Futtermittelimporte (Eiweissfuttermittel und Getreidefuttermittel) werden gemäss ART/BLW (2011) fortgeschrieben. Dabei resultiert eine deutliche Zunahme von 14 %.
- > Die Entwicklung des N-Flusses aus der Produktion tierischer Produkte wie Milch, Eier, Honig, Fleisch folgt proportional der Entwicklung der Milch- resp. Fleischproduktion gemäss ART/BLW (2011).
- > Für Entwicklung der Pflanzenprodukte für die Lebensmittelindustrie wird die erwartete Entwicklung der Kalorienproduktion aus ART/BLW (2011) verwendet.
- > Die Mineraldüngerimporte werden ebenfalls gemäss ART/BLW (2011) fortgeschrieben. Dabei resultiert eine Abnahme von 12 %.

6.3.1.1 Forstwirtschaft

- > Die N-Flüsse aus dem Energieholzverbrauch, sonstigem Holzverbrauch, Import und Export sind alle bedeutend kleiner als 5kt N und werden daher und mangels detaillierter Szenarien (abgesehen von Energieholzprognosen, welche aber nur einen Teilfluss beinhalten) nicht separat abgeschätzt und für 2005–2020 als konstant angenommen.
- > Der Lageraufbau im Wald (Holzzuwachs) von jährlich 4kt wird für 2005–2020 ebenfalls konstant gehalten.

- Die Emissionen aus dem Verbrennen von Energieholz stammen aus der UNECE Submission (FOEN 2011a) und sind im Arbeitsbereich Luft, Klima, Energie abgehandelt.
- Die Auswaschung aus dem Wald folgt proportional und direkt dem Rückgang der Deposition. Das heisst, es wird davon ausgegangen, dass die Waldböden in einem Zustand hoher Überdüngung sind, in welchem ein reduzierter Eintrag von Stickstoff in einer direkten, gleich grossen Reduktion der Auswaschung resultiert.

A2-2.2 Ernährung

- Die Annahmen zur Entwicklung der Ernährung der Schweizer Bevölkerung (Fleischkonsum, N Aufnahme und Ausscheidung pro Kopf) stützen sich auf Untersuchungen des Bundesamtes für Gesundheitswesen und Annahmen der EAWAG. Gemäss Maurer (2011) kann von einer N-Ausscheidung von 11g pro Kopf und Tag ausgegangen werden. Aufgrund fehlender Untersuchungen oder Szenarien zur Weiterentwicklung dieses wichtigen Indikators wird die Entwicklung dieser N-Ausscheidung (und damit des N-Umsatzes pro Kopf) für 2005–2020 konstant gehalten. Die daraus folgenden N-Flüsse folgen damit direkt proportional der Bevölkerungsentwicklung.
- Infolge der grossen Zahl von Einflussgrössen und Unsicherheiten im Agrarhandel (Wechselkurs EUR/CHF, Handelsbeschränkungen, Freihandel, etc.) wird für 2005–2020 ein konstanter Export von Lebensmitteln aus der Schweiz angenommen. Entsprechend bleibt der dazugehörige N-Fluss konstant.
- Die Differenz zwischen dem Inlandkonsum der wachsenden Bevölkerung und der landwirtschaftlichen Produktion ergibt bei konstanten Exporten die im Jahr 2020 benötigten Nahrungsmittelimporte. D. h. die Differenz zwischen dem N-Bedarf der Schweizer Bevölkerung 2020 (bei konstanter N-Aufnahme/Kopf) und der N-Produktion unter AP 2014–2017 (N-Produktion proportional zur Kalorienproduktion gemäss ART/BLW 2011) wird zusätzlich importiert. Unter dieser Voraussetzung nehmen die Nahrungsmittelimporte 2005–2020 um 5,8 % zu.

A2-2.3 Induzierte Flüsse

Aus den vorgehend beschriebenen «treibenden» Flüssen können die induzierten Flüsse, d. h. vor allem die Auswaschungen aus land- und forstwirtschaftlichen Böden abgeschätzt werden. Da keine detaillierten, aktuellen Modelldaten vorhanden sind[13], basiert die Abschätzung auf folgenden Überlegungen und Annahmen:

- In ART/BLW (2011) wird mit der LCA Methode die Auswaschung unter der AP 2014–2017 berechnet, welche auf dem Niveau von 2005 verbleibt. Grund ist die Tatsache, dass aufgrund der Flächennutzungsveränderungen unter WDZ (Zunahme Getreide-, Abnahme Silomaisanbau) eher von einer Zunahme der direkten NO_3 Auswaschung ausgegangen werden muss. Gleichzeitig nimmt jedoch die Deposition auf alle Flächen markant ab.

[13] Eine Aufdatierung der Auswaschung ist vorgesehen. Solange die Arealstatistik aber noch nicht vollständig in ihrer neuen Ausgabe ausgewertet ist, lohnt sich die Aufdatierung nicht. Die Abschätzung über die Abnahme von E. Spiess für die Periode 1994–2005 kann als genügend genau betrachtet werden, um auch analog für die Periode 2005–2020 benutzt zu werden.

> Ein Vergleich der Basisentwicklung mit der Entwicklung in Peter et al. (2010) zeigt, dass dort in der Berechnung der Wirkung der Ressourcenprogramme eine beträchtliche Reduktion der Nitratauswaschung bis 2020 ausgewiesen wird. Der Grund ist jedoch «…hauptsächlich aufgrund einer gleichzeitiger Ausdehnung der Öko-Ausgleichsflächen». Da diese Ausdehnung der Öko-Ausgleichsflächen im Basisszenario unter WDZ nicht geschieht, sondern im Gegenteil eine Zunahme des Getreideanbaus zu erwarten ist, kann auch aufgrund dieser Publikation nicht von einer Reduktion der Auswaschung ausgegangen werden.
> Aufgrund dieser Überlegungen wird die Nitratauswaschung im Basisszenario 2020 auf dem Niveau von 2005 belassen.
> Bei der Denitrifikation aus Böden (Landwirtschaft und Waldböden) und Gewässer sind keine grossen Änderungen zu erwarten. Deshalb wird sie für 2005–2020 als konstant angesehen.

Tab. 26 > N-Flüsse Landwirtschaft

Übersicht der Grundlagen für die Abschätzung relevanter N-Flüsse.

Fluss	N-Quelle	Berücksichtige Faktoren und Annahmen für Abschätzung 2020	Bemerkungen
Futterproduktion	N in Schweizerproduktion Futtermittel	Entwicklung gemäss WDZ der beiden Flächen «Getreidefuttermittel» und «Silomais» (-1600 ha von 201 000 ha = -1 %). Dabei wird vereinfachend angenommen, dass Futtergetreide und Silomais denselben N-Gehalt haben, da sich die beiden nicht gleich entwickeln (Silomais – 18 %; Futtermittelgetreide + 4 %) Der Fütterungsverlustanteil ist 2005–2020 konstant.	
Hofdünger	N in Tierausscheidungen welches auf das Feld gelangt	Eigene Abschätzung gemäss Massenbilanz des Prozesses Tierhaltung.	
Emissionen aus Landwirtschaft	N in Gas (NH_3, N_2O, NO_x) aus den Ausscheidungen der Tiere & LW Böden	Kombination aus FOEN 2010, ART/BLW 2011, Kupper und Menzi 2011	Basisszenario Niveau 2005 gemäss FOEN 2010 angepasst.
Auswaschung LW & FW	• N (NO_3) aus LW & FW Böden in Gewässer • Für Wald Abnahme der Auswaschung analog der Deposition (wie auch für übrige Böden)	Konservative Schätzung gemäss AP 2014–2017 (ART/BLW 2011) für LW.	
«Tierische» Produktion	N in Schweizerproduktion von Fleisch / Milch / Eier etc.	Milch- und Fleischproduktion gemäss AP 2014–2017 (ART/BLW 2011)	
Pflanzl. Produktion	N-in Schweizerproduktion Pflanzen, N in Nahrungsmitteln	Kalorienproduktion gemäss AP 2014–2017 (ART/BLW 2011)	
Import Lebensmittel			Import = Bilanz aus Bedarf (bei Bev.wachstum) und Exporten
Export Lebensmittel		2005–2020 konstant	
Futtermittelimporte	N in Eiweiss-/Getreidefuttermittel	Gemäss AP 2014–2017 (ART/BLW 2011)	

