

BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT BLW

STICKSTOFF IN DER LAND- & ERNÄHRUNGSWIRTSCHAFT STICKSTOFFFLÜSSE, VERLUSTE UND REDUKTIONSPOTENZIALE

Zürich, 3. Mai 2013

J. Reutimann, J. Heldstab, F. Leippert, INFRAS

INFRAS_2013-05-03_N IN DER LAND- UND ERNÄHRUNGSWIRTSCHAFT_FINAL_INKL-KORREKTUREN.DOCX



INFRAS

INFRAS

BINZSTRASSE 23
POSTFACH
CH-8045 ZÜRICH
t +41 44 205 95 95
f +41 44 205 95 99
ZUERICH@INFRAS.CH

MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN

WWW.INFRAS.CH

INHALT

Inhalt	2
Zusammenfassung	4
1. Einleitung	5
2. Methodik und Vorgehen	6
2.1. Grundlagen	6
2.2. Vorgehen	6
2.3. Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft	7
3. Basis-Szenario	10
3.1. Ist-Zustand 2005	10
3.1.1. Datenquellen	10
3.1.2. Stoffflusssystem 2005	10
3.2. Prognose-Zustand 2020	11
3.2.1. Datenquellen	11
3.2.2. Stoffflusssystem 2020	13
4. Szenario ÖkOpt	14
4.1. Vorgaben BLW	14
4.2. Modellergebnisse HAFL	15
4.2.1. Hinweise zur Datenaktualität	16
4.3. Einschränkungen des Szenario ÖkOpt	16
4.4. Stoffflusssystem ÖkOpt 2020	17
4.4.1. Aufbereitung von HAFL-Daten	17
4.4.2. Stofffluss-Diagramm ÖkOpt 2020	19
5. Stickstoff-Bilanzen und -Verluste 2005 und 2020	21
5.1. Zeitentwicklung der Stickstoff-Bilanzen	21
5.2. Verluste in die Umwelt	22
5.3. Zielerreichung und Reduktionsbedarf	26
5.3.1. N-Verluste vs. Ziele für die Landwirtschaft	26
5.3.2. Reduktionsbedarf zum Erreichen des Szenario ÖkOpt	29
5.4. Effizienzfragen	30
5.4.1. Stickstoffverlust/Energie-Rate	30
5.4.2. N-Effizienz nach OSPAR	31
6. Weitere Reduktionspotenziale / Wenn-Dann-Optionen	34

6.1.	Option MTR: NH ₃ -Reduktion durch technische Massnahmen	34
6.2.	Veränderung Im Umgang mit tierischen Produkten	39
6.2.1.	Reduktion tierische Produktion im Inland	39
6.2.2.	Kein Konsum tierischer Produkte	40
6.3.	Weniger Nahrungsmittelabfälle	45
6.3.1.	Einsatz Nahrungsmittelabfälle in der Tierproduktion	45
6.3.2.	Bessere Verwertung von Nahrungsmitteln	49
7.	Fazit	53
Annex		55
A-1	Daten und Annahmen zu Bevölkerung, Selbstversorgungsgrad etc.	55
A-2	Daten zu Kulturen, Tierzahlen und Tierproduktion	55
A-3	Herleitung Zielwert NO ₃ -Auswaschung	57
Glossar		58
Literatur		59

ZUSAMMENFASSUNG

Weil die Stickstoffverluste aus der Schweizer Landwirtschaft nach wie vor zu hoch sind und vielfältige Umweltprobleme verursachen, erarbeitet das BLW zurzeit Grundlagen zum ökologischeren und ökonomischeren Umgang mit Stickstoff.

In dieser Studie wurden im Auftrag des BLW die Stickstoffflüsse des schweizerischen Systems Land- und Ernährungswirtschaft unter verschiedenen Szenarien aufgezeigt. Als Grundlage wurde eine aktuelle Stickstoff-Stoffflussanalyse Schweiz für die Jahre 2005 (BAFU 2012) und 2020 (BAFU 2013) verwendet. Für die Fragestellung des BLW wurde dieses Stoffflusssystem in geeigneter Weise angepasst. Damit lassen sich die erwarteten Änderungen der N-Flüsse in den verschiedenen Szenarien und die entsprechenden N-Verluste sichtbar machen, wobei unter „Verluste“ die Emissionen von Stickstoffverbindungen in Atmosphäre und Hydrosphäre verstanden werden (Kapitel 2).

In einem ersten Schritt wurden die Stickstoff-Flüsse für den Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios berechnet. Dieses geht davon aus, dass sich die Landwirtschaft gemäss der Agrarpolitik 2014-2017 entwickelt und dass die Bevölkerung in dieser Phase um 13% wächst. Unter diesen Annahmen ist bei den Stickstoff-Verlusten gegenüber dem Ist-Zustand 2005 mit leichten Verbesserungen zu rechnen (Kapitel 3); doch die Umweltziele zum Stickstoff werden bis 2020 immer noch deutlich verfehlt, es bleibt nach wie vor ein hoher Handlungsbedarf bestehen.

Ausgehend von Vorgaben des BLW wurde in einem zweiten Schritt ein Szenario „ökologische Optimierung des landwirtschaftlichen Produkteportfolios“ (ÖkOpt) derart konstruiert, dass der Prognose-Zustand 2020 das Umweltziel Ammoniakemissionen (max. 25 kt NH₃-N) erreicht. Dieses Szenario erfordert bedeutende Änderungen bei der Wahl der Ackerkulturen, sowie eine Reduktion des Tierbestandes (Kapitel 4).

Der Zustand ÖkOpt 2020 wird im selben Stoffflusssystem dargestellt wie das Basis-Szenario. Dadurch sind Vergleiche auf Stufe der Stickstoffflüsse möglich. Es lassen sich Unterschiede in den Verlusten quantifizieren, und die Reduktionspotenziale des Szenarios ÖkOpt können gegenüber dem Basis-Szenario angegeben werden (Kapitel 5). Betrugen die Verluste im Ist-Zustand 2005 noch ca. 100 kt N, sollten sie im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios auf 94 kt N, und im ÖkOpt-Zustand sogar bis auf 60 kt N absinken.

ÖkOpt ist nicht der einzige Weg zur Reduktion von Stickstoffverlusten. Weitere Ansätze sind: technische Massnahmen bei landwirtschaftlichen Anlagen umsetzen, weniger tierischer Produkte konsumieren und Nahrungsmittel besser verwerten. Diese Aspekte werden einzeln untersucht und quantitativ abgeschätzt (Kapitel 6). Die Ergebnisse zeigen, dass sie ebenfalls zur Reduktion der Verluste beitragen können, wenn auch nicht im zur Zielerreichung notwendigen Ausmass. Das Fazit aus den Analysen (Kapitel 7) lautet, dass verschiedene Optionen und

Ansatzpunkte für Schritte in Richtung der Stickstoffzielerreichung möglich sind. Um die Umweltziele effektiv zu erreichen müsste aber gewiss eine Kombination mehrerer Optionen angestrebt werden.

1. EINLEITUNG

Die Umweltziele Landwirtschaft (BAFU/BLW 2008) und die Klimastrategie Landwirtschaft (BLW 2011) geben ehrgeizige ökologische Ziele für die Verluste der reaktiven Stickstoffverbindungen NH_3 , NO_3 und N_2O aus der Landwirtschaft vor (BLW 2011b). Die Ziellücken sind jedoch in den letzten Jahren unverändert gross geblieben. Eine Senkung der Stickstoffüberschüsse der Landwirtschaft, insbesondere die Reduktion der Ammoniakemissionen wird daher in der Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik 2014-2017 (AP 14-17) thematisiert (BLW 2012b) und auch der neuste Agrarbericht des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) bezeichnet Stickstoff in der Landwirtschaft und die Senkung der Stickstoffverluste nach wie vor als wichtige Themen im Bereich Ökologie der Schweizer Landwirtschaft (BLW 2012a).

Um den Zielen näher zu kommen, erstellt das BLW weitere Grundlagen zum ökologischen und ökonomischen Umgang mit dem Stickstoff in der Schweizer Landwirtschaft. Eine Stickstoff-Strategie soll längerfristig in die Agrarpolitik einfließen und soll damit einen Beitrag zur Umsetzung der Strategie Land- und Ernährungswirtschaft 2025 und der Klimastrategie leisten.

Die vorliegende Studie ist ein Element dieser Grundlagen. Sie geht der Frage nach, wie die Stickstoffflüsse in einer Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft aussehen könnten, in der die Umweltziele zum reaktiven Stickstoff erfüllt würden. Im Laufe der Projektarbeit wurde diese Annahme vereinfacht und mit dem Szenario allein das Umweltziel der Einhaltung von Ammoniakemissionen von max. 25 kt $\text{NH}_3\text{-N}$ pro Jahr verfolgt, anstelle der Einhaltung sämtlicher Umweltziele bezüglich reaktivem Stickstoff.

Die Studie baut auf bisherigen Studien zu Stickstoffflüssen in der Schweiz auf, fokussiert aber auf die Land- und Ernährungswirtschaft. In einem ersten Teil werden Stickstoffflüsse in einem Basis-Szenario 2005 und 2020 für die Land- und Ernährungswirtschaft dargestellt (Kapitel 3). In einem zweiten Teil werden Stickstoffflüsse in einem hypothetischen Zustand unter dem Titel „ökologische Optimierung des landwirtschaftlichen Produkteportfolios“ (ÖkOpt) berechnet (Kapitel 4). Dieser Zustand basiert auf Vorgaben des BLW (Kapitel 4.1) und Modellabschätzungen der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL 2012). Er beschreibt einen hypothetischen Zustand, in dem die Schweizer Landwirtschaft das UZL NH_3 einhalten und den Netto-Selbstversorgungsgrad auf dem heutigen Niveau halten kann. Ein Vergleich dieses Ziel-Zustandes mit den Stoffflüssen im Ausgangszustand ermöglicht u.a. Rückschlüsse auf den Reduktionsbedarf bei treibenden Stickstoffflüssen (Kapitel 5). Zusätzlich zu

den Modellrechnungen zeigt die Studie weitere Wege auf, die Potenziale bieten, Stickstoffverluste der Land- und Ernährungswirtschaft zu reduzieren (Kapitel 6).

2. METHODIK UND VORGEHEN

2.1. GRUNDLAGEN

Quantitative Grundlagen für die vorliegende Studie sind der Agrarbericht 2008 (BLW 2008), die schweizerischen Inventare für Treibhausgase und Luftschadstoffemissionen aus dem Emissionsinformationssystem der Schweiz EMIS (BAFU 2012a), diverse Arbeiten der Agroscope (ART 2008a-c) und der ETH (IAW 2006), die Stickstoff-Stoffflussanalysen der Schweiz (BAFU 2010, 2012) sowie die Umweltziele Landwirtschaft (BAFU/BLW 2008) und die Klimastrategie Landwirtschaft (BLW 2011). Speziell sei erwähnt, dass das in der vorliegenden Studie verwendete Stickstoff-Stoffflussmodell der Land- und Ernährungswirtschaft auf dem System BAFU (2010, 2012) beruht. Die Grundlagen für das Szenario ÖkOpt wurden von der HAFL bereitgestellt und sind in einem separaten Bericht dokumentiert (HAFL 2012).

2.2. VORGEHEN

Abbildung 1 zeigt schematisch das Vorgehen bei der Erarbeitung der vorliegenden Studie: Aufbauend auf den genannten Grundlagen (grauer Kasten links) wurde im Modell „Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft“ das Basis-Szenario (blauer Kasten) mit dem Ist-Zustand 2005 und dem Prognose-Zustand 2020 erstellt. Der Zustand 2005 diente auch als Ausgangslage für das Szenario ÖkOpt (grüner Kasten) mit dem Ziel-Zustand ÖkOpt 2020.

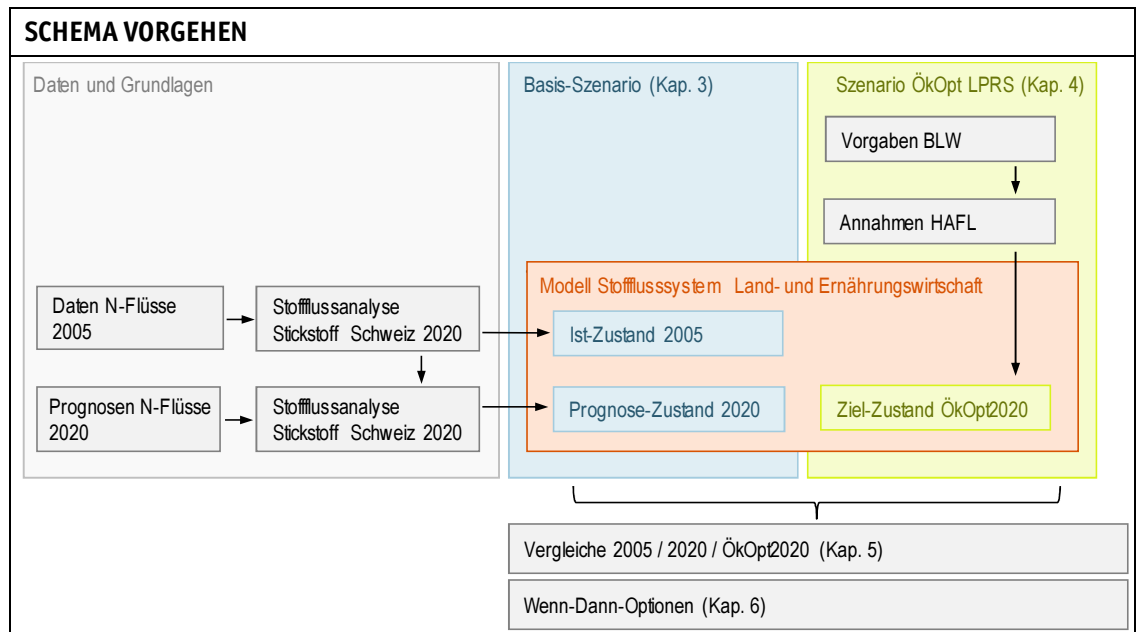


Abbildung 1 Schematische Darstellung des Vorgehens. Die Bezeichnungen Kap. 3 etc. bezeichnen die Kapitel der vorliegenden Studie, in denen die Schritte erläutert werden.

2.3. STOFFFLUSSSYSTEM LAND- UND ERNÄHRUNGSWIRTSCHAFT

Aus von den bereits durchgeführten Bilanzierungen von Stickstoff-Stoffflusssystemen „Stickstoff Schweiz 2005“ und „Stickstoff Szenarien Schweiz 2020“, welche die Stickstoffflüsse innerhalb der Systemgrenze Schweiz bilanzierten, wurde das Stoffflusssystem „Land- und Ernährungswirtschaft“ herausgelöst und separat betrachtet. Das bedeutet, dass im Wesentlichen das Subsystem Land- und Forstwirtschaft der bisherigen Stickstoff-Stoffflusssysteme betrachtet wurde, allerdings ohne die Forstwirtschaft und ergänzt durch wichtige Elemente der Produktherstellung / Produktnutzung, welche ebenfalls der Land- und Ernährungswirtschaft zugeordnet werden konnten. Dieses Stoffflusssystem „Land- und Ernährungswirtschaft“ mit den dazugehörigen Prozessen und Flüssen bildet die zugrundeliegende Struktur für alle Stickstoff-Szenarien, die im Folgenden modelliert, bilanziert und verglichen werden.

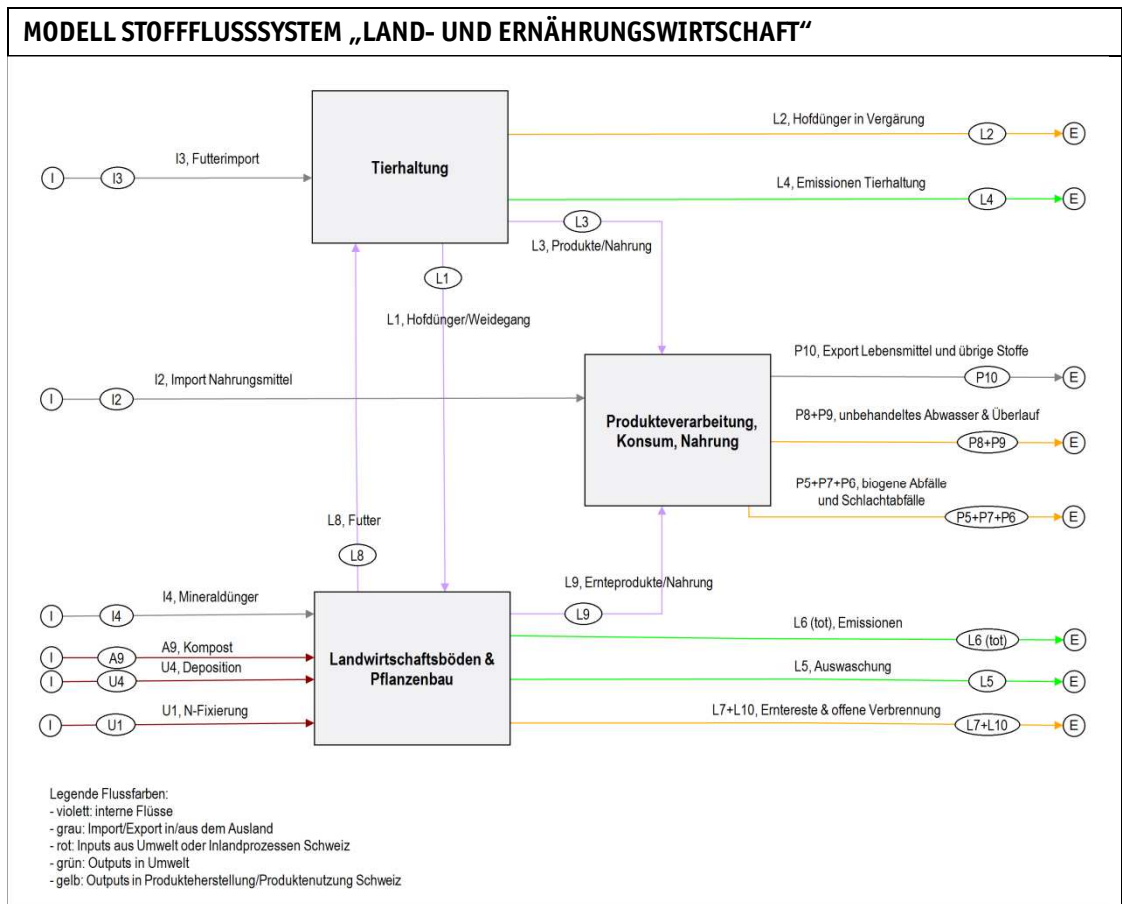


Abbildung 2 Modell des Stoffflussesystems „Land- und Ernährungswirtschaft“ mit den drei Prozessen „Tierhaltung“, „Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau“ und „Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung“. Zwischen den Prozessen sowie über die Systemgrenze hinein (I: Import) und hinaus (E: Export) fließen die Stickstoffflüsse. Die Bezeichnungen der Flüsse entsprechen jenen der Stickstoffflüsse der Studien BAFU (2010) und BAFU (2012).

Flüsse

Aufgrund von Kenntnissen aus den bisherigen Stickstoff-Stoffflussanalysen wurden die Stickstoffflüsse für das neue System „Land- und Ernährungswirtschaft“ definiert. Die bisher verwendeten Stickstoffflüsse wurden soweit möglich beibehalten inklusive deren Bezeichnungen; in wenigen Fällen wurden mehrere Flüsse aufsummiert (z.B. Fluss L7+L10 und Fluss P5+P7+P6) (Tabelle 1). Die Stoffflüsse werden in der Einheit kt N (Kilotonnen Stickstoff) angegeben und beziehen sich jeweils auf ein Jahr. Die Berechnung einzelner Flüsse im System ÖkOpt ist in Kapitel 4.4.1 erläutert.

Flussbezeichnung	Herkunftsprozess	Zielprozess
A9 Kompost	Abfallwirtschaft	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau
I2 Import Nahrungsmittel	Ausland	Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung
I3 Futterimport	Ausland	Tierhaltung
I4 Mineraldünger	Ausland	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau
L1 Hofdünger/Weidegang	Tierhaltung	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau
L1 Hofdünger/Weidegang	Tierhaltung	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau
L2 Hofdünger in Vergärung	Tierhaltung	Vergärung, ausserhalb Systemgrenze
L3 Produkte/Nahrung	Tierhaltung	Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung
L3 Produkte/Nahrung	Tierhaltung	Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung
L4 Emissionen Tierhaltung	Tierhaltung	Atmosphäre, ausserhalb Systemgrenze
L5 Auswaschung	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	Hydrosphäre, ausserhalb Systemgrenze
L6 (tot) Emissionen Böden/Pflanzenbau	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	Atmosphäre, ausserhalb Systemgrenze
L7 & L10 Erntereste & offene Verbrennung	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	Vergärung & Atmosphäre, ausserhalb Systemgrenze
L8 Futter	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	Tierhaltung
L8 Futter	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	Tierh., Tierhaltung
L9 Ernteprodukte/Nahrung	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung
L9 Ernteprodukte/Nahrung	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau	Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung
P10 Export Lebensmittel und übrige Stoffe	Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung	Ausland
P5 & P7 & P6 biogene Abfälle und Schlachtabfälle	Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung	Abfallwirtschaft, ausserhalb Systemgrenze
P8 & P9 unbehandeltes Abwasser & Überlauf	Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung	Abwasserreinigungsanlagen, ausserhalb Systemgrenze
U1 N-Fixierung	Atmosphäre, ausserhalb Systemgrenze	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau
U4 Deposition	Atmosphäre, ausserhalb Systemgrenze	Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau

Tabelle 1: Bezeichnungen der Flüsse im Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft mit Herkunfts- und Zielprozessen.

