



Ökologische Optimierung des landwirtschaftlichen Produkteportfolios (ÖkOpt)

Dokumentation zu den im Auftrag von INFRAS erstellten Mo-
dellrechnungen der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebens-
mittelwissenschaften (HAFL)

Juni 2013

Michael Sutter
Dr. Harald Menzi
Dr. Beat Reidy

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG.....	1
1 Einleitung.....	1
2 Methodisches Vorgehen.....	1
2.1 Vorgaben des BLW zum Szenario „ÖkOpt 2020“	1
2.2 Annahmen der HAFL für die Berechnungen des Szenarios ÖkOpt 2020.....	2
2.3 Entscheiden zur Ausgestaltung des Szenarios ÖkOpt 2020	3
2.4 Vereinfachungen.....	3
2.5 Anpassungen.....	4
3 Ergebnisse.....	4
3.1 Energiebedarf	4
3.2 Pflanzenbau.....	5
3.2.1 Ackerflächen	5
3.2.2 Grünland	6
3.2.3 Pflanzliche Produktion	7
3.3 Tierhaltung.....	10
3.3.1 Rationszusammensetzung	10
3.3.2 Tierzahlen und Tierkategorien.....	10
3.3.3 Ausscheidungen	12
3.3.4 Ammoniakemissionen	13
3.3.5 Tierische Produktion.....	15
3.4 Stickstoffflüsse.....	17
4 Diskussion	19
4.1 Zuverlässigkeit der Zahlen	19
4.2 Erreichung der Vorgaben	20
4.2.1 Umweltziel bezüglich reaktivem Stickstoff.....	20
4.2.2 Netto-Energieproduktion.....	20
4.2.3 Einhaltung des ÖLN.....	21
4.3 Effizienzfragen.....	22
4.3.1 Energieproduktion pro Stickstoffeinheit.....	22
4.3.2 Steigerung der N-Effizienz durch einen Ausgleich der Futterrationen	23
4.4 Quantitative und qualitative Proteinversorgung.....	24
4.5 Ungenutztes Potential	24
4.6 Agronomische Einschränkungen des Szenarios ÖkOpt 2020	24
5 Schlussfolgerungen	25
6 Literaturverzeichnis	26

ZUSAMMENFASSUNG

Im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Agrarpolitik nach 2017 lässt das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) Grundlagen zur Rolle und Bedeutung des Stickstoffs in der Landwirtschaft erarbeiten. Aus diesem Grund hat das BLW INFRAS den Auftrag erteilt, für ein hypothetisches Landwirtschaftssystem Stickstoffflüsse zu rechnen. INFRAS wiederum hat der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) den Unterauftrag erteilt, die Strukturen eines solchen Landwirtschaftssystems (Szenario ÖkOpt 2020) zu berechnen.

Für die Erarbeitung des Szenario ÖkOpt 2020 standen folgende Vorgaben im Vordergrund:

1. Einhaltung der Umweltziele bezüglich reaktivem Stickstoff
2. Erhalt der Netto-Energieproduktion 2010
3. Keine Rückschritte in anderen Bereichen der Ökologie bzw. Einhaltung des ÖLN

Für die Berechnungen des Szenario ÖkOpt 2020 wurde vom Grundsatz ausgegangen, dass die Tierproduktion eine schlechtere N-Effizienz aufweist als der Pflanzenbau und, dass das Grünland geringere N-Auswaschungsverluste verursacht als der Ackerbau. Aufgrund dieser Annahmen wurde für das Szenario ÖkOpt 2020 festgelegt, dass auf den Ackerflächen keine Futtermittel angebaut werden und auch keine Futtermittel importiert werden können. Nicht für die landwirtschaftliche Produktion benötigte Flächen werden als Brachen stillgelegt. Aus Gründen der Vereinfachung wurde während den Arbeiten Vorgabe 1 auf eine Limitierung der Ammoniakemissionen auf max. 25kt NH₃-N reduziert. Für Vorgabe 2 wurde anstelle der Bezugsgrösse „Netto-Energieproduktion“ der „Netto-Selbstversorgungs-Grad“ verwendet.

Als Grundlage für die Berechnungen des Szenarios ÖkOpt 2020 dienten die Zahlen des Jahres 2005 des schweizerischen Bauerverbands. Für das Szenario ÖkOpt 2020 wurden die Flächen der Ackerkulturen, welche der direkten menschlichen Ernährung dienen, bis zu einem N-SVG von 100% ausgedehnt. Die Grünlandflächen wurden über den Futterbedarf der gehaltenen Tiere definiert. Die Ammoniakemissionen der Milchviehhaltung wurden auf Basis der Rationszusammensetzung und der Emissionsfaktoren von Kupper et al. (2010) berechnet.

Im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 werden im Szenario ÖkOpt 2020 rund 200'000 Milchkühe weniger gehalten. Da den Milchkühen kein Kraftfutter verfüttert werden kann und somit die Ration nicht ausgeglichen werden konnte, liegt die Einzeltierleistung bei rund 5'800 kg pro Jahr. Deshalb sinkt die Energieproduktion aus der Milch um 42% (2005: 6'830 TJ; 2020: 3'590 TJ). Da zudem im Szenario ÖkOpt 2020 keine Monogastrier gehalten werden und keine Rindviehmast betrieben wird, sinkt die Energieproduktion aus Fleisch (von Ausmerzkühen, Mastkälbern, Pferden und Kleinwiederkäuern) und Eiern um 87% (2005: 3'617 TJ; 2020: 485 TJ). Insgesamt steigt die Energieproduktion im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 um 5% an, da der Pflanzenbau die rückläufige Energieproduktion aus der Tierhaltung mehr als kompensieren kann (2005: 21'675 TJ; 2020: 22'829 TJ). Insbesondere die Energieproduktion aus dem Raps- und Sonnenblumenanbau steigt im Szenario ÖkOpt 2020 gegenüber 2005 stark an (2005: 1'060 TJ; 2020: 4'092 TJ). Die gesamten Ammoniakemissionen belaufen sich im Szenario ÖkOpt 2020 auf 24'997 t N. Die Berechnungen zeigen, dass mit den im Szenario ÖkOpt 2020 getroffenen Annahmen die Vorgaben eingehalten werden können.

1 Einleitung

Als Folge intensiver agrar- und umweltpolitischer Bemühungen haben die Emissionen von umweltrelevanten Stickstoffverbindungen aus der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten deutlich abgenommen. Seit Beginn der Jahrtausendwende stagnieren jedoch die Fortschritte zur weiteren Reduktion der Stickstoffemissionen. Vor diesem Hintergrund stellt sich deshalb die Frage, welcher Weg zur weiteren Reduktion der umweltrelevanten Stickstoffverbindungen aus der Landwirtschaft für die Erreichung der entsprechenden Umweltziele zukünftig eingeschlagen werden soll.

Das BLW ist im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Agrarpolitik nach 2017 daran, grundsätzliche Überlegungen zu deren Ausgestaltung anzustellen. Vor diesem Hintergrund lässt es unter anderem weiterführende Grundlagen zur Rolle und Bedeutung des Stickstoffs in der Landwirtschaft erarbeiten. Diese Arbeiten sollen ein besseres Verständnis für die ökologischen und ökonomischen Beziehungen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Stickstoff im Schweizer Landwirtschafts- und Ernährungssystem ermöglichen. In diesem Rahmen hat INFRAS vom BLW den Auftrag erhalten, die Stickstoffflüsse eines hypothetischen Landwirtschaftssystems zu berechnen, welches die Umweltziele im Bereich Stickstoff erfüllt. Die HAFL hat von INFRAS den Unterauftrag erhalten, die Strukturen eines solchen Landwirtschaftssystems (Szenario „ÖkOpt 2020“) als Basis für die Modellierung der Stickstoffflüsse zu berechnen. Der vorliegende Bericht beschreibt die den Berechnungen zugrunde liegenden Annahmen, erklärt den verwendeten Modellansatz und beschreibt die wichtigsten Resultate und Outputgrößen.

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Vorgaben des BLW zum Szenario „ÖkOpt 2020“

Die Vorgaben des BLW für das Szenario ÖkOpt 2020 zielen darauf ab, die Umweltziele bezüglich reaktivem Stickstoff zu erreichen, ohne die Netto-Energieproduktion zu senken und ohne in anderen Bereichen der Ökologie Rückschritte zu machen.

Vorgabe 1: „Einhaltung der Umweltziele bezüglich reaktivem Stickstoff“.

Quantitativ ausgedrückt bedeutet diese Vorgabe:

Ammoniak:	25'000 t NH ₃ -N pro Jahr (übernommen aus: Umweltziele Landwirtschaft, BA-FU/BLW, 2008)
Nitrat:	17'000 t NO ₃ -N pro Jahr (abgeleitet von: Umweltziele Landwirtschaft, BA-FU/BLW, 2008)
Lachgas:	3'800 t N ₂ O-N pro Jahr (abgeleitet von: Klimastrategie Landwirtschaft, BLW, 2011)
TOTAL:	45'800 t reaktiver N pro Jahr

Vorgabe 2: „Erhalt der Netto-Energieproduktion“.

Die Netto-Energieproduktion betrug im Jahr 2010 20'848 TJ (Erdin et al. 2011a).

Vorgabe 3: „Keine Rückschritte in anderen Bereichen der Ökologie“.

Die Vorgabe beinhaltet insbesondere die Einhaltung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN). Dieser bestimmte die maximalen Anteile der einzelnen Kulturen in der Fruchtfolge und hatte einen Einfluss auf die eingesetzten Mengen an Düngerstickstoff bei den einzelnen Kulturen.

