

# **Durchführung einer Studie zur Reduzierung der Klimawirkung der Landwirtschaft in Luxemburg bis 2030**

Im Auftrag des MDDI (Ministère du Développement Durable et des Infrastructures)

**Erstellt von: CONVIS société coopérative  
Ausführender: M.Sc. Rocco Lioy**

Ettelbrück, den 4.09.2018



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	a
1. Anmerkungen zu Material und Methoden.....	1
1.1 Allgemeines .....	1
1.2 Tabellarische Darstellung der Literaturquellen zu den verwendeten Emissionsfaktoren für Emissions- und Creditsposten .....	2
1.3 Die Modellbetriebe für die Berechnungen der Einsparungen an THG-Emissionen durch Reduzierung der N-Salden und durch Erweiterung der ökologisch bewirtschafteten Fläche .....	3
2. Abschätzung der Auswirkung auf die THG-Bilanz der Luxemburgischen Landwirtschaft der Reduzierung von Stickstoffüberschüssen und NH <sub>3</sub> -Emissionen .....	5
2.1 Problematik der N-Überschüsse in der Landwirtschaft. ....	5
2.2 Ermittlung der N-Überschüsse .....	5
2.3 Der N-Überschuss von CONVIS-Betrieben als Basis für die Abschätzung des durchschnittlichen N-Überschusses auf Landesebene in Luxemburg .....	6
2.4 Umfang der Reduzierung der N-Überschüsse in der luxemburgischen konventionellen Landwirtschaft durch Optimierung des Einsatzes an Futter- und Düngemitteln .....	7
2.5 Umfang einer zusätzlichen Reduzierung des N-mineralischen Düngemiteleinsatzes über die Reduzierung der NH <sub>3</sub> -Emissionen in der Tierhaltung .....	10
2.6 Auswirkung der Reduzierungen des N-Saldos und der NH <sub>3</sub> -Emissionen auf die Treibhausgasemissionen der konventionellen Landwirtschaft in Luxemburg .....	11
2.7. Fazit .....	11
3. Abschätzung der Erweiterung des Anteils an ökologisch bewirtschafteter Fläche in Luxemburg auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft. ....	12
3.1 Fazit .....	13
4. Abschätzung des Beitrages der Erweiterung der Vergärung von Abfällen und organischen Düngern zur Verbesserung der Klimabilanz in der Luxemburgischen Landwirtschaft* .....	15
4.1 Beschreibung der IST-Situation. ....	15
4.2 Erweiterung der Vergärung von organischen Düngern und Abfällen .....	16
4.3 Fazit .....	17
5. Einfluss der Abschaffung der Milchquotenregelung auf die THG-Emissionen am Beispiel der Steigerung der Milchkuhzahlen im Jahr 2016 im Vergleich zum Jahr 2015.....	19
5.1 Fazit .....	21
6. Abschätzung des Minderungspotentials an Treibhausgasemissionen durch Vermeidung von Lebensmittelbfällen.....	23
6.1 Fazit .....	25

7. Erschließung weiterer Minderungspotentiale durch Synergien mit der Nutzung regenerativer Energien und dem LULUCF .....	26
7.1 Fazit .....	28
8. Abschätzung vom LULUCF und ihre Auswirkung auf die THG-Bilanz der Luxemburgischen Landwirtschaft.....	29
8.1 Beurteilung der Emissionen und der Senken an Kohlenstoff durch Umwandlung von Dauergrünland in Acker und von Ackern in Dauergrünland .....	30
8.2 Möglichkeiten der Veränderungen vom C-Vorrat im Ackerboden im Fall von Ackerflächen, die als solche erhalten bleiben.....	31
8.2.1 Beurteilung der Veränderung des C-Vorrates in Ackerböden durch reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren .....	31
8.2.2 Beurteilung der Veränderung des C-Vorrates in Ackerböden durch die Humusbilanznach Leithold et al. (1997) unter dem Blickwinkel der Initiative 4proMille .....	32
8.3 Beurteilung der Veränderung des C-Vorrates in Grünlandböden im Fall von Grünlandflächen, die als solche erhalten bleiben.....	36
8.4 Beurteilung des Beitrages von Hecken zur Milderung der Klimawirkung der Luxemburgischen Landwirtschaft und Abschätzung deren Beitragssteigerung bis 2030 .....	38
8.5 Fazit .....	39
9. Übersicht und Abschlussbewertung der in der Studie festgestellten Minderungs- bzw. Verbesserungspotentiale .....	41
ANHANG .....	43
A.1: Emissionsinventar, Carbon Credits und CO <sub>2</sub> -Bilanz des konventionellen Modellbetriebes.....	43
A.2: Emissionsinventar, Carbon Credits und CO <sub>2</sub> -Bilanz des biologischen Modellbetriebes.....	44
LITERATUR .....	45

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1.1:	Grundstruktur der CO <sub>2</sub> -Bilanz nach der CONVIS-Methode.....	1
ABBILDUNG 2.1:	N-Überschuss der CONVIS-Betriebe und Belastung der Umweltkompartimente (Ø 2011-2013).....	5
ABBILDUNG 2.2:	Entwicklung der N-Überschüsse der CONVIS-Betriebe.....	6
ABBILDUNG 2.3:	N-Salden von CONVIS- und CONLUX-Betrieben im Vergleich (Erklärung zum Soll-Saldo im Text).....	7
ABBILDUNG 2.4:	Entwicklung von N-Input und N-Output der CONVIS-Betriebe.....	8
ABBILDUNG 2.5:	Bereits erreichte Reduzierung des Einsatzes an Dünge- und Futtermitteln (CONVIS-Betriebe).....	9
ABBILDUNG 3.1:	Treibhausgasbereiche der konventionellen (CONLUX) und biologischen (ÖKO) Betriebsgruppen.....	12
ABBILDUNG 3.2:	Bereiche, die bei einer Umstellung vom konventionellen zum ökologischen Landbau am meisten zur Reduzierung der THG-Emissionen beitragen würden.....	13
ABBILDUNG 4.1:	Anteil der vergorenen Substrate am erzeugten Biogas (Quelle: CONVIS, Mittel 2010-2015).....	15
ABBILDUNG 5.1:	Entwicklung der Anzahl an gehaltenen Milchkühen und der produzierten Milch in Luxemburg seit 1996.....	19
ABBILDUNG 5.2:	Entwicklung der Methanemissionen in der Milchviehhaltung in Luxemburg seit 1996.....	20
ABBILDUNG 5.3:	Entwicklung der Eiweißautarkie der CONVIS-Milchviehbetriebe seit 2008.....	20
ABBILDUNG 6.1:	Zusammensetzung der Frischwarenabfälle im Großküchenbereich (ECO-CONSEIL Sarl 2015).....	23
ABBILDUNG 7.1:	Posten der THG-Einsparung über die Reduzierung des Jungviehbestandes.....	26
ABBILDUNG 8.1:	Veränderungen des Humusgehaltes im Boden nach Änderung der Landnutzung und des Managements.....	29
ABBILDUNG 8.2:	Einflussgrößen des Humusgehaltes im Ackerboden.....	31
ABBILDUNG 8.3:	Aufteilung der Humuszehrung nach Fruchtarten in %.....	34

ABBILDUNG 8.4:	Korrelation zwischen Kohlenstoff und Stickstoffgehalt im Boden (nach Hülsbergen 2003).....	35
ABBILDUNG 8.5:	Zusammenhang zwischen Humusbilanzergebnis und Viehbesatzdichte.....	36
ABBILDUNG 8.6:	Qualitative Darstellung der Änderungen im C-Vorrat unter Grünland in Funktion vom Alter und der Bewirtschaftungsintensität.....	37

## TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1.1:	Literaturreferenzen zu den einzelnen CO <sub>2</sub> -Bilanzposten.....	3
TABELLE 1.2:	Hochrechnung der THG-Emissionen für den konventionellen und den biologischen Modellbetrieb.....	3
TABELLE 1.3:	Hochrechnung der Emissionen von Bio- und konventionellem Modellbetrieb und Vergleich mit dem Wert aus dem NIV für Luxemburg (MW 10-15).....	4
TABELLE 2.1:	Viehbesatz im Vergleich.....	7
TABELLE 2.2:	Angepeilte Reduzierung des Einsatzes an Kraftfutter- und mineralischen N-Düngemitteln (alle Werte in kg N/ha).....	9
TABELLE 2.3:	Schätzung des NH <sub>3</sub> -Reduktionspotentials bei CONVIS-Betrieben (Clean-Air-Dialog 2017) .....	10
TABELLE 2.4:	Einsparungen an mineralischem N-Dünger infolge der Reduzierung der NH <sub>3</sub> -Emissionen (Werte in kg N/ha).....	10
TABELLE 2.5:	Zusammenfassung der Einsparungen an Emissionen.....	11
TABELLE 3.1:	Rückgang an THG-Emissionen ohne (1) und mit (2) vorgelagertem Bereich (Herstellung und Transport von Betriebsmitteln).....	13
TABELLE 4.1:	Energieerzeugung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Luxemburg (Quelle: Biogasvereenegung A.S.B.L.).....	15
TABELLE 4.2:	Mengenmäßige Zuordnung der Substrate zur Energieproduktion.....	16
TABELLE 4.3:	Über die landwirtschaftliche Biogaserzeugung generierte Carbon Credits in Luxemburg.....	16
TABELLE 4.4:	Zusammenfassung der Carbon Credits bei Verdoppelung der Biogasproduktion.....	17
TABELLE 5.1:	Erhöhte CO <sub>2</sub> -Emissionen infolge eines Anstieges der Milchkühe bei gleichzeitigem Rückgang der Mutterkühe und der Mastbullen im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2015.....	21
TABELLE 5.2:	% Ausgleich der in dieser Studie berechneten Einsparungen an THG- Emissionen durch Anhebung des nationalen Milchviehbestandes bei gleichzeitigem Rückgang der Mutterkühe und der Mastbullen im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2015.....	21
TABELLE 6.1:	Ermittlung des vermeidbaren Anteils an Fleischabfällen in % des Gesamtkonsums auf der Basis des Fleischkonsums nach FAO (2012) und der Einwohnerzahl Luxemburgs im Jahr 2015.....	24
TABELLE 6.2:	THG-Minderungspotential das mit den vermeidbaren Fleischabfallmengen einhergeht.....	25

TABELLE 7.1:	Reduzierung der Aufzuchttrinder über zwei Jahre durch Verkürzung des Erstkalbealters.....	26
TABELLE 7.2:	Erarbeitete Szenarien zur unterschiedlichen Verwendung der durch Reduzierung des Jungviehbestandes freiwerdenden Flächen.....	27
TABELLE 8.1:	THG-Bilanz der Landnutzungsänderung für die konventionellen Betriebe in Luxemburg (Schnitt der Jahre 2010-2015, Werte in t CO <sub>2</sub> -Äq/ha).....	30
TABELLE 8.2:	Humusbilanz der von CONVIS bilanzierten Betriebe.....	33
TABELLE 8.3:	Aufteilung der Humuslieferung durch die unterschiedlichen organischen Dünger.....	34
TABELLE 8.4:	Humusbilanz der bilanzierten Betriebe gemessen am 4proMille-Ziel.....	35
TABELLE 8.5:	Zusammenfassung des CO <sub>2</sub> -Speicherungspotential durch Hecken.....	39
TABELLE 9.1:	Zusammenfassung der für die betrachteten Szenarien berechneten Minderungs- bzw. Verbesserungspotentiale in t CO <sub>2</sub> -Äq bis 2030.....	41
TABELLE 9.2:	Übersicht der Einsparpotentiale der in diese Studie behandelten Bereiche zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Luxemburgischen Landwirtschaft.....	42

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

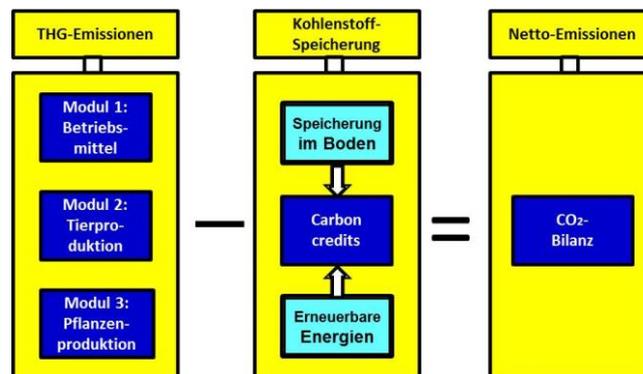
<b>Bio</b>	Siehe ÖKO
<b>BM</b>	Betriebsmittel
<b>C</b>	Kohlenstoff
<b>CH<sub>4</sub></b>	Methan
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>CO<sub>2</sub>-Äq</b>	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
<b>CONLUX</b>	Auf mittlere Verhältnisse der Luxemburgischen Landwirtschaft angepasster CONVIS-Betriebspool
<b>DE</b>	Düngeeinheit
<b>EF</b>	Emissionsfaktor
<b>EKA</b>	Erstkalbealter
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>GWP</b>	Global Warming Potential
<b>HE</b>	Humuseinheit
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel for Climate Change
<b>km</b>	Kilometer
<b>kWh<sub>el</sub></b>	Kilowattstunden elektrisch
<b>kWh<sub>th</sub></b>	Kilowattstunden thermisch
<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment
<b>lm</b>	Linearmeter
<b>LN</b>	Landwirtschaftliche Nutzfläche
<b>LULUCF</b>	Land Use, Land Use Change and Forestry (Deutsch: Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>N</b>	Stickstoff
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Lachgas
<b>NH<sub>3</sub></b>	Ammoniak

<b>NH<sub>3</sub>-N</b>	Ammoniak-Stickstoff
<b>NIV</b>	Nationales Emissionsinventar des Großherzogtum Luxemburg
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrat
<b>ÖKO</b>	Ökologisch wirtschaftende Betriebe
<b>PP</b>	Pflanzenproduktion
<b>SOM</b>	Soil Organic Matter (Synonym für Humus)
<b>THG</b>	Treibhausgase
<b>TP</b>	Tierproduktion

# 1. Anmerkungen zu Material und Methoden

## 1.1 Allgemeines

CONVIS s.c. rechnet seit 2006 und rückwirkend ab 2002 CO<sub>2</sub>-Bilanzen für angeschlossene Betriebe im Rahmen von Label- bzw. Beratungsprogrammen. Die CO<sub>2</sub>-Bilanz ergibt sich aus dem Unterschied zwischen den Treibhausgasemissionen und den Carbon Credits des Betriebes (Abb.1.1). Die Emissionen und die Credits werden auf die Betriebsfläche bezogen.



**Abb.1.1: Grundstruktur der CO<sub>2</sub>-Bilanz nach der CONVIS-Methode**

Die unter Modul 1 erfassten Emissionen beziehen sich auf den Treibhausgas(THG)-Ausstoß bei der Herstellung und Transport von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln. Es handelt sich um Emissionen, die nicht im Betrieb stattfinden, sondern nach dem LCA-Ansatz den Betrieben zugeordnet werden aus dem vorgelagerten Bereich. Diese Emissionen werden im Nationalen Inventar (NIV) nicht dem Bereich Landwirtschaft zugeordnet, sondern den Bereichen Industrie und Verkehr. Deswegen wird im Folgenden der vorgelagerte Bereich immer getrennt ausgewiesen.

Die Struktur und die in den einzelnen Modulen berücksichtigten Emissionsposten sind im Anhang zu finden. Hier wird darauf aufmerksam gemacht, dass die mit den tierischen Exkrementen verbundenen Emissionen unter dem Modul Tierproduktion erfasst sind, während die Emissionen aus dem Boden (indirekte Emissionen sowie Emissionen aus der mineralischen N-Düngung und Ernteresten) dem Modul Pflanzenproduktion zugeordnet sind.

Als Global Warming Potential (GWP) wurden in der vorliegenden Studie zwecks Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus dem NIV die Faktoren 1 für CO<sub>2</sub>, 25 für CH<sub>4</sub> und 298 für N<sub>2</sub>O angesetzt. Es wird hier dennoch darauf aufmerksam gemacht, dass in der Wissenschaft mittlerweile als GPW andere Faktoren Anwendung finden, und zwar 28 für CH<sub>4</sub> und 265 für N<sub>2</sub>O. Letztere Faktoren führen zu höheren THG-Emissionen ausgedrückt als CO<sub>2</sub>-Äquivalenten vor allem in der Tierhaltung.

Schließlich eine Anmerkung über den Geltungsbereich der Studie: Die Aussagen der vorliegenden Studie beziehen sich auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen Luxemburgs bestehend aus Acker- und Dauergrünlandflächen, und dies sowohl konventionell als auch biologisch. Unberücksichtigt bleiben die Nutzflächen aus Baumschulen, Gärtnereien sowie aus Gemüse-, Ost- und Weinanbau. Ebenso unberücksichtigt bleiben Bereiche wie Kaninchenhaltung und andere IPCC-relevante Tierkategorien wie Cervidae. Der Einfluss solcher Bereiche auf die Gesamt-Klimabilanz der luxemburgischen Landwirtschaft kann ohnehin als sehr gering betrachtet werden.

## 1.2 Tabellarische Darstellung der Literaturquellen zu den verwendeten Emissionsfaktoren für Emissions- und Creditsposten

<b>Modul Betriebsmittel</b>	
Düngemittel	Emissionsfaktoren(EF) nach Patyk&Reinhardt 1997
Futtermittel	EF nach ECOINVENT 2009 und Agri-Footprint 2016. Beide Datenbanken finden Anwendung in der LCA-Standardsoftware SYMAPRO
Kraftstoffen, Strom, und Feldarbeit	EF nach Kaltschmitt&Reinhardt 1997 für Strom und Diesel. Für Feldarbeit: Werte aus Kaltschmitt&Reinhardt 1997 für Diesel (Verbrauchszahlen nach KTBL 2005) und ECOINVENT 2009 für Maschinen (Ab-schreibungen)
Andere Betriebsmittel und Investitionen	ECOINVENT 2009. Dort wo keine EF vorhanden waren, wurde analog zu Haas&Wetterich 1999 der energiebezogene THG-Ausstoß genommen
<b>Modul Tierproduktion</b>	
N-Ausscheidung	1) Milchkühe: Nach Bannik&Hindle 2003 2) Andere Tierkategorien: N-Ausscheidungen nach Düngeeinheiten
Pansen- Magenfermentation	3) Milchkühe: Formel nach Kirchgessner et al. 1991a 4) Weitere Tierkategorien: Formel nach Kirchgessner et al. 1991b
Lagerung von Wirtschaftsdüngern	1) Methan. Formel nach IPCC 2006 unter Berücksichtigung der Weidezeit und der Düngeform (Gülle bzw. Mist). Im Fall von Vergärung: Emissionen*0,5 (Liebetau et al. 2013) 2) Lachgas. EM nach IPCC 2006. Im Fall von Vergärung: EM*0,2
Ausbringung von Wirtschaftsdüngern	1) Methan: UMEG 2002 2) Lachgas: IPCC 2006
Weidegang	1) Methan: UMEG 2002 2) Lachgas: IPCC 2006
<b>Modul Pflanzenproduktion</b>	
Boden indirekt	1) N-Deposition: Ammoniakemission aus Weide, Stall, Lager und Ausbringung nach Haenel et al. 2014, basierend auf TAN (Kupper&Menzi 2013). Indirekte Emissionen nach IPCC 2006 2) N-Auswaschung: Wie IPCC 2006, bei N-Mineralisierung negative Humusbilanz nach Leithold et al. 1997 berücksichtigt
Mineralische Düngung	1) IPCC 2006 für N-Mineralisch 2) IPCC 2006 für Emissionen aus Harnstoffdüngung 3) EF nach Patyk&Reinhardt 1997 für Kalkung
Dieselvebrennung	EF nach Kaltschmitt&Reinhardt 1997
Sonstige Quellen	1) Erntereste: EF nach IPCC. Ermittlung der N-Mengen nach Daten aus Nährstoffbilanzen und Düngeplan von CONVIS s.c 2) Negative Humusbilanz: Leithold et al. 1997 3) Grünlandumbruch: 3a) CO <sub>2</sub> nach Guo&Gifford 2002 3b) N <sub>2</sub> O nach Risoud&Theobald 1999

Carbon Credits	
Biogaserzeugung	1) Substitutionswert Strom: Kaltschmitt&Reinhardt 1997 2) Substitutionswert Heizung: Kaltschmitt&Reinhardt 1997
Positive Humubilanz	Humusbilanz nach Leithold et al. 1997
Grünland-Neuansaat	Guo&Gifford 2002

**Tab.1.1: Literaturreferenzen zu den einzelnen CO<sub>2</sub>-Bilanzposten**

### 1.3 Die Modellbetriebe für die Berechnungen der Einsparungen an THG-Emissionen durch Reduzierung der N-Salden und durch Erweiterung der ökologisch bewirtschafteten Fläche

Sowohl bei den konventionell bewirtschaftenden als auch bei den nach den Richtlinien des Ökolandbaus bewirtschaftenden Betrieben (im Folgenden: Biobetriebe) ist es nicht möglich, eine exakte Prognose des THG-Ausstoßes des jeweiligen Bereiches zu bekommen, da exhaustive Zahlen in Schlüsselbereichen wie z.B. Futtermitteln auf Landesebene nicht vorhanden oder mit zu großen Unsicherheiten verbunden sind. Dies ermöglicht außerdem keine exakte Aussage betreffend den N-Saldo der luxemburgischen Landwirtschaft (siehe auch diesbezügliche Ausführungen in den Kap. 2.3 und 3). Stattdessen hat man stellvertretend für die konventionellen und die Biobetriebe mit Modellbetrieben gerechnet, die entweder mittleren Verhältnissen weitgehend Rechnung tragen bzw. als Modell für eine Umstellung von der konventionellen auf die ökologische Wirtschaftsform dienen. Die Emissionsinventare, die Carbon Credits und die CO<sub>2</sub>-Bilanzen dieser Betriebe befinden sich im Anhang. Hiermit wird eine Übersicht der Emissionen beider Modellbetriebe sowie der Hochrechnung dieser Emissionen auf ganz Luxemburg gegeben. Dies ermöglicht schließlich einen Vergleich mit dem Niveau der im NIV geschätzten Emissionen für die Luxemburgische Landwirtschaft.