Systemgrenzen

Die Systemgrenzen des neuen N-Stoffflusssystems umfassen die Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft. Umwelt und Abfallwirtschaft sowie ein Grossteil der Industrie bzw. Produktherstellung/Produktenutzung liegen ausserhalb der Systemgrenzen.

System und Prozesse

Das Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft enthält die Prozesse „Tierhaltung“, „Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau“ sowie „Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung“. Das System wurde eigens für die vorliegende Studie aus dem System BAFU (2010) abgeleitet.

3. BASIS-SZENARIO

Das Basis-Szenario beschreibt die zu erwartende Entwicklung der Stickstoffflüsse in der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft in den Zuständen für 2005 (Ist-Zustand 2005, Kapitel 3.1) und 2020 (Prognose-Zustand 2020, Kapitel 3.2).

3.1. IST-ZUSTAND 2005

Der Ist-Zustand 2005 beschreibt das N-Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft (Vgl. Kapitel 2.3) im Jahre 2005.

3.1.1. DATENQUELLEN

Der Ist-Zustand 2005 entspricht den Daten von BAFU (2010). Diese basieren u.a. auf:

- › Eidgenössische Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART): Ein wesentlicher Teil der Landwirtschaftsdaten stammt von der ART, insbesondere Daten aus dem Agrarbericht (BLW 2008), dem „Treibhausgasinventar Landwirtschaft“ (ART 2008c) und Daten zur N-Bilanz Schweiz (ART 2008a).
- › BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und NIS: Luftschadstoffinventar (FOEN 2009a) und Treibhausgasinventar (FOEN 2009b),
- › BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe (BAFU 2008).

Für weitere Informationen zu Quellen und Qualität der Daten siehe BAFU 2010.

3.1.2. STOFFFLUSSSYSTEM 2005

Die folgende Abbildung 3 zeigt die Stickstoffflüsse im Ist-Zustand 2005. Die zwei grössten Stickstoffflüsse fliessen zwischen den Prozessen „Tierhaltung“ und „Landwirtschaftsböden/Pflanzenbau“ hin und her. Weiter fliessen grosse Output-Flüsse aus den Prozessen Tierhaltung und Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau in die Luft und die Gewässer, sowie vom Prozess Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung in die Abwasserreinigungsanlagen.

Wichtige Input-Flüsse von ausserhalb der Systemgrenze sind Nahrungsmittelimporte, Futtermittelimporte und Mineräldüngerimporte aus dem Ausland, sowie die N-Deposition und die N-Fixierung aus der Atmosphäre.

Grosse Unsicherheiten treten bei der Nitratauswaschung, bei den Emissionen aus dem Pflanzenbau und bei der Stickstofffixierung auf.

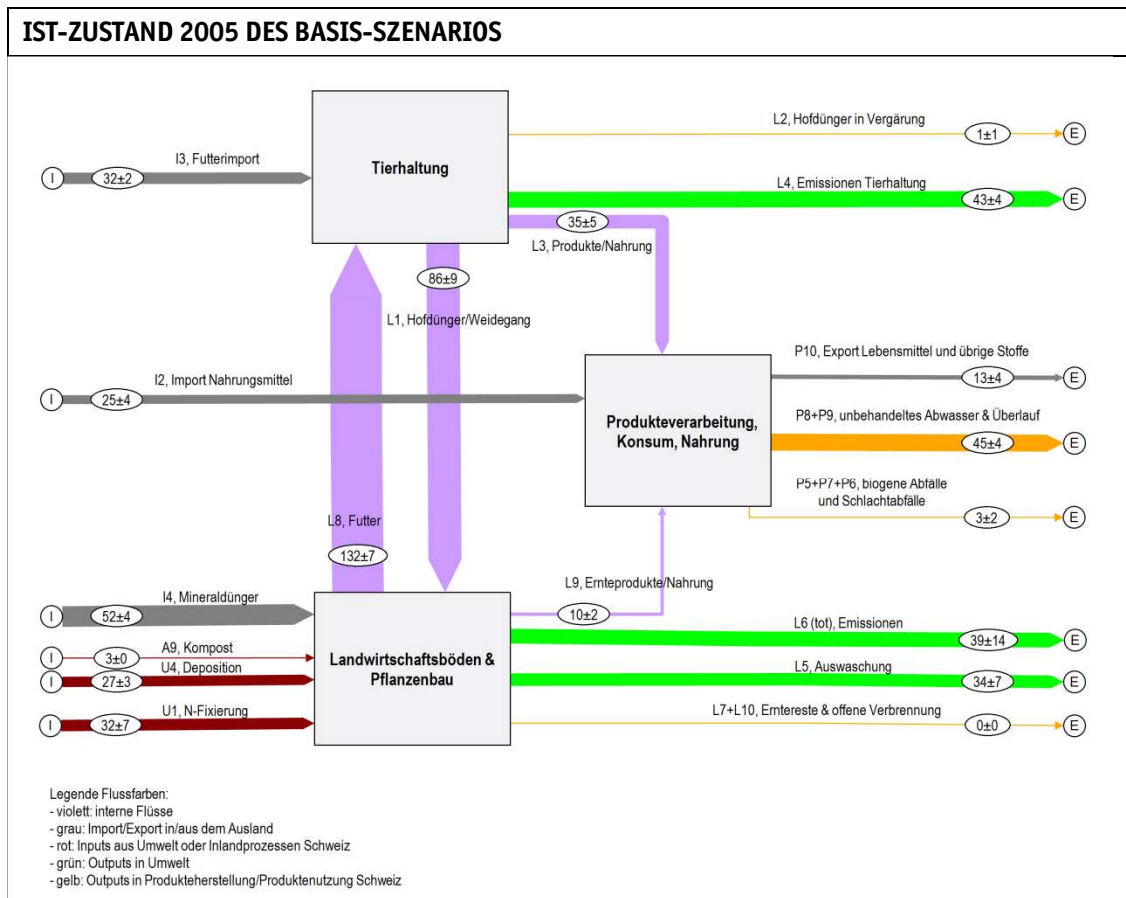


Abbildung 3 Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft des Basis-Szenarios im Ist-Zustand 2005 mit N-Flüssen und deren Unsicherheiten in kt N. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs- oder Zielsysteme, siehe Legende im Bild.

3.2. PROGNOSE-ZUSTAND 2020

Der Prognose-Zustand 2020 beschreibt das N-Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft (Vgl. Kapitel 2.3) im Jahre 2020.

3.2.1. DATENQUELLEN

Der Prognose-Zustand 2020 basiert auf Daten der Studie „Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020“ (BAFU 2012). Diese Studie wiederum baut auf der Studie „Stickstoffflüsse in der Schweiz, Stoffflussanalyse für das Jahr 2005“ (BAFU 2010) auf: Sie beschreibt dieselben Stickstoffflüsse, berechnet diese aber mit Hilfe von Annahmen zu Trendentwicklungen für das Jahr 2020. Den Stickstoffflüssen im Bereich Landwirtschaft und Ernährung, die auch für den Prognose-Zustand 2020 der vorliegenden Studie relevant sind, liegen im Wesentlichen folgende Annahmen zugrunde:

- › Die Bevölkerung wächst gemäss dem mittleren BFS-Szenario für die Bevölkerung (BFS 2011).
- › Die Schweiz tritt keinem Agrarfreihandelsabkommen bei.

- › Die Rahmenbedingungen der Landwirtschaft entwickeln sich gemäss der Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik 2014-2017 (BLW 2012b), 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.
- › N-Flüsse die aufgrund von Berechnungen für 2017 abgeschätzt werden konnten (ART/BLW 2011), wurden bis 2020 linear fortgeschrieben.
- › Es wurde angenommen, dass sich die zukünftigen Ernährungsgewohnheiten (Stickstoffaufnahme durch Fleisch, Eier, Milch, etc.) und die Lebensmittelimporte nicht verändern, während die Importe zunehmen.
- › Für die Abschätzung der landwirtschaftlichen NH_3 -Emissionen im Jahr wurde die Studie von Kupper und Menzi (2011) berücksichtigt, die die Wirkung der Ressourcenprogramme und des technischen Fortschritts mithilfe des Modells Agrammon berechnet, zusätzlich zu den in ART/BLW (2011) bereits berücksichtigten Auswirkungen der AP 2014-2017. Weiter wurde das Ausgangsniveau der NH_3 -Emissionen aus der Landwirtschaft im Jahr 2005 gemäss neusten Kenntnissen aktualisiert.
- › Basierend auf den Berechnungen von ART/BLW (2011) wurde die Auswaschung von Stickstoffverbindungen (v.a. Nitrat) aus den landwirtschaftlichen Böden für 2005–2020 konstant belassen. Dies aufgrund von zwei gegenläufigen Trends: Einerseits nimmt die offene Ackerfläche unter der AP 2014-2017 zu (Zimmermann et al. 2011), was auch das Risiko vermehrter NO_3 -Auswaschung erhöht, andererseits nimmt die Deposition aus der Luft ab (BLW 2012). Es wurde angenommen, dass sich die Trends (näherungsweise) kompensieren. Die Unsicherheiten bei der Auswaschung sind deshalb besonders hoch.

Für detailliertere Angaben zu Annahmen und Berechnung der N-Flüsse in der Schweiz im Jahr 2020 siehe BAFU (2012), Anhang A2.

3.2.2. STOFFFLUSSSYSTEM 2020

Abbildung 4 zeigt die im Basis-Szenario prognostizierten N-Flüsse der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft im Jahre 2020. Es gibt zwar charakteristische Änderungen im Vergleich zum Zustand 2005, aber diese sind nicht besonders prägnant: Im Vergleich zu 2005 reduzieren sich die Flüsse Mineraldüngerimport (I4, -12%), Emissionen aus der Tierhaltung (L4, -8%) und Deposition auf Landwirtschaftsböden (U4, -18%). Folgende Flüsse nehmen zu: Futtermittelimport (I3, +14%), unbehandeltes Abwasser und Überlauf (P8 & P9; +11%), Import von Lebensmitteln (I2, +15%) sowie Hofdünger Weidegang (L1; +6%).

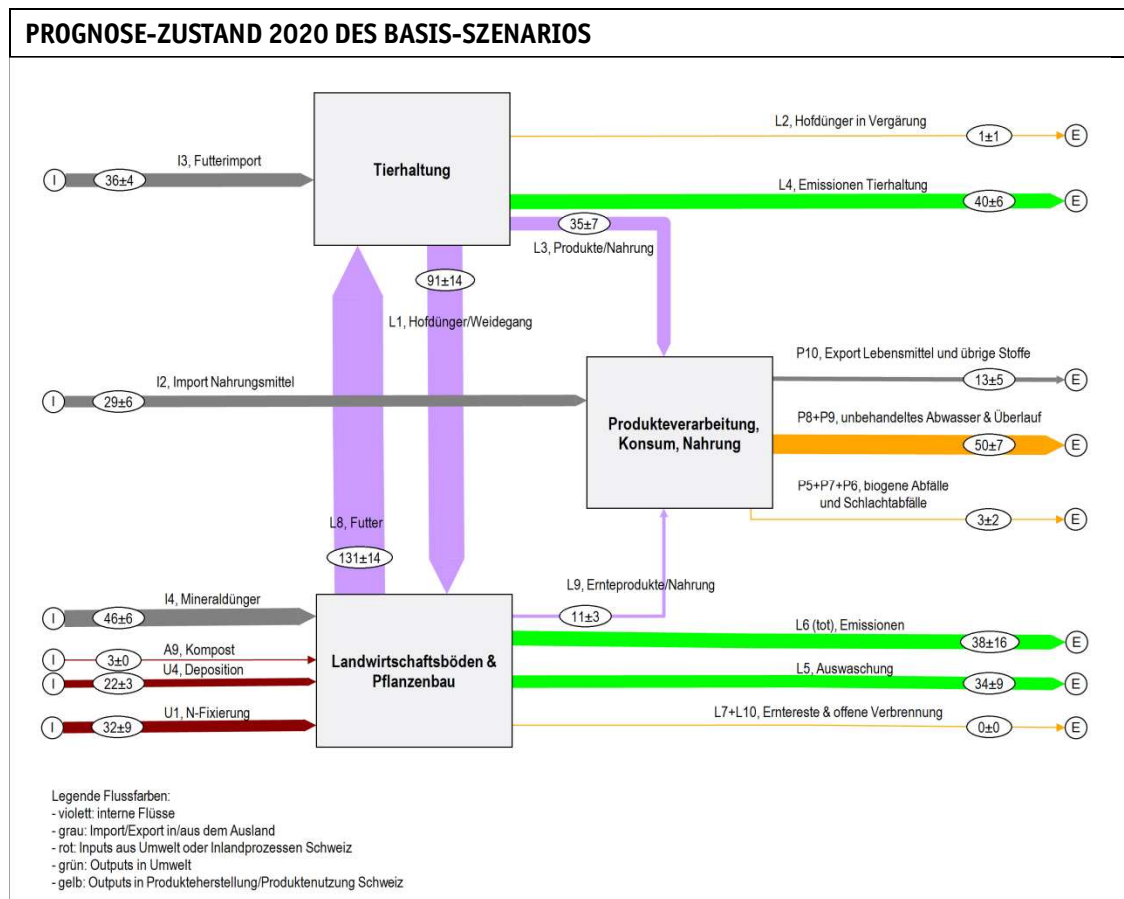


Abbildung 4 Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft im Basis-Szenario für den Prognose-Zustand 2020 mit N-Flüssen in kt N. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs- oder Zielsysteme, siehe Legende im Bild.

4. SZENARIO ÖKOPT

Ausgehend von Vorgaben des BLW (Kapitel 4.1) hat die Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) ermittelt, wie eine Schweizer Landwirtschaft im Zustand „ökologische Optimierung des landwirtschaftlichen Produkteportfolios unter Berücksichtigung der relativen Standortvorteile“ (ÖkOpt) aussehen würde (HAFL 2012). Dieser durchwegs hypothetische Zustand ist grundsätzlich nicht mit einem bestimmten Jahr verknüpft. Allerdings musste für die Quantifizierung von mehreren Flüssen eine Bevölkerungszahl angenommen werden (z.B. Nahrungsmittelproduktion). Um den Zustand mit dem Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios vergleichen zu können ist, wird deshalb die Bevölkerungszahl 2020 benutzt und in dieser Studie von einem „Szenario ÖkOpt“ gesprochen. Bei diesem Szenario geht es lediglich darum, Verluste und Reduktionspotenziale ausleuchten zu können und nicht darum, ein realistisches Szenario für das Jahr 2020 zu beschreiben.

Die Modellergebnisse der HAFL (Kapitel 4.2 und 4.3) dienten INFRAS als Input-Daten zur Berechnung der Stickstoffflüsse im Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft für das Szenario ÖkOpt (Kapitel 4.4). Der Zustand „ÖkOpt 2020“ steht dabei für den Ziel-Zustand des Szenarios unter der erwähnten Annahme, dass die Bevölkerungszahl derjenigen für das Jahr 2020 prognostizierten entspricht (gemäss dem mittleren BFS-Szenario für die Bevölkerung (BFS 2011)).

4.1. VORGABEN BLW

Die Vorgaben des BLW sind im Bericht der HAFL (2012) ausführlich beschrieben, ebenso die Entscheide zur Ausgestaltung des Szenarios ÖkOpt 2020 und die Vereinfachung und Anpassungen, die ausgehend von den Vorgaben des BLW und der Annahmen der HAFL getroffen wurden. Die schliesslich verwendeten wichtigsten Annahmen für das Szenario ÖkOpt umfassen Folgendes:

- › Erreichung des vorgegebenen Umweltziels bezüglich stickstoffhaltiger Luftschadstoffe von max. 25 kt NH₃-N pro Jahr.
- › Erhalt des Nettoselbstversorgungsgrades¹ 2005.
- › Keine Rückschritte in anderen Bereichen der Ökologie, d.h. Erfüllung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) und der guten landwirtschaftlichen Praxis in Bezug auf die Fütterung der Raufutterverzehrer.

¹ 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.).

4.2. MODELLERGEBNISSE HAFL

Um die Modellergebnisse zum Szenario ÖkOpt unter den Vorgaben des BLW zu erstellen, ist die HAFL von folgenden grundlegenden Annahmen in Bezug auf die **N-Verluste** aus der landwirtschaftlichen Produktion ausgegangen (HAFL 2012, Präsentation B. Reidy, vgl. Bericht HAFL (2012)):

- › Annahme 1: Die Tierproduktion weist für die Versorgung des Menschen mit verdaulicher Energie allgemein eine schlechtere N-Effizienz auf als der Pflanzenbau (Flisch et al. 2009a, Flisch et al. 2009b).
- › Annahme 2: In der Tierproduktion gilt die folgende Reihenfolge bezüglich Ammoniakemissionen pro Stickstoffgehalt im Futter: Rindermast > Schweinemast > Milchproduktion (Flisch et al. 2009a)
- › Annahme 3: Der Ackerbau verursacht höhere N- Auswaschungsverluste als das Grünland.
- › Annahme 4: Für Grünland ergibt sich in Bezug auf das Auswaschungsrisiko folgende Reihenfolge: Kunstwiesen (Schnitt oder Weide) > Beweidete Naturwiesen > Naturwiesen mit Schnittnutzung.
- › Annahme 5: Bei den Ackerkulturen weisen insbesondere die Kartoffeln und die Eiweisserbsen ein im Vergleich zu anderen Ackerkulturen höheres N-Auswaschungsrisiko auf (Prashun und Spiess 2003).

Für die **landwirtschaftliche Produktion** im Szenario ÖkOpt hat die HAFL folgende Annahmen getroffen:

- › Verzicht auf die Produktion von tierischen Kalorien mit Monogastrier (Schweine). Der Bedarf muss durch Importe abgedeckt werden.
- › Die Produktion von tierischen Kalorien beschränkt sich auf Raufutterverzehrer, die maximal mögliche Tierzahl wird durch das Umweltziel vorgegeben. Als Konsequenz muss der ungedeckte Bedarf an Milch durch Importe gedeckt werden, zudem beschränkt sich der Rindfleischproduktion auf Mastkälber und Ausmerzkühe, der Restbedarf wird durch Importe abgedeckt.
- › Die pflanzliche Produktion auf den Ackerflächen beschränkt sich auf den Anbau von Ackerfrüchten für die direkte menschliche Ernährung. Auf einen Anbau von Kunstwiesen wird verzichtet, da auf den Naturwiesen genügend Futter produziert werden kann.

Weitere Annahmen sowie Angaben zur Zuverlässigkeit der Input-Daten der HAFL finden sich im Bericht der HAFL (2012, Kap. 3.4).

4.2.1. HINWEISE ZUR DATENAKTUALITÄT

Die Berechnungen des Szenarios ÖkOpt im vorliegenden Bericht beruhen auf Inputdaten, die nicht der aktuellsten Version entsprechen, wie sie im Bericht der HAFL (2012) beschrieben ist. Die Inputdaten wurden von der HAFL nach der Erstellung des Stoffflussmodells ÖkOpt und des vorliegenden Berichtes nochmals neu berechnet. Dabei änderten sich geringfügig die Tierzahlen (Rindvieh) und in der Folge die Milch- und Fleischproduktion, der Mineraldüngerverbrauch, der Hofdüngeranfall, die Fläche für die Pflanzenproduktion und die biologische Fixierung. Aufgrund dieser Anpassungen würden sich bei einer Neuberechnung des Szenarios ÖkOpt einige der im vorliegenden Bericht bezeichneten Flüsse um 2.0% bis 5.5 % verändern. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass sich dadurch die Aussagen des Modells in Bezug auf die Stickstoffverluste, die N-Effizienz, den Reduktionsbedarf und die weiteren Reduktionspotenziale nicht ändern würden, und daher auch die Interpretation und das Fazit bestehen blieben. Aus diesem Grund wurde auf eine vollständige Neuberechnung des Szenarios ÖkOpt verzichtet. Einzig die für die Umweltziele relevanten Flüsse NH_3 , NO_3 und N_2O sowie die gesamten N-Verluste in die Umwelt wurden neu berechnet und mit entsprechenden Hinweisen versehen (siehe Fussnoten in Kapitel 5.3.1 und Kapitel 5.2).

4.3. EINSCHRÄNKUNGEN DES SZENARIO ÖKOPT

Die HAFL weist darauf hin, dass aufgrund der Modellergebnisse das Szenario ÖkOpt sowohl im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung wie auch aus agronomischer Sicht wichtige Einschränkungen aufweist (vgl. Bericht HAFL (2012) Kap. 4.1.):

- › Das Szenario betrachtet grundsätzlich nur die N-Verluste in der Schweiz, nicht den N-Footprint. Es ist deshalb möglich, dass die importierten tierischen Produkte im Ausland höhere Verluste bewirken als wenn sie in der Schweiz produziert werden.
- › Der Umfang des Projektes erlaubte nur eine sehr grobe Abschätzung der Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion. Insbesondere konnten keine regionalen Betrachtungen durchgeführt werden (z.B. regionaler Anfall der Hofdünger, praktische Ausgestaltung der Fruchtfolge, etc.).
- › Um die komplexen Ergebnisse besser interpretieren zu können mussten für die Modellrechnungen bewusst vereinfachende und extreme Annahmen getroffen werden (z.B. Verzicht auf Kunstwiesen, vollständiger Verzicht auf Monogastrier, etc.).
- › Die vorhandenen wissenschaftlichen Grundlagen zu den NH_3 -Emissionen in der Schweiz sind grundsätzlich besser dokumentiert als diejenigen für Nitratauswaschung oder von Stickoxiden. Das Szenario fokussiert deshalb einseitig auf die Reduktion der NH_3 -Emissionen. Allfälli-

ge Wechselwirkungen, die sich durch eine Reduktion der NH_3 -Emissionen ergeben, konnten zudem nicht berücksichtigt werden.