2.2 Annahmen der HAFL für die Berechnungen des Szenarios ÖkOpt 2020

Für die Berechnungen im Rahmen des Szenarios ÖkOpt 2020 wurden die folgenden grundsätzlichen Annahmen getroffen.

Annahme 1: „Bessere N-Effizienz im Pflanzenbau“.

Die Tierproduktion weist für die Versorgung des Menschen mit verdaulicher Energie allgemein eine schlechtere N-Effizienz auf als der Pflanzenbau (Flisch et al. 2009).

Annahme 2: „Milchproduktion verursacht weniger Ammoniakemissionen als Rindermast“.

In der Tierproduktion gilt folgende Reihenfolge bezüglich Ammoniakemissionen pro ausgeschiedene Stickstoffeinheit: Schweinemast > Rindermast > Milchproduktion > Geflügelmast (Kupper et al. 2010)

Annahme 3: „Ackerbau hat höhere N-Auswaschungsverluste“.

Der Ackerbau verursacht höhere N-Auswaschungsverluste als das Grünland.

Annahme 4: „Unterschiedliches Auswaschungsrisiko auf Grünland“.

Für Grünland ergibt sich in Bezug auf das Auswaschungsrisiko folgende Reihenfolge: Kunstwiesen (Schnitt oder Weide) > beweidete Naturwiesen > Naturwiesen mit Schnittnutzung.

Annahme 5: „Höheres N-Auswaschungsrisiko bei Kartoffeln und Eiweisserbsen“.

Bei den Ackerkulturen weisen insbesondere die Kartoffeln und die Eiweisserbsen ein, im Vergleich zu anderen Ackerkulturen, höheres N-Auswaschungsrisiko auf (Prashun und Spiess 2003).

Den Autoren ist bewusst, dass diese vereinfachenden Annahmen der Komplexität der landwirtschaftlichen Produktionssysteme nur unzureichend Rechnung tragen. Aufgrund der Vorgaben des BLW und um die komplexen Ergebnisse besser interpretieren zu können, mussten für die Modellrechnungen bewusst vereinfachende und extreme Annahmen getroffen werden (z.B. vollständiger Verzicht auf Kunstwiesen, vollständiger Verzicht auf Monogastrier, etc.). Sollten Teilaspekte des Szenarios weiter verfolgt werden, müssten diese Annahmen vertieft betrachtet und kritisch hinterfragt werden.

Aufgrund der Vorgaben des BLW und den Annahmen der HAFL können im Szenario ÖkOpt 2020 in der Schweiz keine Monogastrier mehr gehalten werden. Sämtliche Nahrungsmittel von Monogastriern (Schweine- und Geflügelfleisch, Eier) müssen importiert werden. Diese Konsequenz ergibt sich zum einen durch den Verzicht auf den Import von Futtermitteln, zum anderen durch den Umstand, dass die Tierproduktion grundsätzlich eine schlechtere N-

Effizienz aufweist als der Pflanzenbau. Im Szenario ÖkOpt 2020 wird die Ackerfläche primär für die Produktion von Nahrungsmitteln verwendet. Da im Szenario auf den Naturwiesen genügend Raufutter zur Fütterung der limitierten Zahl an Raufutterverzehrer produziert werden kann, wurden auch die Kunstwiesen aus der Fruchtfolge gestrichen. Auf die Mutterkuhhaltung wurde verzichtet, da sie weniger effizient ist als die Milchproduktion (Wilkinson 2011).

2.3 Entscheide zur Ausgestaltung des Szenarios ÖkOpt 2020

Die Vorgaben des BLW führten zusammen mit den Annahmen der HAFL zu folgenden Entscheiden zur Ausgestaltung des Szenarios ÖkOpt 2020:

Entscheidung 1: „Keine Produktion von Futtermitteln auf den Ackerflächen“.

Aufgrund von Vorgabe 2 und Annahme 1 werden auf den Ackerflächen ausschliesslich Kulturen für die direkte menschliche Ernährung angebaut.

Entscheidung 2: „Keine Futtermittelimporte“.

Der Import von Futtermitteln wird obsolet, da die gemäss Vorgabe 1 möglichen Tierzahlen mit einheimischem Raufutter gefüttert werden können. Durch den Verzicht auf Futtermittelimporte kann jedoch das Leistungspotenzial der Milchkühe nicht ausgeschöpft werden. Tiere, welche nicht mit Raufutter gefüttert werden können (Monogastrier), sind für die Erreichung von Vorgabe 2 nicht notwendig.

Entscheidung 3: „Nicht für die landwirtschaftliche Produktion benötigte Flächen werden als Brachen stillgelegt“.

Grünland und Ackerflächen, welche zur Erreichung der Vorgabe 2 nicht mehr für die pflanzliche Produktion benötigt werden, werden als Brachen stillgelegt.

2.4 Vereinfachungen

Beim Szenario ÖkOpt 2020 geht es nicht um eine realistische Darstellung von landwirtschaftlichen Strukturen, sondern um einen grösstmöglichen Lerneffekt („in welche Richtung geht die Entwicklung, wenn...“). Aus diesem Grund war es möglich, mit verschiedenen Vereinfachungen zu arbeiten:

Vereinfachung 1: „Speiseplan bleibt gleich“.

Der Vereinfachung halber wurde angenommen, dass die in der Schweiz ortsanwesende Bevölkerung 2020 den gleichen Speiseplan hat wie bisher. Diese Vereinfachung hat zur Konsequenz, dass von einem beliebigen Nahrungsmittel maximal 100% des Inlandbedarfs produziert werden können, da Exporte nicht vorgesehen waren.

Vereinfachung 2: „Nebenprodukte der pflanzlichen Produktion werden nicht in der tierischen Produktion eingesetzt“.

Aufgrund der Ausdehnung von energiereichen Ackerkulturen (Raps, Sonnenblumen, Zuckerrüben) fallen im Szenario ÖkOpt 2020 vermehrt Nebenprodukte der Öl- und Zuckerherstellung an. Obwohl eine Verwertung dieser Produkte in der Tierproduktion sinnvoll wäre, wurde der Einfachheit halber angenommen, dass diese in Biogasanlagen energetisch verwertet werden.

2.5 Anpassungen

Anpassung 1: „Einhaltung des Umweltziels bezüglich Ammoniakemissionen von max. 25kt NH₃-N pro Jahr anstelle von Einhaltung der Umweltziele bezüglich reaktivem Stickstoff“.

Das von INFRAS verwendete Stickstoffflussmodell berechnet die N-Auswaschung in Form von Nitrat auf der Basis der offenen Ackerfläche. Spezifische Fruchtfolgen und Bewirtschaftungsmassnahmen können in diesem Modell nicht abgebildet werden. Aus diesem Grund erschien es nicht sinnvoll, eine Zielvorgabe zu Nitratauswaschungen zu machen.

Der Einfachheit halber wurde beschlossen, die Zielvorgabe 1 auf die Ammoniakemissionen zu beschränken und die Auswirkungen des Szenarios ÖkOpt 2020 auf die Nitrat-Auswaschungen und die Lachgasemissionen abzuschätzen.

Anpassung 2: „Netto-Selbstversorgungsgrad anstelle der Netto-Energieproduktion“.

Das von INFRAS im Rahmen dieser Studie erstellte Basisszenario 2020 rechnet im Zeitraum von 2005 bis 2020 mit einem Bevölkerungswachstum von 12.6% (Reutimann et al. 2012). Damit das Szenario ÖkOpt 2020 mit dem Basisszenario verglichen werden kann, war es notwendig, dass das Bevölkerungswachstum und der damit gestiegene Energiebedarf auch im ÖkOpt 2020 Szenario berücksichtigt wurde. Die Vorgabe 2 wurde somit vom Erhalt der Netto-Energieproduktion in den Erhalt des Netto-Selbstversorgungsgrads geändert. Der Netto-Selbstversorgungsgrad (N-SVG) betrug für das Jahr 2010 52% (Erdin et al. 2011a).

3 Ergebnisse

3.1 Energiebedarf

Der Energiebedarf der Bevölkerung wurde anhand der statistischen Zahlen des schweizerischen Bauernverbands (SBV-Statistik) berechnet (Erdin et al. 2011a). Der Energiebedarf setzt sich zum einen aus der geschätzten mittleren ortsanwesenden Bevölkerung und zum andern aus dem Energiebedarf pro Kopf und Tag zusammen. Für das Szenario ÖkOpt 2020 wurde für die Zeitspanne 2005 bis 2020 von einem Bevölkerungswachstum von 12.6% ausgegangen (Tabelle 1). Diese Schätzung der Bevölkerungsentwicklung stammt vom Bundesamt für Statistik BFS (2010). Gemäss SBV-Statistik (Erdin et al. 2011a) steigt der Energiebedarf vom Jahr 2005 bis zum Jahr 2020 (mit Basisjahr 2010) um rund 0.4 MJ pro Kopf und Tag an. Laut Schmid et al. (2012) kann der unterschiedliche Energiebedarf unter anderem durch die Tatsache erklärt werden, dass die allfälligen Verluste (nicht verzehrte und verdorbene Lebensmittel) bei der Berechnung des Energiebedarfs nicht berücksichtigt sind. Weiter weist Schmid (2013) darauf hin, dass die Bestimmung der genauen Menge an Zucker, welcher in verarbeiteter Form exportiert wird, schwierig ist und deshalb gewissen Ungenauigkeiten aufweist. Mit diesen beiden Punkten kann gemäss Schmid (2013) der pro Kopf steigende Energiebedarf erklärt werden.