	Einheit	Konventioneller Modellbetrieb	Bio-Modellbetrieb
Tierproduktion (1)	t CO <sub>2</sub> -Äq/ha	3,99	2,44
Pflanzenproduktion (2) ohne LULUCF*	t CO <sub>2</sub> -Äq/ha	1,47	0,53
Summe (1) + (2)	t CO <sub>2</sub> -Äq/ha	5,46	2,97
LN (MW 10-15)	ha	125.440	4.168
Hochrechnung	CO <sub>2</sub> -Äq (t*10 <sup>3</sup> )	684,9	12,3

*\*Der Bereich LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry) wird im NIV getrennt vom Inventar für die Landwirtschaft betrachtet*

### Tab.1.2: Hochrechnung der THG-Emissionen für den konventionellen und den biologischen Modellbetrieb

Gemessen am Wert des Nationalinventars für den landwirtschaftlichen Sektor in Luxemburg (MW der Jahre 10-15) kommt die Hochrechnung der Emissionen diesen Wert sehr nah (Ta.1.3) und belegt somit, dass die Wahl der Modellbetriebe für eine Prognose von Simulationen des Rückgangs der Emissionen auf Landesebene geeignet ist.

	Summe Hochrechnung Bio+Konventionell	NIV
CO <sub>2</sub> -Äq (t*10 <sup>3</sup> )	697,2	689,5

**Tab.1.3: Hochrechnung der Emissionen von Bio- und konventionellem Modellbetrieb und Vergleich mit dem Wert aus dem NIV für Luxemburg (MW 10-15)**

## 2. Abschätzung der Auswirkung auf die THG-Bilanz der Luxemburgischen Landwirtschaft der Reduzierung von Stickstoffüberschüssen und NH<sub>3</sub>-Emissionen

### 2.1 Problematik der N-Überschüsse in der Landwirtschaft.

Die moderne konventionelle Landwirtschaft ist zum einen durch eine sehr hohe Produktivität gekennzeichnet, auf der anderen Seite führt dieses hohe Produktionsniveau nicht selten zu hohen Nährstoffüberhängen, vormals Stickstoffüberschüssen. Stickstoffüberschüsse entstehen, wenn das Ausnutzungsniveau des eingesetzten Stickstoffs, vor allem über Dünger oder über Futtermittel, den Bedarf der Pflanzen bzw. Tiere übersteigt. Dabei ist ein Teil der Überschüsse unvermeidbar, weil flüchtige N-Verbindungen (z.B. Ammoniak- oder Lachgasemissionen) sich nicht komplett vermeiden lassen, ein weiterer Teil dagegen ist vermeidbar, wäre die Effizienz des Ressourceneinsatzes und somit die Ausbeute des eingesetzten Stickstoffs maximal. Dies ist leider oft nicht der Fall, weil die Relation zwischen Aufwand und Ertrag vom Landwirt nicht richtig eingeschätzt wird bzw. werden kann. Die Konsequenz ist, dass deutlich mehr Stickstoff als nötig in die Umwelt gelangt. Dabei werden alle drei Kompartimente (Boden, Grundwasser und Luft) durch die N-Überschüsse belastet, wie aus Abb.2.1 zu entnehmen ist. Die Lachgasemissionen belasten direkt bei ihrem Entstehen die Treibhausgasbilanz der landwirtschaftlichen Betriebe. Aber auch die Ammoniakemissionen und die Nitratauswaschung haben einen Einfluss darauf, weil sie nach ihrem Entstehen in einem gewissen Umfang in Lachgas umgewandelt werden und somit indirekt zum Treibhausgasemissionen landwirtschaftlicher Betriebe aus.

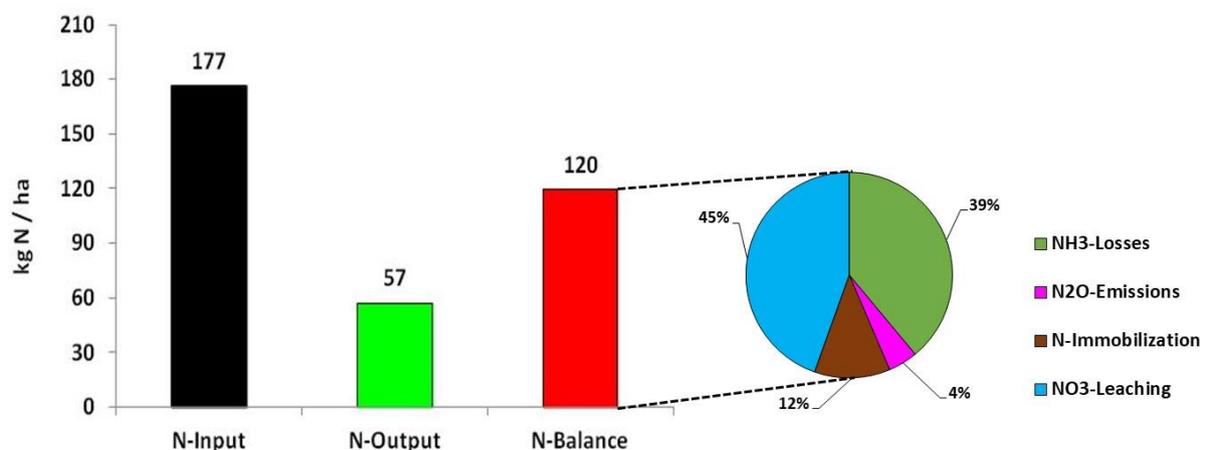


Abb.2.1: N-Überschuss der CONVIS-Betriebe und Belastung der Umweltkompartimente (Ø 2011-2013)

### 2.2 Ermittlung der N-Überschüsse

Der N-Überschuss wird bei CONVIS durch die Methode der Hoftorbilanz ermittelt. Diese Methode bietet mehrere Vorteile. Zum einen ist sie von einfacher Anwendung, da die Bilanz anhand von Buchführungsdaten berechnet wird, zum anderen ist das Resultat belastbar, weil es sich auf Daten stützt, die messbar und verifizierbar sind und von jeglichen Schätzgrößen absieht. Die Hoftorbilanz baut auf einem einfachen Input-Output-Prinzip auf: Auf der Eingangsseite des Betriebes stehen die Importe an Betriebsmitteln wie Dünger, Futter, Saatgut, Tiere, auf der Ausgangsseite des Betriebes stehen die Exporte an pflanzlichen und tierischen Produkten (Getreide, Milch, Fleisch u.a.). Die Differenz zwischen

importierten und exportierten Nährstoffen ist der Überschuss (meistens) oder das Defizit (selten). Ist ein Betrieb nicht effizient im Umgang mit den Betriebsmitteln oder produziert er zu wenig, so entstehen Überschüsse. Schätzgrößen bei der Berechnung der Hoftorbilanz wie N-Deposition, N<sub>2</sub>-Fixierung und N<sub>2</sub>-Verluste werden nicht betrachtet, da wie häufig in der Literatur die ersten beiden gleich den dritten gesetzt werden. Wie aus Abb.2.1 ersichtlich wird, gliedert sich der Überschuss in vier Unterkategorien:

- Ammoniakemissionen (NH<sub>3</sub>),
- Lachgasemissionen (N<sub>2</sub>O),
- N-Immobilisierung (Speicherung als Humus im Boden)
- und Nitratauswaschung (NO<sub>3</sub>).

Für die Ermittlung der NH<sub>3</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen werden Emissionsfaktoren aus der Literatur verwendet (Tab.1.1). Die Humusbilanz der Böden dient der Abschätzung der N-Immobilisierung und wird nach der Methode von Leithold und Hülsbergen (1997) durchgeführt. Die NO<sub>3</sub>-Auswaschung wird als Differenz der Emissionen und der Immobilisierung zum Gesamtüberschuss ermittelt.

### 2.3 Der N-Überschuss von CONVIS-Betrieben als Basis für die Abschätzung des durchschnittlichen N-Überschusses auf Landesebene in Luxemburg

CONVIS rechnet im Rahmen verschiedener Programme (Cactus Label, Bio80, NEBplus, TEPagro, Faire Milch, u.a.) seit über 20 Jahren Nährstoffbilanzen auf Hoftorbasis für Mitgliedbetriebe. Im Bereich der N-Bilanz haben sich die Überschüsse im Zeitraum 1996-2015 deutlich reduziert (Abb.2.2), wobei in den letzten Jahren ihr Niveau eher stabil bleibt, wenn man von Jahresschwankungen absieht.



**Abb.2.2: Entwicklung der N-Überschüsse der CONVIS-Betriebe**

Die im folgenden geltenden Aussagen beziehen sich, soweit nichts anders angegeben, auf den Schnitt der Jahre 2010 bis 2015. Für diesen Zeitraum lässt sich für die CONVIS-Betriebe ein durchschnittlicher N-Überschuss von 117 kg N/ha ermitteln. Der Schnitt aller CONVIS-Betriebe ist jedoch nicht ganz repräsentativ für die luxemburgischen Verhältnisse, da der CONVIS-Betriebspool die eher viehbetonten Betriebe des Landes enthält. So liegt der Schnitt des Viehbestandes der CONVIS-Betriebe bei 1,31 Düngeeinheiten (DE). Es werden hier die Viehzahlen in Düngeeinheiten ausgedrückt und nicht in Großvieheinheiten, weil letztere keine Verbindung zum ausgeschiedenen Stickstoff haben und sie für Tierarten wie Schweine oder Geflügel nicht vorgesehen sind. Eine DE scheidet jährlich 85 kg organischen Stick-

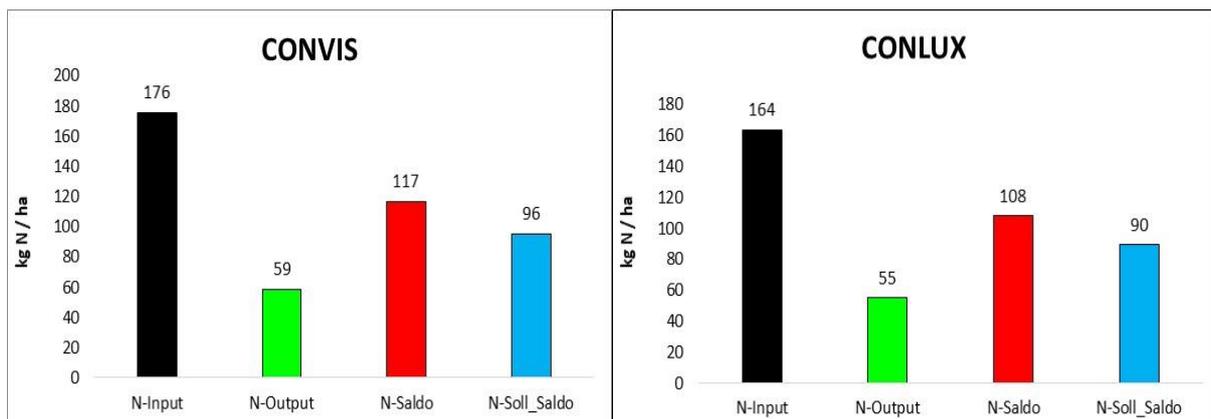
stoff aus, und ist auf alle Tierarten anwendbar. Die Nitratdirektive beschränkt auf max. 2 DE je ha landwirtschaftliche Nutzfläche den Viehbesatz der Betriebe. Der durchschnittliche Viehbesatz von konventionellen Betrieben in Luxemburg liegt bei 1,17 DE/ha. Tab.2.1 fasst die Zahlen der DE für den CONVIS-Pool und Landesweit (konventionelle Betriebe) zusammen.

Viehbesatz	CONVIS-Betriebe	Luxemburg landesweit, konventionelle Betriebe
Düngeneinheiten (DE) je ha	1,31	1,17

**Tab.2.1: Viehbesatz im Vergleich**

Dabei decken die Zahlen der CONVIS-Betriebe etwa 22% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) Luxemburgs ab. Da eine exakte Abbildung des N-Saldos auf Landesebene nicht möglich ist (siehe auch Ausführungen im Kap. 1.3), wurde als Basis für die Beurteilung des N-Saldos in der konventionellen Landwirtschaft in Luxemburg ein CONVIS-Betriebspool genommen, der in den Schlüsselposten Viehbesatz und Futterfläche die mittleren Verhältnisse im Land wiedergibt. Dieser Referenzpool wird im folgenden CONLUX-Pool genannt. Der Futterflächenanteil der CONLUX-Betriebe ist mit 79% übereinstimmend mit dem landesweiten Durchschnitt und auch die Milchleistung der Kühe dieser Betriebe (7500 kg pro Jahr) deckt sich mit dem Mittel des Landes. Es wird daher der Schnitt dieser Betriebe, die immerhin knapp 18% der LN Luxemburgs decken, als Referenz für die Berechnungen des N-Saldos und der Treibhausgasemissionen im konventionellen Bereich beibehalten.

Ein Vergleich zwischen den N-Bilanzen der CONVIS-Betriebe und der Betriebe des CONLUX-Pools (Abb.2.3) macht deutlich, dass der Überschuss bei letzteren Betrieben erwartungsgemäß niedriger liegt. Es ist nämlich statistisch abgesichert, dass der N-Saldo mit dem steigen des Viehbesatzes höher wird, da die unvermeidbaren N-Verluste zunehmen. Der N-Saldo von 108 kg/ha bildet somit die Basis für die angepeilte Reduzierung der N-Überschüsse.



**Abb.2.3: N-Salden von CONVIS- und CONLUX-Betrieben im Vergleich (Erklärung zum Soll-Saldo im Text)**

## 2.4 Umfang der Reduzierung der N-Überschüsse in der luxemburgischen konventionellen Landwirtschaft durch Optimierung des Einsatzes an Futter- und Düngemitteln

Zur Reduzierung der N-Salden hat CONVIS seit Jahren in der eigenen Beratung eine Zielmarke definiert, die abhängig vom Viehbesatz des Betriebes ist (vgl. auch R. Lioy 2008). Es werden betriebliche Salden

als maximale Verlustmarke (Soll-Saldo, siehe Abb.2.3) definiert, die sich aus einem Basisverlust in der Pflanzenproduktion von 40 kg/ha und von der Hälfte der N-Ausscheidung der Düngeeinheiten des Betriebes zusammensetzen. So zum Beispiel setzt sich der Soll-Saldo für die CONLUX-Betriebe zusammen aus:

$40 \text{ kg/ha} + \frac{1}{2}[1,17 \text{ DE/ha} * 85 \text{ kg N/DE}] = 90 \text{ kg/ha}$	$\frac{1}{2}[N\text{-Ausscheidung}]$
--	--------------------------------------

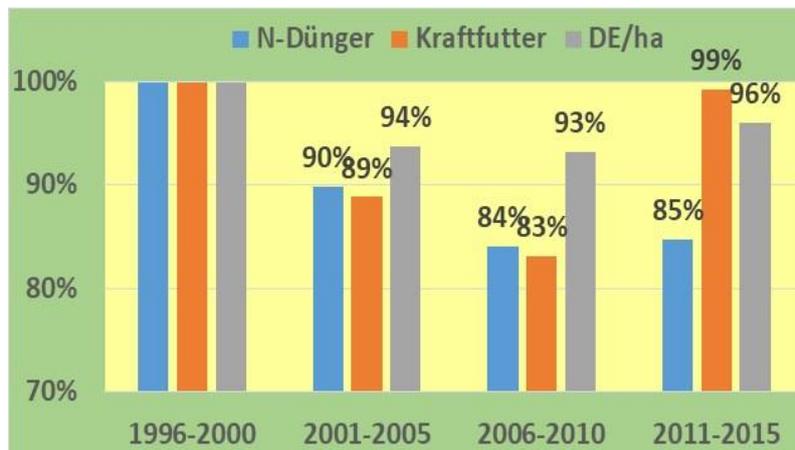
Das bedeutet, dass das Reduzierungspotential für diese Betriebe 108 (IST)–90 (SOLL) = rund 19 kg/ha beträgt. Da der CONVIS-Betriebspool einen höheren Viehbesatz hat, erhöht sich der Soll-Saldo für diese Betriebe entsprechend auf 94 kg, und das Reduktionspotential beträgt seinerseits 21 kg N/ha. Diese Zahlen stellen kein zwingendes ökologisches Optimum dar, sondern eher eine praxistaugliche Zielmarke welche versucht, die Ziele der Produktion mit der Ökologie zu versöhnen.

Die Reduktion der N-Überschüsse kann auf zwei Wegen stattfinden: Entweder über eine Steigerung des Outputs oder über eine Reduzierung des Einsatzes von Betriebsmitteln, Düngemitteln und vor allem Futtermitteln. Der erste Weg bringt zwar Entlastung vor allem im Grundwasserschutz, da der Stickstoff aus dem Betrieb fließt und somit die Fläche nicht belastet. Dagegen wird zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen mittels Verringerung des N-Überschusses vor allem der zweite Weg gebraucht, der auch unter Optimierung des Ressourceneinsatzes bekannt ist. Dies weil die Emissionen an Treibhausgasen direkt und indirekt mit dem Gebrauch von Dünge- und Futtermitteln zusammenhängen. Ein Blick auf die Entwicklung von N-Input und N-Output der CONVIS-Betriebe (Abb.2.4) macht deutlich, dass bis dato vor allem der erste Weg eingeschlagen wurde. Da aber der Output bzw. die Erträge nicht beliebig gesteigert werden können, geht es nun darum, eine Input-Optimierung zu verfolgen als Basis für die Verringerung des N-Saldos.



**Abb.2.4: Entwicklung von N-Input und N-Output der CONVIS-Betriebe**

Wie erwähnt sind Dünge- und Futtermittel die zwei wichtigsten Betriebsmittel in einer Landwirtschaft bestehend aus Pflanzenbau und Tierhaltung. Es geht darum, den genauen Umfang der Reduzierung des Einsatzes dieser Mittel so abzuschätzen, dass durch die Verringerung ihres Einsatzes die Produktionsgrundlage und die Erträge nicht gefährdet werden. Dabei ist festzustellen, dass im Laufe der Jahre und spätestens ab 1999 eine bereits beträchtliche Reduzierung des Einsatzes an diesen Betriebsmitteln in Luxemburg stattgefunden hat. Aus Abb.2.5 ist zu entnehmen, dass der Einsatz an Düngemitteln und Futtermitteln im Mittel der Jahre 2001-2005 und 2006-2010 deutlich abgenommen hat im Vergleich zum Mittel der Jahre 1996-2000. Weiter ist festzustellen, dass die Reduzierung des Düngemittelimportes im Mittel der Jahre 2011-2015 sich im Vergleich zu den Jahren 2006-2010 nicht weiter verringert hat und dass die entsprechenden Zahlen der Futtermittel für die Periode sogar wieder zunehmend waren (zur Ursache dafür sieh auch Kap. 5).



**Abb.2.5: Bereits erreichte Reduzierung des Einsatzes an Dünge- und Futtermitteln (CONVIS-Betriebe)**

Die angepeilten Reduzierungen an Dünge- und Futtermitteln stehen am Ende einer schon langjährigen Arbeit der Betriebsmittelloptimierung. Die noch möglichen Reduzierungen in Folge dieser Arbeit sind in Tab.2.2 zusammengefasst:

	IST	SOLL	Reduzierung
N-Saldo CONLUX	108	90	19
Reduzierung Kraftfutter über Steigerung der Grundfutterleistung um 20%	36	32	4
CONLUX reduzierte Mineraldüngung durch optimierte Düngung	113	98	15

**Tab.2.2: Angepeilte Reduzierung des Einsatzes an Kraftfutter- und mineralischen N-Düngemitteln (alle Werte in kg N/ha)**

Zur Reduzierung des Futtermitelesinsatzes hat man sich auf die Zahlen der Grundfutterleistung der Milchviehbetriebe bezogen: Diese beträgt im Schnitt der CONLUX-Betriebe 41%. Dies bedeutet, dass lediglich 41% der Milch aus dem Grundfutter gemolken wurde. Ziel für eine effiziente Milchproduktion sollte eine Marke von mindestens 50% sein. Die Grundfutterleistung wird einfach ermittelt, in dem man unterstellt, dass aus einem kg Kraftfutter 2 l Milch gemolken wurden (realistische Faustzahl). Der Unterschied zwischen der Gesamtmilch und der aus dem Kraftfutter gemolkenen Milch stellt die Milchmenge dar, die aus dem Grundfutter (Weidegras, Silage, Heu und Silomais) produziert wurde. Die 25% effizienteren Milchviehbetriebe erreichen diese Marke, so dass sie auch für die restlichen Betriebe ein durchaus erreichbares Ziel darstellt. Die somit eingesparten Kraftfuttermengen würden die N-Bilanz um 4 kg/ha entlasten. Weitere Futtereinsparungen sind nicht zu erwarten, da zum einen die Fleischrindersparte gute Autarkiezahlen vorweist und zum anderen die Schweinesparte in sehr geringem Umfang am gesamten Futtermittelimport Anteil hat.

Weiter sind nach Ansicht der CONVIS-Berater weitere 15 kg N/ha Einsparungen über den Optimierungseinsatz an Düngemitteln möglich, wenn folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Konsequente Beratung und Aufklärung der Landwirte im Hinblick auf die richtige Einschätzung der Erträge im jeweiligen Standort zur Vermeidung von unnötigem Düngeaufwand;

- Steigerung des Anbaus von Futterleguminosen bzw. Einsatz von Zwischenfrüchten mit hohem Leguminosenanteil und konsequente Anrechnung des damit gebundenen Stickstoffs im Düngplan;
- Einführung von flexiblen Ausbringungsfristen von organischen Düngern um die Ausbringung bei günstigen Witterungslagen zu ermöglichen bzw. diese bei ungünstigen Witterungslagen zu unterbinden, und dies sowohl im Winter als auch im Sommer;
- Erhöhung der Lagerkapazität für Gülle;
- Verbesserung der Ausbringungstechnik von Gülle (siehe auch nachfolgendes Kapitel 2.5).