4.4. STOFFFLUSSSYSTEM ÖKOPT 2020

4.4.1. AUFBEREITUNG VON HAFL-DATEN

Die NH_3 -Emissionen sind im Szenario ÖkOpt eine wichtige Referenzgrösse, weil sie aufgrund der Vorgaben des BLW das UZL NH_3 nicht übersteigen sollten. Für die Berechnung dieser totalen NH_3 -Emissionen im Szenario ÖkOpt ist die HAFL folgendermassen vorgegangen:

- › Die für die Berechnung der Ammoniakemissionen verwendeten Emissionsfaktoren zur Festlegung der gemäss Umweltziele maximal möglichen Milchkühe basieren auf Berechnungen mit Emissionsfaktoren pro Tierplatz nach Kupper 2010 (Stand Produktionstechnik 2007).
- › Für Ausscheidungen im Stall wurde eine mittlere Emissionsrate von 20% des Nges angenommen (GRUDAF 2009).
- › Alle Hofdünger werden auf dem Dauergrünland ausgebracht. Annahme einer mittleren Verfügbarkeit des ausgebrachten N von 60%.

Annahmen von INFRAS für die Berechnung der N-Flüsse im Szenario ÖkOpt:

- › **Fluss L1, Hofdünger, Weidegang:** Totale N-Ausscheidung der Tiere (Nexcr tot) gemäss Angaben HAFL abzüglich NH_3 -Verluste in Stall und Lager und abzüglich NH_3 -Verluste aus Ausbringung und Weidegang (Fluss L4).
- › **Fluss L3, Produkt/Nahrung aus der Tierhaltung:** Dieser N-Fluss entwickelt sich proportional zur Produktion von Milch/Fleisch vom Ist-Zustand 2005 (basierende auf Stoffflussanalyse N 2005 (BAFU 2010)) zum Szenario ÖkOpt.
- › **Fluss L4, Emissionen Tierhaltung:** NH_3 , NO_x , N_2O und N_2 -Emissionen aus der Tierhaltung in die Atmosphäre. Dazu gehören die NH_3 -Emissionen, die aus Ställen, Hofdüngerlagern und beim Ausbringen des Hofdüngers auf Landwirtschaftsflächen in die Atmosphäre entweichen (ohne NO_x - und N_2O -Emissionen aus Landwirtschaftsflächen – diese sind in Fluss L6 enthalten). Die NH_3 -Emissionen, die beim Weidegang der Tiere entstehen, gehören jedoch nicht dazu. Für N_2O aus der Tierhaltung wurde eine zur Anzahl Tiere proportionale Entwicklung zu 2020/2005 (BAFU 2010, BAFU 2012) angenommen.
- › **Fluss L5, Auswaschung:** Wert aus BAFU 2012, angepasst aufgrund der Annahme, dass die Auswaschung proportional zur Entwicklung der offenen Ackerfläche abnimmt, unter der Voraussetzung, dass bei "Brachlegung" direkt eine Buntbrach ohne Leguminosen angesät wird.
- › **Fluss L6 tot, Emissionen aus Böden/Pflanzenbau:** Emissionen von NH_3 , NO_x , und N_2O aus Landwirtschaftsböden durch Weidegang und Austrag von Hofdünger (hier nur NO_x - und N_2O -

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. Für NO_x und N₂O aus Böden wurde eine zu den pflanzlichen Produkten proportionale Entwicklung zu 2020/2005 (BAFU 2010, BAFU 2012) angenommen.

- › **Fluss L8, Futter:** Von den Felderträgen der pflanzlichen Produktion bleiben 15% als Verluste auf dem Feld (Silage, etc.) (Wyss 1994). Es wurde die Annahme getroffen, dass sämtlicher darin enthaltener Stickstoff auf dem Feld bleibt.
- › **Fluss L9, Ernteprodukte/Nahrung:** Dieser N-Fluss entwickelt sich proportional zur Trockensubstanz an Ackerprodukten vom Ist-Zustand 2005 (basierend auf der Stoffflussanalyse N 2005 (BAFU 2010)) zum Szenario ÖkOpt. Im Szenario ÖkOpt sind neu auch Erntenebenprodukte enthalten, weil diese später in den Fluss P5+P7+P6 gelangen.
- › **Fluss P5+P7+P6, biogene Abfälle und Schlachtabfälle:** Entspricht der N-Fracht in Schlachtabfällen plus der N-Fracht in Nebenprodukten der pflanzlichen Produktion (gemäss Angaben HAFL (in TS), umgerechnet mit N-Gehalten zu Getreide, Kartoffeln etc. BAFU 2010). Annahme (HAFL) ist, dass diese Erntenebenprodukte nicht in der Tierhaltung verwendet werden. Im Ist-Zustand 2005 und im Basis-Zustand 2020 ist dieser Fluss einiges tiefer, weil mit weniger Nebenprodukten der pflanzlichen Produktion gerechnet wird. Der Fluss P5+P7+P6 entspricht nicht der Summe der Flüsse P5, P7 und P6 aus der Stoffflussanalyse Stickstoff Schweiz 2005 (BAFU 2010), weil nur der Anteil davon betrachtet wurde, der Land- und Ernährungswirtschaft betrifft, jedoch keine weiteren Abfälle/Sonderabfälle.
- › **Fluss P8+P9, unbehandeltes Abwasser und Überlauf:** Die N-Ausscheidung (N excr.) der Bevölkerung entspricht derjenigen aus BAFU 2012, da die N-Aufnahme pro Kopf ebenfalls gleich bleibt.
- › **Fluss P10, Export Lebensmittel und übrige Stoffe:** der Export wird im Szenario ÖkOpt zwecks Vergleichbarkeit gleich gesetzt wie im Modell Stoffflusssystem Schweiz 2005 (BAFU 2010); die Veränderung des Nettoimports ist relevant (P10-I2).
- › **Fluss U1, N-Fixierung:** Daten zur N-Fixierung gemäss Input HAFL. Im Szenario ÖkOpt wurde ein Leguminosen-Anteil im Dauergrünland von 15% angenommen und ein Anteil in Kunstwiesen von 30%.
- › **Fluss U4, Deposition auf Landwirtschaftsflächen:** berechnet aufgrund des Depositionsmodells aus BAFU 2012, angepasst auf das tiefere Niveau der NH₃-Emissionen.
- › **Fluss I2, Nahrungsmittelimport:** Nettobedarf an Stickstoff der Schweizer Bevölkerung (ohne Änderung der Konsumgewohnheiten), minus Inlandproduktion an N in Nahrungsmitteln plus N-Export.
- › **Fluss I3, Futtermittelimport:** Per Definition gibt es keinen Futtermittelimport.

› **Fluss I4, Mineraldünger:** N in Düngung durch Mineraldünger gemäss Angaben HAFL.

4.4.2. STOFFFLUSS-DIAGRAMM ÖKOPT 2020

Abbildung 5 zeigt die im Szenario ÖkOpt 2020 prognostizierten N-Flüsse der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft. Das Stoffflussmodell ist grundsätzlich gleich aufgebaut wie diejenigen des Ist-Zustandes 2005 und des Prognose-Zustandes 2020 des Basis-Szenarios.

Gegenüber den Zuständen des Basis-Szenarios gibt es deutliche Reduktionen der N-Flüsse von mehr als 30% bei den Flüssen Futter und Hofdünger/Weidegang (L8 und L1), die zwischen Tierhaltung und Pflanzenbau fliessen. Als Folge der im Szenario ÖkOpt reduzierten Tierzahlen nehmen auch die N-Flüsse aufgrund von Emissionen aus Tierhaltung (L4) um mehr als 75% ab und die Produkte/Nahrung aus der Tierhaltung (L3) um 65%. Ebenso ist die N-Fixierung (U1) um 43% gesunken und der Futterimport (I3) wurde aufgrund von Annahmen für das Szenario gar auf 0 reduziert.

Dem Szenario ÖkOpt liegt die Bedingung eines gleichbleibenden Selbstversorgungsgrades zu Grunde. Bei stark reduzierten Tierzahlen und aus Gründen der Zielerreichung, hat dies zur Folge, dass die N-Flüsse Ernteprodukten/Nahrung (L9) um über 50% steigen und der N-Fluss mit dem Import an Nahrungsmittel (I2) aufgrund des höheren Anteils an tierischen, „stickstoffreichen“ Produkten im Import um über 60% ansteigen im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 und Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios.

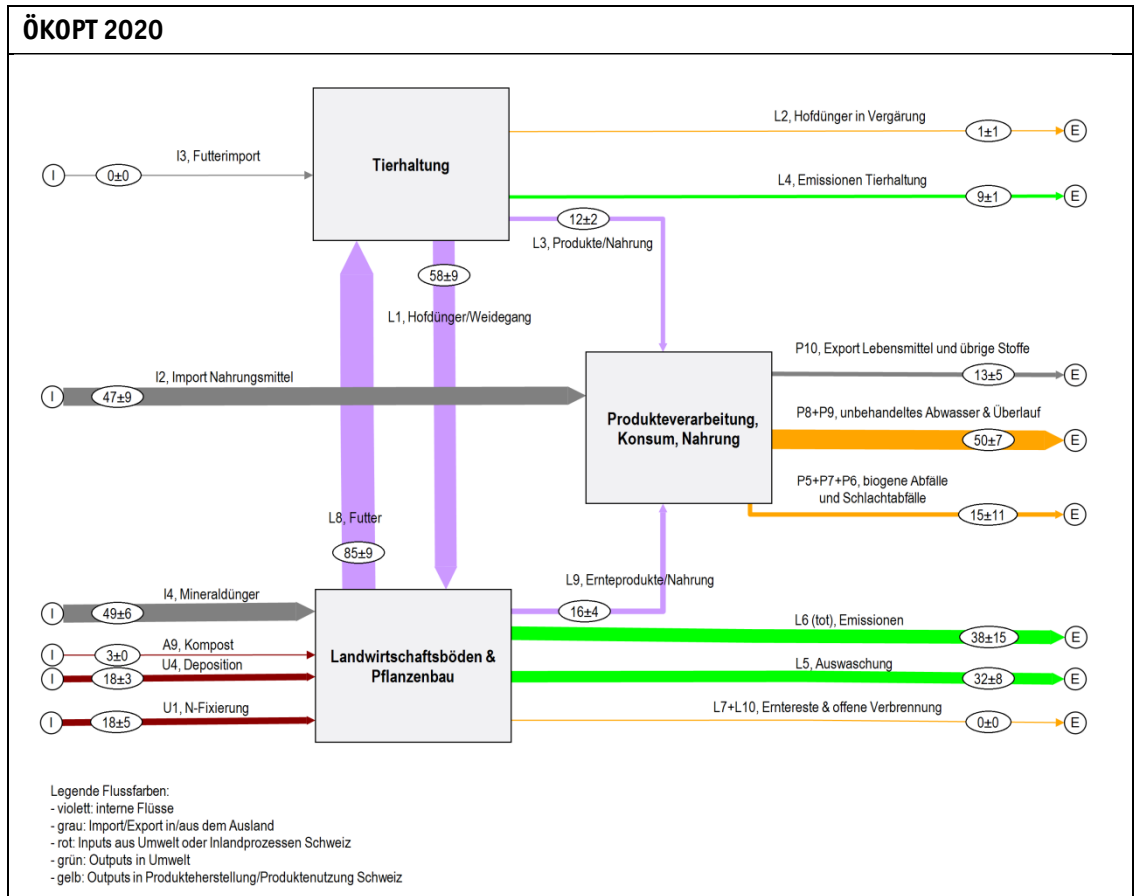


Abbildung 5 Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft im ÖkOpt-Szenario für den Zustand ÖkOpt 2020 mit N-Flüssen in kt N. Die Farben der Pfeile charakterisieren ihre Ursprungs- oder Zielsysteme, siehe Legende im Bild.

5. STICKSTOFF-BILANZEN UND -VERLUSTE 2005 UND 2020

Der Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenario ÖkOpt wird in den folgenden Kapiteln den Referenz-zuständen aus dem Basis-Szenario, dem Ist-Zustand 2005 und dem Prognose-Zustand 2020, gegenübergestellt. Ein Vergleich der drei Zustände zeigt, welche Veränderungen bei den Stickstoffflüssen und -verlusten stattfinden (Kap. 5.1 und 5.2). Weiter wird der Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 mit den aktuellen landwirtschaftlichen Zielsetzungen verglichen und zudem analysiert, welcher Reduktionsbedarf bei treibenden Stickstoffflüssen besteht, um den Ziel-Zustand des Szenarios ÖkOpt zu erreichen (Kap 5.3). Schliesslich wird erläutert, wie sich die Stickstoff/Energie-Effizienz und die N-Effizienz nach OSPAR im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 gegenüber den Referenzzuständen des Basis-Szenarios entwickeln (In Kapitel 5.4).

5.1. ZEITENTWICKLUNG DER STICKSTOFF-BILANZEN

Die folgende Tabelle 2 zeigt die Bilanzierung der Input- und Output-Flüsse der drei Prozesse „Tierhaltung“, Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau“ und „Produkteverarbeitung, Konsum, Nah- rung“ im Stickstoffsystems Land- und Ernährungswirtschaft in den drei Zustände Ist-Zustand 2005, Prognose-Zustand 2020 und ÖkOpt 2020.

			Bilanzierung der N-Flüsse pro Prozess (kt N)								
			2005			2020			ö2020		
Prozess	Fluss		in	out	Bilanz	in	out	Bilanz	in	out	Bilanz
Tierhaltung	Futterimport	I3	32.0			36.3			0.0		
	Futter	L8	132.0			130.7			85.2		
	Hofdünger/Weidegang	L1		86.3			91.2			57.9	
	Hofdünger in Vergärung	L2		0.5			0.6			0.5	
	Produkte/Nahrung	L3		35.0			35.1			12.2	
	Emissionen Tierhaltung	L4		43.4			39.9			9.1	
			164.0	165.2	-1.2	167.0	166.7	0.3	85.2	79.7	5.5
Landwirtschafts- böden & Pflanzenbau	Kompost	A9	3.2			3.2			3.2		
	Mineraldünger	I4	52.4			46.2			49.2		
	Hofdünger/Weidegang	L1		86.3			91.2			57.9	
	N-Fixierung	U1		32.0			32.0			18.1	
	Deposition	U4		27.1			22.1			18.0	
	Auswaschung	L5		34.0			34.0			31.8	
	Emissionen Böden/Pflanzenbau	L6 (tot)		39.0			38.4			37.6	
	Erntereste & offene Verbrennung	L7 & L10		0.1			0.1			0.1	
	Futter	L8		132.0			130.7			85.2	
Ernteprodukte/Nahrung	L9		10.0			10.5			15.9		
			201.0	215.1	-14.1	194.7	213.7	-19.0	146.5	170.5	-24.1
Konsum / Nahrung	Import Nahrungsmittel	I2	25.4			29.3			47.0		
	Produkte/Nahrung	L3		35.0			35.1			12.2	
	Ernteprodukte/Nahrung	L9		10.0			10.5			15.9	
	Export Lebensmittel und übrige Stoffe	P10		13.0			13.0			13.0	
	biogene Abfälle und Schlachtabfälle	P5 & P7 & P6		2.6			2.6			14.5	
	unbehandeltes Abwasser & Überlauf	P8 & P9		45.4			50.3			50.3	
			70.4	61.0	9.4	75.0	65.9	9.1	75.0	77.8	-2.8
Gesamtbilanz Inputs-Outputs			-5.9			-9.6			-21.4		

Tabelle 2 Bilanzierung der Input- und Outputflüsse für die drei Prozesse im Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft im Ist-Zustand 2005 und Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios sowie im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkOpt. Die Bilanzen der einzelnen Subsysteme sollten theoretisch Null ergeben, weichen aber aufgrund der unvermeidbaren Unsicherheiten davon ab. Eine Fehlerbetrachtung zeigt, dass die Unsicherheitsbereiche der Inputs und der Outputs überlappen, sodass die Differenzen statistisch nicht signifikant sind.

5.2. VERLUSTE IN DIE UMWELT

Die Verluste an reaktiven (NH_3 , NO_3 , N_2O , NO_x) und nicht-reaktiven (N_2) Stickstoff-Verbindungen aus der Land- und Ernährungswirtschaft sowie die Gesamtverluste können unterschiedlich berechnet werden. Tabelle 3 zeigt die N-Verluste im Ist-Zustand 2005 und im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios sowie im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkOpt. In der ersten Zeile sind die totalen Verluste nach der OSPAR-Bilanz berechnet (d.h. Verluste = Inputs minus Outputs aus der Landwirtschaft, vgl. Kapitel 5.4.2). Die zweite Zeile zeigt die totalen Verluste aufgrund des Mengengerüsts in den Stoffflusssystemen des Basis- resp. des ÖkOpt-Szenarios (Summe der Verlust-Flüsse L4, L5 und L6). Weiter sind in den fünf folgenden Zeilen die Verluste der einzelnen Stickstoff-Fractionen (NH_3 , NO_3 , N_2O , NO_x und N_2) aufgeführt, berechnet, indem die Verlust-Flüsse (L4, L5 und L6) des Stoffflussmodells in ihre Fractionen zerlegt und anschließend je N-Fraction aufsummiert wurden.

Die Verluste sind im Ist-Zustand 2005 mit rund 101 kt N hoch. Sie sinken vom Ist-Zustand 2005 zum Prognose-Zustand 2020 um insgesamt nur 7% und zwar aufgrund von Reduktionen bei den Verlusten von NH_3 , NO_x und N_2O , während die NO_3^- - und N_2 -Verluste konstant bleiben. Im Ziel-Zustand des ÖkOpt-Szenarios hingegen sind die totalen Verluste mit 60 kt N um einiges tiefer als in den Zuständen 2005 und 2020 des Basis-Szenarios. Dies vor allem aufgrund der stark reduzierten NH_3 -Emissionen (um 45% ggü. 2020 resp. 49% ggü. 2005), zudem finden Reduktionen bei den NO_x -, N_2O - und N_2 -Emissionen statt. Eine nur schwache Reduktion von 7% ggü. den Zuständen 2005 und 2020 des Basis-Szenarios findet gemäss den Szenarien bei der NO_3^- -Auswaschung statt.

Vergleicht man die nach diesen zwei Methoden berechneten totalen Verluste, zeigen sich relativ grosse Diskrepanzen bei den totalen Verlusten; allerdings überlappen die Unsicherheitsbereiche. Dennoch könnten diese Differenzen ein Hinweis darauf sein, dass in den Stickstoff-Szenarios die NO_3^- -Auswaschung (L5) und/oder die N_2 -Emissionen (Teilfluss von L6) überschätzt werden – zwei grosse N-Flüsse, die mit grossen Unsicherheiten verbunden sind. Wäre die Summe dieser Flüsse geringer, würde eine Annäherung der totalen Verluste als Summe der Verlust-Flüsse L4, L5 und L6 an die mit der OSPAR-Bilanz berechneten Verluste stattfinden.

Eine grobe Abschätzung der Nitrat-Auswaschung aufgrund der Nitrat-Frachten im Rheineinzugsgebiet (Prasuhn und Sieber 2005) zeigt, dass die Nitrat-Auswaschung aus Landwirtschaftsböden (Fluss L5) bis um ca. 10 kt N tiefer liegen könnte als im Bericht „Stickstoffflüsse in der Schweiz“ (BAFU 2010) publiziert. Wird angenommen, dass die NO_3^- -Auswaschung aus Landwirtschaftsböden sowohl im Ist-Zustand 2005 als auch im Prognose-Zustand 2020 und im Ziel-Zustand des Szenario ÖkOpt um 10 kt N geringer ist als bisher angenommen², würden die Input-Output-Bilanzen des Systems Land- und Ernährungswirtschaft in allen drei Zuständen (2005 und 2020 des Basis-Szenarios und ÖkOpt 2020) besser aufgehen (Vgl. Tabelle 2 in Kapitel 5.1). Eine erste Betrachtung zeigt, dass mit einer solchen Änderung die Bilanzen des Gesamtsystems Schweiz 2005 (BAFU 2010) noch innerhalb der Unsicherheitsbereiche liegen; die Konsequenzen auf die einzelnen Subsysteme konnten in der vorliegenden Studie aber nicht untersucht werden. Ob möglicherweise auch die N_2 -Emissionen aus Landwirtschaftsböden (Teilfluss von L6) in den bisherigen Szenarios überschätzt wurden, kann nicht beurteilt werden, da keine fundierte Datengrundlage vorhanden ist. Anders als bei der Nitratauswaschung würde eine Reduktion der N_2 -Emissionen jedoch nicht zu einer echten Verbesserung der landwirtschaftlichen Stickstoffproblematik führen, da N_2 als nicht-reaktiver Luftstickstoff keine ökologischen Auswirkungen nach sich zieht.

² d.h. 24 kt N für Fluss L5 in den Zuständen 2005 und 2020 und 22 kt N im Ziel-Zustand des Szenarios ÖkOpt anstatt 34 kt N, 34 kt N und 32 kt N für die Zustände 2005, 2020 und ÖkOpt 2020.

Zurzeit sind aber noch keine abgesicherten Aussagen möglich. Die Unsicherheiten der NH_3 – Flüsse wird in der jüngsten Submission des schweizerischen Luftschadstoffinventars zuhanden der Genfer Konvention (FOEN 2013) mit 50% bis 60% angegeben. Auch die Arbeit von Sintermann/Neftel (2012) könnte ein Hinweis darauf sein, dass deren Unsicherheiten noch sehr hoch sind. Für die N_2O –Flüsse wurden die Unsicherheiten von Agroscope zuhanden des schweizerischen Treibhausgasinventars geschätzt, bei den direkten N_2O -Emissionen sind sie über 70%, bei den indirekten N_2O -Emissionen sogar über 150% (FOEN 2013a).