Tabelle 1. Veränderung der Bevölkerung und des Energiebedarfs von 2005 zum Szenario ÖkOpt 2020.

		2005	ÖkOpt 2020	Veränderung [%]
Ortsanwesende Personen	n	7'600'000	8'557'600	12.6
Energiebedarf pro Person	MJ pro Tag	13.3	13.7	3.0
Energiebedarf total	TJ pro Jahr	36'894	42'792	16.0

3.2 Pflanzenbau

3.2.1 Ackerflächen

Als Basis für die Ackerfläche im Szenario ÖkOpt 2020 wurde die effektive Ackerfläche des Jahres 2005 gemäss SBV (Erdin et al. 2011b) verwendet. Die Flächen der Ackerkulturen welche für die direkte Nahrungsmittelversorgung verwendet werden, wurden bis zu einem Netto-Selbstversorgungsgrad (N-SVG) von 100% ausgedehnt (Tabelle 2). Die Berechnung des N-SVG erfolgte mit dem errechneten Energiebedarf des Szenario ÖkOpt 2020. Die Flächen folgender Kulturen wurden angepasst: Brotweizen, Roggen, Dinkel, Kartoffeln, Zuckerrüben, Raps und Sonnenblumen (Tabelle 2). Die Ausdehnung der Flächen erfolgte unter der Annahme, dass die Vorschriften des ÖLN in Bezug auf die maximalen Anteile der einzelnen Kulturen in der Fruchtfolge eingehalten werden.

Der Gesamtenergieverbrauch der geschätzten mittleren ortsanwesenden Bevölkerung im Jahre 2005 an Getreide, Kartoffeln, Zucker und pflanzlichen Ölen und Fetten basiert auf Erdin et al. (2011a). Für das Szenario ÖkOpt 2020 wurde angenommen, dass der Energiebedarf analog zum Bevölkerungswachstum um 12.6% (Bundesamt für Statistik BFS 2010) ansteigt. Da jedoch in der Zeitspanne 2005-2010 der Energiebedarf pro Kopf und Tag um 3% gestiegen ist (Erdin et al. 2011a), steigt der Energiebedarf insgesamt um 16%. Bei den Getreideprodukten wurde davon ausgegangen, dass die folgenden Getreidearten zur Humanernährung nicht in der Schweiz angebaut werden: Hartweizen, Gerste, Hafer, Mais und Reis. Diese Getreidearten tragen insgesamt 30% zur Energiebereitstellung auf Basis von Getreide bei. Aus diesem Grund wurde der Energieverbrauch, welcher durch das Getreide abgedeckt wird, um 30% gesenkt.

Die Berechnung der Energieproduktion erfolgte über die Veränderung der Fläche, sodass die Energieproduktion im gleichen Verhältnis verändert wurde, wie sich die Flächen veränderten. Für die Erträge der Ackerkulturen wurden die Standarderträge aus den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (Grudaf) verwendet (Flisch et al. 2009).

Aufgrund von Entscheid 3 und Annahme 3 (siehe oben) wurden im Szenario ÖkOpt 2020 nicht für die Nahrungsmittelproduktion benötigte Ackerflächen als Brachen ausgeschieden. Dabei wurde angenommen, dass diese Flächen nach der Ernte der letzten Ackerkultur angesät und in regelmässigen Abständen (ca. 6 Jahren) wieder in die Fruchtfolge integriert werden.

Der Gemüsebau, die Reben, die obstbaulichen Intensivkulturen, das Streu- und Torfland sowie die Flächen der Kategorie „übriges Kulturland“ wurden unverändert nach Erdin et al. (2011b) in das Szenario ÖkOpt 2020 übernommen.

Tabelle 2. Veränderung der Ackerflächen und des N-SVG der Ackerkulturen, Kunstwiesen und Brachen zwischen 2005 und dem Szenario ÖkOpt 2020.

	2005	2005	ÖkOpt 2020	ÖkOpt 2020	N-SVG	N-SVG
	[ha]	[TJ total]	[ha]	[TJ total]	2005	2020
					[%]	[%]
Brotweizen	83'744		119'665		79	100
Roggen	1'677	4'718	2'524	6'487	75	100
Dinkel	2'618		3'294		90	100
Kartoffeln	12'510	892	15'429	1'109	91	100
Zuckerrüben	18'248	3'926	29'607	6'288	69	100
Raps	16'549		66'858			
Sonnenblumen	5'042	1'004	21'142	4'092	24	86
Gerste	37'689		0			
Futterweizen	6'334		0			
Triticale	11'811		0			
Körnermais	20'612		0			
Silo- und Grünmais	42'938		0			
Offene Ackerfläche	286'313		267'433			
Kunstwiesen	119'101		0			
Brachen	3'292		137'979			

3.2.2 Grünland

Analog zu den Ackerflächen stammen auch die Grünlandflächen aus der Statistik des SBV des Jahres 2005 (Erdin et al. 2011b). Die TS-Erträge und die Nährstoffgehalte des Grünlandes wurden mit Hilfe der Grudaf bzw. dem grünen Buch (Flisch et al. 2009; Arrigo et al. 1999) geschätzt. Die Flächenangaben für die Jura- und Alpweiden stammen aus dem Jahre 1992/1997 (Erdin et al. 2011b). Der Flächenbedarf im Modell wurde aufgrund des Nährstoffbedarfs aus der Tierhaltung berechnet (Tabelle 3). Als limitierender Faktor bestimmte die Energieproduktion (MJ NEL) die benötigte Fläche an Grünland. Um die Nährstoffverluste bei der Futterwerbung und -konservierung zu berücksichtigen, wurde zur Berechnung der benötigten Grünlandfläche eine Reserve von 15% hinzugerechnet. Dies entspricht den im Mittel auftretenden Konservierungsverlusten von 10-20% (Wyss 1994).

Tabelle 3. Veränderung der Grünlandflächen von 2005 zum Szenario ÖkOpt 2020.

	2005 [ha]	ÖkOpt 2020 [ha]	Veränderung [%]
Gedüngtes Grünland ohne Kunstwiesen	539'843	489'638	-9
Ungedüngtes Grünland	85'289	72'496	-15
Kunstwiesen	119'101	0	-100
Alp- und Juraweiden	505'486	505'486	0
Ungenutztes Grünland / Brachen	0	62'999	neu
Gesamte Grünlandfläche	1'249'719	1'130'618	-10

3.2.3 Pflanzliche Produktion

Im Szenario ÖkOpt 2020 verringert sich die offene Ackerfläche um rund sieben Prozent gegenüber dem Jahr 2005 (267'433 ha vs. 286'311 ha). Die Ackerflächen, die im 2005 für die Futtermittelproduktion verwendet wurden, dienen im Szenario ÖkOpt 2020 ausschliesslich der Nahrungsmittelproduktion für die menschliche Ernährung (Tabelle 2).

Im Szenario ÖkOpt 2020 wird die pflanzliche Produktion bezüglich TS-Menge vom Getreide dominiert (Tabelle 4). In Bezug auf die Gesamtenergieproduktion sind die Zuckerrüben aber fast auf gleichem Niveau wie die Gesamtheit der Getreidekulturen. Als Schlusslicht in mehrfacher Hinsicht (bzgl. Fläche, Gesamtertrag und Energieproduktion) sind die Kartoffeln zu erwähnen.

Tabelle 4. Felderträge, Erntemengen und entsprechenden Energieproduktion der Ackerkulturen für 2005 und das Szenario ÖkOpt 2020.

		2005 ¹ [t TS]	ÖkOpt 2020 [t TS]	Veränderung [%]	TJ / t TS	2005 ¹ [TJ]	ÖkOpt 2020 [TJ]	Veränderung TJ [%]
	[dt TS/ha]							
Brotgetreide	39-52	455'418	649'625	+43	0.010	4'548	6'487	+43
Zuckerrüben	143	260'034	421'900	+62	0.015	3'875	6'288	+62
Raps	31	54'986	208'263	+279	0.016	1'060	4'092	+286
Sonnenblumen	26	12'962	53'911	+316				
Kartoffeln	99	123'849	152'747	+23	0.007	899	1'109	+23
Total		1'326'666	2'136'071	+57		14'981	24'463	+63

¹ Eigene Schätzungen und Berechnungen

Für die Fütterung der im Szenario gehaltenen Tiere wurden nicht alle Grünlandflächen benötigt. Aufgrund der Reduktion des Milchviehbestands um rund einen Drittel, bei gleichzeitig geringerer Milchleistung, reicht die Naturwiesenfläche zusammen mit den Alp- und Juraweiden aus, um die Tiere zu ernähren. Deshalb werden im Szenario ÖkOpt 2020 analog zum Ackerland auch 62'999 ha Grünland stillgelegt. Dies bedeutet, dass die Flächen nicht mehr für die Futtermittelproduktion verwendet wurden. Mit Abstand wichtigster Raufutterlieferant im Szenario ÖkOpt 2020 ist das gedüngte Grünland (Tabelle 5 und Tabelle 6). Die Alp- und Juraweiden bilden weiter eine wichtige Raufuttergrundlage und sind in Bezug auf die Fläche noch wichtiger als das gedüngte Grünland. Im Gegensatz zum Ist-Zustand 2005 gibt es im Szenario ÖkOpt 2020 keine Kunstwiesen mehr.

Tabelle 5. TS-Erträge des Grünlandes für das Jahr 2005 und das Szenario ÖkOpt 2020.