Fluss	N-Quelle	Berücksichtige Faktoren und Annahmen für Abschätzung 2020	Bemerkungen
Denitrifikation	N (NO_2, N_2, NO_x) aus Denitr. Böden & Gewässer	konstant, keine Angaben	
Holznutzung	N in Holz	2005–2020 konstant	
Import/Export Holz		2005–2020 konstant	

A2-3 Gewässer und Boden

A2-3.1 Hydrosphäre

Tab. 27 zeigt die Grundlage für die Abschätzung relevanter Nitrat-Flüsse im Prozess Hydrosphäre. Der Eintrag in die Hydrosphäre durch Abwasser und dessen Behandlung bildet die beiden grössten N-Flüsse des Prozesses. Annahmen zu diesen N-Flüssen werden deshalb im Folgenden genauer beschrieben.

- Der Eintrag aus der Siedlungsentwässerung wird über den Pro-Kopfumsatz an Stickstoff (11g pro Tag und Kopf), die Bevölkerungszahl 2020 und die Stickstoffeliminationsleistung der Siedlungswasserwirtschaft geschätzt. N-Einträge aus der Produkteherstellung (Käse, Milch und Fleisch) werden gestützt auf ART/BLW (2011) geschätzt. Die N-Fracht aus der Produkteherstellung ins Abwasser im Jahre 2020 ergibt sich aus der Differenz des Gesamteintrages ins Abwasser gemäss Heldstab et al. (2010) und dem geschätzten Eintrag ins Abwasser aus dem Siedlungsabwasser im Jahre 2020. Für die Einträge im Jahr 2020 werden die Trends der Produktionszahlen der genannten Güter über die vergangenen 5 Jahre sowie das Bevölkerungswachstum berücksichtigt.
- Es wird aber angenommen, dass der Ausbau der Regenrückhaltebecken und die Sanierung des Kanalisationssystems die häufiger auftretenden Regenüberläufe ausgleichen werden.

Weitere wichtige Flüsse ergeben sich bei der Eliminationsrate von N im Abwasser in den ARAs. Für die Periode 2005–2020 wird angenommen, dass sich diese Eliminationsrate aufgrund von Sanierungen und technischen Investitionen um 2 % leicht verbessern wird (BAFU/BaslerFonds, 2007; KI/VSA 2011).

Der Abfluss des Gesamtstickstoffs aus der Schweiz basiert auf Messungen und Berechnungen von Zobrist und Reichert (2006), welche für diese Studie aktualisiert wurden (Zobrist 2013). Berücksichtigt werden dabei beides, die Durchschnittswerte der 5-Jahresperioden zwischen 1995–2010, sowie die 3-Jahresperioden mit ähnlichem Abfluss zwischen 2003–2011. Die Werte für das Jahr 2005 wurden im Vergleich zur Stoffflussanalyse 2005 um 2,5 kt N gesenkt, da neue Daten zu den ARA Reinigungsleistungen vorhanden sind, welche zeigen, dass der Abfluss damals überschätzt wurde. Für die Periode 2005–2010 wird ein Abfluss von 67 kt N angenommen. Gemäss Zobrist ist bis 2020 nicht mit einer weiteren Abnahme des N zu rechnen, wahrscheinlicher ist eine leichte Zunahme. Entsprechend wird der Abfluss auf 68 kt N geschätzt. Dieser Wert deckt sich in der Grösse auch mit den Ergebnissen einer Input-Output-

Betrachtung aller N-Flüsse des Prozesses Gewässer für das Jahr 2020 aus dem Stoffflusssystem.

Tab. 27 > Abschätzung N-Flüsse Hydrosphäre

Grundlage für die Abschätzung relevanter N-Flüsse im Prozess Hydrosphäre.

Fluss	N-Quelle	Berücksichtige Faktoren und Annahmen für Abschätzung 2020	Bemerkungen
Zufluss via Flüsse	N-Import Ausland	• Veränderung analog zu Änderungen der N-Exporte nach dem Ausland	Angaben basieren auf NADUF (2011) und PG N-Haushalt (1996)
Abwasser aus Produkteherstellung und übrige Nutzung nach ARA	Siedlungsentwässerung	• Bevölkerung gemäss BFS • Nitrat-Ausscheidung pro Kopf und Tag: 11 g	Nicht berücksichtig ist die Siedlungsentwicklung und die Sanierung des Kanalsystems
	Produktion von Käse, Milch und Fleisch	• Bevölkerung gemäss BFS • Zunahme Produktion (+ 7 %)	Anteil Eintrag aus Produktion basiert auf Heldstab et al. (2010) und Jahresberichten der Käse-, Milch- und Fleischverbände Schweiz.
Einträge aus Land- und Forstwirtschaft nach Hydrosphäre	Auswaschung und Abschwemmung Nitrat aus Hofdünger, Mineraldünger, Klärschlamm und Kompost sowie Deposition	Siehe A2–2	Spezifikation ist in 4.3.2 aufgeführt. Reduktion erfolgt im Bereich Forstwirtschaft aufgrund des Rückgangs der Deposition. Der Eintrag aus der Landwirtschaft in Gewässer bleibt hingegen konstant.
Gereinigtes Abwasser aus ARA nach Hydrosphäre	Abwasser	• Stickstoffeliminationsleistungen ARA Schweiz 2020 (47 %) • N_{tot} im Abwasser 2020 (48 kt N)	Gesamtelimination verbessert sich bis 2020 um 2 % (45 % in 2005). Eliminationsleistungen basieren auf KI/VSA 2011 und Abegglen, Siegrist 2012
Abfluss via Flüsse	N-Einträge in Oberflächengewässer in der Schweiz	• Veränderungen entsprechend Einträgen aus Landwirtschaft. • Ausgangswerte basierend auf Trend der Messungen NADUF, Zobrist, Reichert (2006) und Zobrist (2013).	Hochrechnung der kleineren Grenzflüsse analog Abflüsse Rhone und Ticino (Heldstab et al. 2010)
Emissionen ARA nach Atmosphäre	Abwasser	• Eliminationsleistungen ARA • N im Abwasser	Gesamtelimination verbessert sich bis 2020 um 2 %. Eliminationsleistungen basieren auf KI/VSA 2011 und Abegglen, Siegrist 2012
N-Sedimentation Seen	N-Fluss in Oberflächengewässer	• Sedimentation wird konstant gehalten	Angaben basieren auf Heldstab et al. (2010)
Denitrifikation von Hydrosphäre nach Atmosphäre	Flüsse und Seen	• Denitrifikation bleibt konstant	Angaben basieren auf Heldstab et al. (2010)
Re Regenüberlauf (verschmutztes Abwasser) aus Umwelt nach Hydrosphäre und ungereinigtes Abwasser aus Produkteherstellung und übrige Nutzungen.	Produkteherstellung und Regenüberläufe	• Zubau Rückhaltebecken und Versickerungsanlagen gleichen vermehrte Starkniederschläge aus.	Überlauf entspricht 5 % des gesamten Wasserdurchlaufes im Jahr. Die N-Konzentration ist dabei doppelt so hoch wie im durchschnittlichen, behandelten Abwasser.