	2005	2020	ö2020	Unsicherheitsbereiche (ktN), Unsicherheiten U (%)	Berechnungsmethode
	kt N				
N-Verluste Total nach Input-Output-Bilanz OSPAR	101 ± 10	94 ± 12	60 ± 7	2005: OSPAR Inputs: 138-156 (U = 6%); OSPAR Outputs: 40-51 kt N (U=12%) 2020: OSPAR Inputs: 128-152 (U = 8%); OSPAR Outputs: 39-54 kt N (U=16%) ÖkoOpt: OSPAR Inputs: 80-97 (U = 6%); OSPAR Outputs: 24-33 kt N (U=16%)	Verluste nach OSPAR-Bilanz: Input in minus Output aus der Landwirtschaft
Summe der Verluste der N-Flüsse	117 ± 17	112 ± 19	79 ± 17	2005: 100-133 kt N 2020: 93 - 131 ktN ÖkoOpt: 61-96 kt N 2005: Fluss L4, Emissionen aus Tierhaltung: 37-46 kt N; Unsicherheit ca. 10% Fluss L6, Emissionen aus Landwirtschaftsböden: 25-53 kt N; Unsicherheit: 36% (Schätzwert) Fluss L5: Auswaschung/Abschwemmung aus Landwirtschaft: 27-41 ktN, Unsicherheit ca. 20% (Schätzwert) In 2020 und ÖkoOpt Unsicherheiten für L4, L6 und L6 jeweils 5% höher als in 2005.	Summe der unten aufgeführten N-Fractionen
NH₃-Verluste	48.9 ± 7	45.0 ± 9	25.0 ± 5	2005: 42-56 kt N (U=15%) 2020: 36-54 kt N (U =20%) ÖkoOpt: 20-30 kt N (U=20%)	2005: Agrammon 2009 2020: Modell-Abschätzung: 8% Reduktion ggü. Wert 2005 ÖkoOpt: Input HAFL
N₂O-Verluste	4.0 ± 2	3.7 ± 2	2.3 ± 1	2005: 2 – 6 kt N (U=50%) 2020: 2 - 6 kt N (U =55%) ÖkoOpt: 1 – 3 kt N (U=55%)	2005: THG-Inventar Landwirtschaft (ART 2008c) 2020: Modell-Abschätzung: 8% Reduktion ggü. Wert 2005 ÖkoOpt: prop. zu Entwicklung des N Inputs in Böden ÖkoOpt/2005
NO_x-Verluste	1.3 ± 1	1.2 ± 1	0.9 ± 0.5	2005: 1- 2 kt N (Unsicherheit: 50% (Schätzwert)) 2020: 1-2 kt N ÖkoOpt: 0-1 kt N	2005: THG-Inventar Landwirtschaft (ART 2008c) 2020: Modell-Abschätzung: 8% Reduktion ggü. Wert 2005 ÖkoOpt: prop. zu Entwicklung des N Inputs in Böden ÖkoOpt/2005
NO₃-Verluste	34.0 ± 7	34.0 ± 9	31.8 ± 8	2005: 27- 41 kt N (Unsicherheit: 20% (Schätzwert)) 2020: 26 - 43 kt N (Unsicherheit: 25%) ÖkoOpt: 24- 40 kt N (Unsicherheit: 25%)	2005: Nach Auswertung der Publikation von Prasuhn und Sieber (2005) und in Berücksichtigung von aktuellen Aussagen der ART (Spiess und Prasuhn 2006, Spiess und Prasuhn 2010) wurde angenommen, dass – konservativ geschätzt – im Jahr 2005 gegenüber 1994 10 % weniger Nitrat ausgewaschen worden ist. NO ₃ -Auswaschung 1994: 37 kt N (PG N-Haushalt 1996; SRU 273) 2020: mangels Daten wird dieser Schätzwert gleich wie 2005 gehalten ÖkoOpt: Abnahme Auswaschung proportional zur Entwicklung der offenen Ackerfläche (- 7% ggü. 2005)
N₂-Verluste	28.4 ± 14	28.4 ± 15	18.7 ± 10	2005: 14-43 kt N (U=50% (Schätzwert)) 2020: 13-44 kt N (U=55%) ÖkoOpt: 8-29 kt N (U= 55%)	2005: berechnet mit 9 mal mehr N ₂ als N ₂ O (entspricht ca. Verhältnis N ₂ O/N ₂ bei der Denitrifikation) 2020: Luftstickstoff konstant belassen (wie 2005) ÖkoOpt: berechnet mit 9 mal mehr N ₂ als N ₂ O (entspricht ca. Verhältnis N ₂ O/N ₂ bei der Denitrifikation)

Tabelle 3 N-Verluste im Ist-Zustand 2005 und im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios sowie im Ziel-Zustand ÖkoOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkoOpt. Die Verluste sind in der ersten Zeile nach der OSPAR-Bilanz berechnet (Verluste = Inputs-Outputs aus der Landwirtschaft). Die zweite Zeile zeigt die Summe aller Verluste aufgrund des Mengengerüsts der Stoffflussmodelle des Basis- resp. des ÖkoOpt-Szenarios*. Vergleicht man die nach diesen zwei Methoden berechneten Verluste, zeigen sich relativ grosse Diskrepanzen, allerdings überlappen die Unsicherheitsbereiche.

* Bei einer Anpassung der Input-Daten auf den neusten Stand (vgl. Kapitel 4.2.1), würden sich bei gleicher Berechnung die gesamten Stickstoffverluste auf 79.3 kt N belaufen (vs. 78.6 kt N in Tabelle 3). Diese Erhöhung kommt insbesondere aufgrund höherer N₂-Verluste zustande (man beachte aber, dass die N₂-Verluste mit grosser Unsicherheit verbunden sind und die Änderung von 0.6 kt N wesentlich geringer ist als die Unsicherheit).

5.3. ZIELERREICHUNG UND REDUKTIONSBEDARF

5.3.1. N-VERLUSTE VS. ZIELE FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT

Die Verluste der reaktiven N-Verbindungen (Tabelle 3) werden im Folgenden den Zielen gegenübergestellt werden, die für die Landwirtschaft definiert wurden. Dies sind betreffend NH_3 -Emissionen und NO_3 -Auswaschung die Umweltziele Landwirtschaft (UZL) (BAFU/BLW 2008) und betreffend N_2O das Ziel der Klimastrategie Landwirtschaft (BLW 2011). Bezüglich NO_x -Emissionen besteht kein spezifisches Ziel, allerdings gilt das allgemeine Umweltziel, die Emissionen stickstoffhaltiger Luftschadstoffe (Ammoniak, Stickoxide) vorsorglich so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

NH_3 -Verluste versus Zielerreichung

Für die NH_3 -Verluste gilt neben dem erwähnten allgemeinen Umweltziel das UZL Ammoniak, das vorgibt, die NH_3 -Emissionen aus der Landwirtschaft auf maximal 25'000 Tonnen Stickstoff pro Jahr zu begrenzen (BAFU/BLW 2008). Dieses UZL kann durch das Szenario ÖkOpt genau eingehalten werden – dies war eine Vorgabe für das Erstellen des Szenarios (Vgl. Kapitel 4.1).

Im Ist-Zustand 2005 und im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios hingegen wird das UZL Ammoniak um rund 24 kt N resp. 20 kt N verfehlt (Tabelle 4).

NH ₃ -Verluste aus der Landwirtschaft	2005	2020	ö2020
	kt NH ₃ -N		
Summe Verluste NH ₃ -N	48.9	45.0	25.0
Reduktionsbedarf bzgl. UZL NH ₃	23.9	20.0	0.0

Tabelle 4 NH_3 -Verluste aus der Landwirtschaft in die Umwelt im Ist-Zustand 2005 und im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios sowie im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkOpt. Vernachlässigt sind Emissionen aus offener Verbrennung (da Fluss < 0.1 kt N). NH_3 -Emissionen entstehen in der Tierhaltung (Fluss L4) und im Pflanzenbau (Fluss L6). Detaillierte Beschreibungen dieser Flüsse finden sich in Kapitel 4.4.1.³

NO_3 -Verluste versus Zielerreichung

Für Nitrat aus der Landwirtschaft gibt es zwei spezifische Umweltziele (BAFU/BLW 2008)⁴.

Das Ziel der Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50% ist als Folge der internationalen Verpflichtung der Schweiz zum Schutz des Nordostatlantiks und des Rheins entstanden. Entsprechende Verpflichtungen ist die Schweiz im Rahmen des Überein-

³ Bei einer Anpassung der Input-Daten auf den neusten Stand (vgl. Kapitel 4.2.1), würden sich die NH_3 -Emissionen in der Summe nicht verändern. Die NH_3 -Emissionen aus der Tierhaltung (Fluss L4) würden leicht ansteigen (von 9.1 kt N auf 9.5 kt N), diejenigen aus dem Pflanzenbau (Fluss L6) leicht sinken (von 15.9 kt N auf 15.5 kt N).

⁴ 1) 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. 2) Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985.

kommens zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks (OSPAR) und des Übereinkommens zum Schutz des Rheins eingegangen, dem die Schweiz als Oberlieger im Einzugsgebiet der Nordsee 1994 beigetreten ist. Die Vertragsparteien verpflichteten sich, alle nur möglichen Massnahmen zu treffen, um Verschmutzungen zu verhüten und zu beseitigen und 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).

Bereits in der vorangegangenen PARCOM-Empfehlung 88/2 über die Reduzierung von Nährstoffeinträgen in das Vertragsgebiet des Paris-Übereinkommens, hat die Schweiz eine Reduktion von Stickstoffeinträgen um 50% für den Zeitraum 1985 bis 1995 vereinbart. Dieses Vertragsziel wurde jedoch von keinem Vertragsstaat erreicht.

NO ₃ -Verluste aus der Landwirtschaft		2005	2020	ö2020
		kt NO ₃ -N		
NO ₃ -Auswaschung	Fluss L5	34.0	34.0	31.8
Summe Verluste NO₃-N		34.0	34.0	31.8
Reduktionsbedarf bzgl. UZL NO₃		17.0	17.0	14.8

Tabelle 5 NO₃-Verluste aus der Landwirtschaft (Tierhaltung und Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau) in die Umwelt im Ist-Zustand 2005 und im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios sowie im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkOpt. Die Daten sind mit erheblichen Unsicherheiten von 20% für 2005 resp. 25% für 2020 und ÖkOpt 2020 (ö2020) verbunden.⁵

Ein Vergleich der Nitrat-Auswaschung der Szenarien des Stoffflusssystems Land- und Ernährungswirtschaft ist nur mit dem zweiten Nitrat-Ziel möglich; der Vergleich mit dem ersten Ziel erübrigt sich, da im Stoffflussmodell keine NO₃-Konzentrationen im Trinkwasser berechnet werden. Geht man davon aus, dass im Jahr 1985 die Nitrat-Auswaschung aus der Landwirtschaft 34 kt NO₃-N betrug (Abschätzung BLW aufgrund BAFU/BLW 2008 vgl. Anhang A-3), würde das zweite Umweltziel Nitrat einer Reduktion auf 17 kt NO₃-N pro Jahr entsprechen. In den Zuständen 2005 und 2020 des Basis-Szenarios wird dieses Ziel verfehlt, da die Nitratausschwemmung (L5) in diesen Szenarien 34 kt N beträgt (Tabelle 5). Im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenario ÖkOpt ist die NO₃-Auswaschung mit 32 kt N leicht geringer, doch auch hier wird das Umweltziel Nitrat weit verfehlt. Um das NO₃-Ziel zu erreichen wäre eine weitere Reduktion der NO₃-Auswaschung (L5) um ca. 15 kt N notwendig.

⁵ Bei einer Anpassung der Input-Daten auf den neusten Stand (vgl. Kapitel 4.2.1), würde sich die NO₃-Auswaschung nicht verändern.

Die Abnahme der Nitrat-Auswaschung um 10% im Szenario ÖkOpt ist im Modell eine Folge der Abnahme der Ackerfläche um 10%: es wurde angenommen, dass sich diese Grössen proportional verhalten und bei "Brachlegung" von Ackerflächen direkt eine Buntbrache angesät wird (ohne Leguminosen).

N₂O-Verluste versus Zielerreichung

Es gibt kein spezifisches Umweltziel für die Reduktion der landwirtschaftlichen Lachgas-Emissionen. Das CO₂-Gesetz legt lediglich ein Gesamtziel für Treibhausgasemissionen fest⁶. Das BLW hat in seiner Klimastrategie (BLW 2011) Landwirtschaft als Ziel formuliert, dass im engeren Bereich der landwirtschaftlichen Produktion (technische und organisatorische Massnahmen) bis 2050 ein Drittel der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 reduziert werden sollen und dass ein weiteres Drittel an Reduktionen durch eine Entwicklung im Bereich der Konsummuster in der Ernährung - und daraus folgend bei den landwirtschaftlichen Strukturen (tiefere Tierzahlen) - möglich ist. Dieses Ziel könnte erreicht werden, wenn die Emissionen der Treibhausgase Lachgas, Methan und CO₂ einzeln um zwei Drittel in Land- und Ernährungswirtschaft reduziert würden.

N ₂ O-Verluste aus der Landwirtschaft		1990	2005	2020	ö2020
		kt N ₂ O-N			
N ₂ O-Emissionen Tierhaltung	N ₂ O-N von Fluss L4	0.9	0.8	0.8	0.2
N ₂ O-Emissionen Böden/Pflanzenbau	N ₂ O-N von Fluss L6	3.6	3.2	2.9	2.1
Summe Verluste N₂O-N		4.5	4.0	3.7	2.3

Tabelle 6 N₂O-Verluste aus den Prozessen Tierhaltung und Landwirtschaftsböden & Pflanzenbau in die Umwelt im Jahr 1990, im Ist-Zustand 2005 und im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios sowie im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkOpt.^{7,8}

Die N₂O-Emissionen im Stoffflusssystem Land- und Ernährungswirtschaft gehen vom Ist-Zustand 2005 bis zum Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios um 8% und bis zum Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 um ca. 43% zurück (Tabelle 6)⁹. Wird statt 2005 1990 als Basisjahr berücksichtigt,

⁶ „Die Treibhausgasemissionen im Inland sind bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 gesamthaft um 20 Prozent zu vermindern. Der Bundesrat kann sektoruelle Zwischenziele festlegen.“ (Art. 3 CO₂G, SR 641.71)

⁷ Bei einer Anpassung der Input-Daten auf den neusten Stand (vgl. Kapitel 4.2.1), würden sich die N₂O-Emissionen nur minim verändern (von 2.25 kt N in Tabelle 6 auf 2.32 kt N).

⁸ Diese N₂O-Verluste liegen tiefer als die im Treibhausgasinventar Landwirtschaft ausgewiesenen, von den indirekten N₂O-Emissionen nur der Anteil der aus landwirtschaftlichen Flächen in Betracht gezogen wird.

⁹ Der Effekt, dass im Szenario ÖkOpt evtl. mehr N₂O entsteht, da bei der Düngung ca. 1.6 Mal mehr Hofdünger für dieselbe Menge Stickstoff im Boden verwendet wird, wie wenn man Mineraldünger verwenden würde, wurde mangels exakter Daten ignoriert. (Tel. Auskunft HAFL).

so waren die N₂O-Emissionen noch um 13% höher als 2005 (4.54 kt N₂O-N). Damit beträgt die Reduktionen des Basisszenarios 2020 gegenüber 1990 19%, beim Zielzustand ÖkOpt 49%. Im Basis-Szenario findet die Reduktion der Lachgasemissionen zum Teil im Bereich der landwirtschaftlichen Produktion (technische und organisatorische Massnahmen) und zum Teil im Bereich der landwirtschaftlichen Strukturen (tiefere Tierzahlen) statt. Im Szenario ÖkOpt, welches von demselben Technologieeinsatz ausgeht wie das Basis-Szenario, gibt es ebenfalls eine Reduktion im technisch-organisatorischen Bereich der landwirtschaftlichen Produktion. Der grössere Teil der Reduktion ist jedoch auf den Wandel in den Strukturen (tiefere Tierzahlen) zurückzuführen.

5.3.2. REDUKTIONSBEDARF ZUM ERREICHEN DES SZENARIO ÖKOPT

Der Reduktionsbedarf um das Szenario ÖkOpt zu erreichen entspricht den Reduktionen einzelner N-Flüsse, die notwendig sind, um den Ziel-Zustand des Szenario zu erreichen – und das damit verbundene Ziel, das UZL Ammoniak einzuhalten.

Die Stoffflüsse im Modell „Land- und Ernährungswirtschaft“ können vereinfacht in treibende und induzierte Flüsse eingeteilt werden (Tabelle 7).

TREIBENDE UND INDUZIERTE N-FLÜSSE IM BEREICH LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG		
Sphäre	Landwirtschaft	Ernährung
treibende Flüsse	<ul style="list-style-type: none"> › NH₃-Emissionen Tierhaltung (in Abhängigkeit von Tierzahlen und Tierhaltung) › Futtermittelimporte › N-Düngerimporte › N-Fixierung Landwirtschaft › Produkte/Nahrung aus der Tierhaltung (in Abhängigkeit von Tierzahlen) › Ernteprodukte, Nahrung › Import/Export Nahrungsmittel 	<ul style="list-style-type: none"> › N-Gehalt Nahrung / Ernährungsgewohnheiten › Import/ Export Lebensmittel
induzierte Flüsse	<ul style="list-style-type: none"> › Auswaschung und Abschwemmung aus Landwirtschaftsböden › Deposition auf Landwirtschaftsböden › Emissionen aus Landwirtschaftsböden (Nitrifikation/ Denitrifikation) 	<ul style="list-style-type: none"> › Abwasser / Klärschlamm aus Produkteherstellung

Tabelle 7 Die wichtigsten treibenden und induzierten N-Flüsse im Bereich Landwirtschaft und Ernährung.

Treibende Stoffflüsse sind steuerbar (verursachend), die induzierten Stoffflüsse jedoch nicht (Wirkung der Ursache). Um vom Basis-Szenario zum Szenario ÖkOpt 2020 zu gelangen, müssen daher die treibenden Flüsse auf deren Zielgrösse geändert werden, die induzierten Flüsse ändern sich als Folge davon. Der Reduktionsbedarf, um das Szenario ÖkOpt zu erreichen, be-

steht demnach aus der Reduktion der treibenden Stickstoffflüssen vom Ist-Zustand 2005 zum Ziel-Zustand „ÖkOpt 2020“ resp. vom Prognose-Zustand 2020 zum Ziel-Zustand (Tabelle 8).

Differenz bei treibenden N-Flüssen (kt N) zwischen ÖkOpt2020 und Ist-Zustand 2005 resp. Prognose-Zustand 2020.					
Fluss		2005 bis ö2020		2020 bis ö2020	
Futterimport	I3		-32.0		-36.3
Emissionen Tierhaltung	L4		-34.3		-30.8
Kompost	A9		-		-
Mineraldünger	I4		-3.2		3.0
N-Fixierung	U1		-13.9		-13.9
Import Nahrungsmittel	I2		21.6		17.7
Produkte/Nahrung	L3		-22.8		-23.0
Ernteprodukte/Nahrung	L9		5.9		5.3
Export Lebensmittel und übrige Stoffe	P10		-		-

Tabelle 8 Die absoluten Differenzen der treibenden N-Flüsse (in kt N) zwischen Ziel-Zustand des Szenarios ÖkOpt (ö2020) dem Ist-Zustand 2005 resp. dem Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios.

Der grösste Reduktionsbedarf besteht bei den N-Flüssen Futterimport (I3), Emissionen aus der Tierhaltung (L4) und Produkte/Nahrung aus der Tierhaltung (L3) – alles Flüsse, die stark von den Tierzahlen abhängen. Ein geringer Reduktionsbedarf ist ausserdem bei der N-Fixierung (U1) und dem N-Fluss Mineraldünger (I4) ersichtlich (Tabelle 8).

Kein Reduktionsbedarf besteht hingegen bei den N-Flüssen Nahrungsmittelimport (I2) und Ernteprodukte/Nahrung (L9): diese Flüsse steigen als Folge der verminderten Tierproduktion im Inland (bei gleichbleibenden Voraussetzungen bzgl. Selbstversorgungsgrad, Bevölkerungszahl und Essgewohnheiten etc.). Konstant und demnach auch ohne Reduktionsbedarf bleiben die N-Flüsse Kompost (A9) und Lebensmittelexport (P10).

Insgesamt ist der Reduktionsbedarf beträchtlich, der bei treibenden N-Flüssen notwendig ist, um das Szenario ÖkOpt zu erreichen. Damit wird das im Szenario ÖkOpt implizierte Ziel, das UZL NH₃ erreicht, nicht jedoch das UZL N₂O und das Ziel der Klimastrategie Landwirtschaft.

Der grosse Reduktionsbedarf weist darauf hin, dass das Niveau der Stickstofffrachten, die im Szenario ÖkOpt im Umlauf sind, viel tiefer liegt als im Basis-Szenario. Ersichtlich ist dies ebenfalls an den deutlich geringeren Verlusten im Szenario ÖkOpt gegenüber dem Basis-Szenario (Vgl. Kapitel 5.4.2).

5.4. EFFIZIENZFRAGEN

5.4.1. STICKSTOFFVERLUST/ENERGIE-RATE

Eine Vorgabe für das Szenario ÖkOpt war es, den Nettoselbstversorgungsgrad an produzierten Kalorien für die Schweiz zu erhalten. Nun finden im Szenario ÖkOpt wesentliche Reduktionen

der treibenden Stickstoffflüsse statt und das Niveau der sich im System befindenden Stickstoff-Frachten sinkt ab. Daraus geht hervor, dass pro produzierte Kalorie – respektive pro produziertes Joule – an Nahrungsmitteln im Inland weniger Stickstoff benötigt wird. Dies kann durch das Verhältnis der N-Verluste zur Energie des landwirtschaftlichen Outputs (d.h. der produzierten Nahrungsmittel) zum Ausdruck gebracht werden (siehe folgender Abschnitt) oder durch das Verhältnis des in der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzten Stickstoffs zur Energie des Outputs (Vgl. Bericht HAFL (2012), Kap. 4.3).