## 2.5 Umfang einer zusätzlichen Reduzierung des N-mineralischen Düngemittleinsatzes über die Reduzierung der NH<sub>3</sub>-Emissionen in der Tierhaltung

Beim Clean-Air-Dialog im Jahr 2017 hat CONVIS Zahlen vorgelegt, die belegen, dass eine Reduzierung der NH<sub>3</sub>-Emissionen im Umfang von maximal 31% der Gesamtemissionen aus der Tierhaltung möglich wäre (Tab.2.3).

<b>Compartment</b>	<b>Actual emissions</b>	<b>Reduction potential</b>
	<b>kg NH<sub>3</sub>-N/ha</b>	<b>kg NH<sub>3</sub>-N/ha</b>
Grazing	3	0
Stable	13	1
Storage	8	5
Application	23	9
<b>Sum</b>	<b>47</b>	<b>15</b>
<b>In %</b>	<b>100%</b>	<b>31%</b>

**Tab.2.3: Schätzung des NH<sub>3</sub>-Reduktionspotentials bei CONVIS-Betrieben (Clean-Air-Dialog 2017)**

Dies setzt allerdings erhebliche und kostspielige Investitionen vor allem in zwei Bereichen voraus:

- Abdichtung der Lagerbehälter von Gülle;
- Ausstattung der Betriebe mit emissionsarmer Ausbringungstechnik.

Für die Betriebe des CONLUX-Pools würde die Reduzierung der NH<sub>3</sub>-Emissionen 14 kg NH<sub>3</sub>-N/ha betragen. Dieser Stickstoff stünde dann den Pflanzen zumindest in einem gewissen Umfang zur Verfügung. Da es sich um organischen Stickstoff handelt, ist der Umfang immer kleiner als 100%, da ein Teil dieses Stickstoffs im Boden als Humus gebunden, aus dem Boden ausgewaschen bzw. als Lachgas (N<sub>2</sub>O) emittiert wird. Aus diesem Grund schätzt CONVIS das tatsächliche Ausnutzungsniveau auf 55%, so dass von den 14 kg N/ha etwa 8 kg/ha als Dünger eingespart werden könnten (Tab.2.4).

	<b>IST</b>	<b>SOLL</b>	<b>Reduzierung</b>
NH <sub>3</sub> -Emissionen (NH <sub>3</sub> _N)	46	32	14
Einsparung N-Düngung (55% der NH <sub>3</sub> _N_Einsparungen)			8

**Tab.2.4: Einsparungen an mineralischem N-Dünger infolge der Reduzierung der NH<sub>3</sub>-Emissionen (Werte in kg N/ha)**

## 2.6 Auswirkung der Reduzierungen des N-Saldos und der NH<sub>3</sub>-Emissionen auf die Treibhausgasemissionen der konventionellen Landwirtschaft in Luxemburg

Die Bereiche der Klimabilanz, die von einer Optimierung des Futter- und Düngemiteleinsatzes bzw. durch die Reduzierung der NH<sub>3</sub>-Emissionen berührt würden, sind die der indirekten Bodenemissionen sowie der THG-Emissionen infolge der mineralischen N-Düngung. Diese Emissionen befinden sich auch im nationalen Emissionsinventar Luxemburgs für die Landwirtschaft. Neben dem sind noch Emissionen (bzw. die Vermeidung von Emissionen) zu berücksichtigen, die bei Herstellung und Transport von Dünge- und Futtermitteln entstehen. Diese werden im nationalen Emissionsinventar nicht der Landwirtschaft zugeordnet, sondern den Bereichen Industrie und Verkehr. Insgesamt beläuft sich die Reduzierung der THG-Emissionen über die in den Kap. 2.2 und 2.3 beschriebenen Maßnahmen auf insgesamt 51.114 t CO<sub>2</sub>-Äq (Tab.2.5). Gemessen an den Emissionen des Nationalinventars (689,5 t 10<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>-Äq im Schnitt der Jahre 2010-2015) sind das 7,4% der Emissionen. Würde man den vorgelagerten Bereich nicht berücksichtigen, dann würden die Einsparungen 26.126 t CO<sub>2</sub>-Äq bzw. 3,8% des Wertes des Nationalinventars ausmachen.

Emissionsposten	IST t CO <sub>2</sub> -Äq/ha	SOLL t CO <sub>2</sub> -Äq/ha	Einsparungen t CO <sub>2</sub> -Äq/ha
Herstellung und Transport von Düngemitteln	0,63	0,51	14.562
Herstellung und Transport von Futtermitteln	0,83	0,75	10.426
<b>Zwischensumme (1)</b>	<b>1,46</b>	<b>1,26</b>	<b>24.988</b>
Indirekte Bodenemissionen	0,43	0,33	12.726
Mineralische Stickstoffdüngung	0,57	0,46	13.399
<b>Zwischensumme (2)</b>	<b>1,00</b>	<b>0,79</b>	<b>26.126</b>
<b>Gesamteinsparung Summe (1)+(2)</b>	<b>2,46</b>	<b>2,05</b>	<b>51.114</b>

Tab.2.5: Zusammenfassung der Einsparungen an Emissionen

## 2.7. Fazit

Die Reduzierung der THG-Emissionen über die Verringerung der N-Überschüsse in der Landwirtschaft ist ein schweres Unterfangen. Selbst mit großen Anstrengungen, wie diejenigen, die in diesem Kapitel beschrieben wurden, können die THG-Emissionen nur in geringem Umfang reduziert werden. Das liegt daran, dass die durch die N-Überschüsse betroffenen Wirkungskategorien eher der Grundwasserschutz, die Versauerung und die Bodeneutrophierung sind. Die Auswirkungen auf die THG-Emissionen sind vor allem indirekter Natur und stehen daher nicht im Vordergrund. Da sich Luxemburg ohnehin verpflichtet hat, die NH<sub>3</sub>-Emissionen zu reduzieren, wird sich diese Reduzierung auch in einem gewissen Umfang positiv auf die Thematik Treibhausgase auswirken. Dennoch muss klar sein, dass hier konzertierte Anstrengungen notwendig sind, um wirkungsvoll auf diesem Gebiet Resultate zu erzielen.

### 3. Abschätzung der Erweiterung des Anteils an ökologisch bewirtschafteter Fläche in Luxemburg auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft.

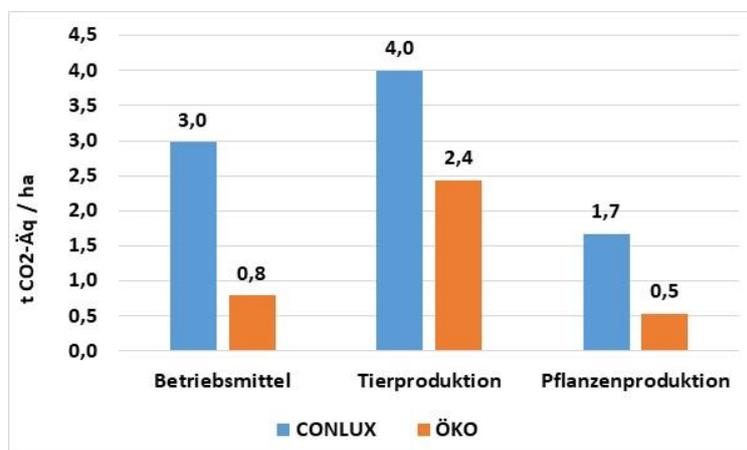
In Luxemburg wurden im Schnitt der Jahre 2012-2015 4.168 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (LN) nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet. Diese machen 3,2% der gesamten LN Luxemburgs aus. Die Abschätzung des Reduzierungspotentials des Treibhausgasausstoßes bei einer Erweiterung der ökologischen Wirtschaftsweise in der Luxemburgischen Landwirtschaft wurde für zwei Szenarien durchgeführt:

- 1) Erweiterung der ökologisch bewirtschafteten Fläche von 3,2% auf 10%;
- 2) Erweiterung der ökologisch bewirtschafteten Fläche von 3,2% auf 20%.

Als Vergleichsbasis wurden folgende Modellbetriebe genommen:

- a) Durchschnitt der THG-Emissionen vom CONLUX-Pool, wie im Kap.2 beschrieben;
- b) Durchschnitt der THG-Emissionen von Bio-Betrieben, welche im Rahmen der Studie „Öko-Öko“ (2011) bilanziert wurden. Diese Betriebe haben einen durchschnittlichen Viehbesatz von 0,73 DE/ha, der leicht unter dem landesweiten Durchschnitt der Biobetriebe mit 0,78 DE/ha liegt. Darüber hinaus zeichnen sich diese Betriebe dadurch aus, dass der Anteil der Rinder (Milchvieh und Fleischrinder) höher ist im Bio-Landesdurchschnitt. Gerade dies stellt aber die Vergleichsbasis dar: Im Fall einer Umstellung von der konventionellen auf die ökologischen Wirtschaftsweise ist anzunehmen, dass vor allem die rinderhaltenden Betriebe, die das „Gros“ der CONVIS- bzw. CONLUX-Betriebe ausmachen, ihre Bewirtschaftungsform ändern, seien es Fleischrinder- oder Milchviehbetriebe. Es ist außerdem sehr unwahrscheinlich, dass intensive Schweinebetriebe auf „Bio“ umstellen bzw. das Rinderhalter in großem Umfang auf andere Tierarten umsteigen. Im Folgenden wird die genannte Gruppe der Bio-Betriebe als ÖKO-Pool bezeichnet.

Die durchschnittlichen THG-Emissionen der CONLUX-Betriebe und der ÖKO-Pools (Abb.3.1) spiegeln im Bereich der Tierhaltung relativ gut das Verhältnis im Viehbesatz zwischen den beiden Pools (1,17 vs. 0,73 DE/ha). Dagegen ist das Verhältnis zwischen den beiden Betriebsgruppen im Bereich der Betriebsmittel und in der Pflanzenproduktion durch die Intensität des Ressourceneinsatzes geprägt. Hier ist die „Schere“ zwischen den beiden Anbaugruppen größer als im Bereich Viehhaltung.



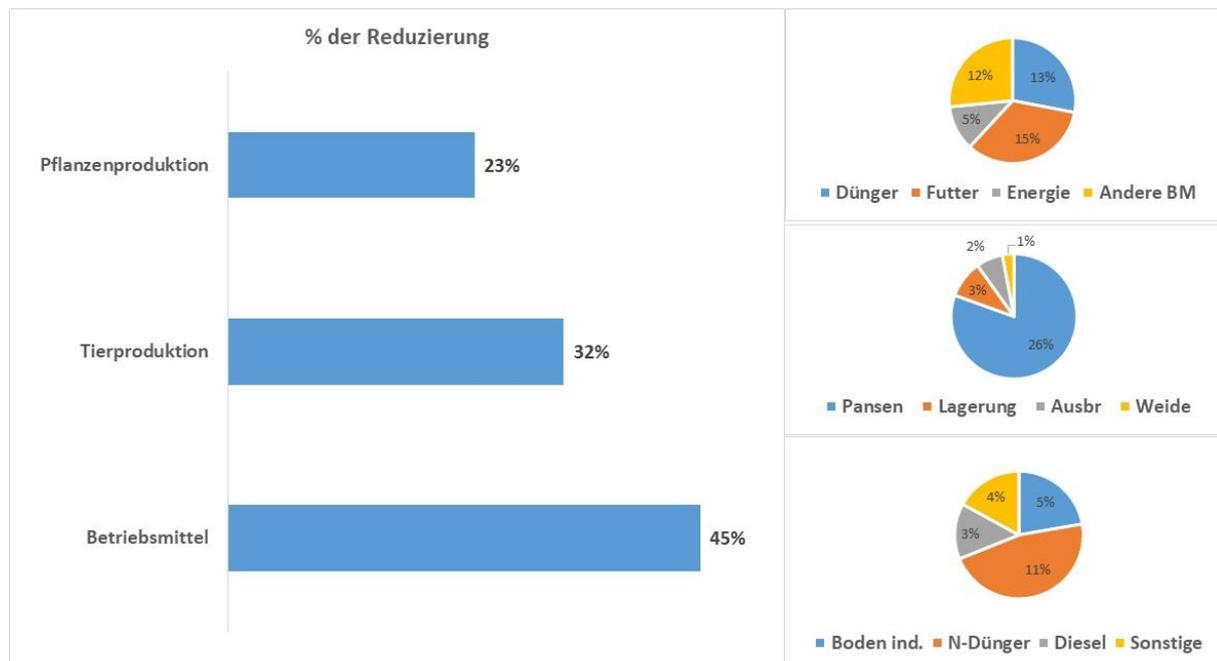
**Abb.3.1: Treibhausgasbereiche der konventionellen (CONLUX) und biologischen (ÖKO) Betriebsgruppen**

Es wurde bei der Berechnung der Einsparungen an THG-Emissionen für die zwei Szenarien (10% bzw. 20% Bio) auch der vorgelagerte Bereich getrennt mitberücksichtigt (Tab.3.1). Im Fall einer Erweiterung bis auf 10% der Fläche unter ökologischer Wirtschaftsweise könnten, gemessen am Gesamtausstoß im NIV von  $689,5 \text{ t} \cdot 10^3$ , 3,4% der Emissionen eingespart werden. Diese Reduzierung würde knapp 8,5% betragen, falls die Öko-Fläche auf 20% ausgedehnt würde. Im letzteren Fall würden man 16,1% der Emissionen einsparen, falls man den vorgelagerten Bereich mitberücksichtigen würde.

	Szenario 1 (10% bio)	Szenario 2 (20% bio)
<b>Rückgang 1 (t CO<sub>2</sub>-Äq.)</b>	23.690	58.612
<b>Rückgang 2 (t CO<sub>2</sub>-Äq)</b>	42.898	106.132

**Tab.3.1: Rückgang an THG-Emissionen ohne (1) und mit (2) vorgelagertem Bereich (Herstellung und Transport von Betriebsmitteln)**

In Abb.3.2 sind die Anteile an der Reduzierung der Treibhausgase durch die Erweiterung der Ökofläche wiedergegeben. Da es sich um eine statische Betrachtung handelt, sind die Anteile für beide Szenarien gleich. Am meisten würden die THG-Emissionen verursacht durch die Betriebsmittel (BM) zurückgehen, gefolgt von jenen aus Tierhaltung (TP) und Pflanzenbau (PP). Innerhalb dieser drei Bereiche sind die Pansenfermentation (TP), der Import an Futtermitteln (BM) sowie die mineralischen N-Düngung (PP) die Posten, die am meisten zur Reduktion der Treibhausgase beitragen würden.



**Abb.3.2: Bereiche, die bei einer Umstellung vom konventionellen zum ökologischen Landbau am meisten zur Reduzierung der THG-Emissionen beitragen würden**

### 3.1 Fazit

Die Erweiterung der Fläche, die nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet werden, würde sicherlich zu einer Entlastung auf dem Gebiet der Treibhausgasemissionen führen. Dieser Effekt liegt zum einen am generell geringeren Viehbesatz der Bio-Betrieb, zum anderen am niedrigeren

Einsatz von treibhausgasrelevanten Betriebsmitteln wie Dünger oder Futtermittel. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Erweiterung auf 20% (günstigstes Szenario) bis zu einem Zeithorizont von 2030 unwahrscheinlicher erscheint als eine Erweiterung auf 10%, wenn man die Geschwindigkeit der Umstellung der letzten Jahre als Basis der Beurteilung nimmt. Die vorliegende Studie setzt darüber hinaus voraus, dass die konventionellen Betriebe, die umstellen, eine mittlere Intensität aufweisen. Dies kann man kritisch sehen, da oft vor allem extensive Betrieb den Schritt zur ökologischen Wirtschaftsweise wagen. Daher stellt die vorliegende Berechnung ein Potential, das unter den aufgeführten Voraussetzungen in Erfüllung gehen kann. Weiter darf nicht vergessen werden, dass die Betrachtung der Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch Erweiterung der Ökofläche mit einem quantitativen Rückgang der Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte (Milch, Fleisch, Getreide, u.a.) einhergeht.

## 4. Abschätzung des Beitrages der Erweiterung der Vergärung von Abfällen und organischen Düngern zur Verbesserung der Klimabilanz in der Luxemburgischen Landwirtschaft\*

*\*Dieses Kapitel wurde verfasst in Absprache und mit Verwendung von Informationen von Dr. P. Delfosse, Biogasvereinigung A.S.B.L.*

Seit nun gut 20 Jahren vergären landwirtschaftliche Betriebe in Luxemburg in steigendem Umfang organische Dünger und weitere Substrate zur Produktion von Biogas. Dieser wird meistens zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet, während die Wärme in geringerem Umfang genutzt wird. Neben dem gibt es auch Fälle der direkten Einspeisung von Biogas (besser: dessen Methananteil) in das luxemburgische Gasnetz zwecks direkter Nutzung. In diesem Kapitel wird zunächst auf die Darstellung der aktuellen Biogaserzeugung in Luxemburg eingegangen, bevor man die Abschätzung der Potentiale einer Erweiterung der Vergärung von organischen Düngern und landwirtschaftlichen Abfällen betrachtet, um eine Prognose der damit generierbaren Carbon Credits zur Verbesserung der Klimabilanz der Luxemburgischen Landwirtschaft zu erstellen.

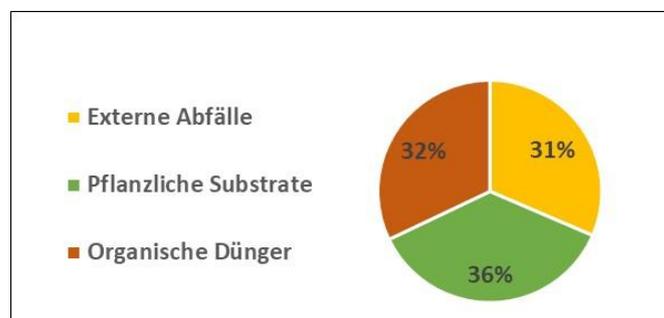
### 4.1 Beschreibung der IST-Situation.

Im Jahr 2015 wurden in Luxemburg durch landwirtschaftliche Biogasanlagen 207 GWh Energie erzeugt (Tab.4.1). Dabei betrug der Anteil der über Biogas erzeugten elektrischen Energie rund 30% der gesamten erzeugten Energie.

<b>Production d'énergie actuelle</b>	<b>GWh</b>	<b>%</b>
Électricité	62	30%
Chaleur utilisé	13	6%
Gaz (utilisation directe)	62	30%
Chaleur non utilisé	70	34%
<b>Total</b>	<b>207</b>	<b>100%</b>

**Tab.4.1: Energieerzeugung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Luxemburg (Quelle: Biogasvereinigung A.S.B.L.)**

Eine Analyse der im Zeitraum 2010-2015 bei den CONVIS-Betrieben vergorenen Substrate hat ihrerseits die in Abb.4.1 wiedergegebenen Aufteilung festgestellt.



**Abb.4.1: Anteil der vergorenen Substrate am erzeugten Biogas (Quelle: CONVIS, Mittel 2010-2015)**

Auf der Basis beider Zahlen ist es möglich, eine Zusammenfassung der vergorenen Substrate für den gesamten landwirtschaftlichen Biogassektor in Luxemburg zu erstellen (Tab.4.2).

Substrats	m <sup>3</sup> ; t	GWh	%
Engrais de ferme total	231.900	46	22,0%
Cofermentats internes (herbe, mais, tournesol, gps)	69.770	77	37,4%
Cofermentats externes (dechets)	78.400	84	40,6%
<b>Total</b>	<b>380.070</b>	<b>207</b>	<b>100%</b>

**Tab.4.2: Mengenmäßige Zuordnung der Substrate zur Energieproduktion**

Die „Administration de l’Environnement“ gibt ihrerseits für das Jahr 2016 folgende vergorene Substratmengen an:

- 219.744 t de déchets agricoles (effluents animaux et autres)
- 70.825 t de plantes énergétiques
- 75.500 t de déchets non-agricoles

Man kann schlussfolgern, dass es zwischen der über die CONVIS-Zahlen getätigten Schätzung und den Angaben der „Administration de l’Environnement“ eine sehr gute Übereinstimmung gibt. Eigene Schätzungen zufolge belaufen sich die Gülle- und Mistmengen in Luxemburg auf der Basis der durchschnittlichen Viehzahlen der STATEC für die Jahre 2010-2015 nach Abzug der Weideexkrementen auf 2,1 Mio. t. Dies macht klar, dass bei einer aktuellen Vergärung von Gülle und Mist 220 bis 230 Tausend t lediglich 10 bis 11% der organischen Dünger in Biogasanlagen behandelt werden. Dies ist im Hinblick auf die Abschätzung der Erweiterung der Vergärung dieser Stoffe von Bedeutung.

Das erzeugte Biogas mit der an ihm gekoppelten Energieproduktion generiert somit Carbon Credits, wie in Tab. 4.3 zu ersehen ist. Diese Credits gleichen, gemessen am Gesamten THG-Ausstoß des landwirtschaftlichen Sektors in Luxemburg ( $689 \cdot 10^3$  t), 9,4% der genannten Emissionen aus.