A2-3.2 Übrige Böden

In diesem Prozess werden nur Deposition auf und Auswaschungen aus Böden betrachtet, welche nicht landwirtschaftlich genutzt werden. Waldböden gehören ebenfalls nicht dazu. Der treibende N-Fluss stammt in Form von Deposition aus dem Prozess Atmosphäre.

> Für eine Abschätzung der N-Flüsse in und aus den übrigen Böden stehen keine Zeitreihen oder Szenarien zur Verfügung. Die Abschätzung basiert auf den Annahmen und Schätzungen zu den N-Flüssen 2005 (Heldstab et. al. 2010) sowie den Veränderungen im Prozess Atmosphäre, welches von einer reduzierten Deposition (-18 %) ausgeht. Eine Beschreibung der Annahmen zur Deposition aus der Atmosphäre findet sich im Kapitel 4.3.1.
> Der einzig relevante N-Fluss aus dem Prozess ist die Auswaschung und Abschwemmung aus den Böden, deren Fracht jedoch schwer quantifizierbar und mit grossen Unsicherheiten versehen ist (Heldstab et. al. 2010).
> Der reduzierte Eintrag von Stickstoff spiegelt sich gänzlich in einer Reduktion der Auswaschung.
> Als Grundlage für die Schätzung dieser Abnahme dienen stark vereinfachte Betrachtungen der Trends in den Jahren 1994 und 2005 gemäss Heldstab et al. (2010). Zudem wurden Effekte des Hitzesommers 2003 gemäss IAP (2009) für die Schätzung berücksichtigt. Der Bericht zeigt auf, dass seit 2003 die N-Auswaschung unter Waldböden auf deutlich tieferem Niveau wie vor dem Hitzesommer liegt. Ähnliche Effekte sind auch in übrigen Böden zu erwarten.
> Für die Schätzung wird auch die Entwicklung der Siedlungsflächen in der Schweiz berücksichtigt. Gemäss BFS hat die Siedlungsfläche pro Person zwischen 2004 und 2009 um 3 % zugenommen. Von 2010–20 wird eine Zunahme von 3 % angenommen, welche zu einer erhöhten Abschwemmung führt.

Tab. 28 zeigt die Grundlage für die Abschätzung relevanter Nitrat-Flüsse im Prozess übrige Böden.

Tab. 28 > Abschätzung N-Flüsse übrige Böden

Grundlage für die Abschätzung relevanter N-Flüsse im Prozess übrige Böden.

Fluss	N-Quelle	Berücksichtige Faktoren und Annahmen für Abschätzung 2020	Bemerkungen
Deposition auf Böden aus Atmosphäre	Atmosphäre	• Reduzierter Eintrag aus Prozess Atmosphäre	Spezifikation ist in 4.3.1.aufgeführt
Auswaschung und Abschwemmung	übrige Böden	• Reduzierter Eintrag aus Atmosphäre • Grober Trend für nicht Siedlungsböden (1994, 2005) • Siedlungsentwicklung/Kopf + 3 % relativ zu Stand 2010	Reduzierte Auswaschung aufgrund Hitzesommer 2003 pendelt sich bis 2020 wieder auf Stand vor 2003 ein. Zunahme bei Siedlungsflächen pro Kopf 2004/09 um 2 % (BFS 2011)

A3 Details zu den Wenn-Dann Analysen

A3-1 Energiepolitik, Klimapolitik und Klimaänderung «E2050»

A3-1.1 Annahmen zu den Wirkungen des revidierten CO_2-Gesetzes.

In der Botschaft des Bundesrates zur Revision des CO_2-Gesetzes und dem jetzigen vom Parlament verabschiedeten Gesetz (Bundesrat 2011) sind zahlreiche Verschärfungen bestehender Vorgaben und neue Massnahmen vorgesehen. Für die Abschätzung der Wirkungen auf die N-Flüsse sind folgende Massnahmen relevant,

- Weiterführung der CO_2-Lenkungsabgabe auf Brennstoffe (Anstieg der Abgabe auf max. CHF 120 pro Tonne CO_2)
- Kompensationspflicht für fossile Brennstoffe
- Weiterführung des Gebäudeprogramms (Aufstockung von 200 auf 300 Mio CHF jährlich) und Verschärfung Gebäudevorschriften.
- Weiterentwicklung des Emissionshandels (ETS) in der Industrie

Die Reduktion der Emissionen von neuen Personenwagen auf durchschnittlich unter 130g CO_2/km hat keinen zusätzlichen Einfluss bezüglich derer NOx-Emissionen. Auch nicht berücksichtigt werden hier qualitative Massnahmen wie die Forcierung der Aus- und Weiterbildung oder der Technologieforschung, weil deren Wirkungen nicht quantifiziert werden können.

Die Wirkungen der berücksichtigten Massnahmen werden aus dem Faktenblatt zur Wirkung der Reduktionsmassnahmen abgeleitet (BAFU 2011b). Dort werden die möglichen CO_2-Einsparungen bis 2020 quantifiziert (Tab. 29). Für eine Quantifizierung der daraus resultierenden NO_x-Emissionen, wurden die voraussichtlich eingesparten Mengen an Brennstoffen mit einem gewichteten NO_x-Emissionsfaktor von 0,22 kg/TJ (bzw. 0,26 kg/TJ für das ETS) verrechnet. Dieser leitet sich aus dem Energieverbrauch Brennstoffe und Emissionen aller relevanten Sektoren gemäss EMIS ab.

Tab. 29 > Wirkungen revidiertes CO_2-Gesetz

CO_2 Wirkung der Massnahmen des CO_2 – Gesetzes gemäss Faktenblatt BAFU (2011b) und berechnete induzierte Reduktionwirkung bezüglich gesamt N. Die Massnahmen in Klammern werden nicht berücksichtigt, da sie bezüglich N- Luftschadstoffen neutral sind.

	in Mio t CO_2 eq.	in % an CO_2 tot	N Reduktion in t
CO_2-Abgabe Brennstoffe	-2,0	-3,8	725
Kompensationspflicht fossile Treibstoffe	-1,2	-2,3	
Gebäudeprogramm + Gebäudevorschriften	-2,9	-5,5	657
ETS + CO_2-Abgabebefreiung	-0,8	-1,5	321
[CO_2-Emissionsvorschriften neue PW]	[-1,7]	[-3,2]	-
[Pfand synth. Gase, Anrechnung verbautes Holz, ...]	[-0,2]	[-0,4]	-
Total Reduktion Revidiertes CO_2-Gesetz	-8,8	-16,7	1704

BAFU, 2011b

Gesamthaft führen diese Massnahmen zu einer Reduktion der N-Emissionen von 1704 t N oder einer Reduktion von 0,81 % bezüglich der gesamten N-Flüsse aus dem Basisszenario 2020.