Die N-Verlust/Energie-Rate sowie die reziproke Energie/N-Verlust-Rate sind in Tabelle 9 dargestellt für den Ist-Zustand 2005, den Prognose-Zustand 2020 und den Ziel-Zustand ÖkOpt 2020. Die Parameter für die Berechnung des Energiebedarfs befinden sich in Anhang A-1.

Die N-Verlust/Energie-Rate ist im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (2.7 kg N/TJ) rund 42% geringer als im Ist-Zustand 2005 (4.7 kg N/TJ) und 34% geringer als im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios (4.1 kg N/TJ). D.h. die N-Verluste im Verhältnis zur produzierten Energie in Nahrungsmitteln aus der Landwirtschaft nehmen ab und entsprechend nimmt die Energie/N-Verlust-Rate zu.

Selbstversorgung, Bevölkerung, Bedarf und N/Energie-Verhältnis		2005	2020	ö2020
Energie Inlandproduktion pro Jahr	(TJ)	21'747	22'590	22'590
Verluste (Inputs-Outputs nach OSPAR)	(kt N)	101	94	60
N-Verlust/Energie-Rate der Produkte aus der Landwirtschaft	(kg N/TJ)	4.7	4.1	2.7
Energie/N-Verlust-Rate der Produkte aus der Landwirtschaft	(TJ/kg N)	0.21	0.24	0.38

Tabelle 9 Aus dem Energiebedarf pro Jahr der Schweizer Bevölkerung und den N-Verlusten (nach OSPAR-Bilanz berechnet) ergibt sich die N/Energie-Rate der, bzw. die Energie/N-Verlust-Rate der Produkte aus der Landwirtschaft. Die Parameter sind jeweils für den Ist-Zustand 2005, den Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios sowie für den Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkOpt aufgeführt.

5.4.2. N-EFFIZIENZ NACH OSPAR

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 ist die N-Effizienz. Die Erhöhung der N-Effizienz ist eines der Ziele der AP 2014-2017.

Die N-Effizienz im Szenario ÖkOpt beträgt 32%¹⁰ und liegt damit im selben Bereich wie die N-Effizienz des Ist-Zustandes 2005 und des Basis-Szenarios 2020 (Tabelle 10). Dies mag überra-

¹⁰ Bei einer Anpassung der Input-Daten auf den neusten Stand (vgl. Kapitel 4.2.1), würde sich die N-Effizienz nach OSPAR auf 32.34% ändern ggü. 32.32% in Tabelle 10.

schen, da durch die Umlagerung von der tierischen auf die pflanzliche Produktion für die menschliche Ernährung ein Effizienzgewinn zu erwarten wäre. Die Stoffflussanalyse zeigt aber, dass durch die Vorgabe der Zielerreichung des UZL NH_3 allein nicht zwingend eine Verbesserung der N-Effizienz erfolgen muss. Der N-Input und der N-Output werden zwar beide in bedeutendem Umfang reduziert, aber das Verhältnis bleibt dabei annähernd konstant.

Die Verluste in die Umwelt beim Übergang vom Ist-Zustand 2005 in den Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios nehmen um 7% auf 94 kt N ab. Die Summe der Inputs nimmt um 5% ab und die Summe der Outputs um 2% zu (Tabelle 10).

Die Verluste in die Umwelt beim Übergang vom Ist-Zustand 2005 in den Zustand ÖkOpt 2020 um 41% auf 60 kt N ab. Die Summe der Inputs nimmt um 40% und die Summe der Outputs um 37% ab.

Allerdings muss beachtet werden, dass die OSPAR-Methode nur die Stickstoff-Effizienz der Schweizer Landwirtschaft misst. Beim N-Input nicht enthalten ist daher der für die Produktion von importiertem Kraftfutter im Ausland benötigte Stickstoff der im N-Output enthaltene Stickstoff (inzwischen umgewandelt in tierische Produkte) hingegen schon. Dies lässt die N-Effizienz im Ist-Zustand 2005 und im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios günstiger aussehen als diejenige des ÖkOpt-Szenarios, das ohne importiertes (resp. ganz ohne) Kraftfutter auskommt.

In der OSPAR-Bilanz ebenfalls nicht berücksichtigt werden Emissionen, die durch die Produktion von importierten Nahrungsmitteln im Ausland anfallen. Diese sind beim Szenario ÖkOpt höher als im Basis-Szenario, weil mehr tierische Produkte importiert werden.

N-Bilanz nach OSPAR		2005	2020	ö2020	2005 bis 2020		2005 bis ö2020		
		kt N			Trends (%)				
Input (Zufuhr)									
Futterimport	I3	32.0	36.3	0.0		14%		-100%	
Kompost	A9	3.2	3.2	3.2		0%		0%	
Mineraldünger	I4	52.4	46.2	49.2		-12%		-6%	
N-Fixierung	U1	32	32	18.1		0%		-43%	
Deposition	U4	27.1	22.1	18.0		-18%		-34%	
Summe in		146.7	139.9	88.5		-5%		-40%	
Output (Entnahme)									
Produkte/Nahrung	L3	35.0	35.1	12.2		0%		-65%	
Ernteprodukte/Nahrung	L9	10.0	10.5	15.9		5%		59%	
Hofdünger in Vergärung	L2	0.5	0.6	0.5		6%		0%	
Summe out		45.5	46.2	28.6		2%		-37%	
Verluste (in-out)		101.2	93.7	60.0		-7%		-41%	
N-Effizienz (out/in)		31%	33%	32%		-		-	

Tabelle 10 Input- und Outputflüsse, Verluste und N-Effizienz in der Landwirtschaft gemäss OSPAR-Methode für die Zustände 2005 und 2020 des Basis-Szenarios sowie für den Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkOpt. Zudem sind Trends (relative Veränderungen zwischen den Zuständen) angegeben. Die Flüsse sind in kt N angegeben, die Trends in Prozent.

Eine Vorgabe zur Verbesserung der N-Effizienz für das Szenario ÖkOpt gab es keine, die Vorgabe beschränkte sich auf das Reduzieren der Verluste. Mit entsprechenden Vorgaben könnte die N-Effizienz verbessert werden. Sie reagiert nach Angaben der HAFL zum Beispiel sensitiv auf Veränderungen bei der Futterzufuhr: Würde den Tieren 0.003 kt N durch Kraftfutter verfüttert, stiege der Output-N-Fluss Produkte/Nahrung aus der Tierhaltung um ca. 3.4 kt N an¹¹, wodurch die N-Effizienz um vier Prozentpunkte auf 36% steigt (Vgl. Bericht HAFL, Kapitel 4.2).

Weniger sensitiv reagiert die N-Effizienz hingegen auf Veränderungen bei einzelnen Inputflüssen, die innerhalb deren Unsicherheitsbereichen liegen. Wird z.B. die relativ unsichere Deposition auf Landwirtschaftsböden (U4) innerhalb ihres Unsicherheitsbereiches (von 15%) verändert, ändert sich die N-Effizienz um nur 1%.

11 Einerseits wegen der durch Kraftfutter erhöhten Milchleistung der Kühe, andererseits weil das Kraftfutter zu geringeren N-Ausscheidungen bei den Kühen führt, weshalb mehr Kühe gehalten werden können unter denselben Vorgaben für das Szenario ÖkOpt (Vgl. Bericht HAFL 2012).

6. WEITERE REDUKTIONSPOTENZIALE / WENN-DANN-OPTIONEN

Zusätzlich zum Szenario ÖkOpt, das in erster Linie auf die Reduktion der NH₃-Flüsse abzielt, werden in den folgenden Kapiteln fünf Wenn-Dann-Optionen betrachtet. Dabei handelt es sich um Ansätze in der Land- und Ernährungswirtschaft, die eine Reduktion von reaktiven Stickstoffflüssen hervorrufen können, also über eine „Hebelwirkung“ verfügen. Dazu gehören:

- › ein Massnahmenpaket zur Minimierung der Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft mit technischen Massnahmen („MTFR“) (Kapitel 6.1),
- › Änderungen im Umgang mit tierischen Produkten bezüglich Inlandproduktion bzw. Konsumgewohnheiten (Kap. 6.2),
- › Änderungen im Umgang mit Abfällen aus der Nahrungsmittelproduktion (Kapitel 6.3).

Im Folgenden werden diese Wenn-Dann-Optionen beschrieben, die jeweils betroffenen Flüsse identifiziert und deren mögliche Reduktionspotenziale ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios und ausgehend vom Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenarios ÖkOpt quantifiziert. Zudem wird – sofern möglich – der Zeitraum angesprochen, in dem eine Umsetzung der Wenn-Dann-Optionen denkbar wäre. Bei den Wenn-Dann-Optionen werden nur Auswirkungen auf die Stickstoffflüsse untersucht, hingegen keine weiteren Auswirkungen auf die Umwelt. Zudem werden auch die gesellschaftliche Akzeptanz und ökonomischen Auswirkungen sowie weitere Folgen der Optionen nicht untersucht – dies hätte den Rahmen der vorliegenden Studie gesprengt.

6.1. OPTION MTFR: NH₃-REDUKTION DURCH TECHNISCHE MASSNAHMEN

Durch die Wenn-Dann-Option „MTFR“ (Maximum Technical Feasible Reduction) wird, ausgehend vom Szenario ÖkOpt 2020, das NH₃-Reduktionspotenzial abgeschätzt, das durch die Umsetzung sämtlicher technischer Massnahmen ohne Berücksichtigung der Kosten möglich wäre.

Die Quantifizierung dieses Szenarios beruht bezüglich NH₃ auf dem MTFR Szenario der Internationalen Instituts für angewandte Systemanalyse (IIASA) für die Schweiz, das zur Abschätzung der noch vorhandenen Reduktionspotenziale für die Revision des Göteborg Protokolls verwendet wurde (IIASA 2011). Bezogen auf das Niveau des Jahres 2000 schätzte die IIASA das **bis 2020 realisierbare**, maximale technische Reduktionspotenzial (MTFR) für NH₃ (Umsetzung sämtlicher technischen Massnahmen ohne Berücksichtigung der Kosten) für die Schweiz auf 21%. Im MTFR Szenario der IIASA wird die Implementierung von einigen wichtigen und erprob-

ten Massnahmen gemäss dem UNECE (2007) „Guidance document for preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources“ angenommen. Die UNECE Massnahmen zur NH_3 -Emissionsminderung setzen bei den Hauptquellen der Landwirtschaft an: Im Stall, bei der Hofdünger-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 umfasst insbesondere „gut erforscht, praktisch erfolgreich erprobt und mit quantitativen Daten belegte“ Massnahmen (Kategorie 1). Allerdings gibt es auch eine neue Arbeit von Sintermann/Neftel (2012) mit Hinweisen, dass die NH_3 -Verluste durch den Hofdüngeraustrag deutlich tiefer sind als bisher angenommen. Dieser Stand der Forschung weist zumindest auf grosse Unsicherheiten in der Abschätzung der Potenziale hin.

Tabelle 11 gibt eine Übersicht über die N-Flüsse, die von der Option MTFR direkt betroffen sind: Emissionen aus Tierhaltung und Emissionen aus dem Pflanzenbau.

ERWARTETE VERÄNDERUNG DER DIREKT DURCH DIE OPTION „MTFR“ BETROFFENEN N-FLÜSSE		
Direkt betroffene Flüsse	Erwartete Veränderung	
L4, Emissionen Tierhaltung	Abnahme der Emissionen im Stall und Hofdüngerlager	↓
L6, Emissionen Böden/Pflanzenbau	Abnahme der Emissionen durch verbesserte Ausbringungstechniken	↓

Tabelle 11 Erwartete Richtung der Veränderung bei den direkt durch die Option „MTFR“ betroffenen Stickstoffflüsse des Stoffflusssystem „Land- und Ernährungswirtschaft“.

Reduktion gegenüber Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios

Aufbauend auf dem Basis-Szenario der N-Stoffflussanalyse Schweiz 2020 (BAFU 2012) wurde ein Wenn-Dann-Szenario „MTFR-IIASA“ gerechnet, das bezüglich NH_3 auf dem MTFR-Szenario der IIASA (2011) für die Schweiz beruht. Ausgehend vom Basis-Szenario 2020 liegt das verbleibende Reduktionspotenzial tiefer als von der IIASA für das Jahr 2020 abgeschätzt, denn die bereits im Basis-Szenario berücksichtigte Wirkung aufgrund von Massnahmen der AP 2014-2017 und der Ressourcenprogramme muss abgezogen werden (ca. 8% des Potenzials). Es verbleibt ein Potenzial von grob geschätzt $21\% - 8\% = 13\%$. Wir gehen in vorliegender Studie aber davon aus, dass durch die Wenn-Dann-Option MTFR das gesamte von der IIASA prognostizierte Potenzial ausgeschöpft werden kann. Somit besteht ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios theoretisch ein Reduktionspotenzial von 13 Prozent (Zeithorizont über 2020 hinaus).

Geht man davon aus, dass dieses Reduktionspotenzial auf die betroffenen Flüsse gleichmässig verteilt ist, würde dies ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios eine

max. Reduktion von 5 kt N bei der Emissionen Tierhaltung (L4) und 5 kt N bei der Emissionen Böden/Pflanzenbau (L6) bewirken. Insgesamt bestünde demnach ein Reduktionspotenzial von max. 10 kt N. Abbildung 6 zeigt einen Auszug des Systems „Land- und Ernährungswirtschaft“ für den Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios und die Veränderungen durch die Wenn-Dann-Option „MTR“ (rechts).

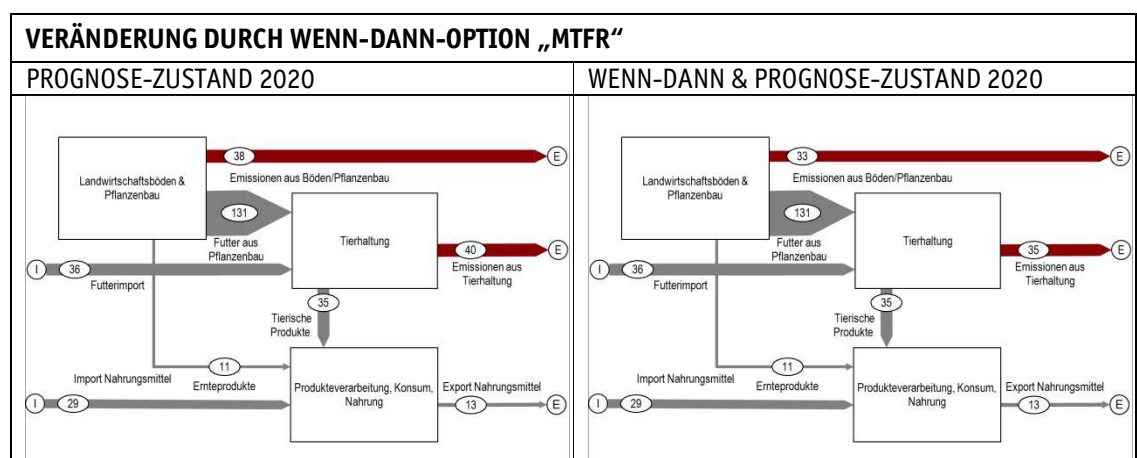


Abbildung 6: Veränderung der N-Flüsse durch die Wenn-Dann-Option „MTR“: Prognose-Zustand 2020 (links) und die Wenn-Dann-Option ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 (rechts). Eingezeichnet sind betroffene Flüsse (rot) und nicht direkt betroffene Flüsse (grau). Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflusssystems nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf. Folgewirkungen auf nicht direkt betroffene Flüsse sind nicht vollständig abgebildet.

Reduktion gegenüber dem Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenarios ÖkOpt

Für das Szenario ÖkOpt wurde nun ebenfalls das verbleibende MTR-Potenzial gerechnet, d.h. die maximal mögliche NH_3 -Reduktion unter Umsetzung sämtlicher technischer Massnahmen ohne Berücksichtigung der Kosten.

Die betroffenen Flüsse (Tabelle 11) liegen im Szenario ÖkOpt 2020 gegenüber dem Basis-Szenario bereits einiges tiefer, was durch verringerte tierische Produktion und Zunahme pflanzlicher Produktion zustande kommt. Für das Szenario ÖkOpt wird zudem angenommen, dass analog zum Basis-Szenario der Stoffflussanalyse Schweiz 2020 (BAFU 2012), die Massnahmen zur Reduktion von NH_3 -Emissionen aus Ressourcenprogrammen und AP 2014-2017 bereits implementiert sind und ca. 8% NH_3 -Reduktion bewirken. Für die NO_x - und N_2O -Emissionen wurde angenommen, dass sie proportional zu den NH_3 -Emissionen abnehmen würden. Von dem von der IIASA (2011) abgeschätzten Potenzial verbleibt im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 ebenfalls ein Restpotenzial von ca. 13 Prozent– die relativen Potenziale sind in etwa gleich gross wie ausgehend

vom Prognose-Zustand 202 des Basis-Szenarios, weil im Szenario ÖkOpt vom gleichen Stand der Technik ausgegangen wird¹². Absolut gesehen ist das Reduktionspotenzial ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios jedoch höher, weil in diesem Szenario mehr Tierproduktion betrieben wird.

Geht man davon aus, dass dieses auf die betroffenen Flüsse gleichmässig verteilt ist und maximal ausgeschöpft werden kann, würde dies im Szenario ÖkOpt 2020 eine max. Reduktion von 1 kt N bei der Emissionen Tierhaltung (L4) und 5 kt N bei der Emissionen Böden/Pflanzenbau (L6) bewirken. Insgesamt würde also ein Reduktionspotenzial von max. 6 kt N resultieren.

Abbildung 7 zeigt den Ziel-Zustand ÖkOpt 2020, mit den Veränderungen durch die Wenn-Dann-Option „MTFR“ (rechts). Die Auswirkungen durch die Wenn-Dann-Option MTFR sind ausgehend vom Prognose-Zustand grösser, jedoch liegt das Niveau der N-Flüsse im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 bereits wesentlich tiefer.

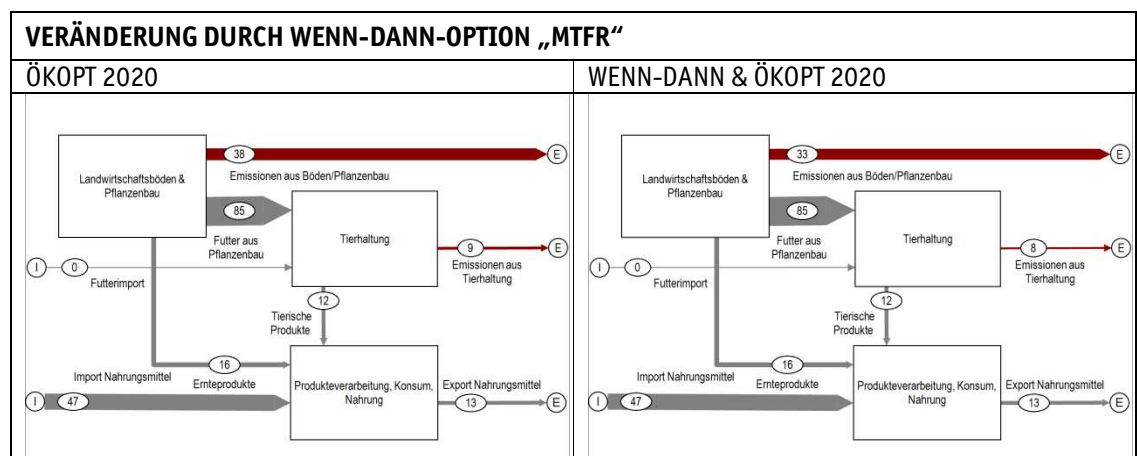


Abbildung 7: Veränderung der N-Flüsse durch die Wenn-Dann-Option „MTFR“: Szenario ÖkOpt (links) und die Wenn-Dann-Option ausgehend vom Szenario ÖkOpt (rechts). Eingezeichnet sind betroffene Flüsse (rot) und nicht direkt betroffene Flüsse (grau). Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflusssystems nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf. Folgewirkungen auf nicht direkt betroffene Flüsse sind nicht vollständig abgebildet.

¹² Im Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios wird angenommen, dass die Massnahmen zur Reduktion von NH₃-Emissionen aus dem Ressourcenprogramm der AP 2011 und der AP 2014-2017 bereits implementiert sind und 8% NH₃-Reduktion bewirken. Damit resultiert ein verbleibendes Potenzial von 13% (BAFU 2012).

Folgewirkungen

Als Folge der Reduktion der Emissionen aus der Tierhaltung (L4) und aus dem Pflanzenbau (L6) wird sich die Deposition leicht reduzieren. Zudem kann angenommen werden, dass die landwirtschaftliche N-Effizienz nach OSPAR ansteigt: da die Verluste sinken, steht der Stickstoff im Hofdünger der landwirtschaftlichen Produktion besser zur Verfügung. Für die gleiche Menge an Nahrungsmittel-Output aus der Landwirtschaft müsste demnach eine geringere Menge an Mineraldünger zugeführt werden, bzw. ein gleich hoher Düngerinput würde einen höheren Produktoutput ermöglichen.