Credits carbon générés par	t eqCO <sub>2</sub>
Électricité	40.362
Chaleur utilisé	4.264
Gaz (utilisation directe)	20.336
<b>Total</b>	<b>64.962</b>

**Tab.4.3: Über die landwirtschaftliche Biogaserzeugung generierte Carbon Credits in Luxemburg**

#### 4.2 Erweiterung der Vergärung von organischen Düngern und Abfällen

Eine Statistik, die von der Biogasvereinigung zusammengestellt wurde, ergibt folgende Mengen an vorhandenen Substraten, die jährlich in Luxemburg **noch nicht** vergoren werden:

- Déchets domestiques résiduels: 118.610 t dont 30 % d'organiques = 35.583 t
- Déchets commerciaux assimilés domestiques: 43.723 t à 30% d'organique = 13.116 t
- Déchets organiques (autres que déchets verts) dans la poubelle verte = 27.792 t

Insgesamt machen diese Stoffe 76.492 t aus: Gemessen an den schon vergorenen Abfällen in Höhe von 75.500 t (nach der „Administration de l’Environnement“) bedeutet dies eine doppelt so hohe Menge, die für eine Vergärung zur Verfügung stünde. In Anbetracht der Tatsache, dass zurzeit nicht mehr als 11% der gesamten organischen Dünger vergoren werden, schätzen die Biogasvereinigung und CON-

VIS gleichermaßen eine Verdoppelung der über Biogas erzeugten Energie bis zum Jahr 2030 als realistisch. Einziger Fragepunkt bleibt die Vergärung des Umfangs der pflanzlichen Substrate aus der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Betriebe. Bis dato werden bei den CONVIS-Biogasbetrieben knapp 6% der landwirtschaftlichen Nutzfläche für Biogasanlagen genutzt. Bezogen an der gesamten Fläche der CONVIS-Betriebe (also auch mit den Betrieben ohne Biogaserzeugung) machen die se Flächen lediglich 1,1% aus). Es ist dennoch fraglich, ob in Zeiten der Expansion der Milchproduktion mit scharfer Flächenkonkurrenz die für eine Biogaserzeugung zur Verfügung stehenden Flächen verdoppelt werden können. Wir halten in dieser Schätzung an der Verdoppelung der Energiemenge fest darauf hinweisend, dass im Fall eines geringeren Beitrages der Energiepflanzen die vergorene Menge an organischer Düngung erhöht werden müsste. Dies wäre allerdings angesichts des vorhandenen Potentials an organischer Düngung nicht nur möglich, sondern auch sinnvoll, da die Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche für eine Energieerzeugung über Biogas nicht besonders effizient ist.

Unter diesen Prämissen ergeben sich aus einer Verdoppelung der Biogaserzeugung folgende Credits-Mengen:

	t CO <sub>2</sub> -Äq	Anmerkung
Credits Biogasanlagen roh	64.962	Annahme: Verdoppelung der Energiemenge über Biogas
Prozessenergie	-8.250	Quelle: CONVIS-Biogasbetriebe (12,7% Strom-Credits)
Bau neuer Anlagen	-2.257	Quelle: GEMIS (42 g CO <sub>2</sub> /kWh bei 15 Jahren Nutzung)
<b>Credits Biogasanlagen netto</b>	<b>55.455</b>	
Einsparung CH <sub>4</sub> Lagerung	3.982	Literatur: 50% Einsparung bei Vergärung org. Dünger
Wärme Heutrocknung	4.480	Annahme: 10% zusätzliche Wärmeverwertung
Einsparung miner. N-Dünger	1.684	Annahme: 70% vom Gärrest-N verfügbar bei 4 kg N/m <sup>3</sup>
<b>Credits Biogas gesamt</b>	<b>65.601</b>	

**Tab.4.4: Zusammenfassung der Carbon Credits bei Verdoppelung der Biogasproduktion**

Dadurch könnten weitere 9,5% der Emissionen aus der Luxemburgischen Landwirtschaft ausgeglichen werden. Hier ist noch anzumerken, dass eine Reduzierung der Düngemittelimporte bei Biogasbetrieben von CONVIS im Vergleich zu den Betrieben ohne Biogasanlage in nur geringfügigem Ausmaß festzustellen war, und dass diese vor allem ein Effekt des vermehrten Anbaus von Silomais für die Biogaserzeugung war (Silomais benötigt bekanntlich weniger mineralischer Stickstoff als andere Ackerkulturen). Dennoch würde über die vermehrte Vergärung von externen Abfällen sowie von Energiepflanzen aus dem Betrieb mehr Gärrest an als bis Dato anfallen. Dies stellt ein gewisses Potential an Reduzierung von mineralischem Stickstoff dar, dass unter Berücksichtigung der im Kap.2 emissionsarmen Ausbringungstechniken eine hohe Verfügbarkeit hätte (hier ist man von 70% ausgegangen). Dies generiert eine Einsparung von knapp 1.700 t CO<sub>2</sub>-Äq. Schließlich wurde auf eine Anrechnung der Credits, die über eine Vermeidung der Kompostierung von vergorenen Abfällen anfallen würden, verzichtet. Der Grund ist, dass bei der Kompostierung kein fossiles CO<sub>2</sub> emittiert wird und dass die über die Vergärung der Abfälle generierten Credits in der Berechnung von Tab.4.4 enthalten sind.

### 4.3 Fazit

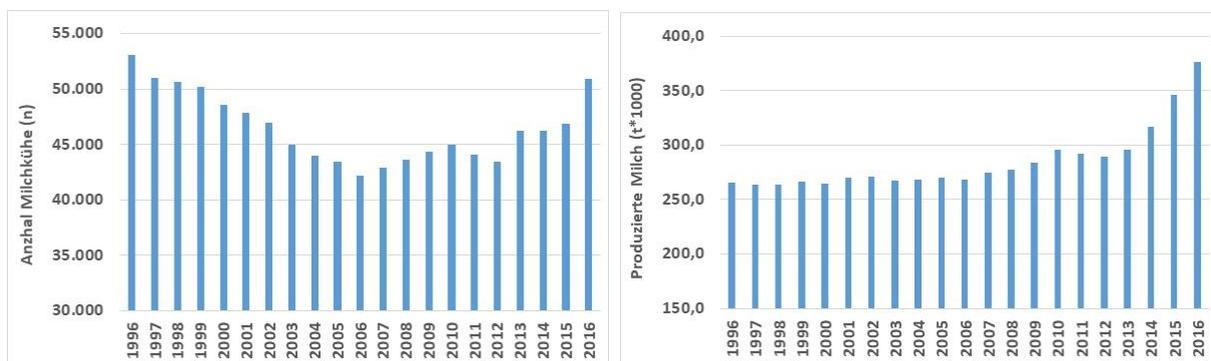
Die Biogaserzeugung stellt eine der wichtigsten Hebel zur Verbesserung der Klimabilanz in der Luxemburgischen Landwirtschaft dar. Die aktuelle Generierung von Carbon Credits über Biogas reicht aus, um etwa 10% des nationalen Emissionsinventars für den landwirtschaftlichen Sektor (ohne vorgelagerten Bereich) auszugleichen. Ein diesem Kapitel ging es darum, abzuschätzen, inwieweit bis zu einem Zeithorizont von 2030 eine Erweiterung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern (Gülle und Mist) sowie

von organischen Abfällen möglich wäre. Nach den vorliegenden Zahlen erscheint eine Verdoppelung des erzeugten Biogases durchaus als möglich, in Anbetracht der Tatsache, dass noch viele Abfälle un-  
behandelt sind und dass nur etwa 10% der Wirtschaftsdünger aus der Luxemburgischen Tierhaltung  
einer Behandlung in Biogasanlagen unterliegen. Voraussetzung dafür sind nicht nur Investitionen, son-  
dern auch Anreize für Landwirte, ihre Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen zu vergären sowie gesetzli-  
che Regelungen, die eine Behandlung von Abfällen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen sicherer und  
unbürokratischer machen würden.

## 5. Einfluss der Abschaffung der Milchquotenregelung auf die THG-Emissionen am Beispiel der Steigerung der Milchkuhzahlen im Jahr 2016 im Vergleich zum Jahr 2015

Seit 2015 hat die EU die Milchquotenregelung für Mitgliedsländer abgeschafft. Ab diesem Zeitraum bestehen keine Begrenzungen mehr im Hinblick auf die produzierten Milchmengen und folgerichtig auf die Anzahl der gehaltenen Milchkühe mit angeschlossenem Jungvieh. Als Beschränkung für einen Milchviehbetrieb besteht lediglich die von der Nitratdirektive festgelegte Obergrenze von DE/ha. Im Focus dieses Kapitels soll nicht so sehr die Feststellung stehen, ob die Emissionen in Folge der Erweiterung der Milchviehherden steigen (dieser Effekt ist ja bekannt), sondern und vor allem um die Quantifizierung der Emissionen, die mit der genannten Erweiterung einhergeht. Ferner soll die Quantifizierung dieser Emissionen in Relation zu den vorgelegten Zahlen der Betriebsoptimierung, Erweiterung vom Bio-Landbau und der Credits über Biogas gegenübergestellt werden.

Wie in Abb.5.1a ersichtlich ist, wurden im Jahr 2016 in Luxemburg so viel Milchkühe gehalten wie seit 1997 nicht mehr. Im Vorbereitung der Abschaffung der Milchquote haben die luxemburgischen Milchviehbetriebe in den Jahren 2013 bis 2015 schon deutlich mehr Kühe gehalten als im Zeitraum 2007-2012, als der Rückgang der Milchkühe, erwirkt durch die Festlegung der Quote und die Steigerung der Jahresleistung, gestoppt wurde. Auffällig ist dennoch die Entwicklung im Jahr 2016, wo rund 4000 Kühe mehr gegenüber der Zahl von 2015 gehalten wurden, bei einem relativen Anstieg von 8,6%.

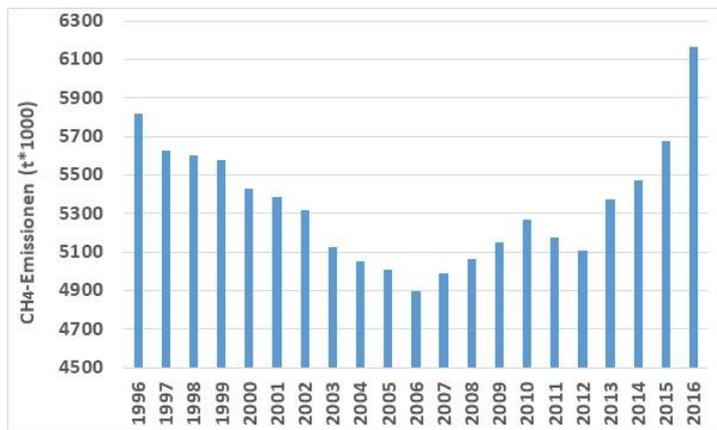


**Abb.5.1a und 5.1b: Entwicklung der Anzahl an gehaltenen Milchkühen und der produzierten Milch in Luxemburg seit 1996**

Neben den Kuhzahlen ist es hilfreich, sich die Entwicklung der Milchproduktion anzuschauen (Abb.5.1b). Hier gibt es drei Perioden, die voneinander getrennt werden können: Zum einen der Zeitraum 1996-2006, als die Quote konstant geblieben ist, dann die Zeit bis 2013, als es zu einem leichten Anstieg der Quote gekommen ist, und schließlich der Zeitraum 2014-2015, als die Produzierte Milch deutlich zugenommen hat.

Die Entwicklung des Methanausstoßes im selben Zeitraum trägt diesen Zahlen weitgehend Rechnung (Abb.5.2). Als die Quote konstant blieb, ging der Methanausstoß zurück, weil die Jährliche Milchleistung der Milchkühe in Luxemburg deutlich zugenommen hat (von 5000 l pro Kuh und Jahr im Jahr 1996 auf 6350 im Jahr 2006). Hier zeigt sich die positive Wirksamkeit der Milchquotenregelung, da die Steigerung der Produktionseffizienz zu einer Drosselung des Methanausstoßes geführt hat.

In den Jahren 2007 bis 2012 gab es schwankende Methanmengen, die abhängig waren vom Verlauf der Kuhzahlen, wobei der Anstieg der Methanemissionen verhältnismäßig gering, und das Emissionsniveau immer noch deutlich niedriger als in der Mitte der 90er Jahre war. Dagegen ab dem Jahr 2013, als das Ende der Quotenregelung nahte, wurde deutlich mehr Methan ausgestoßen als in den Jahren davor. Vor allem der Wert von 2016 fällt auf, da hier der höchste Ausstoß seit dem Jahr 1996 zu verzeichnen war. Auch der weitere Anstieg der Jährliche Milchleistung auf durchschnittlich 7350 l pro Kuh und Jahr konnte dem nicht entgegenwirken.



**Abb.5.2: Entwicklung der Methanemissionen in der Milchviehhaltung in Luxemburg seit 1996**

Der verhältnismäßig starke Anstieg der Milchproduktion hat auch Auswirkungen auf die Effizienz des Ressourceneinsatzes in der Milchproduktion. Speziell im Bereich Fütterung muss festgestellt werden, dass seit 2013 die Eiweiß-Autarkie der Milchviehbetriebe von CONVIS deutlich abgenommen hat (Abb.5.3). Im Schnitt betrug der Rückgang des Selbstversorgungsgrades mit Eiweiß im Schnitt der Jahre 2013-2016 im Vergleich zum Schnitt 2008-2012 rund 7%. Das bedeutet, dass die Abhängigkeit vom Fremdeiweiß und somit die Futtermittelimporte (Kraftfutter und Eiweißkonzentrat insbesondere) gestiegen sind. Auch dies hat, wie weiter unten zu sehen ist, Einfluss auf die Klimabilanz der Luxemburgische Milchproduktion.



**Abb.5.3: Entwicklung der Eiweißautarkie der CONVIS-Milchviehbetriebe seit 2008**

Die Bedeutung dieser Entwicklungen für den Treibhausgasausstoß in Luxemburg fasst Tab. 5.1 zusammen. Hier wird, ausgehend vom Anstieg an Milchkühen und unter Berücksichtigung des gleichzeitigen Rückgangs von Mutterkühen und Mastbullen im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2015 (SER 2018), den

zusätzlichen landesweiten Ausstoß an Treibhausgasen dargestellt. Die Berechnung ist unter Berücksichtigung der Variation der Futtermittelimporte sowie unter der Annahme durchgeführt worden, dass andere Emissions- bzw. Importquellen (z.B. mineralische N-Düngemittel) sich nicht verändern. Letztere Annahme ist durch die Zahlen von Abb.2.5, die eher stagnierende Importe an N-Düngern ausweist, untermauert.

<b>Erhöhte Emissionen (t CO<sub>2</sub>-Äq) aus:</b>	<b>Zunahme Milchkühe</b>	<b>Abnahme Fleischrinder</b>	<b>Zunahme netto</b>
Pansenfermentation	12.461	4.296	8.165
Lagerung von Gülle und Mist	2.689	547	2.142
Ausbringung organischer Dünger	992	157	834
Weidegang	1.105	270	836
Boden indirekt (Deposition und Auswaschung)	1.095	276	819
<b>Summe ohne Futtermittelimporte</b>	<b>18.342</b>	<b>5.546</b>	<b>12.796</b>
Futtermittelimporte	5.936	2.475	3.460
<b>Summe mit Futtermittelimporten</b>	<b>22.278</b>	<b>8.021</b>	<b>16.256</b>

**Tab.5.1: Erhöhte CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge eines Anstieges der Milchkühe bei gleichzeitigem Rückgang der Mutterkühe und der Mastbullen im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2015**

Setzt man die letzte Zahl (unten rechts in Gelb) im Bezug zu den bereits ermittelten Potentiale zur Reduzierung der THG-Emissionen aus den vorigen Kapiteln, dann wird deutlich (Tab.5.2), dass die Aufstockung des Milchviehbestandes große Anteile der Einsparungen ausgleichen würde. So zum Beispiel würde eine Erweiterung der nach den Richtlinien des Öko-Landbaus auf 10% der bewirtschafteten landwirtschaftlichen Fläche Luxemburgs durch die Netto-Zunahme der viehbedingten Emissionen um 69% (ohne Vorleistung) bzw. 38% (mit Vorleistung) wettgemacht.

<b>Summe Einsparungen durch:</b>	<b>t CO<sub>2</sub>-Äq*</b>	<b>%</b>	<b>t CO<sub>2</sub>-Äq**</b>	<b>%</b>
Reduzierung vom N-Saldo um 27 kg/ha	26.126	62%	51.114	32%
Erweiterung Bio-Fläche auf 10%	23.690	69%	42.898	38%
Erweiterung Bio-Fläche auf 20%	58.612	28%	106.132	15%
Verdoppelung der Biogasmenge	-	-	65.601	25%

*\*Ohne Berücksichtigung der Vorleistung;*

*\*\*Mit Berücksichtigung der Vorleistung*

**Tab.5.2: % Ausgleich der in dieser Studie berechneten Einsparungen an THG-Emissionen durch Anhebung des nationalen Milchviehbestandes bei gleichzeitigem Rückgang der Mutterkühe und der Mastbullen im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2015**

## 5.1 Fazit

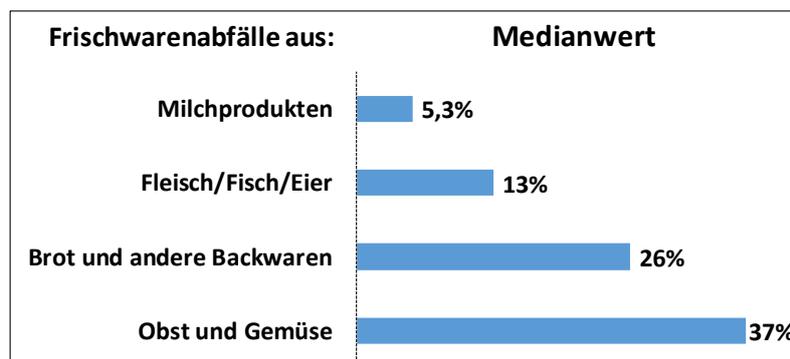
Schon auf dem Symposium Clean-Air-Dialog im Juni 2017 hat CONVIS darauf hingewiesen, dass zwischen der aktuellen Ausrichtung der Gemeinschaftlichen Agrarpolitik auf der einen Seite und den Zielen, die Ammoniakemissionen (hier stellvertretend für alle Emissionen aus der Tierhaltung) zu reduzieren auf der anderen Seite eine Diskrepanz vorhanden ist. Die Abschaffung der Milchquotenregelung in der EU führt unweigerlich dazu, dass der Intensivierungsdrang in der Milchproduktion zunimmt, was sowohl der Anstieg der Milchkühe einerseits als auch erhöhte Importe an Futtermitteln andererseits

als Konsequenz hat. Das Resultat sind unweigerlich höhere Treibhausgasemissionen aber auch Ammoniakemissionen, entgegen den Verpflichtungen des Landes. Die hier vorgelegten Zahlen belegen, dass auch ein Anstieg von weniger als 9% der Milchkühe -bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Rückgangs anderer Emissionsrelevanten Tierkategorien- in der Lage ist, große Anstrengungen im Bereich der Verbesserung der Klimabilanz außer Wirkung zu setzen. Es ist daher geboten, die agrar- und umweltpolitischen Ziele künftig besser aufeinander abzustimmen.

## 6. Abschätzung des Minderungspotentials an Treibhausgasemissionen durch Vermeidung von Lebensmittelabfällen

Im Jahr 2015 wurde eine Studie im Auftrag der Administration de l'Environnement mit Thema „Aufkommen, Behandlung und Vermeidung von Lebensmittelabfällen in Luxemburg“ fertiggestellt (ECO-CONSEIL Sarl 2015). In dieser Studie wurde festgestellt, dass landesweit jährlich ca. 68.000 t Lebensmittelabfälle aus den Bereichen Gastronomie, Handel, Großküchen und Privathaushalten aufkommen, und dass davon etwa 31.000 t vermeidbar wären. Das vorliegende Kapitel versucht, auf der Basis der Daten aus dieser Studie, eine Prognose zu tätigen, wie hoch eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen infolge der Vermeidung von Lebensmittelabfällen sein könnte.

Um eine Verbindung zwischen Vermeidung von Abfällen und möglicher Reduzierung von Treibhausgasemissionen herzustellen, ist es notwendig, die genaue Zusammensetzung der Abfälle zu kennen. Genau hier liegt die Schwierigkeit der Abschätzung, da solche Daten nur spärlich in der Studie zu finden sind. Es sei zunächst erwähnt, dass die vermeidbaren Abfälle zu 51,4% auf die Privathaushalte, 19,4% auf Großküchen, 14,5% auf den Gastronomiebereich und 14,4% auf den Handel fallen. Von diesen liegen allerdings lediglich für den Bereich Großküchen detaillierte Mengenangaben der Abfälle vor, und dies auch nur für die Frischware, die nicht mehr als ein Drittel der Abfälle aus diesem Bereich ausmacht. Im Kap. 2.4.1 der Studie, Seite 22, ist zu entnehmen, dass die Frischwarenabfälle folgende Zusammensetzung aufweisen:



**Abb.6.1: Zusammensetzung der Frischwarenabfälle im Großküchenbereich (ECO-CONSEIL Sarl 2015)**

Von den genannten vier Abfallkategorien ist lediglich für das Fleisch eine hinreichend genaue Herkunft und Aufteilung nach Unterkategorien vorhanden. Bei Obst und Gemüse ist anzunehmen, dass die Ware so gut wie komplett aus dem Ausland kommt, da die Inlanderzeugung dieser Waren sehr gering ist. Eine präzise Rekonstruktion der Mengen und der Herkunft der importierten Obst- und Gemüsearten in Anbetracht der großen Vielfalt an unterschiedlicher Ware und Herkunftsländern ist kaum möglich. Ähnliches gilt für Brot und andere Backwaren sowie für Milchprodukte. Um die Getreide- bzw. Milchmenge abzuschätzen, die für die Herstellung der Backwaren und Milchprodukte notwendig sind, wäre es nötig, die genaue Zusammensetzung der einzelnen Unterkategorien für diese Produkte im Abfall zu kennen. Dies deshalb, weil die Unterkategorien (als Beispiel seien hier Brot bzw. Nudeln im Fall von Backwaren, Käse bzw. Joghurt im Fall von Milchprodukten genannt) ganz unterschiedliche Rohmengen an Getreide und Milch zwecks ihrer Herstellung benötigen. Die Abfallstudie gibt aber diese Mengen nicht wieder. Außerdem müsste man den Auslandsanteil der Backwaren und der Milchprodukte kennen, um die Transportemissionen ermitteln zu können. Aus diesen Gründen werden für diese Waren

keine feste Prognosen gemacht. Lediglich für die Milchprodukte wird, wie für das Fleisch, eine Projektion auf der Basis von Annahmen gemacht.