	2005 ¹	ÖkOpt 2020	2005 ¹	ÖkOpt 2020	Veränderung t TS
	[t TS / ha]	[t TS / ha]	[t TS]	[t TS]	[%]
Gedüngtes Grünland	6.5	6.5	3'508'980	3'182'644	-9
Ungedüngtes Grünland	3.5	3.5	298'512	253'735	-15
Kunstwiesen	11.5	-	1'369'662	0	-100
Alp- und Jura- weiden	1.5	1.5	758'229	758'229	0
Ungenutztes Dauergrünland / Brachen	-	0	0	0	0
Total			5'935'382	4'194'608	-29

¹ Eigene Schätzungen und Berechnungen

Tabelle 6. Energie- und Rohproteinерträge (MJ NEL bzw. RP) für das Grünland im Szenario ÖkOpt 2020.

	ÖkOpt 2020 [MJ NEL / ha]	ÖkOpt 2020 [TJ NEL]	ÖkOpt 2020 [kg RP / ha]	ÖkOpt 2020 [t RP]
Gedüngtes Grünland	38'805	19'000	10	500'312
Ungedüngtes Grünland	18'865	1'368	5	33'544
Kunstwiesen	-	0	-	0
Alp- und Jura- weiden	9'450	4'777	2	118'284
Ungenutztes Dauergrünland / Brachen	0	0	0	0
Total		25'145		652'140

3.3 Tierhaltung

3.3.1 Rationszusammensetzung

Für die Fütterung der Milchkühe wurde, basierend auf einer Ration für die Produktions- und Galtphase, eine mittlere Jahresration berechnet. Die Ration setzt sich aus Dürrfutter (Heu und Emd), Grassilage und frischem Gras in Form von Weide und Eingrasen zusammen (Tabelle 7). Die mittlere Jahresration diente als Grundlage zur Berechnung der Energie- und Rohproteinproduktion im Raufutter. Die Gehalte wurden aus dem grünen Buch entnommen (Arrigo et al. 1999). Die Anteile der unterschiedlichen Raufutter (Dürrfutter, Grassilage, Weide, Eingrasen) in der Ration wurden aufgrund der verfügbaren Futtermittel geschätzt. Mittels dieser Rationszusammensetzung konnte eine durchschnittliche Milchleistung der Milchkühe von 5'800 kg energiekorrigierte Milch (ECM) abgeleitet werden.

Tabelle 7. Rationszusammensetzung der Milchkühe

	Produktionsphase	Galtphase	Jahresration
Tage	305	60	365
Anteil an TS-Verzehr			
Dürrfutter	27%	5%	32%
Grassilage	18%	0%	18%
Weide	15%	5%	20%
Eingrasen	30%	0%	30%

3.3.2 Tierzahlen und Tierkategorien

Die Bestimmung der Anzahl Milchkühe im Szenario ÖkOpt 2020 basierte auf Modellrechnungen mit einem Flussmodell. Das Flussmodell berechnete die gesamten Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung und dem Pflanzenbau, wobei die veränderbaren Variablen die Anzahl Milchkühe die Anzahl Aufzuchttiere und Mastkälber, die eingesetzte Mineraldüngermenge und die gedüngten Flächen waren. Fixe Faktoren, welche in das Modell einfließen, waren die Anzahl Kleinwiederkäuer (KWK) und Pferde sowie die Emissionsfaktoren (Abschnitt 3.3.4). Durch die Tatsache, dass die Variablen miteinander verknüpft sind, musste die Anzahl Milchkühe in einem iterativen Prozess definiert werden. So beeinflusst die Anzahl Milchkühe die anfallende Hofdüngermenge und die benötigten Grünlandflächen (Abbildung 1). Diese beiden Faktoren bestimmen wiederum die Mineraldüngermenge, welche ebenfalls Ammoniakemissionen verursachen und in der Folge die Anzahl Milchkühe beeinflussen, da die gesamten Ammoniakemissionen die 25 kt nicht übersteigen durften.

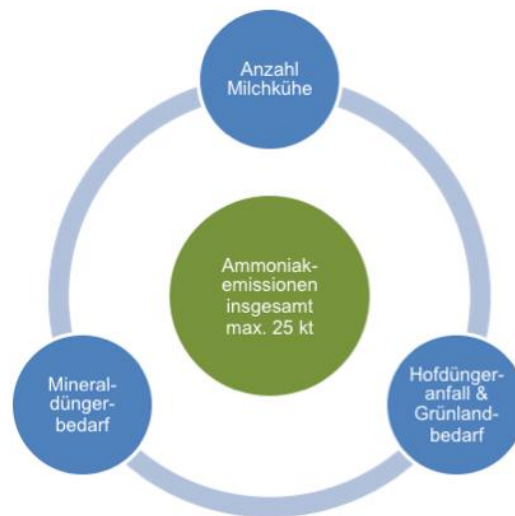


Abbildung 1. Schematische Darstellung des Prozesses zur Bestimmung der Anzahl Milchkühe.

Die Tierzahlen für das Rindvieh basieren auf den Zahlen der Milchstatistik aus dem Jahre 2005 (Erdin et al. 2010). Für die KWK und die Pferde wurden die Zahlen der SBV Statistik (Erdin et al. 2011c) für das Jahr 2009 verwendet. Da die Zahlen der KWK und Pferde unverändert ins Szenario ÖkOpt 2020 eingeflossen sind, wurden im Unterschied zum Rindvieh möglichst aktuelle Zahlen verwendet (Tabelle 8). Wie unter Kapitel 4.1 aufgeführt, wurde für das Szenario ÖkOpt 2020 die Anzahl des Rindviehs in Abhängigkeit der Erreichung des Umweltziels bezüglich stickstoffhaltiger Luftschadstoffe (BAFU/BLW 2008) nach oben limitiert.

Für die Milchviehhaltung wurde ein Erstkalbealter von 30 Monaten und eine durchschnittliche Nutzungsdauer von drei Jahren angenommen. Pro Kuh und Jahr wurde mit 0.9 Abkalbungen (50% weiblich, 50% männlich) gerechnet. Männliche Kälber und nicht für die Nachzucht benötigte weibliche Kälber wurden der Kalbfleischproduktion zugerechnet. Kühe welche nicht mehr für die Milchproduktion verwendet werden konnten (Ausmerzkühe) dienten der Rindfleischproduktion.

Der TS-, Energie- und Rohproteinbedarf für das Rindvieh, die KWK und die Pferde wurden mit Hilfe der Regressionen des grünen Buches berechnet (Arrigo et al. 1999). Das Lebendgewicht der Milchkühe im Modell wurde auf 650 kg festgelegt.

Im Szenario ÖkOpt 2020 setzt sich die tierische Energieproduktion für die menschliche Ernährung aus folgenden Produkten zusammen: Produkte aus Milch von Kühen, Ziegen und Schafen sowie Fleisch von Kälbern, Kühen, Ziegen, Schafen und Pferden. Die Energieprodukte aus der Schaf-, Ziegen- und Pferdehaltung wurden unverändert in die Berechnungen übernommen, da die Tierzahlen nicht verändert wurden. Die Energieproduktion aus der Rindviehhaltung wurde linear zur Veränderung der Rindviehzahlen angepasst. Bei der Milchproduktion wurde zudem die Veränderung des Bedarfs an Fütterungsmilch für die reduzierte Zahl der Mastkälber berücksichtigt. In der Statistik des SBV (Erdin et al. 2011c) ist das Rindfleisch als Gesamtheit ausgewiesen. Deshalb beinhaltet diese Kategorie neben den Ausmerzkühen auch die Masttiere. Da im Modell keine Rindermast mehr betrieben worden ist, wurde die Energieproduktion aus der Kategorie Rindfleisch entsprechend reduziert.

Tabelle 8. Veränderung der Tierbestände von 2005 zum Szenario ÖkOpt 2020.

	2005 [Anzahl Tiere]	ÖkOpt 2020 [Anzahl Tiere]	Veränderung [%]
Milchkühe	620'708	439'000	-29
Mastkälber	265'520	248'800	-6
Aufzuchtrind < 1 Jahr	203'021	146'300	-28
Aufzuchtrind 1-2 Jahre	197'209	146'300	-26
Aufzuchtrind 2-3 Jahre	108'311	73'200	-32
Mutterkühe	78'474	0	-100
Grossviehmast	147'492	0	-100
Schweine	1'609'497	0	-100
Geflügel	8'116'604	0	-100
Schafe	431'889 ¹	431'889	0
Ziegen	85'131 ¹	85'131	0
Pferde > 3 Jahre	51'133 ¹	51'133	0
Pferde < 3 Jahre	9'023 ¹	9'023 ¹	0

¹ Basisjahr KWK und Pferde 2009

3.3.3 Ausscheidungen

Die Berechnung der Ausscheidungen der Milchkühe basiert auf der Rationszusammensetzung, welche im Abschnitt 3.3.1 erläutert ist. Die Nutzungsstadien der Futterbestände mit den daraus folgenden Energie- und Rohproteingehalte der unterschiedlichen Raufutter wurden gemäss Arrigo et al. (1999) wie folgt festgelegt:

- Dürrfutter A4
- Grassilage A3
- Weide G_{R2}
- Eingrasen A3

Aufgrund des Rohproteingehaltes der Ration wurde die Stickstoffaufnahme der Milchkühe berechnet. Für die Berechnung des Stickstoffgehaltes der Futtermittel wurde der Rohproteingehalt durch den Faktor 6.25 dividiert. Auf der Stickstoffbedarfsseite ist basierend auf der Grudaf (Flisch et al. 2009) der Bedarf für die Milchproduktion (5'800 kg mit 5.5 g N/kg) und für das Kalb (70 kg mit 24 g N/kg) berücksichtigt worden.