Wie sich die Massnahmen auf die Auswaschung auswirken ist nicht genau bekannt. Gewisse MTFR-Massnahmen sollen ausschliesslich die N-Auswaschung reduzieren und auch die Einträge durch Deposition reduzieren sich aufgrund der reduzierten Emissionen. Diese zwei Wirkungen können den Effekt relativieren, dass durch die reduzierten Verluste in Stall und Lager der N-Gehalt des Düngers auf dem Feld höher ist und damit ein grösseres Auswaschungspotenzial besteht (BAFU 2012, IIASA 2011).

Bewertung der Option MTFR

Das Szenario ÖkOpt setzt mit der starken Reduktion der Tierzahlen sehr einschneidende, strukturelle Änderung der Landwirtschaft voraus, macht jedoch keine Vorgaben zur technischen Vermeidung von N-Verlusten und der damit einhergehenden Verbesserung der N-Effizienz in der Landwirtschaft. Das Szenario ÖkOpt kombiniert mit der Option MTFR würden NH₃-Reduktionen herbeiführen, die über das UZL NH₃ hinausgehen. Der notwendige Zeithorizont, um das Potenzial der Option MTFR vollständig auszuschöpfen (d.h. Reduktion der NH₃-Emissionen um 13%) ist massgebend von politischen Entscheidungen abhängig und reicht vermutlich weit bis über 2040 hinaus.

Denkbar wäre, Elemente der Option MTFR in sinnvoller Weise mit Elementen des Szenario ÖkOpt zu kombinieren, sprich einfach umsetzbare technische Massnahmen (MTFR) mit einer teilweisen Verlagerung der tierischen auf die pflanzliche Produktion wie im Szenario ÖkOpt zu kombinieren. Die Zielerreichung des UZL NH₃ könnte somit mit geringeren Änderungen der landwirtschaftlichen Strukturen einhergehen als im Szenario ÖkOpt.

6.2. VERÄNDERUNG IM UMGANG MIT TIERISCHEN PRODUKTEN

Es werden zwei hypothetische Optionen untersucht: welche N-Reduktionen gibt es, wenn:

- › die tierische Produktion weitgehend ins Ausland verlagert würde bei gleichbleibendem Konsumverhalten in der Schweiz (Kapitel 6.2.1),
- › weniger oder gar keine tierischen Produkte mehr konsumiert würden in der Schweiz, wenn sich also die Konsumgewohnheiten der Bevölkerung in Richtung einer vegetarischen oder sogar veganischen Ernährung ändern würden (6.2.2).

6.2.1. REDUKTION TIERISCHE PRODUKTION IM INLAND

Durch die Wenn-Dann-Option „Reduktion tierische Produktion im Inland“ wird abgeschätzt, welches Stickstoff-Reduktionspotenzial bestehen würde, wenn weitgehend oder ganz auf die Herstellung tierischer Produkte in der Schweiz verzichtet würde. Dabei wurde angenommen, dass die Konsumgewohnheiten der Schweizer Bevölkerung und ebenso der Netto-Selbstversorgungsgrad unverändert bleiben würden.

Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die N-Flüsse, die von der Option „Reduktion tierische Produktion im Inland“ betroffen sind.

ERWARTETE VERÄNDERUNG DER DIREKT DURCH DIE OPTION „REDUKTION TIERISCHE PRODUKTE IM INLAND“ BETROFFENEN N-FLÜSSE		
Direkt betroffene Flüsse	Erwartete Veränderung	
L3, Produkte/Nahrung	Weniger Fleischproduktion im Inland	↓
L9, Ernteprodukte/Nahrung	Erhöhte Produktion von pflanzlichen Nahrungsmitteln	↑
I2, (Netto-)Import Nahrungsmittel	Mehr Import von tierischen Produkten (Fleisch, Eier, Milch etc.), weil weniger im Inland produziert wird	↑
L1, Hofdünger/Weidegang	Abnahme Hofdünger aus Tierhaltung	↓
L4, Emissionen Tierhaltung	Abnahme der NH ₃ -Emissionen aus Tierhaltung	↓
L6, Emissionen Pflanzenbau	Zunahme Emissionen Pflanzenbau wegen erhöhter Produktion	↑

Tabelle 12 Erwartete Richtung der Veränderung bei den direkt durch die Option „Reduktion tierische Produkte“ betroffenen Stickstoffflüsse des Stoffflusssystems „Land- und Ernährungswirtschaft“.

Reduktion gegenüber Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios

Betrachtet man die Wenn-Dann-Option „Reduktion tierische Produktion im Inland“ ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios, zeigt sich ein beträchtliches Potenzial. Dieses ist in etwa so gross wie die Differenz der betroffenen Flüsse zwischen Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios und Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenarios ÖkOpt, denn im Szenario ÖkOpt

wird die inländische Produktion von tierischen Produkten/Nahrung (L3) als Folge der Vorgaben des BLW und der Modellannahmen der HAFL (Kapitel 4.1 und 4.2) stark eingeschränkt.

Bereits erreichte Reduktion im Szenario ÖkOpt gegenüber dem Basis-Szenario

Im Szenario ÖkOpt 2020 wird die inländische Produktion von tierischen Produkten/Nahrung (L3) als Folge der Vorgaben des BLW und der Modellannahmen der HAFL (Kapitel 4.1 und 4.2) stark eingeschränkt. Die Tierzahlen an Rindvieh werden soweit reduziert, dass das gesamte Vieh durch Grünlandfutter ernährt werden kann (kein Kraftfuttereinsatz). Auf die Produktion von tierischen Kalorien mit Monogastriern (Schweine, Geflügel) wird ganz verzichtet. Dadurch wird das Potenzial dieser Wenn-Dann-Option „Reduktion tierische Produktion im Inland“ durch das Szenario ÖkOpt bereits weitgehend ausgeschöpft, weiteres Potenzial ist praktisch nicht vorhanden, es sei denn, die Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung würden sich ändern (siehe nächstes Kapitel 6.2.2).

Folgewirkungen

Aufgrund der reduzierten Tierproduktion im Inland bei gleichbleibenden Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung nimmt der Import von tierischen Produkten stark zu im Szenario ÖkOpt. Damit werden die Emissionen, die bei der Tierproduktion entstehen, weitgehend ins Ausland verlagert. Wird die Tierproduktion im Ausland standortgerecht durchgeführt, könnten insgesamt tiefere Emissionen der Tierproduktion (Inland und Ausland) resultieren als bei einer vergleichbaren Produktion nur im Inland. Inwiefern eine standortgerechte Produktion im Ausland zu erwarten wäre, kann im Rahmen dieser Studie allerdings nicht beurteilt werden.

Aus Nachhaltigkeitssicht sinnvoller als die Verlagerung der Tierproduktion und der dadurch entstehenden N-Emissionen ins Ausland wäre eine Änderung der Ernährungsgewohnheiten (siehe folgendes Kapitel).

6.2.2. KEIN KONSUM TIERISCHER PRODUKTE

Die Option „kein Konsum tierischer Produkte“ schätzt die Auswirkungen auf den N-Kreislauf ab, die zustande kämen, wenn die Schweizer Bevölkerung einen Wandel in den Ernährungsgewohnheiten durchlaufen würde und weniger bis gar keine tierischen Produkte mehr konsumieren würde. Stattdessen würde sie ihren Kalorien-, Protein- und Stickstoffbedarf mehrheitlich bis ausschliesslich durch pflanzliche Nahrungsmittel decken. Dabei wird angenommen, dass der Nettoselbstversorgungsgrad der Schweiz gleichbleiben würde (ca. 53%).

Die Produktion von hochwertigen tierischen Nahrungsmitteln benötigt bedeutend mehr Ressourcen (N-Input, Kalorien, Wasser etc.) als die Produktion einer vergleichbaren Kalorienmenge an pflanzlichen Nahrungsmitteln. Tierische Produkte haben einen höheren Protein- und N-Gehalt als pflanzliche – durch den Konsum tierischer Produkte nimmt der Mensch einen Gross- teil an Stickstoff zu sich. Verschiedene neue Studien (z.B. 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 erforderlich wäre, die Diskussion über die gesundheitlichen Aspekte ist jedoch kontrovers. Dazu kommt, dass in den letzten Jahrzehnten der Konsum von wenig edlen Fleischstücken zurückge- gangen ist, während das für den Menschen wertvolle Protein aus den Nebenprodukten der Fleischverarbeitung in die Tiermehlfraktion gelangt und durch die Verbrennung zu einem Ver- lust wird. Folglich könnten durch eine Anpassung der Ernährungsgewohnheiten erhebliche Sy-nergien zwischen Gesundheit und Ressourcenverbrauch und den damit zusammenhängenden negativen Umweltauswirkungen bezüglich Luft, Klima, Boden, Wasser genutzt werden (Kaenzig & Jolliet 2006).

Der Einfachheit halber betrachtet die Wenn-Dann-Option „kein Konsum tierischer Produkte“ einen hypothetischen Extremfall, in welchem sich die Bevölkerung ohne jegliche tierische Pro- dukte ernähren würde. Dass sich das Konsumverhalten jemals soweit ändern wird, ist nicht zu erwarten, es geht an dieser Stelle lediglich um die Abschätzung des Potenzials.

Um sicherzustellen, dass eine für die menschliche Gesundheit erforderliche Versorgung mit Stickstoff im Wenn-Dann-Extremfall ohne tierische Produkte sichergestellt werden kann, wurde die Proteinmenge berechnet: Die durchschnittliche Proteinmenge pro Person würde durch diese Ernährungsumstellung auf ca. 70 g Protein pro Person pro Tag sinken¹³. Eine Versorgung von 70 g Protein pro Person und Tag liegt jedoch im Rahmen einer gesunden Ernährung gemäss BAG (56-140 g Protein pro Tag für 70 kg schwere Person). Nicht überprüft wurde, ob durch diesen Wenn-Dann-Extremfall ohne tierische Produkte auch die Versorgung mit allen essentiellen Ami- nosäuren sichergestellt werden könnte – dies würde den Rahmen vorliegender Studie sprengen.

Von der Option betroffen wären einerseits die Flüsse in und aus der Tierhaltung, anderer- seits auch die Flüsse in und aus dem Prozess Landwirtschaftsböden und Pflanzenbau, weil unter der Voraussetzung, dass der Selbstversorgungsgrad beibehalten wird, die pflanzliche Produktion

¹³ Berechnung aufgrund Angaben des BAG, für einen Durchschnittsmenschen von 70 kg. Zum Vergleich: Ist-Zustand 2005: 129 g Protein/Person/Tag; Ziel-Zustand ÖkOpt 2020: 120 g/Person/Tag.

stark hochgefahren werden müsste. Da sich gemäss dieser Option die Ernährungsgewohnheiten ändern würden, wird sich auch die Zusammensetzung der importierten Nahrungsmittel ändern (mehr pflanzliche Produkte, weniger tierische) und somit der N-Fluss „Nahrungsmittelimport“ (Tabelle 13).

ERWARTETE VERÄNDERUNG DER DIREKT DURCH DIE OPTION „KEIN KONSUM TIERISCHER PRODUKTE“ BETROFFENEN N-FLÜSSE		
Direkt betroffene Flüsse	Erwartete Veränderung	
I2, (Netto-)Import Nahrungsmittel	Weniger Import von tierischen Produkten (Fleisch, Eier, Milch etc.), stattdessen Import pflanzlicher Produkte	↓
L3, Produkte/Nahrung	Weniger Fleischproduktion im Inland	↓
L9, Ernteprodukte/Nahrung	Erhöhte Produktion von pflanzlichen Nahrungsmitteln	↑
L1, Hofdünger/Weidegang	Abnahme Hofdünger aus Tierhaltung	↓
L4, Emissionen Tierhaltung	Abnahme der NH ₃ -Emissionen aus Tierhaltung	↓
L6, Emissionen Pflanzenbau	Zunahme Emissionen Pflanzenbau wegen erhöhter Produktion	↑

Tabelle 13 Erwartete Richtung der Veränderung bei den direkt durch die Option „kein Konsum tierischer Produkte“ betroffenen Stickstoffflüsse des Stoffflusssystem „Land- und Ernährungswirtschaft“.

Erwartete Entwicklung im Basis-Szenario

Abbildung 8 zeigt einen Auszug aus dem System „Land- und Ernährungswirtschaft“, der die Flüsse an tierischen und pflanzlichen Produkten sowie Nahrungsmittelimporte und -exporte umfasst, für den Ist-Zustand 2005 und den Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios. Die Unterschiede zwischen 2005 und 2020 sind gering.

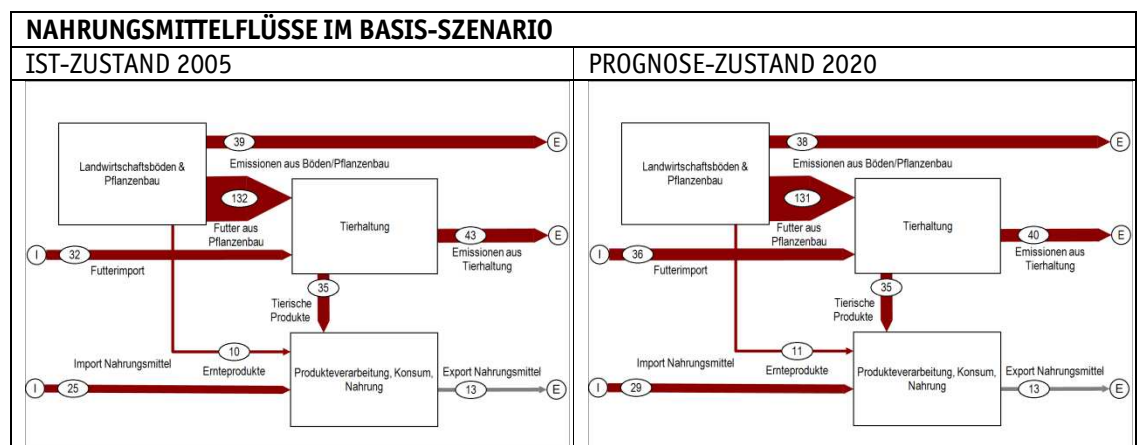


Abbildung 8: Auszug aus dem System „Land- und Ernährungswirtschaft“ für den Ist-Zustand 2005 und den Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios. Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflusssystem nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf.

Reduktion gegenüber Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios

Wenn sich die Ernährungsgewohnheiten in Richtung weniger tierische/mehr pflanzliche Nahrungsmittel ändern würden, bestünde im Extremfall, in dem absolut keine tierischen Produkte mehr konsumiert würden, gegenüber dem Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios ein maximales Reduktionspotenzial von 35 kt N bei der Herstellung tierischer Produkte (L3) im Inland. Die Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel (L9) müsste hingegen um 9 kt N steigen, um einen Selbstversorgungsgrad von 52.8% (bezogen auf Kalorien) im Inland aufrecht zu erhalten, ebenso würde der Nettoimport um ca. 1 kt N ansteigen (Abbildung 9).

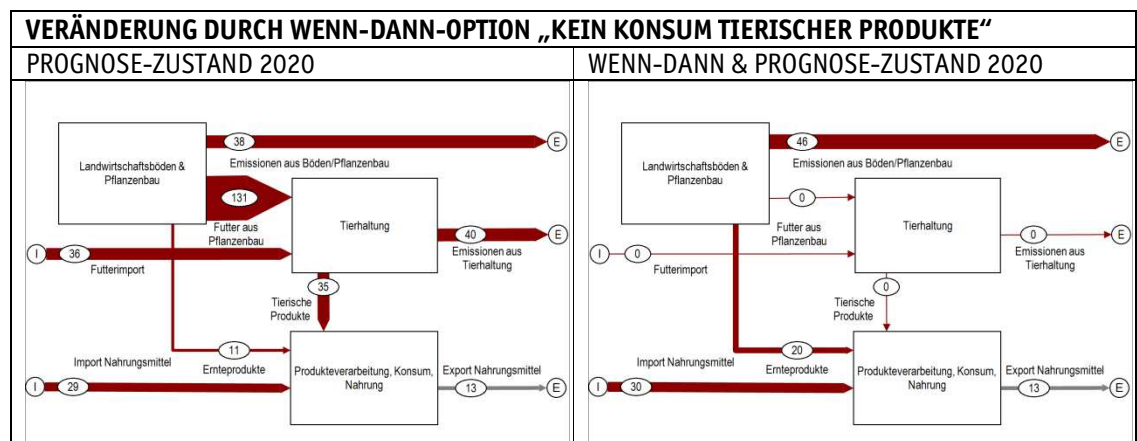


Abbildung 9: Prognose-Zustand 2020 (links) und Wenn-Dann-Option ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 (rechts). Veränderung der N-Flüsse durch die Wenn-Dann-Option „Kein Konsum tierischer Produkte“. Eingezeichnet sind betroffene Flüsse (rot) und nicht betroffene Flüsse (grau). Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflusssystems nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf.

Reduktion gegenüber Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenarios ÖkOpt

Im Ziel-Zustand 2020 des Szenarios ÖkOpt wird die inländische Produktion von tierischen Produkten (L3) gegenüber dem Ist-Zustand 2005 um 22 kt N reduziert, das N-Reduktionspotenzial dieses Flusses ist also zu einem grossen Teil bereits ausgeschöpft. Um den gewünschten Netto-selbstversorgungsgrad von knapp 53% im Inland zu erreichen, wird die Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel im Inland (L9) um 6 kt N erhöht. Im Szenario ÖkOpt wird angenommen, dass sich die Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung nicht ändern. Um die Nachfrage nach tierischen Produkten zu decken werden dementsprechend mehr tierische Produkte importiert, als dies im Basis-Szenario der Fall war. Der Nettoimport (I2-P10) liegt im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 um 22 kt N höher als im Ist-Zustand 2005 des Basis-Szenarios.

Abbildung 10 zeigt einen Auszug dem System „Land- und Ernährungswirtschaft“ für den Ziel-Zustand ÖkOpt 2020, einmal mit und einmal ohne die Wenn-Dann-Option „kein Konsum tierischer Produkte“. Wenn sich nun die Ernährungsgewohnheiten in Richtung weniger tierische/mehr pflanzliche Nahrungsmittel ändern würden, bestünde im Extremfall, in dem absolut keine tierischen Produkte mehr konsumiert würden, gegenüber dem Szenario ÖkOpt ein maximales Reduktionspotenzial von knapp 17 kt N beim Netto-Import (Import I2 - Export P10) und 12 kt N bei der Herstellung tierischer Produkte (L3) im Inland (Abbildung 10). Die Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel (L9) müsste hingegen um 4 kt N steigen, um denselben Selbstversorgungsgrad von 53% (bezogen auf Kalorien) im Inland aufrecht zu erhalten. Gemäss einer Einschätzung der HAFL sollte dies durch die ackerbaulich Nutzung der im Szenario ÖkOpt vorhandenen Brache-Reserven (ca. 138'000 ha) möglich sein (HAFL 2013).

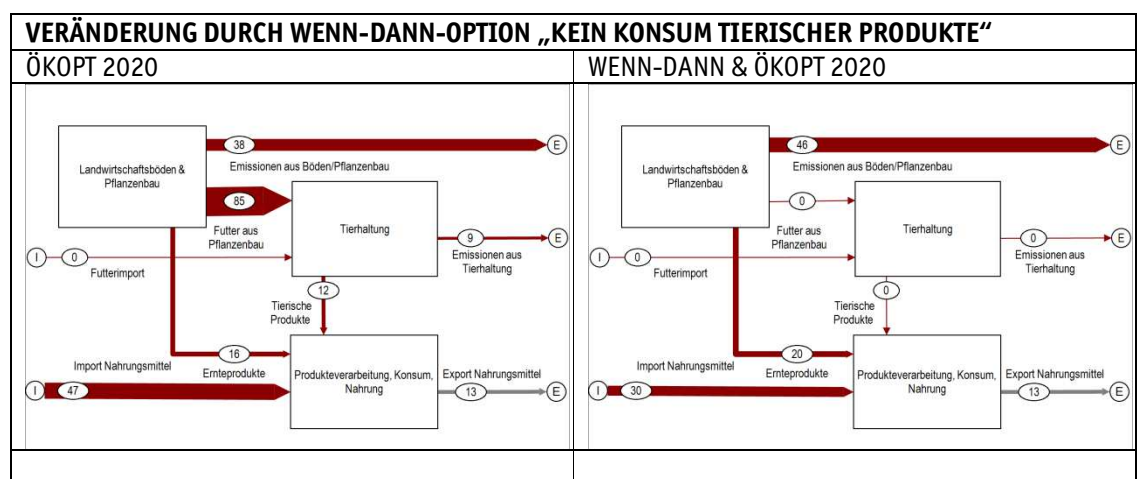


Abbildung 10: Szenario ÖkOpt (links) und Wenn-Dann-Option ausgehend vom Szenario ÖkOpt (rechts). Veränderung der N-Flüsse durch die Wenn-Dann-Option „Kein Konsum tierischer Produkte“. Eingezeichnet sind betroffene Flüsse (rot) und nicht betroffene Flüsse (grau). Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflusssystem nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf.

Folgewirkungen

Aufgrund der starken Reduktion der Tierproduktion würden in der Folge auch die Emissionen aus der Tierhaltung stark sinken (um bis zu 100%, proportional zur Abnahme der Produkten/Nahrung aus der Tierhaltung). Die Emissionen aus dem Pflanzenbau würden hingegen wegen starker Zunahme der pflanzlichen Produktion stark ansteigen (um ca. 8 kt N oder 85%, proportional zum Anstieg der Ernteproduktion/Nahrung).