Im Bereich Fleisch ist die Datengrundlage deutlich besser. Aus einer Studie der FAO (2012) ist zu entnehmen, dass der durchschnittliche Fleischkonsum in Luxemburg bei 136,5 kg pro Einwohner und Jahr liegt. Anhand dieser Zahl und unter Berücksichtigung der Einwohnerzahl im Jahr 2015 (576.000) ist es möglich, den Wert vom Fleischanteil im Abfall auf Plausibilität hin zu prüfen (Tab.6.1).

Berechnungsgröße	Wert (Einheit)
Fleischkonsum gesamt in Luxemburg (2015)	78,7 * 10 <sup>3</sup> (t)
Fleischabfall gesamt	8,8 * 10 <sup>3</sup> (t)
Fleischabfall gesamt in % von Konsum	11,2 (%)
Fleischabfall vermeidbar	4,0 * 10 <sup>3</sup> (t)
Fleischabfall vermeidbar in % von Konsum	5,1 (%)

**Tab.6.1: Ermittlung des vermeidbaren Anteils an Fleischabfällen in % des Gesamtkonsums auf der Basis des Fleischkonsums nach FAO (2012) und der Einwohnerzahl Luxemburgs im Jahr 2015**

Bei Anwendung eines Anteils an Fleisch im Abfall in Höhe von 13% (siehe Abb.6.1) beträgt der vermeidbare Anteil der Fleischabfälle in % des Gesamtkonsums 5,1%, ein Wert der realistisch erscheint.

Die genannte Studie der FAO (2012) gibt auch die Anteile der unterschiedlichen Fleischsorten wieder, die konsumiert werden. Demnach werden in Luxemburg jährlich 45,5 kg Schweinefleisch, 43,8 kg Rindfleisch, 39,8 kg Geflügelfleisch, 1,7 kg Fleisch von Ziege/Schaf/Lamm und 5,8 kg sonstiges Fleisch verbraucht. Bei Kumulierung der Mengen von Rind und Ziege/Schaf/Lamm einerseits (Wiederkäuer) sowie von Geflügel und sonstigem Fleisch andererseits, entstehen Anteile in gleicher Höhe (33%) von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch. Beim Rindfleisch wurde unterstellt, dass die Erzeugung zu 100% inländisch ist. Beim Schweinefleisch wurde gemäß STATEC ein Inlandanteil von 63% angenommen und beim Geflügel wurde ein Import in Höhe von 100% angesetzt. Weiter wurden Annahmen getroffen betreffend die Schlachtausbeute und den verwertbaren Anteil der Karkassen von Rind, Schwein und Geflügel, um die Emissionsfaktoren aus der Literatur (in kg CO<sub>2</sub>-Äq / kg Lebendgewicht) anwenden zu können. Im Einzelnen stellen sich die Berechnungsgrundlagen und die getroffenen Annahmen wie folgt dar:

- 1) kg CO<sub>2</sub>eq/kg Lebendgewicht:
  - 10,62 für Rinder (Lioy et al. 2014a). Bei den Rindern wurden ein Mix bestehend aus 75% Fleischrinder, 25% Milchrinder (Expertise CONVIS) unterstellt
  - 2,61 für Schweine (Lioy 2018, unveröffentlicht)
  - 2,63 für Geflügel (GEMIS 4.4)
- 2) Schlachtausbeute: 55% Rind, 80% Schwein, 75% Geflügel; verwertbarer Anteil der Karkassen von Rind und Schwein: 70%, von Geflügel 100% (Erfahrungswerte CONVIS)
- 3) Transportemissionen: 0,769 CO<sub>2</sub>-Äq pro km bei 40 t Vollast (PE International 2011)
- 4) Durchschnittliche Transportstecke: 500 km, entsprechend der Entfernung zw. Luxemburg und Niedersachsen

Die Treibhausgasemissionen aus der Erzeugung des sich im vermeidbaren Anteil der Abfälle befindenden Fleisches sowie deren Relation zum Wert des nationalen landwirtschaftlichen THG-Ausstoßes (NIV) gibt Tab.6.2 wieder.

<b>Emissionsposten</b>	<b>t CO<sub>2</sub>-Äq</b>
Rindfleisch + sonst. Wiederkäuer	37.009
Schweinefleisch Inland	3.947
Schweinefleisch Ausland	2.308
Geflügelfleisch + sonst. Fleisch (Ausland)	4.720
Transport Schweine (Auslandanteil)	17
Transport Geflügelfleisch (Ausland)	26
<b>Summe alle Posten</b>	<b>48.027</b>
<b>% vom NIV (689,5*10<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>-Äq)</b>	<b>7,0</b>

**Tab.6.2: THG-Minderungspotential das mit den vermeidbaren Fleischabfallmengen einhergeht**

Im Bereich Milch gibt es eine große Vielfalt an Produkten, die ganz unterschiedliche Mengen an Rohmilch zur deren Verarbeitung benötigen (diese variieren von 1 l Rohmilch für Frischmilch bis 14 l für Hartkäse). Um eine Ahnung zu bekommen, wie das Reduktionspotential über Vermeidung von Abfällen der Milchprodukte aussehen könnte, wurde unterstellt, dass alle Milchprodukte aus Frischkäse bestehen (dazu werden etwa 4 l Rohmilch benötigt) und dass die Milch zu 100% in Luxemburg erzeugt wird. Unter diesen Voraussetzungen und ausgehend von einem Anteil an Milchprodukten im vermeidbaren Teil der Lebensmittelabfälle von 5,3% (Abb.6.1) ergäben sich vermeidbare Emissionen in Höhe von 8.478 t CO<sub>2</sub>-Äq bzw. 1,2% der THG aus dem NIV. Als Emissionswert pro kg Milch wurde 1,29 kg CO<sub>2</sub>-Äq (Liroy et al. 2014a) angesetzt.

### 6.1 Fazit

Die Abschätzung des Minderungspotentials an Treibhausgasemissionen über die Vermeidung von Lebensmittelabfällen ist mit großen Unsicherheiten verbunden, da die Zusammensetzung der Abfälle sowie ihre Herkunft in vielen Fällen nur unzureichend genau oder gar nicht bekannt ist. Lediglich für das Fleisch ist eine Prognose durchführbar auf der Basis von vorhandenen Daten bzw. vorausgegangenen Studien. Ausgehend von den in diesem Kapitel getroffenen Annahmen und Datengrundlagen ergibt sich für diese Kategorie vermeidbarer Lebensmittelabfälle ein Einsparpotential in Höhe von rund 48.000 t CO<sub>2</sub>-Äq bzw. 7% der THG-Emissionen aus dem Nationalinventar. Es handelt sich durchaus um eine beträchtliche Emissionsmenge und soll die Bemühungen verstärken, die Verschwendungen beim Fleischkonsum drastisch zu reduzieren. Im Bereich Milch ist eine genaue Prognose nicht möglich, da die Typologie der Milchprodukte sehr verschieden ist und die dafür benötigte Rohmilch zwecks Herstellung ganz unterschiedlich sein kann. Eine Projektion auf der Basis von Milchprodukten im Abfall resultierend nur aus Frischkäse ergibt ein deutlich geringeres Emissionsminderungspotential als beim Fleisch. Man wiederholt an dieser Stelle, dass diese letzte Berechnung auf nicht verifizierbaren Annahmen beruht.

## 7. Erschließung weiterer Minderungspotentiale durch Synergien mit der Nutzung regenerativer Energien und dem LULUCF

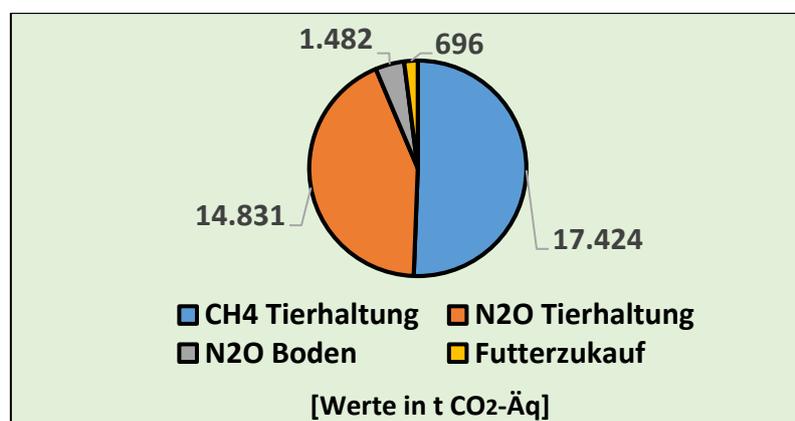
Ein in der Viehhaltung stark debattierter Sachverhalt ist die Reduzierung des Erstkalbealters der Kühe (sowohl Milch- als auch Mutterkühe), um die Anzahl der Aufzuchtrinder zu reduzieren, mit Entlastung sowohl auf der Ebene der Kosten als auch der Umwelt (Mißfeldt et al. 2017, Leonhard et al. 2013, Sutter 2006). Die Herabsenkung der Jungviehzahlen ist ausdrücklich als Maßnahme zur Senkung der Emissionen in der Landwirtschaft empfohlen (Mieleitner 2011).

Aus diesem Grund wurde CONVIS-intern geschätzt, welche Möglichkeiten bestehen, landesweit das Erstkalbealter (EKA) der Milch- und Mutterkühe zu reduzieren und diese als Basis für eine Abschätzung des Reduktionspotentials an Treibhausgasen zu tätigen, die mit einer entsprechenden Verringerung der Aufzuchtrinder einhergeht. Die interne Diskussion führte zum Ergebnis, dass im Bereich der Milch- kühe eine Herabsenkung des EKA von 30 auf 27 Monate und im Bereich der Mutterkühe von 35 auf 32 Monate durchaus machbar und als realistisches Ziel der Effizienzsteigerung in der Tierproduktion einzustufen ist. Dies würde eine Reduzierung der Aufzuchtrinder mit einem Alter über zwei Jahre in Höhe von 50% beim Milchvieh und von 36% bei den Fleischrindern bedeuten (Tab.7.1). Die Zahlen beziehen sich auf die Rinderbestände von 2016 und stammen aus dem SANITEL (2018).

	Anfangsbestand	Reduzierung EKA	Reduzierung %	Endbestand
<b>Weibl. Milchrin- der &gt;2J ohne Kalb</b>	12.670	von 30 auf 27 M.	50%	6.335
<b>Weibl. Fleischrin- der &gt;2J ohne Kalb</b>	9.898	von 35 auf 32 M.	36%	3.563

**Tab.7.1: Reduzierung der Aufzuchtrinder über zwei Jahre durch Verkürzung des Erstkalbealters**

Ausgehend von diesen Zahlen ist es möglich abzuschätzen, wie die Minderung an Treibhausgasen über die Reduzierung des Jungviehbestandes ausfallen würde. Es könnten auf diesem Weg **34.433 t CO<sub>2</sub>-Äq** eingespart werden, was knapp **5% des THG-Ausstoßes vom NIV (2017)** ausmacht. Die Aufteilung der Emissionen nach Posten ist Abb.7.1 zu entnehmen. Diese Einsparung gilt unter der Voraussetzung, dass der Mutter- und Milchkuhbestand unverändert bleibt.



**Abb.7.1: Posten der THG-Einsparung über die Reduzierung des Jungviehbestandes**

Die Reduzierung des Viehbestandes bringt auch das Freiwerden von Futterflächen mit sich. Da es sich um Jungvieh handelt, werden diese erfahrungsgemäß überwiegend mit Gras gefüttert (lediglich beim weiblichen Milchvieh kommt kurz vor dem Abkalben etwas Kraftfutter zum Einsatz). Ausgehend vom Trockensubstanzbedarf der weiblichen Rinder über zwei Jahre und bei einem durchschnittlichen Ertrag an Trockenmasse aus dem Feldfutter von 8 t/ha lässt sich eine **freiwerdende Fläche in Höhe von 4.064 ha** ermitteln. Hier sei ausdrücklich erwähnt, dass als freiwerdende Fläche gezielt Feldfutter, d.h. temporäres bzw. Rotationsgrünland betrachtet wurde. Im Gegensatz zum Dauergrünland, bei dem im Fall eines Umbruchs sehr viel CO<sub>2</sub> aus dem Boden freigesetzt würde, kann das temporäre Grünland unter dem Gesichtspunkt der CO<sub>2</sub>-Bilanz ohne Bedenken umgepflügt werden, weil es sich um Ackerboden handelt, der nur für eine kurze Zeit mit Gras bestellt war.

Bezüglich der Nutzung dieser Feldfutterflächen wurden 2 Szenarien aufgebaut:

- 1) Die freiwerdenden Flächen werden gänzlich für die Biogasproduktion verwendet. Die dadurch entstehenden Credits wurden entsprechend dem Ansatz im Teil 3 (Steigerung der Vergärung in Luxemburg) berechnet. Es wird angenommen, dass die Humusbilanz dieser Flächen ausgeglichen ist (d.h.: keine Emissionen und keine Credits).
- 2) In einem weiteren Szenario wurde simuliert, wie die Auswirkung auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz wäre, wenn die über die Reduzierung des Jungviehbestandes freiwerdenden Flächen nur zu einer Hälfte für die Biogasproduktion verwendet, die andere Hälfte mit *Miscanthus sinensis* (eine Kurzumtriebspflanze die sowohl energetisch als auch als Baustoff genutzt werden kann) angebaut würde.

Tab.7.2 fasst die Ergebnisse der zwei geschilderten Szenarien zusammen. Beim Anbau von *Miscanthus* wurde von einem durchschnittlichen Ertrag in Höhe von 10 t Frischmasse pro ha und Jahr ausgegangen (Erfahrungen aus Luxemburg berichten von Erträgen zwischen 7 und 15 t Frischmasse). Dieser Wert ist liegt etwas niedriger als in der Literatur (Strobl 2009, Thielen und Mutsch 2013), und erklärt sich durch die noch geringe Erfahrung mit dem Anbau dieser Kultur in Luxemburg. Als Brennwert wurde ein Wert von 4,3 kWh<sub>th</sub> pro kg FM (TFZ 2008) genommen. Neben den Credits aus der energetischen Nutzung der Biomasse wurde bei *Miscanthus* eine Speicherung von Kohlenstoff im Boden in Höhe von 1 t C/ha und Jahr (Stolzenburg 2009) unterstellt.

<b><u>Szenario 1</u></b>	<b><i>t CO<sub>2</sub>-Äq</i></b>	<b><i>% v. NIV</i></b>
Reduzierung Vieh (EKA)	34.433	
Freie Fläche 100% Biogas	63.646	
<b>Summe</b>	<b>98.079</b>	<b>14,2%</b>
<b><u>Szenario 2</u></b>		
Reduzierung Vieh (EKA)	34.433	
Freie Fläche 50% Biogas	31.823	
Freie Fläche 50% <i>Miscanthus</i>	36.782	
<b>Summe</b>	<b>103.038</b>	<b>14,9%</b>

**Tab.7.2: Erarbeitete Szenarien zur unterschiedlichen Verwendung der durch Reduzierung des Jungviehbestandes freiwerdenden Flächen**

## 7.1 Fazit

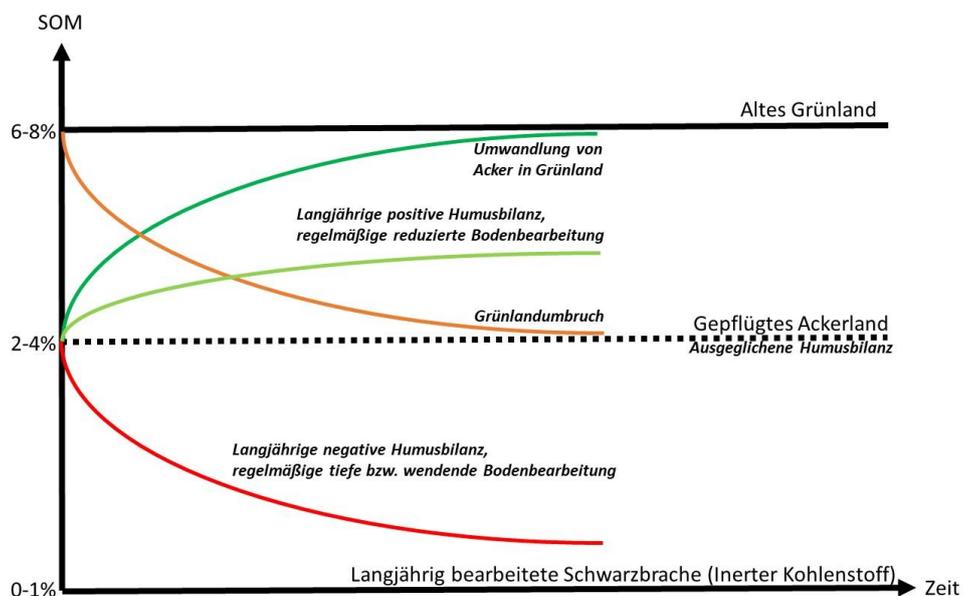
Das vorliegende Kapitel zeigt das Potential einer synergistischen Kopplung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in der Tierhaltung und der gleichzeitigen Generierung von Carbon Credits via regenerative Energien bzw. über Speicherung von Kohlenstoff im Boden. Im günstigsten Fall könnten bis zu 15% der Treibhausgasemissionen des landwirtschaftlichen Sektors Luxemburgs eingespart werden. Die angepeilte Reduzierung des EKA bei Aufzuchttrindern muss dennoch mit dem Gleichbleiben der anderen Viehzahlen einhergehen. Dies könnte insofern eintreten, da die Fläche für die Tierproduktion begrenzt ist und die Viehzahlen sich aus dem Grund nicht beliebig steigern lassen. Zur Reduzierung des EKA werden Anreize und eine gezielte Beratung für die Landwirte benötigt.

Die Energetische Nutzung der freiwerdenden Fläche kann sowohl über die Biogasschiene als auch über die Biomasseverbrennung (Miscanthus) erfolgen. Bei Biogas gibt es genug Erfahrung, um die energetische Nutzung der Biomasse, sowie im Kap. 4 geschildert, bewerkstelligen zu können. Anders verhält es sich mit dem Miscanthus. Hier liegen nur wenige Erfahrungswerte vor, so dass zum heutigen Zeitpunkt ein großflächiger Anbau dieser Kultur zwecks Biomasseverbrennung eher unwahrscheinlich erscheint. Dennoch, in Anbetracht des THG-Milderungspotentials wäre zu überlegen, die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass der Anbau von Miscanthus eine reizvolle Alternative für die Landwirte werden kann. Die Studie wird ohnehin vor dem Hintergrund der Reduzierung der Emissionen bis zum Zeithorizont von 2030 durchgeführt. Bis dahin könnten die Rahmenbedingungen günstig gelegt werden. Miscanthus kann außerdem auch für andere Zwecke verwendet werden (Einstreu, Mulch, sowie als Baustoff) und könnte auch aus diesem Grund interessant werden. Es liegen zurzeit schon erste Erfahrungen in Luxemburg mit der Verwendung von Miscanthus als Kunststoffersatz vor. Die Verwendung von Miscanthus als nachwachsender Rohstoff im Baubereich kann ebenso wie beim energetischen Einsatz dazu beitragen, Carbon Credits zu erzeugen. Dagegen müsste man im Fall einer Verwendung als Einstreu oder als Mulch die Reduzierung der Carbon Credits betrachten, die wegen einer geringeren Nutzung der Biomasse als Energieträger oder als Baustoff anfallen würden.

## 8. Abschätzung vom LULUCF und ihre Auswirkung auf die THG-Bilanz der Luxemburgischen Landwirtschaft

**Ziel und Geltungsbereich der Studie:** Die Studie soll helfen, abzuschätzen, wie der Kohlenstoffvorrat im Acker- und Grünlandboden sich infolge einer Änderung in der Landnutzung bzw. im Management der landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen ändern kann. Die ermittelten Zahlen sollen in Relation mit dem Treibhausgasausstoß der Luxemburgischen Landwirtschaft gesetzt werden. Der Geltungsbereich der Studie beschränkt sich auf Acker- und Grünlandböden. Keine Aussagen werden hinsichtlich Forstböden bzw. Böden unter Dauerkulturen gemacht. Auch wird keine Umwandlung von Forst- in Acker- bzw. Grünlandboden und umgekehrt berücksichtigt.

**Allgemeines.** Eine Landnutzungsänderung wie die Umwandlung von Grünland in Acker bringt gravierende Auswirkungen auf den Humusgehalt des Bodens mit sich. So ermittelten Donigian et al. 1994 dass ein Grünlandumbruch mit anschließender Ackerbewirtschaftung zum Abbau von mehr als 50% des ursprünglichen Kohlenstoffvorrates im Boden innerhalb von 50 Jahren führt. Umgekehrt führt eine Umwandlung von Acker- in Grünlandfläche zu einer Akkumulation an Kohlenstoff (Guo-Gifford 2002), wobei Intensität und Geschwindigkeit der Veränderung vom C-Vorrat im Boden im Fall von Umwandlung von Grünland in Acker stärker sind als umgekehrt. Neben den Änderungen in der Landnutzung spielen auch Bewirtschaftungsmaßnahmen eine große Rolle bei der Änderung vom C-Vorrat im Boden. Dies gilt gleichermaßen für Grünland und Acker, wobei, wie weiter unten gezeigt wird, die dadurch verursachten Einwirkungen im Ackerboden deutlich präziser beschrieben sind. Wichtig ist, dass Kohlenstoffakkumulation bzw. Kohlenstoffabbau nicht unendlich lange stattfinden können, da abhängig von Standortbedingungen wie Klima und Bodenbeschaffenheit eine Ober- und eine Untergrenze festzustellen sind. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass jede Akkumulation reversibel ist (Smith 2010), so dass bei Änderungen im Management bzw. bei der Landnutzung der Kohlenstoff wieder abgebaut bzw. aufgebaut werden kann. Abb.8.1 fasst die Richtung der Änderungen im Bodenhumus infolge von Änderungen in der Landnutzung und im Management zusammen. Die angegebenen Gehalte an Humus (SOM) sind indikativ und können abhängig vom Standort teilweise stark abweichen.