Die Werte für die N-Ausscheidungen der Aufzucht, der Kleinwiederkäuer und der Pferde stammen aus der Grudaf (Flisch et al. 2009). Beim Jungvieh ist von einem Weideanteil in der Jahresration von 50% ausgegangen worden.

Im Pflanzenbau wurde zur Berechnung des N-Flusses in Form von Hofdüngern davon ausgegangen, dass im Mittel 20% des Gesamtstickstoffs bis zum Ausbringen in Form von Ammoniak unvermeidbar verloren gehen (Flisch et al. 2009).

3.3.4 Ammoniakemissionen

Die Emissionsfaktoren, welche die gesamten Ammoniakemissionen umfassen und im Modell zur Berechnung der Anzahl Milchkühe benötigt worden sind, stammen von Kupper et al. (2010). Verwendet wurden die mittleren Emissionsfaktoren pro Tier in Prozent der N_{tot} Ausscheidungen, welche auf der Grundlage der repräsentativen Umfrage zur Produktionstechnik von 2007 berechnet wurden (Tabelle 9). Die Emissionen wurden nicht aufgeteilt in Weide-, Stall-, Lager- und Ausbringverluste bzw. Emissionen von Weide, Gülle und Mist. Nicht berücksichtigt wurde, dass durch den Verzicht auf Kraftfutter und Maissilage der mittlere Proteingehalt pro MJ NEL der Ration etwas ansteigt, was zu einer leichten Erhöhung des Anteils an löslichem Stickstoff in den Ausscheidungen und damit der Emissionen führen kann. Die daraus resultierende Unterschätzung der Emissionen kann auf unter 1 % geschätzt werden und wird daher vernachlässigt. Es wurden keine spezifischen Berechnungen zum Ist-Zustand 2005 erstellt, sondern die Zahlen von Kupper et al. (2010) verwendet.

Tabelle 9. Emissionsfaktoren, Emissionen pro Tier und die gesamten Emissionen für die unterschiedlichen Tierkategorien im Szenario ÖkOpt 2020.

	N_{tot} Ausscheidungen¹	N_{tot} im Stall ausgeschieden²	Emissionsfaktoren für NH₃	NH₃-Emissionen –	NH₃-Emissionen aus Hofdünger Total ÖkOpt 2020
	[kg N_{tot} / Tier und Jahr]	[kg N_{tot} / Tier und Jahr]	[%]	[kg N/Tier]	[t N]
Milchkühe	108.3	89.4	33.8	36.6	16'073
Mastkälber	5	5	41.1	1.2	511
Aufzucht-rind < 1 Jahr	25	12.5	34.1	2.8	1'247
Aufzucht-rind 1-2 Jahre	40	20	29.6	3.9	1'731
Aufzucht-rind 2-3 Jahre	55	27.5	31.3	2.9	1'260
Pferde > 3 Jahre	44		23.2	10.2	522
Pferde < 3 Jahre	42		19.8	8.3	75
Milchschafe	21		23.3	4.9	57
Übrige Schafe	15		18.0	2.7	642
Ziegen	16		23.1	3.7	212
Total					22'331

¹ Nach Grudaf 2009, ohne Abzüge.

² Entspricht N_{tot} – Ausscheidungen minus dem Anteil N, welcher auf der Weide ausgeschieden wird.

Tabelle 10. Emissionen der unterschiedlichen Flächenkategorien und der unterschiedlichen Emissionsquellen für das Szenario ÖkOpt 2020.

		Emissionen Hofdünger ÖkOpt 2020	Emissionen Mineraldünger ÖkOpt 2020	Emissionen Kultur ÖkOpt 2020	Total Emissio- nen ÖkOpt 2020
Gedüngtes Grünland	[kg N/ha]	45.6	0.7	2.0	48.3
Ungedüngtes Grünland	[kg N/ha]	0.0	0.0	2.0	2.0
Ackerland	[kg N/ha]	0.0	2.5	2.0	4.5
Gesamte Emissionen	[t N]	22'331	1'006	1'659	24'997

Die Emissionen auf dem Grünland sind nach Schjoerring et al. (2001) berechnet worden. So wurden zu den bereits erläuterten Emissionen aus den Hofdüngern, die Emissionen aus den mineralischen Stickstoffdüngern sowie die direkten Emissionen der landwirtschaftlichen Nutzfläche addiert. Die Emissionen aus den Mineraldüngern wurden gemäss Van der Weerden und Jarvis (1997) mit 2% pro kg N berechnet. Die Emissionen der Kulturen aus dem Boden sind nach Schjoerring und Mattson (2001) mit 2 kg N pro Hektare in die Berechnungen eingeflossen (Tabelle 10).

3.3.5 Tierische Produktion

Die tierische Produktion setzt sich im Szenario ÖkOpt 2020 aus der Milch- und Fleischproduktion von Raufutterverzehrern zusammen. Dazu stehen insgesamt 586'724 GVE der Gattung Rinder und 94'859 GVE in Form von Pferden und KWK zur Verfügung. Die Rindfleischproduktion umfasst im Szenario 42'639 Tonnen pro Jahr, davon 29'782 Tonnen Kalbfleisch als Nebenprodukt der Milchviehhaltung. Die Fleischproduktion der KWK und Pferde wurde unverändert übernommen (Schafe: 4'831 t/Jahr; Ziegen: 319 t/Jahr; Pferde: 802 t/Jahr).

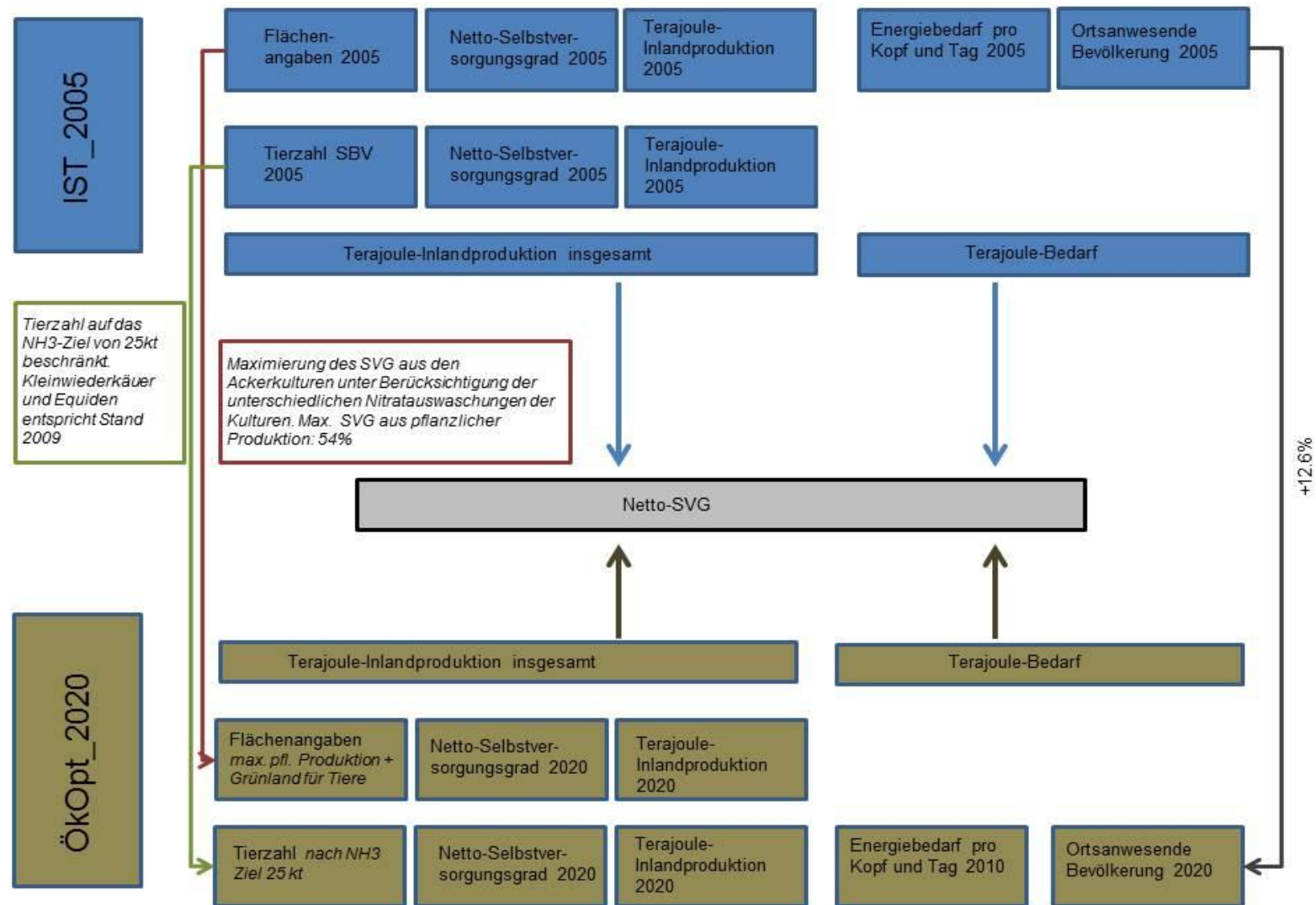


Abbildung 2. Schematische Darstellung der wichtigsten Parameter für die Berechnung des Szenarios ÖkOpt 2020

3.4 Stickstoffflüsse

Der Bedarf an Stickstoff in Form von Mineraldünger im Szenario ÖkOpt 2020 wurde aus dem Gesamtbedarf der Ackerkulturen und des Grünlandes abzüglich des in den Hofdüngern anfallenden Stickstoffs berechnet. Als Basis für den Stickstoffgehalt der Hofdünger wurde die Stufe „pflanzenverfügbarer Stickstoff“ (N_{verf} , 60% von N_{tot} ; Flisch et al. 2009) verwendet. Der Nährstoffbedarf der Ackerkulturen und des Grünlandes wurde unter der Annahme von Standarderträgen auf Basis der Grudaf (Flisch et al. 2009) berechnet. Für ungedüngtes Grünland sowie Alp- und Juraweiden wurde kein Stickstoffbedarf berücksichtigt. Es wurde unterstellt, dass sämtliche Hofdünger auf dem Grünland ausgebracht werden.