A3-1.2 Annahmen zu den Wirkungen der neuen Energiepolitik

Der Bundesrat unterbreitet in seiner Aktualisierung der Energieperspektiven (BFE 2011) ein Szenario «neue Energiepolitik» mit zahlreichen Varianten dazu, wie die Stromzukunft der Schweiz zu gestalten ist. Er macht sich dabei für die Stromangebotsvariante 2 ohne Atomkraftwerke stark und beschreibt in drei Varianten wie angebotsseitig die Bereitstellung der benötigten Energie zu bewerkstelligen ist. In dieser Studie werden die beiden Varianten «Fossil-zentral und Erneuerbar» (C&E) und «Fossil-dezentral und Erneuerbar» (D&E) berücksichtigt. Die Variante C&E legt den Schwerpunkt auf den Zubau von zwei GUD mit je 550 MW und die Variante D&E sieht eine Forcierung der WKK-Anlagen auf 2,36 TWh_{el}/a vor. Beide Varianten gehen davon aus, dass die Erneuerbaren Energien bis 2050 22,6 TWh_{el} produzieren. Dabei ist für die Stickstoffflüsse besonders der Einsatz von Biomasse (Holz) relevant (NO_x-Emissionsfaktor: 130 kg/TJ). Auch der Einfluss von WKK und GUD auf die NO_x Emissionen ist von Bedeutung und kann bereits grob abgeschätzt werden. Für WKKs wird mit einem Emissionsfaktor von 19 kg/TJ gerechnet. Für ein GUD von der Grösse des geplanten Werks in Chavalon (Leistung von 400 MW und jährlich 5000 Betriebsstunden) wird sich die Erhöhung pro GUD im Bereich eines halben Prozents des nationalen Totals NO_x bewegen. Entsprechend ist angebotsseitig eine Zunahme der Emissionen von 0,28 % (Variante C&E) bis 0,39 % (Variante D&E) im Vergleich zum Basisszenario 2020 zu erwarten.

Nachfrageseitig soll der Energieverbrauch durch Energieeffizienzmassnahmen reduziert werden. Diese Massnahmen führen zu einem Rückgang der Endenergienachfrage nach fossilen Energieträgern. Gemäss der Aktualisierung der Energieperspektiven ist bis 2020 ein Rückgang der Nachfrage nach Heizölprodukten um knapp 30 % gegenüber dem Jahr 2010 zu erwarten. Dies wirkt sich positiv auf NO_x-Emissionen aus. Für die Schätzung der Abnahme wurde wiederum der Emissionsfaktor von 0,22 kg/TJ verwendet (siehe Annahmen zur Revision CO_2-Gesetz). Entsprechend ist eine Reduktion der N-Einträge in die Atmosphäre durch die angestrebten Effizienzmassnahmen von 0,8 % im Vergleich zum Basisszenario zu erwarten. Aufgrund der Doppelzählung der Wirkung des Gebäudeprogrammes, welche auch in den Auswirkungen des CO_2 Gesetzes enthalten ist, wird vereinfachend nur die Hälfte der Effizienzwirkung der Energiestrategie berücksichtigt.

Tab. 30 > Wirkung auf N-Emissioinen durch die neue Energiepolitik

Massnahmen und Auswirkungen neue Energiepolitik.

Massnahmen	Auswirkungen	Quantifizierung/semiquant. Abschätzung
Zubau von 1 GUD bis 2020	Zusätzliche NO_x und NH_3 Emissionen	Total zusätzliche N-Emissionen pro GUD: 148 t NO_x und 69 t NH_3 in 2020, insgesamt 102 t N→ + 0,16 % N-Em.
Ausbau WKK um 2,36 TWh_{el}/a (gemäss Variante D&E)	Zusätzliche NO_x Emissionen	Total zusätzliche NO_x -Emissionen: 85 t bei Ausbau bis 2020, entspricht 26 t N→ + 0,04 % N-Em.
Ausbau Biomasse (Holz) um 0,47 TWh_{el}/a	Zusätzliche NO_x Emissionen	Total zusätzliche NO_x -Emissionen: 94 t NO_x in 2020, entspricht 29 t N→ + 0,04 % N-Em.
Diverse Effizienzmassnahmen	Reduktion der NO_X-Emissionen aufgrund verringerter Nachfrage	Total Reduktion der N-Emissionen: 1720 t NOx in 2020. Davon ist die Wirkung des Gebäudeprogrammes bei den Wirkungen des CO_2 – Gesetzes teilweise berücksichtigt, deshalb nur 50 % angerechnet: -860 t NO_x entspricht -260 t N → -0,41 % N-Em
Alle Massnahmen neue Energiepolitik		(102+26+29–260) t N = -103 t N → -0,17 % N-Em.

A3-1.3 ### Gesamtwirkung «E2050»

Gesamthaft führen die Massnahmen aus der Revision des CO_2-Gesetzes und der neuen Energiepolitik zu einer Reduktion der N-Emissionen in die Atmosphäre von ca. 1 % (max. 1,4 %, falls es bezüglich Effizienzmassnahmen keine Doppelzählung der Wirkung gäbe). bezüglich der gesamten N-Flüsse aus dem Basisszenario 2020. Diese Reduktion setzt aus den obenstehend berechneten Komponenten zusammen:

- Reduktion durch das CO_2 Gesetz): 0,81 %
- Reduktion durch «E2050», 0,41 % (wegen beschränkter Additionalität nur die Hälfte angerechnet) aber gleichzeitig Mehremission aufgrund von GUD und WKK: 0,24 % , sodass eine Nettoreduktion von 0,17 % erwartet wird (0,41 % – 0,24 % = 0,17 %)
- Gesamte ReduktionCO_2-Gesetz und Energiestrategie 2050 ca. 1 % (0,81 % + 0,17 % = 0,97 % ~ 1 %)

A3-2 ## Wenn-Dann Luftreinhaltung «LRK»

Im Luftreinhaltekonzept (Bundesrat 2009a) sind zahlreiche Verschärfungen bestehender Vorgaben und neue Massnahmen vorgesehen. Für die Abschätzung der Wirkungen auf die N-Flüsse in der Wenn-Dann-Analyse werden zusätzlich zu den im Basisszenario implementierten Massnahmen, die gemäss LRK «eingeleiteten» und «zusätzlichen» Massnahmen berücksichtigt. Datengrundlage für die Abschätzung der N-Flüsse aus Luftschadstoffen für die Wenn-Dann-Analyse 2020 sind die Projektionen aus der UNECE Submission 2011 (FOEN 2011a). Die Schätzung der Wirkungen aller geplanten Massnahmen wurde im Bericht «Szenarien für die Luftschadstoffemissionen bis 2030» (BAFU 2012) bereits durchgeführt und dort detailliert beschrieben. Für die NO_x-Emissionen ist die Wirkung folgender zusätzlicher Massnahmen relevant.

- > Verschärfung der NO_x-Grenzwerte für Flugzeuge
- > Alpentransitbörse
- > Finanzielle Anreize für emissionsarme Fahrzeuge und Maschinen → verstärkte Einführung Elektromobilität
- > Verschärfung der Emissionsgrenzwerte von stationären Quellen (inkl. Zementwerke)
- > Stand der Technik bei der Biomassevergärung
- > Einführung eines LSVA Rabattes für EURO VI LKWs

Der Bericht berücksichtigt auch die zeitliche Dimension der Umsetzung dieser Massnahmen ab 2010 bis 2020. Entsprechend konnte für die Wenn-Dann-Analyse die N-Wirkungen aus diesem Zwischenbericht übernommen werden.