Zeithorizont und Bewertung der Option

Eine komplette Umsetzung der Wenn-Dann-Option „Kein Konsum tierischer Produkte“ führt zu grossen Veränderungen. Der Endzustand mit Wenn-Dann-Option sieht ausgehend vom Zielzustand ÖkOpt 2020 gleich aus, wie ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 10). Um ihn zu erreichen wäre ein Strukturwandel im Ernährungssektor notwendig, mit reduziertem Konsum von tierischen Produkten, der sich über einen Zeithorizont erstreckt, der weit über 2020 hinausreicht. Eine Anpassung der Ernährungsgewohnheiten stellt tiefgreifende Änderungen dar und bedingt eine gesellschaftliche Akzeptanz für eine entsprechende Umsetzung. Sie kann nicht durch einfache Rechtsetzung erreicht werden. Die zeitliche Entwicklung der Ernährungsgewohnheiten ist unklar – dementsprechend ist nicht zu erwarten, dass diese Option kurz- oder mittelfristig als Weg für die Zielerreichung des UZL NH₃ eingeschlagen werden kann. Längerfristig können Veränderungen der Ernährungsgewohnheiten jedoch eine tragende Rolle bei der Entwicklung einer nachhaltigen Land- und Ernährungswirtschaft spielen.

6.3. WENIGER NAHRUNGSMITTELABFÄLLE

Gemäss einer FAO Studie (FAO 2011) geht – global gesehen – ein Drittel der produzierten Nahrungsmittel verloren oder wird weggeworfen, andere Quellen gehen sogar von einem noch höheren Anteil aus (BLW 2011). Ca. 20% der Lebensmittelabfälle fallen in der Landwirtschaft an, 30% bei der Verarbeitung und im Handel und 50% in Haushalten und Gastronomie (SF1, 10vor10, 7.9.2012). Durch die vielen Abfälle geht auch viel reaktiver Stickstoff verloren. Diese Verluste zu reduzieren würde bedeuten, dass der anthropogene Antrieb des N-Kreislaufes reduziert werden könnte. Zwei Optionen zur Reduktion der Lebensmittelabfälle werden daher näher angeschaut: der Einsatz von Nahrungsmittelabfällen in der Tierproduktion (6.3.1) und die bessere Verwertung von Nahrungsmitteln in der Konsumentenkette (6.3.2).

6.3.1. EINSATZ NAHRUNGSMITTELABFÄLLE IN DER TIERPRODUKTION

Die Option „Einsatz Nahrungsmittelabfälle in der Tierproduktion“ schätzt die Auswirkungen auf den N-Kreislauf ab, die zustande kämen, wenn Abfälle aus der Nahrungsmittelindustrie in der Tierproduktion eingesetzt würden. Dies betrifft Schlachtabfälle, deren N- und P-Ressourcen in Form von Knochenmehl der Tierhaltung zugeführt werden könnten, sowie die Verwertung von Speiseresten in der Tierproduktion. Die Abschaffung der aus hygienischen Gründen in den letzten Jahren gesetzlich angeordnete Verbrennung von Abfällen aus der Fleischverarbeitung und Vergärung der Reste aus Nahrungsmittelherstellung (Lebensmittelindustrie, Gaststätten) wäre

zu Gunsten der Wiederverwertung als Tierfutter schrittweise zu prüfen. Würden diese Verordnungen teilweise rückgängig gemacht, müssten negative Auswirkungen durch ein modernes Qualitätssicherungssystem vermieden werden.

Beide Szenarien – das Basis-Szenario und das Szenario ÖkOpt – sind in Bezug auf Schlachtabfälle/biogene Abfälle nicht optimal ausgearbeitet, da der Hauptfokus nicht auf diesen Flüssen lag. Zur Vereinfachung der Szenarien Annahmen wurden diesbezüglich z.T. Annahmen getroffen, die nicht die beste Praxis abbilden. So wurde z.B. im Szenario ÖkOpt als Vereinfachung und wegen aktuell fehlender gesetzlicher Grundlagen angenommen, dass Erntenebenprodukte nicht als Tierfutter verwendet werden, obwohl dies möglich und sinnvoll wäre. Trotz solcher Vereinfachungen kann ausgehend von den Szenarien berechnet werden, wie sich der „Einsatz Nahrungsmittelabfälle in der Tierproduktion“ auf die N-Flüsse und den N-Kreislauf auswirken würde.

Direkt von der Option „Einsatz Nahrungsmittelabfälle in der Tierproduktion“ betroffen wäre der N-Fluss Futtermittelimport (I3), der abnimmt, ebenso der N-Fluss mit biogenen Abfällen und Schlachtabfällen in die Abfallverwertung (P5 + P7 + P6) (Tabelle 14). Stattdessen würde ein neuer Fluss an Futtermitteln aus der Nahrungsindustrie in die Tierhaltung entstehen.

ERWARTETE VERÄNDERUNGEN DER DIREKT DURCH DIE OPTION „EINSATZ NAHRUNGSMITTELABFÄLLE IN DER TIERPRODUKTION“ BETROFFENEN N-FLÜSSE		
Direkt betroffene Flüsse	Erwartete Veränderung	
P5 + P7 + P6, biogene Abfälle und Schlachtabfälle	Ein Teil der biogenen Abfälle kann als Tierfutter eingesetzt werden, anstatt in die Vergärung zu gelangen. Schlachtabfälle werden neu zu Futtermitteln verarbeitet und in der Tierhaltung eingesetzt. Dadurch nimmt dieser Fluss ab.	↓
I3, Futterimport	Weniger Futtermittelimport notwendig, insb. Weniger proteinhaltiges Kraftfutter und Futtermittelzusätze	↓
Neuer Fluss: Futtermittel	Ein neuer Fluss an Futtermitteln aus Schlachtabfällen und biogenen Abfällen, die in der Tierhaltung eingesetzt werden.	

Tabelle 14 Erwartete Richtung der Veränderung bei den direkt durch die Option „Einsatz Nahrungsmittelabfälle in der Tierproduktion“ betroffenen Stickstoffflüsse des Stoffflusssystems „Land- und Ernährungswirtschaft“.

Reduktion gegenüber dem Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios

Im Basis-Szenario ist der Fluss an Biogenen Abfälle und Schlachtabfälle (P5&P7&P6) relativ gering. Dieser könnte maximal auf 0 kt N reduziert werden durch die Rückführung der Abfälle in die Tierhaltung (Schlachtabfälle zu Tiermehl verarbeitet) und in die Pflanzenproduktion (Kom-

post) (hier entsteht ein neuer interner Fluss). Dadurch ergibt sich bei diesem Fluss ein Reduktionspotenzial von ca. 2 kt N (unter der Annahme, dass ca. 80% des Flusses P5&P7&P6 reduziert werden). Weil ein neuer interner Fluss zurück in die Tierproduktion und den Pflanzenbau entsteht, können zudem der Futtermittelimport und Mineraldüngerimport um die entsprechenden Mengen reduziert werden, wodurch ein weiteres Reduktionspotenzial von ca. 2 kt N besteht.

(Abbildung 11) zeigt die in der Wenn-Dann-Option „Einsatz Nahrungsmittelabfälle in der Tierproduktion“ betroffenen Flüsse für den Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios (links) und die Wenn-Dann-Option ausgehend von diesem Zustand (rechts) (zu beachten: Die Bilanzen in der Abbildung gehen nicht zu Null auf, weil die weiteren Flüsse des Stoffflusssystems nicht eingetragen sind).

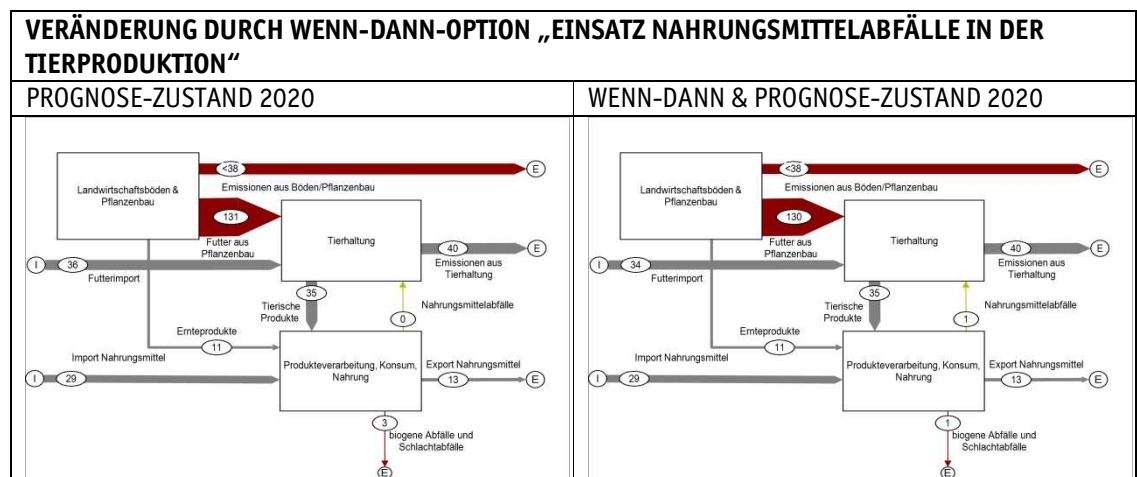


Abbildung 11 Flüsse im Prognose-Zustand 2020 (links) und die veränderten Flüsse durch die Wenn-Dann-Option ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 (rechts). Eingezeichnet sind betroffene Flüsse (rot), ein neuer Fluss Nahrungsmittelabfälle (grün) und nicht betroffene Flüsse (grau). Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflusssystems nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf.

Reduktion gegenüber dem Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenarios ÖkOpt

Das Szenario ÖkOpt 2020 sieht wegen der aktuell fehlenden gesetzlichen Grundlagen nicht vor, dass Schlachtabfälle zu Futtermittel verarbeitet in der Tierhaltung eingesetzt werden. Würde dies so umgesetzt, würden sich die Flüsse biogene Abfälle & Schlachtabfälle (P5 + P7 + P6) um den Anteil der Schlachtabfälle (4 kt N) verringern. Ebenso könnten Erntenebenprodukte als Tierfutter verwendet werden (ca. 8 kt N), wodurch sich die Flüsse P5 + P6 + P7 und I3 weiter verringern (um 13 kt N) und zudem würden Speiseresten aus der Gastronomie nicht mehr dem Abfall zugeführt, sondern den Tieren verfüttert (der Fluss an Speiseresten ist im Szenario ÖkOpt 2020 der Einfachheit halber nicht genauer spezifiziert). Stattdessen würde ein neuer Fluss an Futter-

mitteln von 13 kt N entstehen, der vom Prozess Produkteverarbeitung, Konsum, Nahrung in die Tierhaltung fließt und aus Schlachtabfällen, Speiseresten und Erntenebenprodukten bestünde.

Durch die Verwertung von Nahrungsmittelabfällen in der Tierproduktion besteht das Potenzial, die Futtermittelzufuhr anderswo – sprich beim Import – um die gleiche Stickstofffracht zu reduzieren. Im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenarios ÖkOpt ist dieser Fluss (I3, Import von Futtermitteln) allerdings bereits auf null reduziert, hier besteht also kein weiteres Reduktionspotenzial. Reduziert würde daher bei gleichbleibenden Tierzahlen der Fluss an Futtermittel vom Pflanzenbau in die Tierproduktion. Abbildung 12 zeigt die in der Wenn-Dann-Option „Einsatz Nahrungsmittelabfälle in der Tierproduktion“ betroffenen Flüsse für den Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenarios ÖkOpt (zu beachten: Die Bilanzen in der Abbildung gehen nicht zu Null auf, weil die weiteren Flüsse des Stoffflussesystems nicht eingetragen sind).

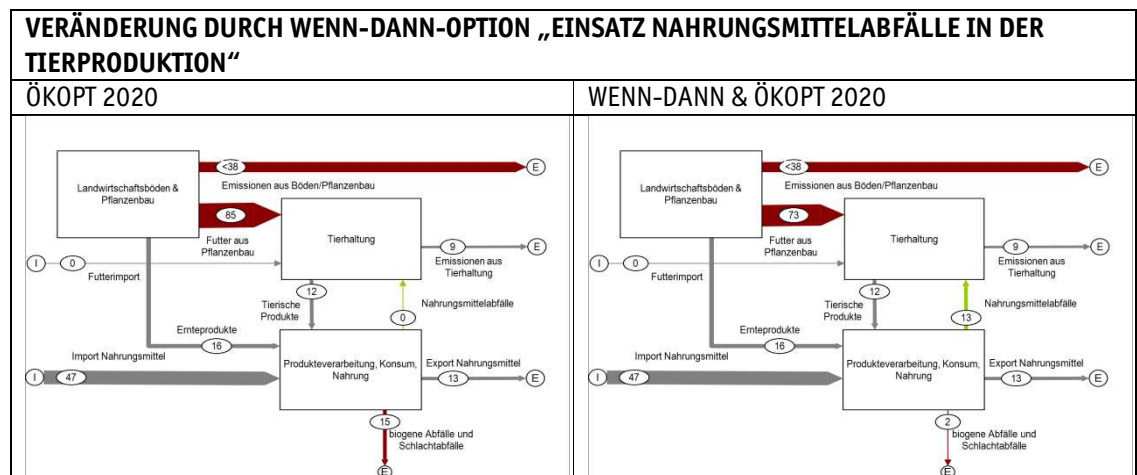


Abbildung 12 Veränderung der N-Flüsse durch die Wenn-Dann-Option „Einsatz Nahrungsmittelabfälle in der Tierproduktion“. Flüsse im Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 des Szenarios ÖkOpt (links) und die veränderten Flüsse durch die Wenn-Dann-Option ausgehend vom ÖkOpt 2020 (rechts). Eingezeichnet sind betroffene Flüsse (rot), ein neuer Fluss Nahrungsmittelabfälle (grün) und nicht betroffene Flüsse (grau). Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflussesystems nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf.

Zeithorizont und Bewertung der Option

Die Verwertung von Schlachtabfällen wie Tiermehl oder Speiseresten aus der Gastronomie sind derzeit in der Schweiz verboten. Eine Lockerung dieser Verbote zugunsten der besseren Verwertung in der Landwirtschaft und Schliessung der Stoffkreisläufe wäre längerfristig zwar denkbar, allerdings müsste mögliche Gesundheitsrisiken vermieden werden. Falls dies gelänge, könnten die landwirtschaftlichen NH_3 -Emissionen reduziert werden. Für eine Erreichung des UZL NH_3 würde die Massnahme allein aber nicht ausreichen.

6.3.2. BESSERE VERWERTUNG VON NAHRUNGSMITTELN

Die Option „Bessere Verwertung von Nahrungsmitteln“ schätzt die Auswirkungen auf den N-Kreislauf ab, die zustande kämen, wenn weniger Nahrungsmittel weggeworfen würden und Resten und Lebensmittel mit geringer "Handelsqualität" verwertet würden.

Eine Erhöhung des Anteils verwerteter Lebensmittel bewirkt eine Reduktion von N-Verlusten. Wenn es gelingt, die Menge weggeworfener Lebensmittel, insbesondere hochwertiger tierischer Produkte, zu reduzieren, müssen weniger Lebensmittel produziert werden, wodurch auch weniger Emissionen an reaktiven Stickstoffverbindungen in den anthropogenen N-Kreislauf gelangen würden.

Durch die „bessere Verwertung von Nahrungsmitteln“ sinkt eine Reihe von N-Flüssen im System Land- und Ernährungswirtschaft, nämlich der Fluss an tierischen Produkten aus der Tierhaltung (L3), der Fluss an pflanzlichen Produkten aus dem Pflanzenbau (L9), der Netto-Import an Nahrungsmitteln (I2-P10) sowie der Fluss an biogenen Abfällen und Schlachtabfällen (P5 + P7 + P6) (Tabelle 15).

Indirekt betroffen wäre zudem der Fluss an Futtermittel vom Pflanzenbau in die Tierhaltung (L8), da eine geringere Tierproduktion notwendig wäre. Allerdings sind verschiedenen Substitutionen zwischen den Futtermittelflüssen denkbar (Import vs. Inlandproduktion Futtermittel). Durch eine geringere Tierproduktion im Inland würden zudem die Emissionen aus der Tierhaltung (L4) sinken.

ERWARTETE VERÄNDERUNG DER DIREKT DURCH DIE OPTION „BESSERE VERWERTUNG VON NAHRUNGSMITTELN“ BETROFFENEN N-FLÜSSE		
Direkt betroffene Flüsse	Erwartete Veränderung	
L3, Produkte/Nahrung aus der Tierproduktion	Weniger Produktion tierischer Produkte notwendig, da besser verwertet wird.	↓
L9, Ernteprodukte, Nahrung aus dem Pflanzenbau	Weniger Produktion pflanzlicher Produkte notwendig, da besser verwertet wird.	↓
P5 + P7 + P6, biogene Abfälle und Schlachtabfälle	Durch die bessere Verwertung von Nahrungsmitteln, entstehen weniger biogene Abfälle und Schlachtabfälle.	↓
I2-P10, Netto-Import Nahrungsmittel	Weniger Import notwendig, da besser verwertet wird, oder mehr Export, weil Nahrungsmittel mit geringer Qualität vermehrt exportiert werden	↓

Tabelle 15 Erwartete Richtung der Veränderung bei den direkt durch die Option „bessere Verwertung von Nahrungsmitteln“ betroffenen Stickstoffflüssen des Stoffflusssystems „Land- und Ernährungswirtschaft“.

Reduktion gegenüber dem Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios

Da im Basis-Szenario nicht von einer Reduktion der Nahrungsmittelabfälle ausgegangen wird, besteht durch die Option „bessere Verwertung von Nahrungsmitteln“ ein Reduktionspotenzial (Abbildung 13). Gemäss der FAO (2011) geht – global gesehen – ein Drittel der produzierten Nahrungsmittel verloren oder wird weggeworfen. Für die Quantifizierung der Option „Bessere Verwertung von Nahrungsmitteln“ wird angenommen, dass erstens auch in der Schweiz ein Drittel der Nahrungsmittel verloren geht und zweitens dass die Hälfte dieses Potenzials ausgeschöpft werden kann. Dies bedeutet, dass knapp 17% (5 kt N) weniger Produkte produziert und netto-importiert werden müssten. Ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios besteht ein Reduktionspotenzial von ca. 13 kt N im Stickstoffkreislauf, weil sich der Fluss tierische Produktion (L3) dadurch um ca. 6 kt N verringern würde, der Fluss Ernteprodukte/Nahrung (L9) um ca. 2 kt N und der Import an Nahrungsmittel (I2) um ca. 5 kt. Als Folge davon verringern sich weitere Flüsse, wie z.B. biogenen Abfälle und Schlachtabfälle.

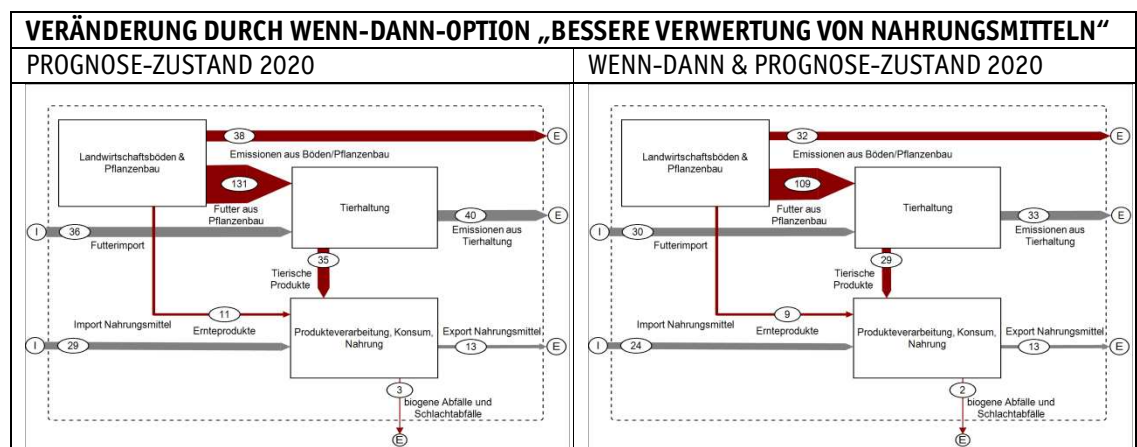


Abbildung 13 Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios (links) und Wenn-Dann-Option ausgehend vom Prognose-Zustand 2020 (rechts). Eingezeichnet sind betroffene Flüsse (rot) und nicht betroffene Flüsse (grau). Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflusssystem nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf.

Bereits erreichte Reduktion im Szenario ÖkOpt und Restpotenzial

Im Szenario ÖkOpt 2020 werden keine Annahmen zur besseren Verwertung von Nahrungsmitteln getroffen. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass durch eine bessere Verwertung von Nahrungsmitteln mit geringer Qualität in der Konsumentenketten ein zusätzliches N-Reduktionspotenzial vorhanden ist. Für die Quantifizierung kann mit den bereits erwähnten Annahmen gerechnet werden: dass ein Drittel der Nahrungsmittel verloren geht und dass die Hälfte dieses

Potenzials ausgeschöpft werden. Dies bedeutet, dass knapp 17% weniger Produkte produziert und netto-importiert werden müssten. Geht man zudem von einer Gleichverteilung der noch verwertbaren Abfälle aus tierischer und pflanzlicher Produktion und zwischen Inlandproduktion und Import aus, verringert sich der Fluss an Produkten aus der Tierproduktion (L3) um 2 kt N, der Fluss an Ernteprodukte aus dem Pflanzenbau (L9) um 3 kt N und der Netto-Import an Nahrungsmitteln (I2-P10, Import-Export) um 8 kt N (Abbildung 14).