Die gesamten Stickstoffausscheidungen aus der Tierhaltung belaufen sich im Szenario ÖkOpt 2020 auf 69'694 Tonnen N_{tot} . Mit Abstand der grösste Beitrag stammt von den Milchkühen (Tabelle 9).

Sämtliche Ausscheidungen der Tiere gelangen auf das gedüngte Grünland, zur Vereinfachung werden im Szenario ÖkOpt 2020 keine Ackerkulturen mit Hofdüngern gedüngt. Insgesamt werden auf den gedüngten Grünlandflächen 37'818 Tonnen N_{tot} in Form von Hofdüngern ausgebracht. Pro Hektare gedüngtes Grünland entspricht dies rund 77.2 kg N_{tot} pro Jahr. Der Anteil der Ausscheidungen, welcher während der Weide auf den Alp- und Juraweiden anfällt, wurde nicht berücksichtigt.

Die Ammoniakverluste welche auf gedüngtem Grünland entstehen betragen 48.3 kg N pro Hektare und Jahr. Beim ungedüngten Grünland liegt dieser Wert bei 2.0 kg bzw. auf den Ackerflächen bei 4.5 kg N pro Hektare und Jahr. Trotz der Hofdünger, welche auf dem gedüngten Grünland eingesetzt werden, kann der Stickstoffbedarf dieser Wiesen und Weiden nicht gedeckt werden. Der zusätzliche Bedarf wird deshalb mittels mineralischer Stickstoffdünger gedeckt. Pro Hektare und Jahr werden so zusätzlich zu den Hofdüngern im Durchschnitt 33.7 kg N mit Mineraldüngern zugeführt (Tabelle 11). Dieser zusätzliche Stickstoffbedarf ergibt sich durch die intensive Nutzung des gedüngten Grünlands. Die intensive Nutzung ist nötig, damit die im Szenario ÖkOpt 2020 unterstellte Grundfuttermilchleistung von 5'800 kg erreicht werden kann. Im Ackerbau, wo kein Hofdünger zum Einsatz kommt, liegt diese Menge bei 126.5 kg N pro Hektare. Gesamthaft liegt der mineralische Stickstoffeinsatz im Szenario ÖkOpt 2020 bei 50'300 t N pro Jahr (2005: 50.8 kt N (Bundesamt für Landwirtschaft, 2005)).

Tabelle 11. Düngungsnormen und Hof- und Mineraldüngergaben für die einzelnen Kulturen und insgesamt.

	Düngungs- norm [kg N/ha]	Hofdünger [kg N _{verf} /ha]	Hofdünger [t N _{verf} total]	Mineraldünger [kg N/ha]	Mineraldünger [t N total]
Brotweizen	140	0	0	140	16'753
Roggen	90	0	0	90	227
Dinkel	100	0	0	100	329
Kartoffeln	120	0	0	120	1'851
Zuckerrüben	100	0	0	100	2'961
Raps	140	0	0	120	9'360
Sonnenblumen	60	0	0	60	1'269
Gemüse	120	0	0	120	1'070
Gedüngtes Grünland	80	46	22'691	34	16'480
Ungedüngtes Grünland	0	0	0	0	0
Alp- und Jura- weiden	0	0	0	0	0
Total	-	-	22'691	-	50'300

Die biologische Stickstofffixierung der Leguminosen im Grünland wurde nach Boller et al. (2003) berechnet, wobei dazu folgende Formel verwendet wurde:

$$\bullet \quad \text{Ertrag [dt TS/ha]} \times \text{Leguminosenanteil} \times 3 \text{ kg N/dt} = \text{kg N/ha}$$

Der Leguminosenanteil pro kg TS der einzelnen Grünlandflächen wurde wie folgt festgelegt:

- Gedüngtes Grünland 15%
- Ungedüngtes Grünland 15%
- Alp- und Juraweiden: 15%
- Kunstwiesen (Jahr 2005): 30%

Es wurde davon ausgegangen, dass sich durch das Szenario ÖkOpt 2020 keine Veränderung in den jeweiligen Leguminosenanteilen ergeben. Die Fixierungsleistung der Ackerleguminosen nach Salvagiotti et al. (2008) wurde auf 100 kg N / ha festgelegt.

Die biologische Fixierungsleistung durch die Leguminosen auf dem gedüngten Grünland wurde im Szenario ÖkOpt 2020 im Mittel auf 29.3 kg N / ha und Jahr geschätzt. Die Schätzung für das ungedüngte Grünland liegt bei 15.8 kg N / ha und Jahr und bei den Alp- und Juraweiden bei 6.8 kg N / ha und Jahr.

4 Diskussion

4.1 Zuverlässigkeit der Zahlen

Zusammen mit den von der HAFL berechneten und an INFRAS gelieferten Parametern wurde versucht, Angaben über die Zuverlässigkeit der einzelnen Grössen abzuschätzen.

Tabelle 12. Angaben zur Zuverlässigkeit der berechneten Parameter.

Hohe Zuverlässigkeit	Mittlere Zuverlässigkeit	Tiefe Zuverlässigkeit
Mineraldüngerbedarf der Ackerkulturen	Mineraldüngerbedarf des Grünlandes	Gesamte biologische Fixierung
Fleischproduktion	Entwicklung der Tierzahlen	
	Sämtliche Ammoniakverluste	
	N _{tot} welcher von den Tieren ausgeschieden wird	N _{tot} in Form von Hofdüngern ausgebracht
Pflanzliche Produktion auf den Ackerflächen	Nebenprodukte der pflanzlichen Produktion	

Der Mineraldüngerbedarf der Ackerkulturen basiert auf den Düngungsnormen der Grudaf (Flisch et al. 2009). Da im Ackerbau keine Hofdünger eingesetzt werden, entsprechen diese Düngungsnormen dem Mineraldüngerbedarf (Allfälliger Stickstoff welcher von den Vorkulturen zur Verfügung steht, wurde nicht berücksichtigt). Deshalb kann von einer hohen Zuverlässigkeit der Zahlen ausgegangen werden (Tabelle 12). Auch die Erträge der Ackerkulturen basieren auf den Standarderträgen der Grudaf (Flisch et al. 2009), weshalb auch hier von

einer hohen Zuverlässigkeit ausgegangen werden kann. Die hohe Zuverlässigkeit der Parameter zur Fleischproduktion ergeben sich bei den KWK und den Pferden durch die Tatsache, dass die Zahlen von 2009 direkt übernommen wurden. Bei der Rind- und Kalbfleischproduktion bildet neben der Tierzahl, die gleichbleibende Fleischausbeute die Grundlage für die hohe Zuverlässigkeit.

Die heterogene Zusammensetzung und der relativ grosse Flächenanteil des Grünlandes machen eine genaue Ertragsschätzung schwierig. Als Folge davon ist die Zuverlässigkeit des Mineraldüngerbedarfs des Grünlands nur als mittelmässig einzustufen. Zur Bestimmung der Tierzahlen mussten verschiedene Annahmen und Schätzungen bezüglich Leistungsniveau und Rationszusammensetzung gemacht werden. Deshalb wird die Zuverlässigkeit dieser Zahl als mittel eingestuft. Da die Tierzahlen die Ammoniakverluste und somit die N_{tot} -Ausscheidungen wesentlich beeinflussen, kann auch bei diesen Zahlen von einer mittleren Zuverlässigkeit ausgegangen werden. Die Nebenprodukte der pflanzlichen Produktion sind jährlichen Schwankungen unterworfen. Diese Schwankungen können kaum vorhergesagt werden, weshalb die Zuverlässigkeit dieser Parameter als mittel eingestuft wurde.

Die biologische Stickstofffixierung beruht im Wesentlichen auf dem Ertragsanteil der Leguminosen in den Pflanzenbeständen. Dieser Anteil kann, je nach Grünlandfläche, sehr unterschiedlich ausfallen. Deshalb wurde die Zuverlässigkeit dieser Parameter als tief eingestuft. Der Parameter N_{tot} ausgebracht basiert auf den Parameter N_{tot} ausgeschieden. Für N_{tot} ausgebracht mussten zusätzliche Annahmen zum Weideanteil getroffen werden, weshalb die Zuverlässigkeit dieses Parameters als tief eingestuft wurde.

4.2 Erreichung der Vorgaben

4.2.1 Umweltziel bezüglich reaktivem Stickstoff

Mit einem total an Ammoniakemissionen von 24'997 t $\text{NH}_3\text{-N}$, welche mit 16'073 t $\text{NH}_3\text{-N}$ zum grössten Teil von den Milchkühen stammen, konnte die Vorgabe 1 bezüglich Ammoniak eingehalten werden. Die Emissionen von den Kulturen (1'659 t $\text{NH}_3\text{-N}$) und der Mineraldünger (1'006 t $\text{NH}_3\text{-N}$) spielen, im Vergleich zu den Emissionen aus der Tierhaltung, eine untergeordnete Rolle.