**Abb.8.1: Veränderungen des Humusgehaltes im Boden nach Änderung der Landnutzung und des Managements**

Die Studie betrachtet zunächst die zu erwartenden Veränderungen des C-Vorrates im Grünland- und Ackerboden infolge der Landnutzungsänderungen, um anschließend den Einfluss des Managements im Acker- und Grünlandbereich zu beschreiben.

### 8.1 Beurteilung der Emissionen und der Senken an Kohlenstoff durch Umwandlung von Dauergrünland in Acker und von Ackern in Dauergrünland

Die EU-Verordnungen Nr. 1307/2013, 639/2014, 651/2014 verpflichten alle Mitgliedstaaten zum Erhalt von Dauergrünland. Dabei wird als Referenzwert der Dauergrünlandanteil vom Jahr 2003 genommen. Dies hat Luxemburg im Rahmen des Règlement Grand-ducal Nr.175/2015 (Greeningprämie, Art. 22, 23 und 24) sowie des Règlement Grand-ducal Nr.188/2016 (Landschaftspflegeprämie, Art. 12 und 13) umgesetzt. Im Rahmen der genannten Reglements können lediglich in geringem Umfang, meistens nur für eine begrenzte Zeit und selten länger als 1 Jahr, Grünlandflächen umgebrochen werden. Nach der festgelegten Frist muss die Fläche wieder als Grünland eingesät werden. Unter diesen Bedingungen sind die zu erwartenden Emissionen aus dem Umbruch von Dauergrünlandflächen als gering einzustufen. Ebenso ist eine großflächige Umwandlung von Acker in Dauergrünland aus Gründen der Rentabilität nicht zu erwarten.

CONVIS hat dennoch die Emissionen und Senken über die genehmigten Umwandlungen von Dauergrünland in Acker (und umgekehrt) in die CO<sub>2</sub>-Bilanz der angeschlossenen Betriebe integriert. Als Basis für die Beurteilung der Kohlenstofffreisetzung infolge eines Umbruches bzw. der Kohlenstoffspeicherung infolge einer Neuanlage von Dauergrünland ausgehend von Ackerflächen dient die Arbeit von Guo&Gifford (2002), in der die Veränderung der Kohlenstoffvorräte bei Änderung der Landnutzung behandelt wurden. Des Weiteren wurden die Lachgasemissionen berücksichtigt, die bei einem Grünlandumbruch zu erwarten sind (Risoud&Theobald. 1999). Dadurch ergibt sich für die konventionellen Betriebe Luxemburgs im Schnitt der Jahre 2010 bis 2015 eine Netto-Emission (Unterschied zwischen Freisetzung und Speicherung) von 0,116 t CO<sub>2</sub>-Äq/ha (Tab.8.1).

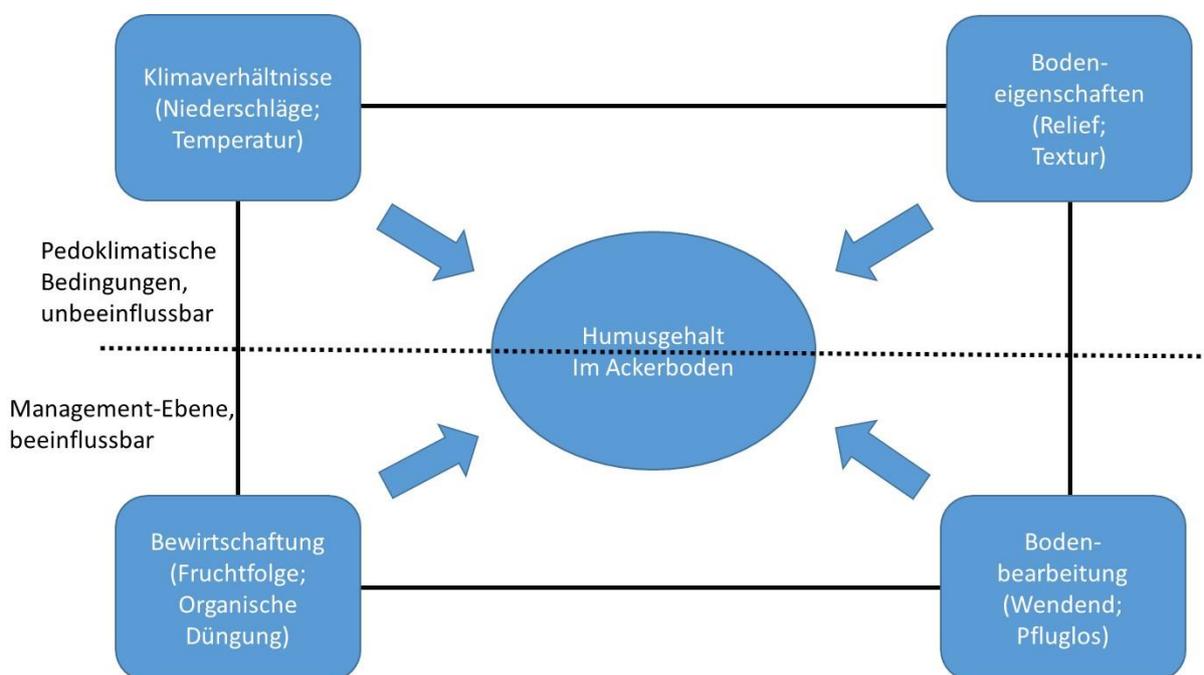
Freisetzung von CO <sub>2</sub> -Äq nach Grünlandumbruch	Speicherung von CO <sub>2</sub> -Äq nach Grünlandneuanlage	Bilanz (Netto-Emissionen)
0,136	0,020	0,116

**Tab.8.1: THG-Bilanz der Landnutzungsänderung für die konventionellen Betriebe in Luxemburg (Schnitt der Jahre 2010-2015, Werte in t CO<sub>2</sub>-Äq/ha)**

Hochgerechnet auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche der konventionellen Landwirtschaft (für die Bio-Landwirtschaft fehlen die Daten, wobei anzunehmen ist, dass dort kaum Grünland-Umbruch bzw. Landnutzungsänderung stattfindet) ergibt sich eine Netto-Emission in Höhe von **14,5 t CO<sub>2</sub>-Äq\*10<sup>3</sup> bzw. 2,1%** des Emissionsvolumens im Nationalinventar. Diese Emissionen können ohne Weiteres als geringfügig eingestuft werden und entstehen aus einer nahezu physiologischen Umwandlung der Grünlandflächen zwecks ihrer Erneuerung. Solange die obengenannte EU-Richtlinie in Kraft bleibt und in Luxemburg Anwendung findet, ist nicht mit einer Erhöhung der Emissionen zu rechnen und daher auch kein Handlungsbedarf auf diesem Gebiet erforderlich.

## 8.2 Möglichkeiten der Veränderungen vom C-Vorrat im Ackerboden im Fall von Ackerflächen, die als solche erhalten bleiben

**Präambel.** Der Humusgehalt (hier: Humus=organische Substanz des Bodens mit 58% C) im Ackerboden ist das Ergebnis von komplexen Wechselwirkungen zwischen pedo-klimatischen Bedingungen und managementbedingten Einflüssen. Bei den ersten kann man zwischen den bodenexternen Klimaverhältnissen (Niederschlag, Temperatur) und den Bodeneigenschaften (Korngröße, Relief) unterscheiden. Diese Gegebenheiten lassen sich durch die landwirtschaftliche Praxis nicht oder nur in sehr geringem Umfang beeinflussen. Dagegen können sowohl die Bodenbearbeitung (pfluglos oder wendend) als auch die Bewirtschaftung der Ackerböden (Fruchtfolgegestaltung, Art der organischen Düngung) den Humusgehalt entscheidend beeinflussen. In den folgenden zwei Abschnitten wird auf die Möglichkeiten und Grenzen der managementbedingten Veränderung des C-Vorrates in Ackerböden in Luxemburg eingegangen.



**Abb.8.2: Einflussgrößen des Humusgehaltes im Ackerboden**

### 8.2.1 Beurteilung der Veränderung des C-Vorrates in Ackerböden durch reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren

Um die Jahrhundertwende erschienen in der Literatur eine Reihe von Arbeiten (Reicoski 1997, Basch&Teebrügge 2001), die reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren als große Hoffnung im Kampf gegen die Klimaerwärmung schilderten. Dies weil diese Studien belegten, dass über sogenannte Minimum Tillage- (Mulchsaat) bzw. No Tillage-Verfahren (Direktsaat) der C-Gehalt in der Ackerkrume zunahm. Jahre später traten allerdings die ersten Zweifel hervor, und Arbeiten die im deutschsprachigen Raum durchgeführt wurden (Appel 2008, Müller et al. 2009) stellten zwar im Fall von Mulchsaat eine Zunahme an Kohlenstoff im oberen Bodenbereich fest, die Bilanzierung des gesamten Bodenprofils wies aber keine nennenswerte Veränderung des C-Gehaltes auf. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch französische Forscher (Pellerin et al. 2013, Chenu et al 2014). Schließlich bestätigte D.S. Powlson (2014) durch eine Auswertung von zahlreichen Bodenbearbeitungsversuchen weltweit, dass die Mulchsaat lediglich eine Umschichtung der organischen Substanz bewirkt, dass aber in der Summe

keine Akkumulation an Kohlenstoff im Boden stattfindet. Es sei hier noch erwähnt, dass, um einen Effekt der Anreicherung zu bekommen, müsste man die Böden kontinuierlich pfluglos bewirtschaften. In Luxemburg hat die ASTA das Mulchsaatprogramm so ausgelegt, dass die Landwirte, die am Programm teilnehmen, eine Mindestzahl an ha in Mulchsaatverfahren bewirtschaften müssen, diese aber nicht zwangsläufig dieselben sein müssen. Dadurch bleiben die positiven Eigenschaften der Mulchsaat für Boden und Ressourcenschonung (Erosionsschutz, Reduzierung des Treibstoffbedarfs) zwar bestehen, aber im Hinblick auf die Kohlenstoffspeicherung ist die Maßnahme bedeutungslos.

Im Fall der Direktsaat finden Pellerin et al. 2013 zwar Durchschnittsakkumulationen von 0,14 t C pro ha und Jahr, aber die Spannweite variiert von 0 bis 0,3 t abhängig vom Standort. Dem muss noch beigefügt werden, dass mit der Steigerung des Humusgehaltes im Boden auch die Gefahr von erhöhten N<sub>2</sub>O-Emissionen aus dem Boden steigt (Rochette 2008), so dass zumindest ein Teil der Vorteile über die Kohlenstoffspeicherung durch den Lachgasausstoß wegfallen würde. Ein anderer problematischer Aspekt der Direktsaat (noch mehr als bei der Mulchsaat) ist, dass bei diesem Anbauverfahren die Anwendung höherer Dosen von Totalherbiziden praktisch unausweichlich ist, um den Unkrautdruck in den Griff zu bekommen. Ganz abgesehen von der Diskussion über die Gefahr einer Anwendung von Glyphosat-haltigen Herbiziden für den Verbraucher, ist fraglich, ob solche Herbizide in Zukunft überhaupt noch zugelassen werden. Dies ist gekoppelt mit der Tatsache, dass die Direktsaat in Luxemburg nur selten praktiziert wird und dass sich nur wenige Standorte für deren Anwendung eignen.

Dies alles führt zum Schluss, dass das Potential für eine C-Speicherung im Boden via Direktsaat bzw. reduzierte Bodenbearbeitung im Lande entweder nicht vorhanden bzw. schwindend gering ist.

### **8.2.2 Beurteilung der Veränderung des C-Vorrates in Ackerböden durch die Humusbilanz nach Leithold et al. (1997) unter dem Blickwinkel der Initiative 4proMille**

Die Humusbilanzierung ist ein wertvolles Instrument zur Beurteilung der bewirtschaftungsbedingten Änderungen des Humusvorrates in Ackerböden. Diesbezüglich hat man sich in dieser Studie auf die Bilanzierungsmethode nach Leithold et al. (1997) gestützt. Diese berücksichtigt bei der Berechnung folgende Größen:

- Humusmenge, die von den humuszehrenden Kulturen (Getreide, Ölsaaten und Hackfrüchte) verbraucht wird.
- Humusmenge, die von den Humusmehrenden Kulturen (Feldfutter, Körnerleguminosen, Zwischenfrüchte) geliefert wird.
- Humusmenge, die über Erntereste sowie über Stroh im Boden verbleiben.
- Humusmenge, die über organische Dünger geliefert wird (Gülle, Stallmist, Kompost, Klärschlamm).

Als Basis für die Berechnung dient die **Humuseinheit (HE)**. Diese entspricht einer Tonne Humus mit 580 kg Kohlenstoff und 50 kg Stickstoff. Da der C-Gehalt vom Humus bekannt ist, ist es möglich, abzuschätzen, wie viel Kohlenstoff angereichert bzw. verloren gegangen ist. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Humusbilanz ein hohes Maß an Zuverlässigkeit aufweist, was die Richtung der Veränderung vom Humus in Boden angeht (Auf- oder Abbau). Was die quantitative Abschätzung der Veränderung angeht, kann diese abhängig vom Standort variieren und bedarf demnach einer Validation. Diese liegt zurzeit für Luxemburg nicht vor. Daher müssen die Ergebnisse unter diesem Vorbehalt betrachtet werden. Auch kann die Humusbilanz in eine CO<sub>2</sub>-Bilanz integriert werden (wie es bereits in der CONVIS-Methode der Fall ist), da man lediglich das Resultat von Kohlenstoff zu Kohlendioxid umrechnen muss.

Eine positive Humusbilanz stellt demnach eine CO<sub>2</sub>-Senke (Carbon Credit), eine negative Humusbilanz eine Emissionsquelle dar.

Zur Berechnung der Humuszehrung aus den Kulturen bzw. der Humusmehrung aus Kulturen, Ernteresten sowie organischen Düngern stehen Mineralisierungs- bzw. Humifizierungskoeffizienten zur Verfügung, die von den genannten Autoren aus langjährigen Feldversuchen abgeleitet worden sind. Die Humusbilanz kann entweder als Humussaldo (HE/ha) oder als Humusversorgungsgrad dargestellt werden. Im letzteren Fall wird die Humusmehrung als Prozentanteil der Humuszehrung (Humusbedarf der Fruchtfolge) ausgedrückt. Aus pflanzenbaulicher Sicht wird ein Versorgungsgrad von 100±10% angepeilt, was eine Ausgeglichene Humusbilanz darstellt. Möchte man über die Bewirtschaftung Humus im Boden akkumulieren, wie von der Initiative 4proMille der französischen Regierung (2015) gefordert, dann müssen deutlich höhere Versorgungsgrade angepeilt werden als 100%.

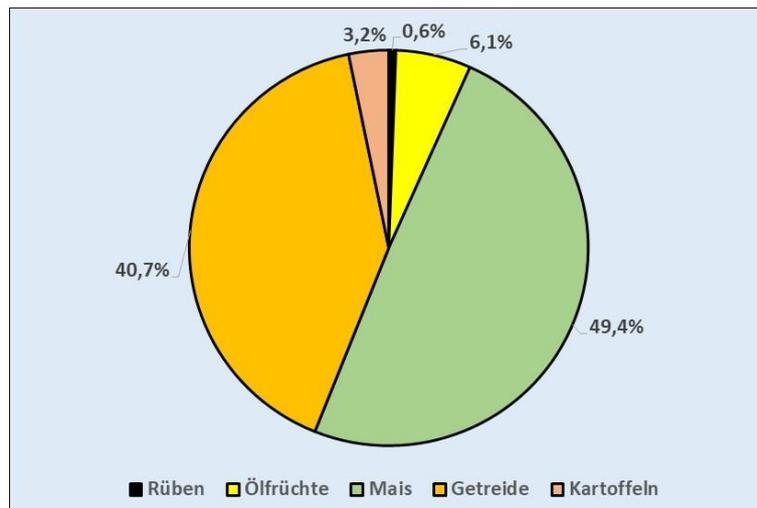
Die Berechnung der Humusbilanzen erfolgt bei CONVIS für 80% der Betriebe über den Düngeplan, der um die Jahreswende für die am Programm angeschlossenen Betriebe erstellt wird. Für weitere 20% der Betriebe, die bei CONVIS keinen Düngeplan durchführen, wurde im Rahmen eines Nachhaltigkeitsmonitorings mit Berechnung u.a. von Stickstoff- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen die Datenaufnahme so erweitert, dass eine Humusbilanzierung der Ackerflächen erfolgen kann. Die hier vorgelegten Ergebnisse stellen die Mittelwerte von etwa 400 Betrieben in den Jahren von 2010 bis 2016 dar, entsprechend rund 40% der Ackerfläche Luxemburgs.

Aus Tab.8.2 ist zu entnehmen, dass die Humusbilanz der von CONVIS bilanzierten Betriebe deutlich positiv ist und eine Akkumulation an Humus in Höhe von 0,33 t/ha aufweist.

Bilanzposten	Humuseinheiten (HE/ha)
<b>Humuszehrung</b> (durch Hauptfrüchte wie Mais, Getreide, Ölfrüchte, Rüben, Kartoffeln)	-0,71
<b>Humusmehrung</b> durch:	
-Hauptfrüchte wie Feldfutter, Klee gras, Luzerne, Körnerleguminosen	0,23
-Zwischenfrüchte inkl. eingearbeitete Erntereste	0,02
-Erntereste der Hauptfrüchte (Stroh)	0,06
-Feste organische Dünger (Stallmist, Klärschlamm, Kompost)	0,54
-Flüssige organische Dünger (Gülle, Jauche)	0,21
<b>Humusbilanz</b>	<b>0,33</b>

**Tab.8.2: Humusbilanz der von CONVIS bilanzierten Betriebe**

Die Humuszehrung der ausgewerteten Betriebe (Abb.8.3) wird fast zur Hälfte vom Silomaisanbau und für weitere 40% durch den Getreideanbau verursacht. Raps und andere Ölfrüchte tragen für 6% der Humuszehrung bei, Kartoffeln und Rüben für die restlichen 4%.



**Abb.8.3: Aufteilung der Humuszehrung nach Fruchtarten in %**

Bei der Humusmehrung durch die organischen Dünger (Tab.8.3) ragen besonders die Rindergülle (22%) und der Stallmist (mehr als 67%) heraus, von weitem gefolgt von der Biogasgülle. Die restlichen organischen Dünger (Schweinegülle, Jauche, flüssiger und fester Klärschlamm sowie Kompost) spielen bei der Humusmehrung eine sehr geringe Rolle.

Organische Dünger	% v. Humus
Rindergülle	22,0%
Biogasgülle	6,7%
Schweinegülle	1,2%
Jauche	0,4%
Klärschlamm (flüssig)	0,1%
<b>Zw.Summe</b>	<b>30%</b>
Stallmist	67,3%
Kompost	1,1%
Klärschlamm (fest)	1,1%
<b>Zw.Summe</b>	<b>70%</b>
<b>Summe alle</b>	<b>100%</b>

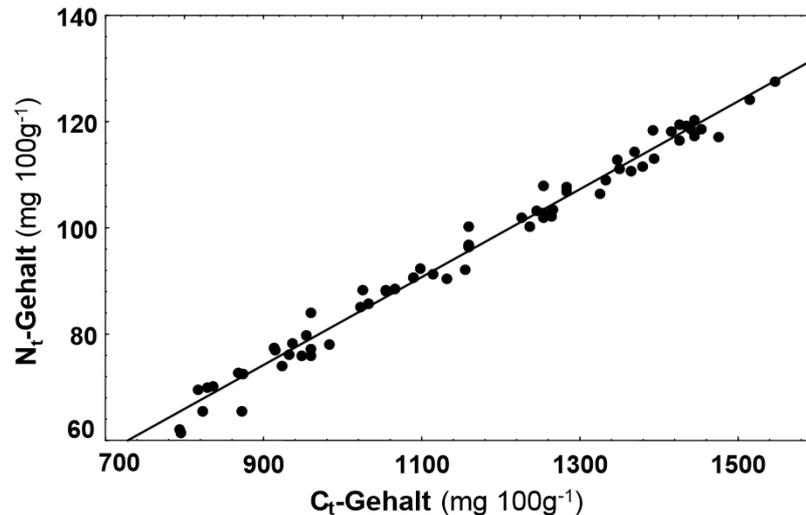
**Tab.8.3: Aufteilung der Humuslieferung durch die unterschiedlichen organischen Dünger**

Ausgehend von einem C-Gehalt im Humus von 58% ist es möglich abzuschätzen, wie hoch die über die Humusbilanz ermittelte Anreicherung gemessen am Ziel einer angepeilten jährlichen Anreicherung von 4 pro Mille zu beurteilen ist. Dabei geht man von einem durchschnittlichen Vorrat in den Ackerböden Luxemburgs von knapp 77 t/ha (Stevens et al. 2014) aus, so dass bei 4 pro Mille eine Anreicherung an Kohlenstoff im Boden in Höhe von 0,31 t erfolgen soll. Tab. 8.4 fasst die Vergleichszahlen zusammen.