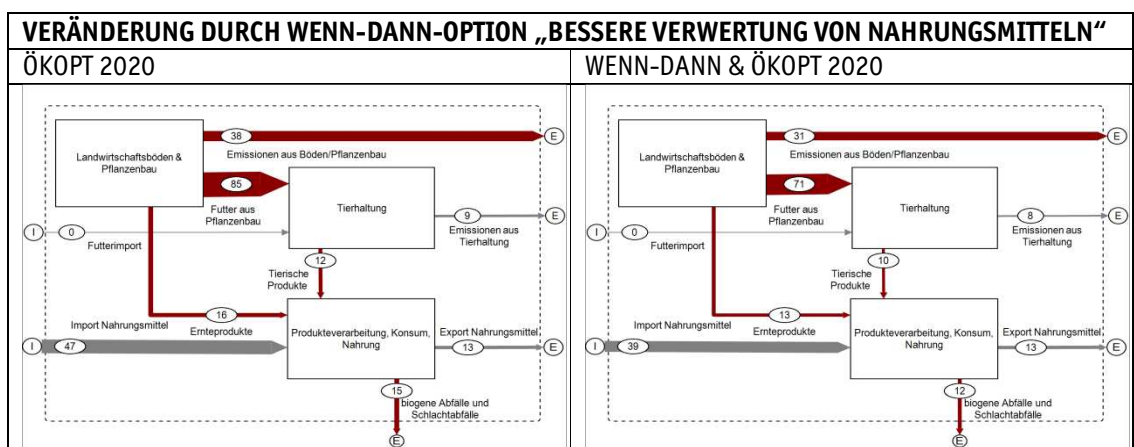


Abbildung 14 Veränderung der N-Flüsse durch die Wenn-Dann-Option „Bessere Verwertung von Nahrungsmitteln“. Szenario ÖkOpt (links) und Wenn-Dann-Option ausgehend vom Szenario ÖkOpt (rechts). Eingezeichnet sind betroffene Flüsse (rot) und nicht betroffene Flüsse (grau) (gerundete Flusswerte, in kt N). Das Modell umfasst nur die Flüsse, die uns in diesem Kontext interessieren. Da alle weiteren Flüsse des Stoffflusssystems nicht eingetragen sind, gehen die Bilanzen nicht auf.

Folgewirkungen

In der Folge sinkt der Fluss an Futter aus dem Pflanzenbau in die Tierhaltung (L) um 14 kt N und durch die geringere Produktion und den effizienteren Konsum entstehen auch weniger biogene Abfälle und Schlachtabfälle (P5 + P7 + P6) und zwar schätzungsweise auch knapp 17% resp. 2 kt N weniger. Die Emissionen aus dem Pflanzenbau gehen um 7 kt N zurück, jene aus der Tierproduktion um 1 kt N (Abbildung 14).

Zeithorizont und Bewertung der Option

Eine Erhöhung des Anteils verwerteter Lebensmittel setzt einen Wandel der Konsumgewohnheiten voraus, zudem sind Handel und Abfallwirtschaft betroffen. Dementsprechend gross ist der Zeithorizont für eine schrittweise Realisierung. Damit sich der Markt für Drittqualitätsprodukte verbessern kann, müsste die Nachfrage nach solchen Produkten steigen, was eine breitere Akzeptanz in der Bevölkerung gegenüber diesen nicht standardisierten Produkten voraussetzt.

Veränderungen der Konsumgewohnheiten können zwar durch Information und Kommunikation gefördert werden, jedoch nicht durch einfache Massnahmen wie z.B. Rechtsetzung in die Wege geleitet werden. Daher ist die Entwicklung kaum vorhersagbar und dementsprechend eignet sich diese Wenn-Dann-Option nicht als Massnahme, um kurz- oder mittelfristig das UZL NH_3 zu erreichen. Längerfristig kann eine bessere Verwertung von Nahrungsmitteln dennoch einen wichtigen Beitrag zu geringeren N-Verlusten der Land- und Ernährungswirtschaft leisten.

7. FAZIT

Die Analysen aus vorangehenden Kapiteln machen deutlich:

- › Die Stickstoffverluste aus der schweizerischen Landwirtschaft betragen im Jahr 2005 ca. 100 kt N. Im Basis-Szenario, das die Auswirkungen der Agrarpolitik 2014-2017 und das Wachstum der schweizerischen Bevölkerung bis 2020 auf die Stickstoffflüsse abbildet, nehmen die Stickstoffverluste bis auf ca. 94 kt N ab. Erwünschte Veränderungen sind zum Beispiel ein Rückgang beim Mineraldüngerimport, Reduktionen bei den Emissionen aus der Tierhaltung und bei der Deposition stickstoffhaltiger Verbindungen auf die Landwirtschaftsböden. Dem stehen aber unerwünschte Entwicklungen entgegen: Der Import von Stickstoff mit Lebens- und Futtermitteln nimmt zu, ebenso die Stickstofffracht im Abwasser. Sowohl das Umweltziel für Ammoniakemissionen (max. 25 kt NH₃-N pro Jahr) als auch das OSPAR-Ziel für Nitrat (ca. 17 kt NO₃-N pro Jahr) werden deutlich verfehlt, es bleibt ein grosser Handlungsbedarf bestehen.
- › Unter den Vorgaben des BLW zur weitergehenden Reduktion der Stickstoffverluste kann ein Zustand der schweizerischen Landwirtschaft konstruiert werden, der das Umweltziel Ammoniak erfüllt. Er erfordert bedeutende Änderungen in der Wahl der Ackerkulturen und eine Reduktion des Tierbestandes. Das Niveau des N-Kreislaufs wird abgesenkt, N-Input und N-Output nehmen darin um 40% ab und die Ausnutzung des Stickstoffs bezogen auf den Energieinhalt der Nahrungsmittel wird verbessert respektive die N-Verluste pro produzierte Energieeinheit werden verringert. Ob dabei gleichzeitig auch die N-Effizienz verbessert wird, hängt von der Ausgestaltung des Szenarios ab. In der vorliegenden Studie war dies keine Vorgabe bei der Konstruktion des Szenarios ÖkOpt. Das OSPAR-Ziel für Nitrat kann aber auch damit noch nicht erreicht werden. Die Lachgasemissionen können gegenüber 1990 um knapp 50% gesenkt werden.
- › Das ÖkOpt-Szenario zeigt aber neben diesen erwünschten Verbesserungen auch, dass die Strukturen der Landwirtschaft in einem solchen Fall stark von den heutigen Strukturen abweichen würden. Es dient deshalb auch nicht der Setzung eines Ziels, sondern es soll lediglich sichtbar machen, unter welchen Umständen ein solcher Zustand möglich wäre, welche Reduktionspotenziale dabei genutzt werden könnten und wie gross in einem solchen Fall die N-Verluste noch wären.
- › Neben einem veränderten Portfolio an Ackerkulturen und reduzierten Tierzahlen, die im Zustand ÖkOpt die wichtigste Treiber für die Reduktion der Stickstoffverluste sind, bestehen weitere Potenziale, zum Beispiel durch technische Massnahmen, durch Reduktion von Lebensmittelabfällen oder durch Änderungen der Konsumgewohnheiten der Gesellschaft.

- › Zusätzlich zu den Stoffflussanalysen des Basis- und des ÖkOpt-Szenarios wurden daher in „Wenn-Dann-Optionen“ entsprechende weitere Wege zur Reduktion der Stickstoffverluste der Land- und Ernährungswirtschaft aufgezeigt. Sie sind wie das Szenario ÖkOpt ebenso als Extremvarianten (z.B. „kein Konsum tierischer Produkte“) formuliert und dienen in dieser Form dazu, Potenziale zu schätzen und diese vergleichen zu können. Dabei wird ausschliesslich auf Stickstoff fokussiert, andere Umweltindikatoren sowie ökonomische und soziale Auswirkungen werden nicht betrachtet.

Gemäss ihrer Konstruktion stellen weder die Wenn-Dann-Analysen noch das Szenario ÖkOpt geeignete Wege dar, um die Umweltziele Landwirtschaft zu erreichen. Sie sollen aber Anhaltspunkte für die Richtung einer Stickstoffstrategie liefern, die einen wesentlichen Schritt in Richtung Zielerreichung erlaubt. Die Umweltziele können gewiss nur mit einer Kombination der Optionen verfolgt werden: Einführung von weiteren technischen Massnahmen zur Reduktion der NH_3 -Emissionen, Anvisieren von Ernährungsgewohnheiten mit reduziertem Konsum tierischer Produkte verbunden mit einer Reduktion der Tierzahlen, weniger Nahrungsmittelabfälle durch bessere Verwertung der landwirtschaftlichen Produkte und evtl. einer etappenweisen Rückkehr zum Einsatz von Nahrungsmittelabfällen in der Tierproduktion.

ANNEX

A-1 DATEN UND ANNAHMEN ZU BEVÖLKERUNG, SELBSTVERSORGUNGS-GRAD ETC.

Selbstversorgung, Bevölkerung, Bedarf und N/Energie-Verhältnis		2005	2020	ö2020
Netto-Selbstversorgungsgrad	(%)	57%	52.8%	52.8%
Netto-Selbstversorgungsgrad aus pflanzlichen Produkten	(%)	n/a	n/a	43.0%
Netto-Selbstversorgungsgrad	(%)	n/a	n/a	9.8%
Ortsanwesende Personen Schweiz	(Anz.)	7'600'000	8'557'600	8'557'600
Energiebedarf pro Person pro Tag	(MJ)	13.7	13.7	13.7
Energiebedarf total pro Jahr	(TJ)	38'004	42'792	42'792
Energie Inlandproduktion pro Jahr	(TJ)	21'747	22'590	22'590
Energie Ernteprodukte/Nahrung aus dem Pflanzenbau pro Jahr	(TJ)	n/a	n/a	18'394
Energie Produkte/Nahrung aus der Tierhaltung pro Jahr	(TJ)	n/a	n/a	4'207
Verluste (Inputs-Outputs nach OSPAR)	(kt N)	101	94	60
N/Energie-Rate der Produkte aus der Landwirtschaft	(kg N/TJ)	4.7	4.1	2.7
Energie/N.Verlust-Effizienz der Produkte aus der Landwirtschaft	(TJ/kg N)	21%	24%	38%

Tabelle 16 Selbstversorgungsgrad, Bevölkerung, Bedarf und Produktion an Kalorien, sowie Verlust (nach OSPAR-Bilanz berechnet) und das N/Energie- resp. das Energie/N-Verhältnis der Produkte aus der Landwirtschaft. Alle Parameter sind jeweils für den Ist-Zustand 2005 und den Prognose-Zustand 2020 des Basis-Szenarios sowie für den Ziel-Zustand ÖkOpt 2020 (ö2020) des Szenarios ÖkOpt aufgeführt.

A-2 DATEN ZU KULTUREN, TIERZAHLEN UND TIERPRODUKTION

Tabelle 17 zeigt die Inputdaten zu den Kulturen und Tabelle 18 die Inputdaten der Tierzahlen und der Tierproduktion, wie sie für die Berechnung des Szenarios ÖkOpt im vorliegenden Bericht verwendet wurden, und stellt diese den Inputdaten des Ist-Zustandes 2005 gegenüber.

Flächennutzung	Ist-Zustand 2005 (ha)	ÖkOpt2020 (ha)
Brotweizen	83'744	119'665
Roggen	1'677	2'524
Dinkel	2'618	3'294
Kartoffeln	12'510	15'429
Zuckerrüben	18'248	29'607
Raps	17'652	66'858
Sonnenblumen	5'083	21'142
Gemüse	8'914	8'914
übrige Ackerkulturen	135'865	-
offene Ackerfläche total	286'311	267'433
Kunstwiese resp. Brache im Modell	119'101	137'979
Ackerfläche	405'412	405'412
ext. Wiesen	85'289	72'496
übrige Dauerwiesen und Weiden	539'843	464'265
ungenutztes Dauergrünland	-	88'371
Reben	12'932	12'932
Obstbauliche Intensivkulturen	7'355	7'355
Streu- und Torfland	7'310	7'310
übriges Kulturland	6'977	6'977
Total landwirtschaftliche Nutzfläche	1'065'118	1'065'118
Alp- und Juraweiden	505'486	505'486
Gesamtfläche	1'570'604	1'570'604

Tabelle 17 Flächennutzung gemäss Modellergebnissen HAFL für das Szenario ÖkOpt und Flächennutzungen im Ist-Zustand 2005 des Basis-Szenarios.

Tierzahlen und Tierproduktion		Ist-Zustand 2005	ÖkOpt2020
Milchkühe	Produktionsphase [n]	557'886	420'000
	Tage [n]	305	305
	Verzehr [kg TS/Tag]	19	17
	Galtphase [n]	557'886	420'000
	Tage [n]	60	60
	Verzehr [kg TS/Tag]	9	9
	Ausmerzkühe [n]	173'136	140'000
	Anteil Ausmerzkühe	31%	33%
	Verzehr pro Kuh und Jahr [dt TS]	63	59
	Milchleistung [kg]	7'107	5'800
	Total Verzehr [dt TS/a]	35'154'495	24'603'600
	kg ECM/kg TS	1.23	1.09
	Futterfläche pro Kuh [ha] ohne Alpen		1.28
Jungvieh 0-1 jährig	Stück [n]	292'326	140'000
	Verzehr [kg TS/Tag]		3
Jungvieh 1-2 jährig	Stück [n]	223'099	140'000
	Verzehr [kg TS/Tag]		6
Jungvieh > 2 jährig	Stück [n]	113'204	70'000
	Verzehr [kg TS/Tag]		9
Mastkälber	Stück [n]	260'499	238'000
	Verzehr [kg TS/Tag]		0.1
Total Verzehr Gesamtheit Rinder [dt TS/ a]			35'026'218
	Milchproduktion [kg]	4'073'100'000	2'436'000'000
	Kalbfleischproduktion [t] 2005&2006	31'788	28'493
	Fleisch pro Mastkalb [kg]	122	120
	Kuhfleischproduktion [t] 2005&2006	44'775	40'794
	Fleisch pro Kuh [kg]	259	291
	Milchschat 2009 [n]	11'712	11'712
	Zuchtwidder 2009	10'540	10'540
	weibliche Schafe > 1 Jahr 2009 [n]	227'346	227'346
	Jungschaf < 1 Jahr 2009 [n]	182'291	182'291
	Milchziege 2009 [n]	36'512	36'512
	weibliche Ziegen > 1 Jahr 2009 [n]	17'791	17'791
	Ziegenböcke > 1 Jahr 2009 [n]	3'081	3'081
	Jungziegen < 1 Jahr 2009 [n]	23'801	23'801
	Zwergziegen [n]	3'946	3'946
	Pferde > 3 Jahre 2009	51'133	51'133

Tabelle 18 Tierzahlen und Tierproduktion gemäss Modellergebnissen HAFL für das Szenario ÖkOpt in vorliegendem Bericht verwendet wurden (Tierhaltung: Zahlen aus 2009 SMP). Die Rindviehzahlen würden sich bei einer Anpassung der Input-Daten auf den neusten Stand (vgl. Bericht HAFL 2012) leicht erhöhen.

A-3 HERLEITUNG ZIELWERT NO₃-AUSWASCHUNG

Für Nitrat besteht das Ziel einer Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985. Das BLW geht davon aus, dass die NO₃-Auswaschung im Jahr 1985 34'000 kt NO₃-N betrug. Dies lässt sich aus dem Bericht Umweltziele Landwirtschaft (BAFU/BLW 2008; S.109, unterster Abschnitt) über 2 Gleichungen mit 2 Unbekannten herleiten:

- 1) Stand 1985: $53'000t = x + y$
- 2) Stand 2001: $53'000t * 0.77 = 0.82x + 0.68y$

mit

X= Landwirtschaft 1985

Y= Siedlung 1985

- › Gleichung 1 nach y auflösen
- › Y in Gleichung 2 einsetzen
- › Gleichung 2 nach x auflösen

Aufgrund dieser Berechnung wurde in vorliegender Studie davon ausgegangen, dass das absolute Reduktionsziel der NO₃-Auswaschung 17 kt N beträgt resp. das NO₃-Ziel der Landwirtschaft erreicht ist, wenn weniger als 17 kt N ausgewaschen werden.

GLOSSAR

BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
HAFL	Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften
N	Stickstoff
N ₂ O	Lachgas
NO ₃	Nitrat
NH ₃	Ammoniak
kt	Kilotonnen
ÖLN	Ökologischer Leistungsnachweis
TS	Trockensubstanz
UZL	Umweltziele Landwirtschaft

LITERATUR

- ART 2008a:** Bretscher D., Leifeld J. Uncertainty in agricultural CH₄ and N₂O emissions of Switzerland 2007. Internes Dokument, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Zürich 2008.
- ART 2008b:** Spiess E. Daten zur N-Bilanz Schweiz. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon im Auftrag des Bundesamts für Landwirtschaft. Publiziert im Agrarbericht 2008, Bern 2008.
- ART 2008c:** THG-Inventar Landwirtschaft V3.5 Schweiz. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Zürich.
- 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.
- BAFU 2008:** Biogene Güteflüsse der Schweiz 2006, Massen- und Energieflüsse. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Bern.
- BAFU 2010:** Heldstab J., Reutimann J., Biedermann R., Leu D.: Stoffflussanalyse Stickstoff Schweiz 2005. Hrg. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1018: 128 S.
- BAFU 2012:** Leippert F., Heldstab J., Herren M., Biedermann R., Schwank O.: Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020, Hrg. BAFU, Publikation in Vorbereitung.
- BAFU/BLW 2008:** Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820. Bundesamt für Umwelt, Bern: 221 S.
- 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 2011:** Klimastrategie Landwirtschaft: Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft, BLW – Bundesamt für Landwirtschaft, Mai 2011.
- BLW 2012a:** Agrarbericht 2012. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) (Hrsg.), Bern, 2012.
- BLW 2012b:** Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik in den Jahren 2014–2017 (Agrarpolitik 2014–2017), BLW, Februar 2012.
- ENA 2012:** ENA Special Report on Nitrogen and Food. Nitrogen on the table: draft summary report DRAFT http://www.clrtap-tfrn.org/webfm_send/428 (accessed on August 31st, 2012).
- Flisch et al. 2009a:** Flisch R, Sinaj S, Charles R, Richner W. 2009a. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau - Kapitel 11. Agrarforschung 16(2): 51-61.

- Flisch et al. 2009b:** Flisch R, Sinaj S, Charles R, Richner W. 2009b. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau - Kapitel 3. *Agrarforschung* 16(2): 6-18.
- Flisch et al. 2009c:** Flisch R, Sinaj S, Charles R, Richner W. 2009c. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau - Kapitel 19. *Agrarforschung* 16(2): 87-97.
- FOEN 2013:** Switzerland's Informative Inventory Report 2013 (IIR). Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Submission of March 2013 to the United Nations ECE Secretariat. Federal Office for the Environment FOEN. Bern.
- FOEN 2013a:** Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2011. National Inventory Report 2013 including reporting elements under the Kyoto Protocol. Submission of 15 April 2013 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment FOEN. Bern.
- HAFL 2012:** Sutter, M., Menzi, H., Reidy, B., 2012. Ökologische Optimierung des landwirtschaftlichen Produkteportfolios unter Berücksichtigung der relativen Standortvorteile (ÖkoOpt). Dokumentation zu den Modellrechnungen der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL). Bericht zu Handen BLW.
- HAFL 2013:** mündliche Mitteilung M. Sutter (HAFL), Januar 2013.
- IAW 2006:** Peter S., Hartmann M., Hediger W.: Entwicklung der landwirtschaftlichen Emissionen umweltrelevanter Stickstoffverbindungen. *Info Agrar Wirtschaft, Schriftenreihe* 2006/1. Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie des Instituts für Umweltentscheidungen, ETH.
- IIASA 2011:** CIAM Report 4/2011, An Updated Set of Scenarios of Cost-effective Emission Reductions for the Revision of the Gothenburg Protocol, <http://gains.iiasa.ac.at/images/stories/reports/CIAM/CIAM2011-4-v1.pdf> August 2011.
- Kaenzig & Jolliet 2006:** Kaenzig J., Jolliet O. 2006: Umweltbewusster Konsum: Schlüsselentscheide, Akteure und Konsummodelle. *Umwelt-Wissen* Nr. 0616. Bundesamt für Umwelt, Bern. 113 S.
- Kupper et al. 2010:** Kupper T, Bonjour C, Achermann B, Rihm B, Zaucker F, Nyfeler-Brunner A, Leuenberger C, Menzi H, 2010. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990-2007. Prognose bis Szenario ÖkoOpt 2020. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Luftreinhaltung und NIS, Sektion Luftqualität, 3003 Bern.
- 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.

- Prasuhn und Sieber 2005:** Prasuhn V. u. Sieber U.: Changes in diffuse phosphorus and nitrogen inputs into surface waters in the Rhine watershed in Switzerland. *Aquat. Science* 67: 363 – 371.
- Prashun und Spiess 2003:** Prashun, V., Spiess, E. 2003. Regional differenzierte Abschätzung der Nitratauswaschung über Betriebszählungsdaten. In: 10. Gumpensteiner Lysimetertagung. Publ. Bundesanstalt für Alpenländliche Landwirtschaft (BAL), Irndning. 29. und 30. April, 2003, 55-57.
- SHL 2011:** Reduktionspotenzial der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen bis 2030. Technischer Schlussbericht i.A. Bundesamt für Umwelt, BAFU. Thomas Kupper, Harald Menzi, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, Zollikofen. November 2011
- Sintermann/Neftel 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
- Wyss 1994:** Wyss U. 1994. Futter möglichst verlustarm konservieren. *Agrarforschung* 1(10): 451-454.
- Zessner 2011:** Zessner M: Gesunde Ernährung und Nachhaltigkeit – Zusammenfassung der Ergebnisse, Präsentation eines Projektes im Rahmen des proVISION Programmes, Wien 2011.
- Zimmermann et al. 2011:** Zimmermann A., Möhring A., Mack G., Mann S., Ferjani A., Gennaio M.: Die Auswirkungen eines weiterentwickelten Direktzahlungssystems, Modellberechnungen mit SILAS und SWISSland. ART Bericht 744. Zürich-Reckenholz, März 2011.