4.2.2 Netto-Energieproduktion

Gegenüber dem Jahr 2005 wird im Szenario ÖkOpt 2020 mehr Energie im Pflanzenbau produziert (Tabelle 13). Da die tierische Produktion im Umfang des Zuwachses im Pflanzenbau zurückgeht, steigt die Netto-Energieproduktion um 5% an. Der N-SVG bleibt in etwa gleich wie im Jahre 2010 (+1.3%).

Tabelle 13. Energieproduktion, Energiebedarf und Netto-Selbstversorgungsgrad für das Jahr 2005 und das Szenario ÖkOpt 2020.

		2005	ÖkOpt 2020	Veränderung [%]
Pflanzenbau	TJ	10'958	18'394	+68
Milchproduktion	TJ	7'008	3'950	-44
Fleischproduktion	TJ	3'617	485	-87
Summe	TJ	21'676	22'829	+5
Energiebedarf	TJ	36'894	42'792	+16
N-SVG	%	52 ¹	53	+1

¹ Basis für den N-SVG ist das Jahr 2010.

4.2.3 Einhaltung des ÖLN

Der Raps und die Sonnenblumen beanspruchen zusammen knapp 33% der Fruchtfolgeflächen. Sie erreichen somit den nach ÖLN maximal zugelassenen Anteil. Dies ist auch der Grund, weshalb bei diesen beiden Kulturen nicht 100% des Inlandbedarfs produziert wird. Bei den übrigen Kulturen liegt der Flächenanteil deutlich unter den vorgeschriebenen Maximalanteil. Der ÖLN konnte somit für alle Kulturen eingehalten werden.

4.3 Effizienzfragen

4.3.1 Energieproduktion pro Stickstoffeinheit

Im Bericht von Reutimann et al. (2012) wurde die Ospar-Effizienz vom Szenario ÖkOpt 2020 berechnet. Dabei wurde festgestellt, dass trotz der Verlagerung von der tierischen zur pflanzlichen Produktion die N-Effizienz nicht gesteigert werden konnte. Im Rahmen von verschiedenen Modellrechnungen innerhalb des Szenarios ÖkOpt 2020 wurde deshalb versucht, mögliche Ursachen für die ausbleibende N-Effizienzsteigerung zu finden.

Im Szenario ÖkOpt 2020 verlagert sich die landwirtschaftliche Produktion von der tierischen zur pflanzlichen Produktion. Dadurch verändert sich auch das Verhältnis der produzierten Energie- zur Proteinmenge. Im Szenario ÖkOpt 2020 werden rund 5% mehr Kalorien als im 2005 produziert. Durch die Verlagerung der landwirtschaftlichen Produktion auf die, im Vergleich zu den tierischen Produkten, relativ proteinarmen pflanzlichen Produkten, nimmt jedoch der Proteinoutput stark ab. Ein Beispiel mit Weizenmehl verdeutlicht dies: Pro produzierte Einheit Energie (MJ) können in Form von Weizenmehl nur rund 8 g Protein produziert werden (Tabelle 14). Im Vergleich dazu werden pro MJ Geschnetzeltes vom Rind rund 50 g Rohprotein produziert.

Tabelle 14. Nährwerte ausgewählter Nahrungsmittel mit zusätzlicher Angabe zum Proteinanfall pro MJ (Bundesamt für Gesundheit BAG und ETH Zürich 2007).

	kJ pro 100g	Protein pro 100g	g Protein pro MJ
Kartoffeln	318	1.9	6
Weizenmehl	1'403	10.6	8
Vollmilch	284	3.3	12
Greyerzer	1'672	27	16
Hackfleisch Rind	643	21.6	34
Geschnetzeltes Rind	431	22.2	52

Aufgrund dieser Zusammenhänge erstaunt es nicht, dass mit dem Szenario ÖkOpt 2020 die Stickstoffeffizienz nicht wesentlich gesteigert werden konnte. Zur Erreichung des Umweltzieles wurden im Szenario ÖkOpt 2020 zwar die N-Verluste minimiert. Dies geschah aber nicht als Folge einer effizienteren Verwendung des eingesetzten Stickstoffes, sondern primär durch einen starken Rückgang der gesamthaft in der Landwirtschaft umgesetzten N-Menge.

Der N-Umsatz ist insbesondere wegen des Verzichts auf die Fleischproduktion mit Monogastieren zurückgegangen. Mit diesem Verzicht einher geht auch der Verzicht auf den Import von Futtermitteln. Da der für die Produktion der Futtermittel im Ausland benötigte Stickstoff in der Effizienzrechnung für 2005 auf der Input-Seite nicht erscheint, wird die N-Effizienz von 2005 vermutlich überschätzt.

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn die beiden Szenarien auf der Basis der produzierten Energie pro Einheit im Pflanzenbau eingesetzter Stickstoff verglichen werden. Während im

Ist-Zustand 2005 pro kg N rund 102 MJ produziert werden, können im Szenario ÖkOpt 2020 rund 164 MJ pro kg N produziert werden (Tabelle 15). Dies entspricht einer Steigerung von rund 61%. Ein ähnliches Verhältnis finden Reutimann et al. (2012), wenn die N-Verluste im Verhältnis zur produzierten Energie ausgedrückt werden. Die berechnete Energie/Stickstoff-Verlust-Rate steigt im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 im Szenario ÖkOpt 2020 um rund 81%.

Tabelle 15. Berechnung der Energieproduktion pro Stickstoffeinheit.

		2005	ÖkOpt 2020
Nettoenergieproduktion	TJ	21'676	22'829
Ausscheidungen	t N _{tot}	128'693	69'694
Mineraldünger	t N	50'795	50'300
Bio. Fixierung	t N	33'542	18'876
Energie pro Stickstoffeinheit	MJ / kg N	102	164

4.3.2 Steigerung der N-Effizienz durch einen Ausgleich der Futterrationen

Aufgrund der ausschliesslich raufutterbasierten Fütterung der Milchkühe weist die im Szenario ÖkOpt 2020 verwendete Futterration einen Rohproteinüberschuss aus. Modellrechnungen zeigen, dass mit einer gezielten Kraffuttermenge zum Ausgleich des Rohproteinüberschusses von rund 1.5 kg pro Kuh und Tag die Milchleistung bei gleichzeitiger Reduktion der Stickstoffausscheidungen gesteigert werden kann. Die Modellrechnungen fanden unter der Annahme statt, dass das benötigte Kraffutter in Form von Maiskörnern importiert wird und der für die Produktion des Maises im Ausland benötigte Stickstoff nicht berücksichtigt wird. Mit Maiskörnern wurde bewusst ein energiereiches aber proteinarmes Kraffutter gewählt. Die tiefen Rohproteingehalte der importierten Maiskörner fallen als Input beim Stickstofffluss kaum ins Gewicht. Sie erzielen hingegen beim Output in Form von Milch einen grossen Effekt. Auf Basis der getroffenen Annahmen kann davon ausgegangen werden, dass die Milchleistung pro Kuh und Jahr um 1'200 kg auf rund 7'000 kg gesteigert werden kann (Tabelle 16). Bedingt durch den Ausgleich der Ration können die Kühe einen grösseren Anteil des in der Ration vorhandenen Proteins produktiv verwerten. Als Folge davon scheiden sie weniger Stickstoff aus und verursachen geringere Ammoniakemissionen. Unter Einhaltung des Umweltziels könnten so zusätzlich rund 21'000 Milchkühe gehalten werden, die eine zusätzliche Milchmenge von rund 674'000 t produzieren. Dies entspricht bei einem Proteingehalt von 3.2% einer zusätzlichen Stickstoffmenge von rund 3'500 t. Zu dieser zusätzlichen Stickstoffmenge können weitere 100 t für die zusätzliche Fleischproduktion addiert werden. Bezüglich N-Effizienz stehen Input in Form von Maiskörnern von rund 3 t Stickstoff einem zusätzlichen Output von 3'600 t Stickstoff gegenüber. In der durch INFRAS nach Oskar berechneten N-Effizienz (Reutimann et al. 2012), würde dieser zusätzliche Output zu einer Effizienzsteigerung von rund 4% führen.

Tabelle 16. Einfluss von Ausgleichskraftfutter auf die N-Effizienz

		[t]	Proteinmenge [t]	Stickstoffmenge [t]
Kraftfutterimport (in)		210'450	20	3
Zusätzliche Milchmenge (out)	Leistungssteigerung +1'200 kg	526'800	16'858	2'697
	Zusätzliche Milchkühe + 21'000 Stk ¹ .	147'000	4'704	753
Zusätzliche Fleischmenge (out)	Mastkälber kg	1'464	293	470
	Ausmerzkühe kg	2'017	423	680
Differenz (out-in)			+ 22'257	+ 3'561

¹ Zusätzliche Milchkühe möglich, da pro Kuh weniger Stickstoff ausgeschieden wird. Dadurch werden pro Kuh weniger Emissionen verursacht, weshalb mehr Kühe gehalten werden können.

4.4 Quantitative und qualitative Proteinversorgung

Mit dem Szenario ÖkOpt 2020 findet, aufgrund der Vorgaben bzw. der getroffenen Annahmen, eine Verlagerung von der tierischen zur pflanzlichen Produktion statt. Auch wenn die Proteinversorgung im Szenario ÖkOpt 2020 in Bezug auf die absolute Menge gewährleistet sein dürfte (Reutimann et al. 2012) müsste abgeklärt werden, ob aufgrund der starken Verlagerung von tierischen zu pflanzlichen Proteinen die Qualität der im Inland produzierten Proteine für eine ausgeglichene Ernährung in Bezug auf die Zusammensetzung von essenziellen Aminosäuren hinreichend ist.