Tab. 31 > Wirkungen Wenn-Dann Luftreinhaltung

Massnahmen und Auswirkungen der zusätzlichen Massnahmen aus dem LRK. (Veränderung gegenüber Basisszenario 2020)

Massnahmen	Auswirkungen	Quantifizierung/semiquantitative Abschätzung
Eingeleitete und zusätzliche Massnahmen gemäss Luftreinhaltekonzept.	Reduktion der Emission von Schadstoffen in die Atmosphäre.	4600 t NO_x → 1,4 kt N (–8,7 % bzgl NO_x) 90 t NH_3 → 0,1 kt N; (–0,14 % bzgl. NH_3) Total Reduktion N-Emissionen: → 1,4 t N; (–2,2 % bzgl. N total)

Gesamthaft führen die eingeleiteten und zusätzlichen Massnahmen aus dem LRK zu einer Reduktion der N-Emissionen in die Atmosphäre von rund 2 % bezüglich der gesamten N-Flüsse aus dem Basisszenario 2020.

A3-3 **Wenn-Dann Landwirtschaft – «verstärkte Reduktionsmassnahmen» (MTFR-IIASA)**

Die Quantifizierung dieses Szenarios beruht bezüglich NH_3 auf dem MTFR Szenario der IIASA für die Schweiz (IIASA 2011). Die IIASA schätzt das maximale Reduktionspotenzial für NH_3, d. h. die maximal mögliche Reduktion unter Umsetzung sämtlicher technischer Massnahmen ohne Berücksichtigung der Kosten, für die Schweiz bis 2020 auf 21 % (bezogen auf das Niveau 2000). Davon muss die bereits im Basisszenario berücksichtigte Wirkung der AP 2014–2017 und der Ressourcenprogramme abgezogen werden (21 %–8 % = 13 %). Von diesem Potenzial wird die optimistische Annahme getroffen, dass bei einer Umsetzung in der AP 2018–2021 bis 2020 ein Drittel umgesetzt werden kann: 1/3*13= 4,3 %.

Weitere Vergleiche mit Dänemark zwecks Plausibilisierung der Annahmen in der Wenn-Dann Analyse «MTFR-IIASA»:

- > *Ausbringung:* Im Vergleich zu den aktuell durch die kantonalen Ressourcenprogramme (Stand 2011: 19 Kantone) und zukünftig durch nat. Ressourcenprogramme geförderten Massnahmen handelt es sich bei den Annahmen der Wenn-Dann Betrachtung bei allen vorgeschlagenen Massnahmen um obligatorische Massnahmen.

Dadurch können im Vergleich zu den Ressourcenprogrammen mehr Landwirte erreicht werden. Aktuelle Schätzungen gehen bei der Teilnahme am Ressourcenprogramm von einer eher unter den Erwartungen liegenden Teilnahme aus. Auf maximal einem Drittel der möglichen Fläche[14] wird heute mittels Schleppschlauch ausgebracht.

- *Stallsysteme:* In der Schweiz wurden bis heute praktisch ausschliesslich tierfreundliche Stallsysteme gebaut, jedoch wurde dabei wenig auf die Emissionen geachtet und die Systeme nicht gleichzeitig emissionsarm konzipiert. Aus diesem Grund gibt es in diesem Bereich ein sehr grosses nicht ausgeschöpftes Potenzial im Vergleich mit Dänemark.
- *Güllelagerung:* Neue Güllelager müssen in der Schweiz abgedeckt sein, es gibt jedoch noch eine Vielzahl von alten offenen Lagern, welche noch ein beträchtliches Reduktionspotenzial besitzen.
- Im Weiteren wurde in Dänemark seit 1985 in sieben Aktionsplänen eine Vielzahl von Massnahmen ergriffen die hier nicht im Detail analysiert werden können.
- *Annahmen zur Reduktion der Auswaschung:* Erstens sollen die Massnahmen die Verluste ins Grund- und Oberflächengewässer reduzieren und zweitens reduzieren sich die Einträge durch Deposition aufgrund der Reduktion der Emissionen. Diese Reduktionen sowie die ausschliesslich auf die Reduktion der N-Auswaschung fokussierten Massnahmen kompensieren in Dänemark den Effekt, dass durch die reduzierten Verluste im Stall und Lager der N- Gehalt des Hofdüngers/Gülle auf dem Feld höher ist und damit ein grösseres Auswaschungspotenzial besitzt. Peter et al. (2010) geht auch davon aus, dass nur ein Drittel des durch emissionsmindernde Massnahmen vor der Ausbringung eingesparten N wieder ausgewaschen wird.
- Kronvang et al. (2008) schätzen die Reduktion der Auswaschung aus landwirtschaftlichen Böden basierend auf Modellergebnissen auf 33 % (1989–2004). Zudem wurde 1990–2003 eine Reduktion der N-Überschüsse um 31 % erreicht.
- Der Vergleich mit Dänemark zeigt, dass die in Dänemark erreichte totalen NH_3 Emissionsreduktion von 40 % auch für die Schweiz nicht unrealistisch scheinen. Das MTFR Szenario der IIASA (2011) mit 20 % NH_3-Reduktionspotenzial (bezogen auf 2000) bewegt sich damit im konservativen Bereich. Das Potenzial bezüglich Nitratauswaschung scheint ebenfalls ähnlich gross wie in Dänemark, kann aber Mangels Daten nicht quantifiziert werden. Kurzfristig ist bis 2020 noch von keinen messbaren Resultaten auszugehen.

Die folgende Tabelle fasst die wichtigsten in Dänemark ergriffenen Massnahmen und deren mögliche Bedeutung für die Schweiz zusammen. Tab. 32 enthält eine ausführliche Liste der Massnahmen aus Kronvang et. al (2010):

[14] Die mögliche Fläche beträgt aus technischen Gründen (Hangneigung) in der Schweiz nur 58 % (Peter et al. 2010) der gesamten landwirtschaftlichen Fläche, andere Experten gehen von einem noch höheren Anteil geeigneter Flächen aus.

Tab. 32 > Wichtigste Massnahmen Dänemark und mögliche Relevanz für die Schweiz

Massnahmen Dänemark	Auswirkungen, Relevanz Schweiz
Optimierte Ausbringung	Verbot von Prallteller (in Schweiz nicht so absolut möglich, da topografische Einschränkungen), Einarbeitung innerhalb von 6h, deutliche weitere Zunahme emissionsarmer Ausbringung im vgl. zum heutigen Stand Schweiz mit freiwilligen Programmen.
Emissionsarme Stallsysteme	Optimierung Stallsysteme für Rinder, Schweine, Hühner bezüglich Emissionsreduktionen (perf. Böden & Schieber,…). Genügen aber weiterhin den Tierwohlanforderungen15. Aktuell in CH sehr wenige emissionsarme Stallsysteme (2007 0 %, Referenzentwicklung bis 2020 10–15 % gemäss Peter et al. 2010)
Regelungen Mist-/Güllelager	Sämtliche Güllelager werden alle abgedeckt, Lagerkapazität 10 Monate. Aktuell sind in der Schweiz 70 % der Güllelager abgedeckt (Peter et.al 2010) und die Lagerkapazität beträgt 3 Monate.
Optimierung N-Bilanzen	N-Düngung erfolgt bedarfsgerecht und nicht auf das ökologisch absolute Optimum bezogen wie heute die Grudaf 2009 (Flisch et al. 2009), weitere Optimierungen der Düngungen (bspw. parzellenscharfe Düngung). In Dänemark sind z. B. nur 75 % des max. kulturspezifischen N-Entzuges anrechenbar.
Betriebszulassung	Umsetzung der Massnahmen wird kontrolliert, Erfolgskontrolle. Betriebszulassung muss alle 8 Jahre erneuert werden und nur wenn betriebliche ökologische Ziele erfüllt sind, bspw. wenn gewisses Emissionsniveau nicht überschritten ist. Dazu müssten in der Schweiz zuerst betriebliche Ziele definiert werden.
In ÖLN aufnehmen / Vollzug stärken, auch Vollzug LRV	Massnahmen werden gesetzlich vorgeschrieben und/oder sind Bestandteil des ökologischen Leistungsnachweises (bspw. möglichst flächendeckende Anforderungen an «catch crops»).