Berechnungsposten	Einheit	Wert
Erzielte Humusanreicherung (Mittel)	t HE/ha	0,33
Erzielte Anreicherung an Kohlenstoff (Mittel)	t C/ha	0,19
Erforderliche C-Anreicherung (4 pro Mille)	t C/ha	0,31
Ist-Wert in % vom Erforderlichen	%	61%
Erreichte Leistung in pro Mille	‰	2,5

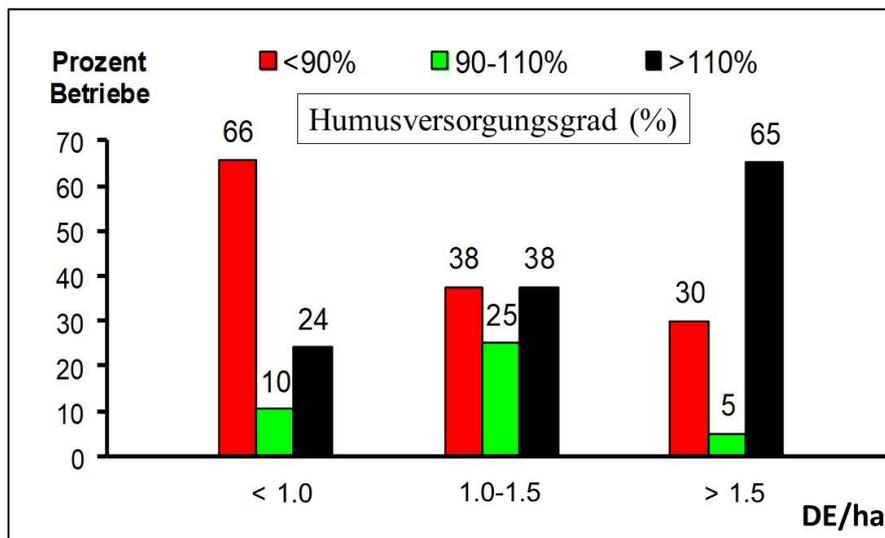
**Tab.8.4: Humusbilanz der bilanzierten Betriebe gemessen am 4proMille-Ziel**

Die geleistete Anreicherung beträgt lediglich 61% des vorgegebenen Zielwertes bzw. 2,5 pro Mille des durchschnittlichen luxemburgischen Kohlenstoffvorrates im Ackerboden anstelle der nach der Forderung der französischen Regierung angepeilten 4. Bei einer Humuszehrung von im Schnitt 0,71 HE/ha (0,41 t C/ha) müsste man einen Humusversorgungsgrad von 144% bzw. eine durchschnittliche Humusbilanz von 1,02 HE/ha erzielen, um das 4 pro Mille-Ziel zu erreichen. Wie aber Abb.8.4 zeigt, beim Steigen des C-Vorrates steigt unweigerlich auch der N-Vorrat, was in Übereinstimmung mit der Definition von Humuseinheit mit 50 kg N ist. Dies bedeutet, dass eine C-Akkumulation, wie die von der französischen Regierung vorgeschlagen wird, nur mit hohen Stickstoffüberschüssen zu erzielen ist, was aber aus Umweltgründen (Nitratauswaschung und Ammoniakverluste, siehe auch Kap.2) sehr problematisch ist.



**Abb.8.4: Korrelation zwischen Kohlenstoff und Stickstoffgehalt im Boden (nach Hülsbergen 2003)**

Ein weiterer Hinweis, dass eine zu hohe Humusbilanz mit Umweltproblemen gekoppelt sein kann liefert Abb.8.5. Dort ist der Zusammenhang zwischen Höhe der Humusbilanz und Viehbesatzdichte der Betriebe dargestellt. Erwartungsgemäß steigt der Versorgungsgrad an Humus mit aufsteigendem Viehbesatz, sowie ein niedriger Viehbesatz die Wahrscheinlichkeit einer Unterversorgung mit Humus erhöht. Hohe Viehdichten können zwar die Humusbilanz leichter verbessern, führen aber bekanntlich zu höheren NH<sub>3</sub>- und THG-Emissionen.



**Abb.8.5: Zusammenhang zwischen Humusbilanzergebnis und Viehbesatzdichte**

Weiterhin kann man sagen, dass die ausgewerteten Betriebe eine überdurchschnittliche Viehbesatzdichte ( $\cong 1,3$  DE/ha gegenüber dem luxemburgischen Landesschnitt von 1,17) aufweisen, und bauen darüber hinaus viele Humusmehrende Früchte (Feldfutter, Luzerne, Klee gras und Körnerleguminosen sowie Zwischenfrüchte) auf ihren Ackerböden an. Dies sind eher günstige Bedingungen, um eine starke Anreicherung von Humus im Ackerboden zu erzielen. Trotzdem bleiben die ausgewerteten Betriebe deutlich unter dem 4 pro Mille-Ziel.

Eine weitere Verbesserung der Humusbilanz wäre nur bei Reduzierung des Maisanteils in der Fruchtfolge (unrentable Maßnahme) bzw. über eine Steigerung des Stallmistanteils in der organischen Düngung zu erzielen. Besonders letztere Maßnahme ist aus Umweltgründen (Erhöhung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen und erhöhte Gefahr von Nitrat-Auswaschung) wiederum nicht empfehlenswert. Aus diesen Gründen ist unter heutigen Bedingungen eine Anreicherung an Kohlenstoff im Ackerboden in Höhe von 4 pro Mille weder realistisch noch förderlich.

Abschließend kann man sagen, dass bei einer durchschnittlichen Anreicherung an Kohlenstoff im Ackerboden in Höhe von 0,19 t pro ha und Jahr (siehe oben) Carbon Credits in Höhe von **30,8 t \*10<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>-Äq** generiert werden. Dies entspricht 4,5% des landesweiten landwirtschaftlichen THG-Ausstoß laut NIV (2017).

### **8.3 Beurteilung der Veränderung des C-Vorrates in Grünlandböden im Fall von Grünlandflächen, die als solche erhalten bleiben**

Die Veränderungen des C-Vorrates in Grünlandböden infolge des Managements sind nur wenig bzw. unzureichend untersucht. Dies hängt mit der Tatsache zusammen, dass oft Grünland auf marginalen Standorten vorhanden ist und dass die wirtschaftliche Relevanz von Ackerböden größer ist. Dennoch, seit dem der Klimawandel im Bewusstsein der Öffentlichkeit an Relevanz gewonnen hat, werden Grünlandböden intensiv nach den Ursachen und nach den Drivern von Veränderungen untersucht.

Generell lässt sich sagen, dass die Gehalte an Kohlenstoff im Grünlandboden höher sind als die vom Ackerboden. Dies liegt vor allem an der Tatsache, dass der Boden unter Grünland nicht bearbeitet wird und somit sein Humus gegen den Abbau, der immer ein aerober Prozess ist, geschützt ist. Dies führt dazu, dass unter Grünlandbedingungen die Böden tendenziell Humus akkumulieren bis zu einem

standortbedingten Maximum. Für Grünlandböden fern von diesem Maximum-Wert könnten die Anreicherungsrate beträchtlich sein, wobei die Geschwindigkeit der Anreicherung mit der Näherung an den Maximum-Wert abnimmt. Die FAO (2010) nennt als Schnitt der Anreicherung für europäisches Grünland einen Wert von 0,52 t C pro ha und Jahr. Klumpp (2014) geht ihrerseits von Anreicherungs-raten von 0,7 t C pro ha und Jahr aus, wobei in ihrer Arbeit eine Spannweite von -5,04 bis +2,53 t C pro ha abhängig vom Standort angegeben wird.

Klumpp (2014) präzisiert auch, dass die genannte Anreicherung bei einer mittleren Bewirtschaftungsintensität des Grünlandes gültig ist, und dass sowohl extensives Grünland (zu geringe Erzeugung von Biomasse) als auch intensives Grünland (zu starke Abfuhr von Biomasse) eine deutlich geringere Speicherung von Kohlenstoff im Boden erlauben. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen hinsichtlich der mittleren Intensität (Düngemittleinsatz und Viehdichte) als Bedingung für eine starke Senke-Funktion des Grünlandes kommen auch Ward et al. (2016).

Die Ergebnisse aus der Literatur lassen sich qualitativ wie in Tab.8.6 zusammenfassen.

Grünland		Bewirtschaftungsintensität		
		EXTENSIV	MITTELINTENSIV	INTENSIV
Alter	ALT	- / 0	+	0 / -
	MITTELALT	0	++	+
	JUNG	+	+++	++
+ = C-Anreicherung; 0 = C-Gleichgewicht; - = C-Abbau				

**Abb.8.6: Qualitative Darstellung der Änderungen im C-Vorrat unter Grünland in Funktion vom Alter und der Bewirtschaftungsintensität**

Damit wird aber auch das Problem im Hinblick auf eine Beurteilung des Grünlandes als Senke für Treibhausgasen in der Luxemburgischen Landwirtschaft klar umrissen. Neben der genauen Definition vom Grünlandalter bzw. der Grünlandintensität aus der Literatur fehlen für Luxemburg genaue Daten hinsichtlich des Alters der Grünlandflächen. Eine absolute Beschreibung der Intensität der Luxemburger Betriebe im Hinblick auf ihre Wirtschaftsweise ist zwar möglich, aber die Einteilung in extensiv, mittelintensiv und intensiv wäre zwangsläufig von der landesweiten Intensität abhängig. Neben dem kämen noch Standortfaktoren infrage, die nach einer Validierung der prognostizierten C-Veränderungen im Boden verlangen würden. Unter diesen Umständen ist eine hinreichend genaue Prognose der C-Speicherung im Luxemburger Grünlandboden nicht möglich.

An dieser Stelle wird lediglich darauf hingewiesen, um ein Maß des Potentials zu bekommen, das im Grünlandboden steckt, dass bei einer durchschnittlichen Anreicherung von Kohlenstoff im Grünlandboden in Höhe von 0,52 t pro ha und Jahr (gemäß FAO 2010) Carbon Credits in Höhe von knapp 89,8 t

\* $10^3$  CO<sub>2</sub>-Äq generiert werden könnten. Dies entspricht 13,0% des landesweiten NIV. Weiter wird darauf hingewiesen, dass eine Anreicherung in Höhe des genannten FAO-Wertes eine jährliche Steigerung des C-Stocks im Luxemburger Grünland (Stevens et al. 2014) in Höhe von 4,8 pro Mille bedeuten würde. Dies liegt über das Ziel der Initiative 4proMille der französischen Regierung.

#### **8.4 Beurteilung des Beitrages von Hecken zur Milderung der Klimawirkung der Luxemburger Landwirtschaft und Abschätzung deren Beitragssteigerung bis 2030**

Hecken sind bekanntlich wertvolle Landschaftselemente, die wichtige ökologische Funktionen wie Verbesserung der Wasserqualität, Reduzierung des Hochwasserrisikos, Verringerung der Bodenerosion, Reduzierung von Schädlingsbefall, Verbesserung der Bestäubung von Pflanzen, Bereitstellung eines Mikrohabitats für Pflanzen und Tiere (Arten- und Biodiversitätsschutz), Klimaschutz und städtische Luftqualität erfüllen. Bezüglich der letztgenannten Eigenschaften kommen sie durchaus in Frage im Hinblick auf die Abmilderung der Klimawirkung der Landwirtschaft, da die dadurch erwirkte Kohlenstoffsequestrierung im Boden wie in der Biomasse in der Lage ist, Carbon Credits zu generieren.

In der Literatur finden sich mittlerweile mehrere Arbeiten, die das Kohlenstoffspeichervermögen von Hecken im Boden belegen. So berichten Arrouays et al. (2002) von zusätzlichen Raten an Kohlenstoff im Boden in Höhe von 125 kg C pro 100 lm (Linearmeter) Hecken jährlich. Im britischen Raum wird auch von zum Teil viel höheren Speicherungsraten im Boden unter Hecken berichtet und zwar zwischen 200 und 750 kg C pro 100 lm pro Jahr (Axe 2018, Taylor et al. 2010, Falloon et al. 2004). Dem Abtrag an Material zwecks Verwendung als Brennstoff muss aber Rechnung getragen werden und somit von den höheren Werten abgezogen werden. Dazu kommt noch, dass Großbritannien als Ganzes ein generell viel feuchteres Klima hat, was die Akkumulation an Kohlenstoff im Boden eher begünstigt, als dies in Luxemburg und Frankreich der Fall ist. Aus diesen Gründen wurde für die Beurteilung des C-Speichervermögens der Hecken im Boden den Wert von Arrouays et al. (2002) zurückbehalten. Die Leistung der Hecken als CO<sub>2</sub>-Senke ergibt sich demnach durch die Multiplikation der Linearmeter (lm) mal dem Speicherfaktor. Die Häckenlänge (3816 linear km landesweit an Hecken) stammt von der ASTA (2016) und beruft sich auf die von den Landwirten im Rahmen des Flächenantrags deklarierten Hecken als ökologische Vorrangfläche.

Neben den im Boden gespeicherten Mengen an Kohlenstoff müssen die Kohlenstoffmengen berücksichtigt werden, die bei der Verbrennung der Holzschnittmengen als Carbon Credits angerechnet werden können. Die Hecken werden nämlich periodisch auf den Stock zurückgeschnitten und in Luxemburg besteht mittlerweile eine kapillare Sammlung des Materials aus der Landschaftspflege zwecks energetischer Verwertung. Innerhalb der kommenden zwei Jahre soll die gesamte Holzmenge aus dem Heckenschneiden in Luxemburg einer inländischen energetischen Verwertung zugefügt werden (MBR 2018). Eine im Auftrag der Administration de l'Environnement im Auftrag gegebene Studie hat diesbezüglich die Mengen an CO<sub>2</sub> berechnet, die bei einer thermischen Verwertung des Heckenschnittguts nach Abzug aller Vorleistungen eingespart werden (IGLUX 2017). Demnach fallen jährlich etwa 800 t brennstofffähigen Holzschnitts aus der Landschaftspflege an, die bei einer Substitution von Erdöl als Brennstoff eine Einsparung von 640 t CO<sub>2</sub>-Äq ermöglichen würden.

Insgesamt ergeben sich aus der Summe der im Boden gespeicherten C-Mengen und der über den Substitutionswert von Heizöl vermiedenen Emissionen jährlich insgesamt 13,4 \* $10^3$  t CO<sub>2</sub>-Äq. Das sind

knapp 2% des landesweiten THG-Ausstoßes durch die Landwirtschaft laut NIV (2017). Tab.8.5 fasst die genannten Speicherungspotentiale der Hecken in Luxemburg zusammen.

Zurzeit bestehen Bestrebungen, die Linearmeter Hecken in Luxemburg zu mehrten. Diesbezüglich plant man, zwecks Herstellung von Korridoren für den Schutz der Wildkatze, mit einer zusätzlichen Anlage von 30 linear km Hecken (SICONA 2014). Weiter sind langfristig im Rahmen des Plan national concernant la protection de la nature (2017), Maßnahme „Bocages avec prairies et pâtures mésophiles voire sèches“, Neuanlagen von Hecken in Höhe von 250 linear km landesweit vorgesehen. Dies wäre ein Anstieg der linear km Hecken in Luxemburg von 7,3% bezogen auf den aktuellen Heckenbestand. Entsprechend müssen vor dem zeitlichen Horizont von 2030 die aktuellen Zahlen um diese 7,3% gesteigert werden: Die Gesamtspeicherung würde dann landesweit 14.252 t CO<sub>2</sub>-Äq betragen (Tab.8.5). Eine solche Mehrung mag gering erscheinen, muss aber vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die Neuanlage der Hecken nicht nur rein quantitativ beurteilt werden muss, sondern viel mehr qualitativ, da die Hecken an passender Stelle und in der opportunen Form (z.B. mit Lücken) angelegt werden müssen. Nur so können sie nämlich ihre volle Wirkung als Artenschutzraum entfalten.

Beschreibung	Ansatzwert	CO <sub>2</sub> -Speicherung (t CO <sub>2</sub> -Äq)
Hecken landesweit	3.816 linear km	12.736 (Boden)
Brennstoff aus Schnittgut	800 t/Jahr	640 (Einsparung Heizöl/Jahr)
<b>Carbon Credits gesamt aktuell</b>		<b>13.376</b>
<b>Carbon Credits gesamt 2030 (+7,3%)</b>		<b>14.352</b>

**Tab.8.5: Zusammenfassung des CO<sub>2</sub>-Speicherungspotentials durch Hecken**

### 8.5 Fazit

- Luxemburg hat sich per Gesetz verpflichtet, seine Grünlandflächen zu erhalten. Nur in Ausnahmefällen und unter Genehmigung dürfen Grünlandflächen in Acker umgewandelt werden. und dies bereits unter der Vorlage, nach einem Jahr diese wieder als Grünland anzulegen. Solange diese Regelung bestehen bleibt, ist nicht mit nennenswerten Emissionen bzw. Änderungen des C-Vorrates in Grünland- und Ackerböden durch Änderung der Landnutzung zu rechnen.
- Neueren Erkenntnissen aus der Literatur zufolge sind keine Nennenswerten Veränderungen des C-Vorrates bei Anwendung der Mulchsaat (oberflächige Bodenbearbeitung) zu erwarten. Eine gewisse Speicherung von Kohlenstoff im Boden unter Direktsaat (Unterlassung jeglicher Bearbeitung) wäre zwar möglich, viele Standorte in Luxemburg wären aber nicht dafür geeignet. Außerdem funktioniert das Verfahren nur unter Verwendung höherer Dosen von Totalherbiziden. Vor dem Hintergrund eines möglichen Verbotes in der Zukunft von Glyphosat-haltigen Herbiziden erscheint die Anwendung der Direktsaat in Luxemburg eher als unwahrscheinlich.
- Im Schnitt von 7 Jahren (2010 bis 2016) und unter Berücksichtigung der Humusbilanzen von landwirtschaftlichen Betrieben Luxemburgs mit insgesamt 40% der Ackerfläche des Landes haben die ausgewerteten Betriebe 0,33 t Humus bzw. 0,19 t Kohlenstoff pro ha und Jahr ange-

reichert. Gemessen am Ziel einer jährlichen Anreicherung von 4 pro Mille (wie von der französischen Regierung gefordert) bei einem durchschnittlichen Vorrat in den Ackerböden Luxemburgs von knapp 77 t/ha (Stevens et al. 2014) beträgt die geleistete Anreicherung lediglich 61% des vorgegebenen Zielwertes bzw. 2,5 pro Mille. Eine Höhere Anreicherung an C im Boden ist aus Umweltgründen problematisch, weil sie wahrscheinlich mit zu hohen Stickstoffüberschüssen verbunden wäre.

- Es wurde gezeigt, dass anhand vorhandener Kenntnisse keine sichere Prognose bzgl. der Richtung einer Veränderung des C-Vorrates unter Grünland möglich ist. Es werden daher keine Prognosen zu managementbedingten Veränderungen im Kohlenstoffvorrat von Grünlandböden gemacht. Weitere Forschungen könnten dabei helfen, den Beitrag des Grünlandbodens zur Entlastung der Klimabilanz der luxemburgischen Landwirtschaft zu beleuchten.
- Hecken erfüllen in der Landschaft eine Reihe positiver ökologischer Funktionen und führen unter Anderem zu Kohlenstoffspeicherung im Boden sowie in der Biomasse. Letztere kann energetisch verwertet werden und daher zur Einsparung an fossilen Brennstoffen wie Heizöl oder Erdgas beitragen. Es wurde geschätzt, dass sich die aktuelle jährlich Kohlenstoffspeicherung durch Hecken auf knapp 13,4 t CO<sub>2</sub>-Äq beläuft, die bis zum Horizont von 2030 um weitere 7,3% erweitert werden können, da im Rahmen verschiedener Naturschutzprogramme die Neuanlage von Hecken geplant ist. Die Neuanlage von Hecken muss vorrangig vor dem Hintergrund des Artenschutzes beurteilt werden, die Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Äq ist eher als eine positive Nebenwirkung zu betrachten

## 9. Übersicht und Abschlussbewertung der in der Studie festgestellten Minderungs- bzw. Verbesserungspotentiale bis 2030

Tab.9.1 fasst die einzelnen Minderungs- bzw. Verbesserungspotentiale zusammen und stellt sie in Relation zueinander und zur Höhe der Emissionen aus der Landwirtschaft aus dem nationalen Emissionsinventar (NIV). Es wird deutlich, dass die erarbeiteten Szenarien zur Verbesserung der Klimabilanz sehr unterschiedlich sind, dies nicht nur im Hinblick auf die absoluten Zahlen der Verbesserung, sondern auch bezüglich der Zusammensetzung der interessierten Bereiche der gesamten Klimabilanz. Fast alle Szenarien führen neben der Reduzierung der Treibhausgase im landwirtschaftlichen Sektor auch zu Minderemissionen im vorgelagerten Bereich, der im NIV anderen Wirtschaftszweigen als die Landwirtschaft zugeordnet wird. Darüber hinaus sind Szenarien, die mit der Erzeugung regenerativer Energien (Biogas, Miscanthusanbau) oder mit dem LULUCF-Bereich zusammenhängen (Humusmehrung im Boden und Mehrung von Hecken) in der Lage, beträchtliche Mengen an Carbon Credits zu erzeugen. Dies unterstreicht, dass die Reduzierung der Klimawirkung der Landwirtschaft ein vielschichtiges Unterfangen ist, und dass nur die gesamte CO<sub>2</sub>-Bilanz als Indikator geeignet ist, sie zu erfassen und zu beschreiben.