4.5 Ungenutztes Potenzial

Im Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich die Nebenprodukte der pflanzlichen Produktion, insbesondere aus der Öl- und Zuckerherstellung, als Futter für die tierische Produktion zu berücksichtigen. Aus ethischer und ökologischer Sicht wäre es jedoch zwingend notwendig, dass diese Produkte in der Tierernährung eingesetzt werden könnten.

Im wahrsten Sinne des Wortes brachliegendes Potenzial wurde mit den stillgelegten Flächen geschaffen (200'978 ha). Wie diese Flächen produktiv genutzt werden könnten, ohne zusätzliche direkte oder indirekte Stickstoffemissionen zu verursachen, konnte im Rahmen des Projektes nicht untersucht werden.

4.6 Agronomische Einschränkungen des Szenarios ÖkOpt 2020

Das Szenario ÖkOpt 2020 weist sowohl im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung wie auch aus agronomischer Sicht wichtige Einschränkungen auf, die bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden müssen:

- Die Vorgaben des Szenarios beschränken sich auf eine Reduktion der N-Verluste in der Schweiz. Sie berücksichtigen nicht den gesamten N-Footprint. Es ist deshalb durchaus möglich, dass die aus dem Ausland importierten tierischen Produkte im

Herstellungsland höhere N-Verluste bewirken, als wenn sie in der Schweiz produziert worden wären.

- Der Umfang des Projektes erlaubte nur eine sehr grobe Abschätzung der Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion. Bei einer Weiterverfolgung des Projektes müssten die einzelnen Annahmen und Vorgaben auf ihre praktische Umsetzbarkeit, die Vereinbarkeit mit der guten landwirtschaftlichen Praxis sowie den sich daraus ergebenden Konsequenzen und Wechselwirkungen im Detail überprüft werden (z.B. regionaler Anfall der Hofdünger, praktische Ausgestaltung der Fruchtfolge, etc.).
- Um die komplexen Ergebnisse besser interpretieren zu können, mussten bewusst vereinfachende und extreme Annahmen getroffen werden (z.B. Verzicht auf Kunstwiesen, Silomais und Ergänzungsfütterung, vollständiger Verzicht auf Monogastrier, etc.). Sollten Teilaspekte des Szenarios weiter verfolgt werden, müssten diese Annahmen differenziert betrachtet und im Hinblick auf eine Vereinbarkeit mit der guten landwirtschaftlichen Praxis kritisch hinterfragt werden.
- Die vorhandenen wissenschaftlichen Grundlagen zu den NH₃-N Emissionen in der Schweiz sind grundsätzlich besser dokumentiert als diejenigen für Nitratauswaschung oder von Stickoxiden. Das Szenario fokussiert deshalb einseitig auf die Reduktion der NH₃-N Emissionen. Allfällige Wechselwirkungen, die sich durch eine Reduktion der NH₃-N Emissionen ergeben, konnten zudem nicht berücksichtigt werden.

5 Schlussfolgerungen

Im Szenario ÖkOpt 2020 konnten die Vorgaben bezüglich Emissionen an reaktivem Stickstoff und dem Erhalt der Nettoenergieproduktion unter Einhaltung des ÖLN erreicht werden.

Die dem Szenario ÖkOpt 2020 zugrunde liegenden landwirtschaftlichen Strukturen unterscheiden sich aber signifikant gegenüber dem Ist-Zustand von 2005. So werden im Szenario ÖkOpt 2020 keine Monogastrier mehr gehalten, keine Rindviehmast und kein Kunstfutterbau mehr betrieben und nur Ackerkulturen angebaut, welche der menschlichen Ernährung dienen. Insbesondere der Anbau von Getreide- und Ölsaaten wird stark ausgedehnt, wobei die offene Ackerfläche im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 in etwa gleich gross bleibt. Im Szenario ÖkOpt 2020 werden gegenüber 2005 rund 200'000 Milchkühe weniger gehalten. Aufgrund des Rückgangs der Nutztiere fallen weniger Hofdünger an. Da aber gleichzeitig auch weniger Grünlandflächen für die Fütterung benötigt werden, steigt der Bedarf an mineralischen Stickstoffdüngern nicht an. Der Bedarf an mineralischen Stickstoffdüngern im Szenario ÖkOpt 2020 ist deshalb fast gleich hoch wie im Ist-Zustand 2005.

Die Resultate des Szenario ÖkOpt 2020 wurden zur Berechnung der gesamtschweizerischen Stickstoffflüsse von INFRAS übernommen. Folgende Grössen wurden in den Berechnungen von INFRAS übernommen: Strukturdaten, tierische Produktion, pflanzliche Produktion, Ausscheidungen, Emissionen, mineralische Dünger und biologische N-Fixierung. INFRAS berechnete auf Basis der Angaben der HAFL die entsprechenden Stickstoffflüsse und verglich diese mit dem Ist-Zustand 2005. Die Ergebnisse der Arbeit von INFRAS sind im Bericht von Reutimann et al. (2012) dokumentiert.

6 Literaturverzeichnis

- Arrigo Y, Chaubert C, Daccord R, Gagnaux D, Gerber H, Guidon D, Jans F, Kessler J, Lehmann E, Morel I, Münger A, Rouel M, Wyss U, Jeangros B, Lehmann J, 1999. Fütterungsempfehlung und Nährwerttabellen für Wiederkäuer (4. Überarb. und erweit. Aufl.). Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen, 319 S.
- BAFU/BLW 2008. Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820. Bundesamt für Umwelt, Bern: 221 S.
- Boller B, Lüscher A, Zanetti S, 2003. Schätzung der biologischen Stickstoff-Fixierung in Klee-Gras-Beständen. Schriftenreihe der FAL 45:47-54
- Bundesamt für Gesundheit BAG, ETH Zürich, 2007. Schweizer Nährwertdatenbank, abgerufen am 16.11.2012,
<http://nwdb.ethz.ch:8080/nwdb/request?xml=MessageData&xml=MetaData&xsl=SearchField&lan=de&pageKey=Start>.
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW, 2005. Agrarbericht 2005 des Bundesamtes für Landwirtschaft, Bern. 345 S.
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW, 2011. Klimastrategie Landwirtschaft, Bern. 46 S.
- Bundesamt für Statistik BFS, 2010. Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2010-2060, Neuchâtel.
- Erdin D, Amstutz T, Obrist L, Schmid I, Abplanalp B, Brugger M, Giuliani S, Kaeslin M, 2011a. Ernährung. In: schweizerischer Bauernverband SBV Statistik (Hrsg.) Statistische Erhebungen und Schätzungen über die Landwirtschaft und Ernährung. Brugg, S. 136-151.
- Erdin D, Amstutz T, Obrist L, Schmid I, Abplanalp B, Brugger M, Giuliani S, Kaeslin M, 2011b. Pflanzenbau. In: schweizerischer Bauernverband SBV Statistik (Hrsg.) Statistische Erhebungen und Schätzungen über die Landwirtschaft und Ernährung. Brugg, S. 36-62.
- Erdin D, Amstutz T, Obrist L, Schmid I, Abplanalp B, Brugger M, Giuliani S, Kaeslin M, 2011c. Viehwirtschaft. In: schweizerischer Bauernverband SBV Statistik (Hrsg.) Statistische Erhebungen und Schätzungen über die Landwirtschaft und Ernährung. Brugg, S. 66-88.
- Erdin D, Schmid I, Schüpbach H, Streit P, Hagenbuch S, Rügsegger M, Escher D, Sonderegger M, Neeser D, Käslin M, 2010. Milchstatistik der Schweiz, Switzerland Cheese Marketing AG, Schweizer Milchproduzenten, TSM Treuhand GmbH, schweizerischer Bauernverband, SBV Statistik, Brugg, 76 S.
- Flisch R, Sinaj S, Charles R, Richner W. 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung 16(2).
- 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 ÖkOpt 2020. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Luftreinhaltung und NIS, Sektion Luftqualität, 3003 Bern.

- Prashun, V., Spiess, E. 2003. Regional differenzierte Abschätzung der Nitratauswaschung über Betriebszählungsdaten. In: 10. Gumpensteiner Lysimetertagung. Publ. Bundesanstalt für Alpenländliche Landwirtschaft (BAL), Irdning. 29. und 30. April, 2003, 55-57.
- Reutimann J, Heldstab J, Leippert F, 2012. Stickstoff in der Land- und Ernährungswirtschaft: Stickstoffflüsse, Verluste und Reduktionspotenziale, INFRAS, Zürich, 61 S.
- Salvagiotti F, Cassman K.G., Specht J.E, Walters D.T, Weiss A, Dobermann A, 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. Field Crops Research 108.
- Schjoerring, J. K., Mattsson, M. 2001. Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere: measurements over two complete growth cycles of oilseed rape, wheat, barley and pea. Plant and Soil 228(1), 105-115.
- Schmid A, Brombach C, Jacob S, Schmid I, Sieber R, Siegrist M, 2012. Sechster schweizerischer Ernährungsbericht 2012: Kapitel 2: Ernährungssituation in der Schweiz, Bundesamt für Gesundheit BAG, Bern, 78 S.
- Schmid I, 17.05.13. Fragen zur Entwicklung des Nahrungsmittelverbrauchs pro Kopf zwischen 2005 und 2010. Telefongespräch am 17.05.13.
- Van der Weerden T.J, Jarvis S.C, 1997. Ammonia emission factors for N fertilizers applied to two contrasting grassland soils. Environmental Pollution 95(2), 205-211.
- Wilkinson JM, 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. animal 5 (07), 1014–1022.
- Wyss U. 1994. Futter möglichst verlustarm konservieren. Agrarforschung 1(10): 451-454.