[15] «Tierwohl und Umwelt im Einklang www.news.admin.ch/dokumentation/00002/00015/index.html?lang=de&msg-id=33393

> Literatur

Abegglen C., Siegrist H. 2012: Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214: 210 S.

Agrammon 2009: Schweizer Ammoniakmodell, BAFU, Stand 8.9.2009. www.agrammon.ch/.

Agroscope 2010: Win 4: www.agroscope.admin.ch/proficrops/05376/index.html?lang=de

ART 2008: THG-Inventar Landwirtschaft Schweiz, V3.5 Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Zürich

ART 2011: ART-Bericht 744, Die Auswirkungen eines weiterentwickelten Direktzahlungssystems, Modellberechnungen mit SILAS und SWISSland, www.agroscope.ch, März 2011

ART/BLW 2011: Schriftliche Kommunikation mit A. Zimmermann (ART) und T. Candinas (BLW): Resultate der LCA Modellierung der Auswirkungen WDZ gemäss ART Bericht 744, Mai 2011.

Baccini P., Bader H.-P. 1996: Regionaler Stoffhaushalt; Erfassung, Bewertung, Steuerung. P. Baccini und H.-P. Bader. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.

BAFU 2011a: Nährboden unter Druck. H. Baumgartner in Umwelt 4/2011, pp. 8–11. Hrg. Bundesamt für Umwelt, November 2011.

BAFU 2011b: Faktenblatt: Wirkung der Reduktionsmassnahmen, Bundesamt für Umwelt, Abteilung Klima, 23. Dezember 2011.

BAFU 2012: Szenarien für die Luftschadstoffemissionen bis 2030. Grundlage für die Revision des Göteborg Protokolls. Bundesamt für Umwelt BAFU. Interner Zwischenbericht. Bern.

BAFU / BLW 2008: Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820. Bundesamt für Umwelt, Bern: 221 S.

BAFU/BaslerFonds 2007: Wasserwirtschaft Schweiz 2025. Herausforderungen und Handlungsmöglichkeiten. Ein Diskussionsbeitrag zur Zukunftgestaltung. Zollikon.

BAFU/BFE/BLW/ARE 2011: Einzugsgebietmanagament. Leitbild für die integrale Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz.

BAG 2005: 5. Schweizerirscher Ernährungsbericht. Eichholzer M, Camenzind-Frey E, Matzke A, Amado R, Ballmer PE et al. (Hrsg.) Bern: Bundesamt für Gesundheit, 2005.

BFE 2007: Energieperspektiven 2035, Schlussberichte (Bd. 1–5) und Aktualisierungen. Bundesamt für Energie (Hrsg.). Bern 2007 www.bfe.admin.ch/themen/00526/00538/index.html?lang=de.

BFE et al. 2009: Biomassestrategie Schweiz: Strategie für die Produktion, Verarbeitung und Nutzung von Biomasse in der Schweiz. Bundesamt für Energie, Bundesamt für Landwirtschaft, Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Umwelt (Hrsg.), 23. März 2009

BFE 2011: Energiestrategie 2050, Bericht und Teilprojekte. Bundesamt für Energie (Hrsg.). Bern 25. Mai 2011 www.bfe.admin.ch/themen/ 00526/00527/index.html?lang=de

BFE/BAFU 2010: Holz als Rohstoff und Energieträger

BFS 2008: Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz, Entwicklung gemäss A-00–2008. Bundesamt für Statistik, Neuenburg 2008.

BFS 2011: Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2010–2060. Neuenburg, Juli 2010 www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/news/publikationen.html?publicationID=3989

BLW 2008: Agrarbericht 2008.
Bundesamt für Landwirtschaft, Bern 2008.

BLW 2010: Land- und Ernährungswirtschaft 2025, Diskussionspapier des Bundesamtes für Landwirtschaft zur strategischen Ausrichtung der Agrarpolitik, August 2010

BLW 2011b: Klimastrategie Landwirtschaft: Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft, BLW – Bundesamt für Landwirtschaft, Mai 2011

BLW 2012: Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik in den Jahren 2014–2017 (Agrarpolitik 2014–2017), BLW, Februar 2012

BLW 2012a: Email mit Daten zur N-Effizienz analog Agrarbericht 2008, T. Candinas, 18.4.2012

BLW/BAFU 2010: Stickstoff-Flüsse der schweizerischen Landwirtschaft, Evaluation von Wissenslücken. Bundesamt für Landwirtschaft und Bundesamt für Umwelt, Publikation für 2010 vorgesehen.

Bundesrat 2011:
Bundesgesetz über die Reduktion der CO2-Emissionen.
www.parlament.ch/sites/doc/CuriaFolgeseite/2009/20090067/Schlussabstimmungstext%201 %20NS%20D.pdf,%2023.12.2011.

Bundesrat 2009a: Bericht zum Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes, Bern, 11. September 2009 www.admin.ch/ch/d/ff/2009/6585.pdf [30.09.2012]

Bundesrat 2009b: Botschaft über die Schweizer Klimapolitik nach 2012. Revision des CO2-Gesetzes und eidgenössische Volksinitiative «Für ein gesundes Kilma», Bern, 26. August 2009.

Bundesrat 2011: Bundesgesetz über die Reduktion der CO-Emissionen. www.parlament.ch/sites/doc/CuriaFolgeseite/2009/20090067/Schlussabstimmungstext%201 %20NS%20D.pdf,%2023.12.2011, Bern, 23.12.2011

Bundesrat 2011a: Waldpolitik 2020: vom Bundesrat gutgeheissen am 31. August 2011. www.bafu.admin.ch/wald/01152/11490/ [12.9.2012]

BUWAL 1996a: Stoffflussanalyse Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 251. Bern.

BUWAL 2005: Weiterentwicklung des Luftreinhaltekonzepts – Stand, Handlungsbedarf, mögliche Massnahen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Schriftenreihe Umwelt 379, Bern 2005.

CEIP 2010: Expert Emissions used in EMEP models, Emission data reported to CLRTAP in 2010; Missing data completed by CEIP

CH 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978□3□033□03065□7

CNS-FAO 2008: Positionspapier des Schweizerischen FAO-Komitees, FAO-Ministerkonferenz über Ernährungssicherheit und die Herausforderungen von Klimawandel und Bio-/Agroenergieproduktion1, Rom, Schweizerisches FAO-Komitees, 3. – 5. Juni 2008

Ecoplan 2008: Volkswirtschaftliche Auswirkungen von CO2-Abgaben und Emissionshandel für das Jahr 2020, Untertitel: Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen mit Hilfe eines allgemeinen Mehrländer-Gleichgewichtsmodell, Auftraggeber: BAFU – Bundesamt für Umwelt, Bern, 2008

Ecoplan 2009: Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik, Analyse mit einem Gleichgewichtsmodell für die Schweiz, BAFU – Bundesamt für Umwelt, Bern, 2009

EMEP 2011a: CLRTAP Onlinedatenbank der EMEP Messungen: www.nilu.no/projects/ccc/emepdata.html

EMEP 2011b: Cost-effective Emission Reductions to Improve Air Quality in Europe in 2020, Background paper for the 48th Session of the Working Group on Strategies and Review, Geneva, April 2011

ENA 2010: The European Nitrogen Assessment. Sources, Effects and Policy Perspectives. Mark. A. Sutton et al., Cambridge University Press. Cambridge, U.K.

FAL 1997: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau: Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotenzials, Schriftenreihe der FAL 26, 1997

FAO 2011. Food losses and food waste: extent, causes and prevention. Study conducted for the international congress Save Food! (Düsseldorf, 16–17 May) by the Swedish Institute for Food and Biotechnology (SIK) on behalf of FAO

Fischlin A., Buchter B., Matile L., Hofer P., Taverna R. 2006: CO2-Senken und -Quellen in der Waldwirtschaft – Anrechnung im Rahmen des Kyoto-Protokolls. Umwelt-Wissen Nr. 0602. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W. 2009: GRUDAF 2009 – Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung 16 (2), 1–97

FOEN 2009a: Switzerland's Informative Inventory Report, Submission under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Submission of March 2009 to the United Nations ECE Secretariat. (Inkl. Submissions-tabellen).
Federal Office for the Environment (FOEN/BAFU), Bern.
www.ceip.at/submissions-under-clrtap/2009-submissions/

FOEN 2009b: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2007, National Inventory Report 2009. Submission of 15 April 2009 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. (Inkl. CRF-Tabellen.) Federal Office for the Environment (FOEN/BAFU), Bern

FOEN 2009c: Switzerland's Fifth Communication under the UNFCCC, FOEN 2009, http://unfccc.int/resource/docs/natc/che_nc5.pdf

FOEN 2010: Switzerland's Informative Inventory Report, Submission under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Submission of March 2010 to the United Nations ECE Secretariat (Inkl. Submissions-tabellen). Federal Office for the Environment (FOEN/BAFU), Bern.
www.ceip.at/submissions-under-clrtap/2010-submissions/

FOEN 2011a: Switzerland's Informative Inventory Report, Submission under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Submission of March 2011 to the United Nations ECE Secretariat (Inkl. Submissions-tabellen). Federal Office for the Environment (FOEN/BAFU), Bern.
www.ceip.at/submissions-under-clrtap/2011-submissions/

FOEN 2011b: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2009, National Inventory Report 2011. Submission of 15 April 2011 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. (Inkl. CRF-Tabellen.) Federal Office for the Environment (FOEN/BAFU), Bern

FOEN 2012: Switzerland's Informative Inventory Report, Submission under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Submission of March 2012 to the United Nations ECE Secretariat (Inkl. Submissions-tabellen). Federal Office for the Environment (FOEN/BAFU), Bern.
www.ceip.at/submissions-under-clrtap/2012-submissions/

Garnett 2011: Garnett T., Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system, Food Policy 36, 2011.

GSchG 1991: Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG). SR 813.20. Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft. Bern.

GSchV 1998: Gewässerschutzverordnung (GSchV). SR 814.201. Schweizerischer Bundesrat. Bern.

GSK 1993: Eidg. Gewässerschutzkommission: Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz. Konsequenzen für Gewässerschutz und Umweltentwicklung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 209. Bern.

Hansen 2011: Hansen B., Thorling L., Dalgaard T., Erlandsen M., Nitrate in Danish Groundwater during the last 60 years, www.nitrogen. ceh.ac.uk/nitrogen2011/ oral presentations/S18 3 Hansen.pdf

Heldstab J., Reutimann J., Biedermann R., Leu D. 2010: Stoffflussanalyse Stickstoff Schweiz 2005. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1018: 128 S.

IAP 2009: Wie geht es unserem Wald. 25 Jahre Walddauerbobachtung. Interkantonales Walddauerbeobachtungsprogramm der Kantone AG, BE, BL, BS, FR, SO, ZG, ZG, ZH und des BAFU. Ergebnisse von 1984 bis 2008. Bericht 3. Schönbuch.

IIASA 2011: ClAM Report 4/2011, An Updated Set of Scenarios of Cost-effective Emission Reductions for the Revision of the Gothenburg Protocol, www.gains.iiasa.ac.at/images/stories/reports/ClAM/ ClAM2011-4-v1.pdf August 2011.

IKSR 2000: Bestandesaufnahme der Phosphor- und Stickstoffeinträge 1996. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins. Koblenz.

IKSR 2006: Vergleich des Istzustandes mit dem Sollzustand des Rheins 1990 bis 2006. Internationale Kommission zum Schutze des Rheins. Bericht Nr. 180. Koblenz.

Kaenzig J., Jolliet O. 2006: Umweltbewusster Konsum: Schlüsselentscheide, Akteure und Konsummodelle. Umwelt-Wissen Nr. 0616. Bundesamt für Umwelt, Bern. 113 S.

KI, VSA 2011: Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung. Fachorganisation Kommunale Infrastruktur und Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute. Zürich und Bern, 2011.

Kronvang B., Andersen H., Borgesen C., Dalgaard T., Larsen S., Bogestrand J., Blicher-Mathiasen G. 2010: Effects of policy measures implemented in Denmark on nitrogen pollution of the aquatic environment, Environmental Science & Policy II, 144–152, 2008.

Kupper und Menzi 2011: T. Kupper und H. Menzi, Reduktionspotenzial der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2030. Technischer Schlussbericht zuhanden BAFU. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Zollikofen Bern, 2011.

Lehmann B. 2011: Ernährungssystem Schweiz – Nachhaltig und in den Märkten gut positioniert. Referat BLW-OFAG. Online: www.blw.admin.ch/dienstleistungen/00021/index.html?lang=de [04.05.2012]

Maurer 2011: EAWAG, Dübendorf, mündliche Mitteilung, Juli 2011.

OSPAR 2009: OSPAR Commission, Protecting and preserving the North-EAST Atlantic and its resources. www.ospar.org/. Webseite aufgerufen am 6.4.2009.

Peter S., Lehmann B. 2010: «Stickstoff 2020» – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Stickstoffemissionen in der Schweiz. Gruppe Agrar-, Lebensmittel- und Umweltökonomie, ETH Zürich, Zürich 2. November 2010.

PG N CH 1996: Projektgruppe N-Haushalt der Schweiz: Strategie zur Reduktion von Stickstoffemissionen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 273. Bern.

SBV 2010: Die Nahrungsmittelversorgung der Schweiz im Jahr 2010, www.sbv-usp.ch/fileadmin/user_upload/bauernverband/Statistik/ LMZ_Aktuell.pdf, 2012.

Sintermann J.,Neftel A., Ammann C., Häni C., Hensen A., Loubet B., Flechard C.R. 2012: Are ammonia emissions from field-applied slurry substantially over-estimated in European emission inventories? Biogeosciences, 9, 1611–1632, 2012 (doi:10.5194/bg-9-1611-2012)

UNECE 2007: UNECE Convention on long-range transboundary air pollution: Guidance document on control techniques for preventing and abating emissions of ammonia Geneva, 2007 www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2007/eb/wg5/WGSR40/ece.eb.air.wg.5.2007.13.e.pdf

UNECE 2009a: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), United Nations Economic Comission for Europe (UNECE): www.unece.org/env/lrtap/s. Webseite aufgerufen am 6.4.2009.

UNECE 2009b: Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone, United Nations Economic Comission for Europe (UNECE): www.unece.org/env/lrtap/s. Webseite aufgerufen am 6.4.2009.

UNECE 2012: Parties to UNECE Air Pollution Convention approve new emission reduction commitments for main air pollutants by 2020. Published: 04 May 2012. www.unece.org/fileadmin/DAM/press/pr2012/GothenburgProtocol_Table_Eng.pdf.

UNFCCC 1997: Kyoto Protokoll, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): http://unfccc.int/2860.php. Webseite aufgerufen am 6.4.2009.

UWE 2007: Kanton Luzern, Dienststellen Umwelt und Energie UWE, Landwirtschaft und Wald LAWA, Luzerner Bäuerinnen und Bauernverband: Massnahmenplan Luftreinhaltung, Teilplan Ammoniak, 17.01.2007 www.umwelt-luzern.ch/teilplan_ammoniak.pdf [14.8.2009].

SHL 2011: Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft: Reduktionspotenzial der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2030, Technischer Schlussbericht zuhanden des BAFU, Zollikofen/Bern.

Stahel W.A. 2000: Statistische Datenanalyse, 3. Auflage. Verlag viewegBraunschweig/Wiesbaden.

Stehfest et. al 2009: Stehfest E., Bouwman L., van Vuuren D.P., den Elzen M.G.J., Eickhout B., Kabat P. 2009: Climate benefits of changing diet. Climatic Change 95 (1–2): 83–102.

Zessner 2011: Zessner M: Gesunde Ernährung und Nachhaltigkeit – Zusammenfassung der Ergebnisse, Präsentation eines Projektes im Rahmen des proVISION Programmes, Wien 2011

Zobrist J., Reichert P. 2006: Bayesian Estimation of Export Coefficients from diffuse and point sources in Swiss Watersheds. Journal of Hydrology 2006: 329, 207–223.

Zobrist 2013: Zobrist J. und Biedermann R.: Export von Stickstoff-verbindungen über die Grenzflüsse der Schweiz. Interne Studie z.Hd. INFRAS, Zürich, Januar 2013».

> Verzeichnisse

Abkürzungen

GRUDAF
Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau

GUD
Gas- und Dampf-Kombikraftwerke.

GVE
Grossvieheinheit

LCA
Life cycle assessment

LRK
Luftreinhaltekonzept.

MTFR
«maximum technical feasible reduction»; maximal technisch machbare Reduktion

UZL
Umweltziele Landwirtschaft

VSA
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute.

WDZ
Weiterentwicklung Direktzahlungssystem

WKK
Wärme-Kraftkopplung

Abbildungen

Abb. 1
Stickstoffverbindungen und -umwandlungen 13

Abb. 2
Stickstoffkreislauf 14

Abb. 3
Beispiele für treibende und induzierte Stoffflüsse 18

Abb. 4
Bevölkerungsentwicklung Schweiz 2000–2020 23

Abb. 5
Vorgehen zur Abschätzung der N-Flüsse 2020 31

Abb. 6
Beziehung zwischen Subsystemen des Stoffflusssystems und Arbeitsbereichen 31

Abb. 7
Stoffflussanalyse Stickstoff 2005 39

Abb. 8
Stoffflusssystem Stickstoff 2020 (Basisszenario) 40

Abb. 9
Subsystem Land- und Forstwirtschaft 2020 (Basisszenario) 42

Abb. 10
Subsystem Umwelt 2020 (Basisszenario) 44

Abb. 11
Subsystem Produkteherstellung / Produktenutzung 2020 (Basisszenario) 47

Abb. 12
Subsystem Abfallwirtschaft 2020 (Basisszenario) 49

Abb. 13
Entwicklung der reaktiven Stickstoffverbindungen 58

Abb. 14
Charakterisierung der Emissionen reaktiver Stickstoffverbindungen im Jahr 2020 59

Abb. 15
N-Effizienz nach BLW 62

Abb. 16
Kontext der Nahrungsmittelproduktion 67

Abb. 17
Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in Dänemark 69

Abb. 18
Bilanz der Luftschadstoffe NO_X (N_{ox}) und NH_3 (N_{red}) in der Schweiz 2020 87

Abb. 19
Entwicklung der Tierzahlen, Milchleistung und N Ausscheidung 90

Tabellen

Tab. 1
Ziele und Basisszenario 2020 11

Tab. 2
Prozesse 17

Tab. 3
Zusammenfassung Zielsysteme 24

Tab. 4
Ziele Luftreinhalte-Konzept 25

Tab. 5
Inland- Zielvorgaben für N-Frachten in Luft und Gewässer 28

Tab. 6
Zielvorgaben International 29

Tab. 7
Treibende und induzierte Flüsse des Arbeitsbereichs Energie, Klima, Luft 32

Tab. 8
Treibende und induzierte Flüsse des Arbeitsbereichs Land- und Forstwirtschaft, Ernährung 34

Tab. 9
Treibende und induzierte N-Flüsse des Arbeitsbereichs Gewässer & Übrige Böden 36

Tab. 10
Input Output Tabelle Subsystem Land- und Forstwirtschaft 43

Tab. 11
Input Output Tabelle Subsystem Umwelt 45

Tab. 12
Input Output Tabelle Subsystem Produkteherstellung/Produktenutzung 48

Tab. 13
Input Output Tabelle Subsystem Abfallwirtschaft 50

Tab. 14
N-Flüsse Energie, Klima, Luft 2005 und 2020 (Basisszenario) 52

Tab. 15
N-Flüsse Land-/Forstwirtschaft und Ernährung 2005 und 2020 (Basisszenario) 54

Tab. 16
N-Flüsse Gewässer und übrige Böden 2005 und 2020 (Basisszenario) 56

Tab. 17
Zeitreihe für Inputs und Verluste reaktiver Stickstoffverbindungen in die resp. aus der Schweiz gemäss Bilanzierungsmethode ENA 59

Tab. 18
N-Bilanz nach OSPAR 61

Tab. 19
Ziele und Basisszenario 2020 73

Tab. 20
Reduktionspotenziale der Wenn-Dann Analysen 73

Tab. 21
Synergien und Zielkonflikte verschiedener Zielsysteme 77

Tab. 22
Charakterisierung sämtlicher Flüsse des Stoffflusssystems 81

Tab. 23
Umrechnungsfaktoren Stickstoffverbindungen 84

Tab. 24
Luftreinhaltemassnahmen im Basisszenario 87

Tab. 25
N-Flüsse Energie, Klima, Luft 88

Tab. 26
N-Flüsse Landwirtschaft 92

Tab. 27
Abschätzung N-Flüsse Hydrosphäre 94

Tab. 28
Abschätzung N-Flüsse übrige Böden 95

Tab. 29
Wirkungen revidiertes CO_2-Gesetz 96

Tab. 30
Wirkung auf N-Emissioinen durch die neue Energiepolitik 98

Tab. 31
Wirkungen Wenn-Dann Luftreinhaltung 99

Tab. 32
Wichtigste Massnahmen Dänemark und mögliche Relevanz für die Schweiz 101