Lfd. Nr.	Bearbeitetes Szenario	Reduzierung THG Landwirtschaft	Reduzierung THG in % des NIV	Reduzierung THG Vorlagerung	Ezeugung Credits	Verbesserung CO <sub>2</sub> -Bilanz
1	Verringerung N-Saldo und NH <sub>3</sub> -Emissionen	26.126	3,8%	24.988	0	51.114
2a	Steigerung Bio auf 10% LN	23.690	3,4%	19.208	0	42.898
2b	Steigerung Bio auf 20% LN	58.612	8,5%	47.520	0	106.132
3	Steigerung Biogasproduktion	3.982	0,6%	1.684	59.935	65.601
4	Erhöhung Milchviehzahlen	-12.796	-1,9%	-3.460	0	-16.256
5	Reduzierung Fleischabfälle	24.515	3,6%	23.512	0	48.027
6a	Synergie Reduzierung Jungvieh mit Biogas (100%)	33.737	4,9%	3.847	60.495	98.079
6a	Reduz. Jungvieh mit Biogas (50%) u. Miscanthus (50%)	33.737	4,9%	2.937	66.364	103.038
7a	Humusbilanz Acker	0	0,0%	0	30.800	30.800
7b	Beitrag Hecken (mit Mehrung)	0	0,0%	0	14.352	14.352

**Tab.9.1: Zusammenfassung der für die betrachteten Szenarien berechneten Minderungs- bzw. Verbesserungspotentiale in t CO<sub>2</sub>-Äq bis 2030**

Diese Übersicht wird durch eine qualitative Bewertung der Plausibilität der Umsetzbarkeit aller vorgelegten Szenarien vor dem vorgegebenen zeitlichen Horizont (2030) erweitert (Tab.9.2) Mit Ausnahme der Punkte 4 (Erhöhung des Milchkuhbestandes) und 7a (Verbesserung der Klimabilanz über Verbesserung der Humusbilanz der Ackerflächen) wurde die Realisierung der in dieser Studie für die einzelnen Bereiche geschätzten Minderungs- bzw. Verbesserungspotentiale mit einer Schwierigkeitsnote von 1 bis 4 bewertet. Die Bewertung ist notwendigerweise subjektiv und ist filtriert durch die langjährige Erfahrung mit der Beratung von Landwirten in Umweltfragen. Bei vielen Punkten wird klar, dass nur ein Bündel von Maßnahmen die Umsetzbarkeit der geschätzten Minderungspotentiale gewährleisten

kann. Dieses Bündel setzt seinerseits voraus, dass alle betroffenen Akteure (Agrar- und Umweltministerium mit angeschlossenen Verwaltungseinrichtungen, Berater und Landwirte sowie, wie im Fall der Abfallvermeidung, die gesamte Bevölkerung) an einen Strang ziehen. Die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft ist nämlich eine Gesellschaftsaufgabe, wie bereits im Ansatz des bereits im Februar 2018 stattgefundenen **Climate Innovation Lab** klar zu erkennen ist. Diese Erkenntnis ist die wichtigste Voraussetzung für die Verwirklichung der hier dargestellten Minderungs- und Verbesserungspotentiale.

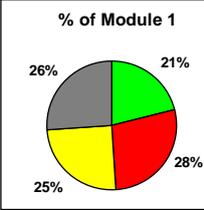
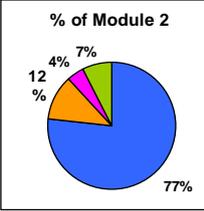
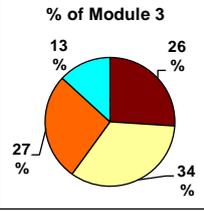
Lfd. Nr.	Einsparungen bzw. Veränderung durch:	Beurteilung der Umsetzbarkeit	Notwendige Maßnahmen
1	Reduzierung vom N-Saldo um 27 kg/ha	3	Gesetzlicher und Beratungsaufwand
2a	Erweiterung der Bio-Fläche auf 10%	4	Anreize für konventionelle extensive Betriebe
2b	Erweiterung der Bio-Fläche auf 20%	2	Starke Anreize auch für Mittelintensive Betriebe
3	Verdoppelung der Biogasmenge	3	Förderung der Biogasproduktion (Bau neuer Anlagen und Vergütung von Biogasstrom und-Wärme)
4	Steigerung der Milchkuhzahlen im Folge der Liberalisierung der Milchmengen	5	Zur Vermeidung erhöhter Emissionen Harmonisierung zwischen GAP und EU-Umweltzielen
5	Vermeidung von Lebensmittelabfällen (Fleisch)	4	Sensibilisierung der Bevölkerung, des Handels und von Gaststättengewerben
6a	Synergien EKA-Biogaserzeugung	3	Beratungsaufwand, Sensibilisierung der Landwirte, Förderung der Biogasproduktion
6b	Synergien EKA-Biogaserzeugung-Miscanthusanbau	1	Beratungsaufwand, Sensibilisierung der Landwirte., Förderung der Biogas- und Miscanthus-Produktion
7a	Positive Humusbilanz Acker 2,5 pro Mille	5	Keine, bereits erfolgte Umsetzung in der Praxis. Weitere Steigerung möglicherweise mit Umweltproblemen verbunden
7b	Mehrung Hecken	3	Sensibilisierung der Landwirte und Anreize für Landwirtschaftsbetriebe

**Tab.9.2: Übersicht der Einsparpotentiale der in diese Studie behandelten Bereiche zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Luxemburgischen Landwirtschaft**

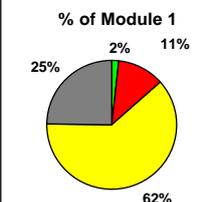
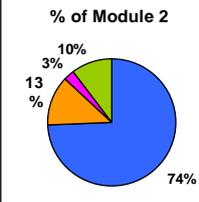
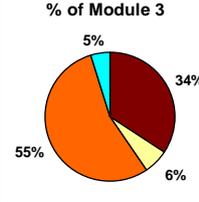
**Bewertungsskala: 1=sehr schwierig; 2=schwierig; 3=mittelschwer; 4=relativ einfach; 5=bereits umgesetzt, weitere Steigerung nicht förderlich**

## ANHANG

### A.1: Emissionsinventar, Carbon Credits und CO<sub>2</sub>-Bilanz des konventionellen Modellbetriebes

Emission voices	kg CO <sub>2</sub> /ha	kg CH <sub>4</sub> /ha	kg N <sub>2</sub> O/ha	t CO <sub>2</sub> -eq/ha	% of total emissions
Fertilizers	304,5	0,1	1,1	0,63	7,3
Feedstuffs	511,0	4,6	0,7	0,83	9,6
Electricity, fuel, mashine work	714,3	0,5	0,0	0,74	8,6
Other prod. means, investitions	409,1	7,3	0,6	0,78	9,0
<b>Module 1 : production means (total)</b>	<b>1.938,9</b>	<b>12,4</b>	<b>2,4</b>	<b>2,98</b>	<b>34,5</b>
					
Enteric fermentation, stable emissions	-	122,6	-	3,06	35,5
Storage of slurry and farm yard manure	-	12,2	0,5	0,46	5,3
Spreading organic manure	-	0,1	0,6	0,17	2,0
Grazing	-	0,1	1,0	0,30	3,4
<b>Module 2 : animal husbandry (total)</b>	<b>-</b>	<b>134,9</b>	<b>2,1</b>	<b>3,99</b>	<b>46,2</b>
					
Soil emissions	-	-	1,5	0,43	5,0
Mineral N-fertilization, urea, liming	62,6	-	1,7	0,57	6,6
Fuel combustion	443,3	0,0	0,0	0,45	5,2
Crop residues, humus depletion	190,5	-	0,1	0,22	2,5
<b>Module 3 : crop production (total)</b>	<b>696,4</b>	<b>0,0</b>	<b>3,3</b>	<b>1,67</b>	<b>19,3</b>
					
<b>Total GHG emissions</b>	<b>2.635,3</b>	<b>147,4</b>	<b>7,8</b>	<b>8,64</b>	<b>100</b>
Biofuel (rape)	39,1	-	-	0,04	
Biogas-heat	49,7	-	-	0,05	
Biogas-electricity	422,3	-	-	0,42	
Conversion of cropland in grasland	19,4	-	-	0,02	
Positive humus-balance	330,0	-	-	0,33	
<b>Total Carbon Credits</b>	<b>860,5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,86</b>	
<b>Total CO<sub>2</sub>-Balance</b>	<b>1.774,8</b>	<b>147,4</b>	<b>7,8</b>	<b>7,28</b>	

## A.2: Emissionsinventar, Carbon Credits und CO<sub>2</sub>-Bilanz des biologischen Modellbetriebes

Emission voices	kg CO <sub>2</sub> /ha	kg CH <sub>4</sub> /ha	kg N <sub>2</sub> O/ha	t CO <sub>2</sub> -eq/ha	% of total emissions
Fertilizers	13,5	0,0	0,0	0,01	0,4
Feedstuffs	65,1	0,4	0,1	0,09	2,5
Electricity, fuel, mashine work	471,8	0,3	0,0	0,49	13,0
Other prod. means, investitions	90,0	1,9	0,2	0,20	5,2
<b>Module 1 : production means (total)</b>	<b>640,4</b>	<b>2,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,79</b>	<b>21,1</b>
					
Enteric fermentation	-	72,6	-	1,81	48,3
Storage of slurry and farm yard manure	-	9,9	0,2	0,31	8,2
Spreading organic manure	-	0,0	0,2	0,07	1,8
Grazing	-	0,1	0,8	0,25	6,7
<b>Module 2 : animal husbandry (total)</b>	<b>-</b>	<b>82,6</b>	<b>1,3</b>	<b>2,44</b>	<b>64,9</b>
					
Soil emissions	-	-	0,6	0,18	4,8
Mineral N-fertilization, urea, liming	32,8	-	0,0	0,03	0,9
Fuel combustion	283,9	0,0	0,0	0,29	7,7
Crop residues, humus depletion	0,0	-	0,1	0,03	0,7
<b>Module 3 : crop production (total)</b>	<b>316,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,53</b>	<b>14,0</b>
					
<b>Total GHG emissions</b>	<b>957,2</b>	<b>85,1</b>	<b>2,3</b>	<b>3,76</b>	<b>100</b>
Positive humus-balance	1.098,9	-	-	1,10	
<b>Total Carbon Credits</b>	<b>1.098,9</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,10</b>	
<b>Total CO<sub>2</sub>-Balance</b>	<b>-141,8</b>	<b>85,1</b>	<b>2,3</b>	<b>2,35</b>	

## LITERATUR

[Zitierte und Weiterführende Arbeiten]<sup>1</sup>

**ADMINISTRATION DES SERVICES TECHNIQUES DE L'AGRICULTURE - SERVICE SIG (2016):** Elektronische Mitteilung von Herrn Eric Munster

**AGRI-FOOTPRINT DATABASE (2016):** <http://www.agri-footprint.com/author/blonk/>

**APPEL T., BERG V., LAUFER O., BAI M. (2008):** Bewirkt die konservierende Bodenbearbeitung eine Sequestrierung von Kohlenstoff im Boden? VDLUFA (Hrsg). Kongressband 2008. Bd. 64. Darmstadt: VDLUFA-Verlag 2008 S. 519 – 528

**ARROUAYS D., BALESSENT J., GERMONT J.C., JAYET P.A., SOUSSANA J.F., STENGEL P. (2002):** Stocker du carbone dans les sols agricoles en France? Expertise collective de l'INRA à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. <http://inra.dam.front.pad.brainsonic.com/ressources/afile/225457-0ac43-resource-rapport-final-en-francais.html#page=165&zoom=auto,-270,581>

**AXE M. (2018):** Utilising hedgerows for landscape scale carbon sequestration

**BANNINK, A.; HINDLE V. A. (2003):** Prediction of N intake and N-excretion by dairy cows from milk data (in dutch). Report 03 0008567, Animal sciences Group Lelystad

**BASCH, G., TEBRÜGGE F. (2001):** The Importance of conservation tillage with regard to the Kyoto protocol, Proceedings of the International Meeting on climate change and the Kyoto protocol in Evora (Portugal), 15-16.11.2001

**CHENU C., KLUMPP K., BISPO A., ANGERS D., COLNENNE C., METAY A. (2014):** Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. Innovations Agronomiques 37 (2014), 23-37

**DIRECTIVE (EU) 2016/2284 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 14 décembre 2016** concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques, modifiant la directive 2003/35/ce et abrogeant la directive 2001/81/ce. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&from=FR>

**DONIGIAN, JR., A., T. BARNWELL, JR., R. JACKSON, A. PATWARDHAN, K. WEINRICH, A. ROWELL, R. CHINNASWAMY, C. COLE. (1994):** Assessment of alternative management practices and policies affecting soil carbon in agroecosystems of the central united states. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/R-94/067

**ECO-CONSEIL Sarl (2015):** Aufkommen, Behandlung und Vermeidung von Lebensmittelabfällen im Großherzogtum Luxemburg . Studie im Auftrag der Administration de l'Environnement - Division des Déchets. [http://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/offall\\_a\\_ressourcen/gaspillage-alimentaire/studie-lebensmittelabfalle.pdf](http://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/offall_a_ressourcen/gaspillage-alimentaire/studie-lebensmittelabfalle.pdf)

**ECOINVENT (2009):** The Live Cycle Inventory Data Version July 2009. <https://www.ecoinvent.org/>

- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2015)** – Factsheet. Häufig gestellte Fragen: Ende der Milchquoten. [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-15-4697 de.pdf](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-4697_de.pdf)
- EU VERORDNUNG Nr. 1307/2013:** <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:347:0608:0670:DE:PDF>
- EU-VERORDNUNG Nr. 639/2014:** [https://www.ama.at/getattachment/8791af28-625c-4b1c-9eba-98d694803cfb/08\\_Vo639\\_2014.pdf](https://www.ama.at/getattachment/8791af28-625c-4b1c-9eba-98d694803cfb/08_Vo639_2014.pdf)
- EU-VERORDNUNG Nr. 641/2014:** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0641&from=DE>
- FALLOON, P., POWLSON, D., SMITH, P. (2004):** Managing field margins for biodiversity and carbon sequestration: a Great Britain case study. *Soil Use and Management* 20 : 240-247
- FAO (2010):** Grassland carbon sequestration: management, policy and economics. Proceedings of the Workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change. Rome, April 2009
- FAO (2012):** Zitiert aus dem Economist <https://www.economist.com/graphic-detail/2012/04/30/kings-of-the-carnivores> sowie aus dem Tageblatt <http://www.tageblatt.lu/nachrichten/luxemburg-ist-fleisch-weltmeister-18763102/>
- GEMIS (2007):** Handbuch zu GEMIS 4.4. - <http://www.gemis.de/g44handbuch.07.pdf>
- GUO L.B., GIFFORD R.M. (2002):** Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, Volume 8, Issue 4, pages 345–360
- HAENEL H-D, RÖSEMANN C, DÄMMGEN U, PODDEY E, FREIBAUER A, WULF S, EURICH-MENDEN B, DÖHLER H, SCHREINER C, BAUER B, OSTERBURG B (2014)** Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2012 : report on methods and data (RMD) submission 2014. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 348 p, Thünen Rep 17
- HÜLSBERGEN (2003):** Düngungsversuch Seehausen. In: Die Humusbilanzen unserer Böden 9. Schlägler Biogespräche: „Humus – Träger des Lebens“, 16.11.2012. [http://www.ooe-landwirtschaftsschulen.at/Mediendateien/Schlaegl%20Dokumente/nachl\\_huelsenbergen\\_2012.pdf](http://www.ooe-landwirtschaftsschulen.at/Mediendateien/Schlaegl%20Dokumente/nachl_huelsenbergen_2012.pdf)
- IBLA/FiBL (2011):** Vergleichende ökonomisch-ökologische Analyse von biologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben in Luxemburg („öko-öko“) [http://ibla.lu/res/uploads/2016/07/Vgl\\_biologisch\\_konventionelle\\_Betriebe.pdf](http://ibla.lu/res/uploads/2016/07/Vgl_biologisch_konventionelle_Betriebe.pdf)
- IGLUX (2017):** Landesweite Potentialstudie zur energetischen Nutzung holziger Biomasse. Studie im Auftrag der Administration de l’Environnement. Autor: H. Dorstewitz. [https://environnement.public.lu/dam-assets/documents/offall\\_a\\_ressourcen/d%C3%A9chets-verdure/Potentialstudie-Biomasse-IGLux.pdf](https://environnement.public.lu/dam-assets/documents/offall_a_ressourcen/d%C3%A9chets-verdure/Potentialstudie-Biomasse-IGLux.pdf)
- IPCC (2006):** Greenhouse gas inventory. Reference manual, Volume 4. Agriculture, Forestry and other land use (AFOLU). <https://www.ipcc.ch/meetings/session25/doc4a4b/vol4.pdf>
- KALTSCHMIDT, M., REINHARDT, G. (HRSG.) (1997):** Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Vieweg Verlag

- KIRCHGESSNER, M., WINDISCH, W., MÜLLER, H.L., AND KREUZER, M. (1991a):** Release of methane and of carbon dioxide by dairy cattle. *Agribiol. Res.* 1991; 44: 91
- KIRCHGESSNER, M., KREUZER, M., MÜLLER, H.L., AND WINDISCH, W. (1991b):** Release of methane and of carbon dioxide by the *pig*, *Agribiol. Res.* 1991, 44, 103
- KLUMPP K. (2016):** Impact du climat et des pratiques agricoles sur le stockage de carbone en prairies permanentes. [http://www.gembloux.ulg.ac.be/wp-content/uploads/2016/06/16\\_10\\_Klumpp.pdf](http://www.gembloux.ulg.ac.be/wp-content/uploads/2016/06/16_10_Klumpp.pdf)
- KTBL (2005):** Dieselkraftstoffbedarf bei landwirtschaftlichen Arbeiten. KTBL-Heft 58
- KTBL (2008):** Klimawandel und Ökolandbau. KTBL-Tagung, 1-2 Dezember 2008, Göttingen. Tagungsband, ISBN 978-3-939371-71-7
- KUPPER T., MENZI H. (2013):** Technische Parameter Modell Agrammon. <https://www.agrammon.ch/assets/Downloads/Technische-Parameter-20130814.pdf>
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SALZBURG (2017):** Heutrocknung von A bis Z. [https://www.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2017.07.19%2F1500463390719491.pdf&rn=heubroschuere\\_kittl\\_galler\\_internet.pdf](https://www.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2017.07.19%2F1500463390719491.pdf&rn=heubroschuere_kittl_galler_internet.pdf)
- LE GOUVERNEMENT FRANÇAIS – MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE (2015):** Initiative quatre per mille. <https://www.4p1000.org/fr>
- LE GOUVERNEMENT LUXEMBOURGEOIS (2017):** Luxembourg's National Inventory Report 1990-2015. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Version 1.2: Luxembourg, 15 April 2017
- LE GOUVERNEMENT LUXEMBOURGEOIS (2018):** Rapport d'activité 2017 du Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des consommateurs. <https://gouvernement.lu/fr/publications/rapport-activite/minist-agriculture-viticulture-protection-consommateurs/rapport-activite-2017-magri.html>
- LEITHOLD G., HÜLSBERGEN K.-J., MICHEL D., SCHÖNMEIER, H. (1997):** Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: DIEPENBROCK W., KALTSCHMITT M., NIEBERG H., REINHARDT G. (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Zeller Verlag Osnabrück, 43-55
- LIEBETRAU J., REINELT T., CLEMENS J., HAFERMANN C., FRIEHE J. AND WEILAND P. (2013):** Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. *Water Science & Technology* | 67.6 | 2013
- LIOY R., M. WEBER, T. DUSSELDORF, M. HOFFMANN, D. KLÖCKER (2001):** Hoftor- und Flächenbilanzen als Beratungsinstrumente zur Kontrolle der Nährstoffüberschüsse. 113. VDLUFA-Kongress, Kurzfassung des Vortrages im Tagungsband
- LIOY, R., ALBERS, J., DUSSELDORF, T., HOFFMANN, M., KLÖCKER, D. (2002):** Zielwerte der Nachhaltigkeit für Nährstoff-, Humus- und Energiebilanzen von landwirtschaftlichen Betrieben in Luxemburg. VDLUFA-Tagungsband 2002, Kurzfassung der Referate, S. 20-21

- LIOY R., DUSSELDORF T., KLÖCKER D., MEYERS A., REDING R. (2004):** „Der Futterautarkiegrad: Ein ganzheitliches Beratungsinstrument für Rinderbetriebe?“ 116. VDLUFAKongress in Rostock (D), 13. bis 17.09.2004, Im Tagungsband
- LIOY R., DUSSELDORF T., KLÖCKER D., MEYERS A., REDING R. (2005):** Kreislaufwirtschaft und Landwirtschaft in Luxemburg im Spannungsfeld zwischen N-Verlusten und Ressourcenschonung. 117. VDLUFA-Kongress, 27-30 September 2005 in Bonn, Kurzfassung der Referate im Tagungsband, S. 19
- LIOY R. (2008):** Stickstoffbilanz. Die Berechnung des neuen Soll-Saldos für die Stickstoffbilanz. De lëtzebuerger Züchter, 5/2008, SS. 58-60
- LIOY R., REDING R. (2008).** 'Abschlussbericht zum NEBplus-Beratungsprojekt: Verbesserung der biologischen Effizienz der landwirtschaftlichen Betriebe und Entwicklung wichtiger, praxisorientierter Kriterien zur Bewertung der ökologischen und sozioökonomischen Nachhaltigkeit (2002-2007)'. [https://www.convis.lu/fileadmin/data/departments/Beratung-neu/ForschungNachhaltigkeit/1\\_NEBplus-Abschlussbericht.pdf](https://www.convis.lu/fileadmin/data/departments/Beratung-neu/ForschungNachhaltigkeit/1_NEBplus-Abschlussbericht.pdf)
- LIOY R. (2009):** Treibhausgasemissionen und Bindung von Kohlenstoff Luxemburger Landwirtschaftsbetriebe: Methoden, Ergebnisse, Verbesserungspotentiale. 121. VDLUFA-Kongress, 15.-18.09.2009 Karlsruhe (im Tagungsband)
- LIOY R., REDING R., DUSSELDORF T. MEIER, A. (2012a):** CO<sub>2</sub>-emissions of 63 luxembourg livestock farms: a combined environmental and efficiency analysis approach. EMILI-Congress (Emission of Gas and Dust from Livestock) – Saint-Malo, France – June 10-13, 2012, Abstracts
- LIOY R., RABIER F., ECHEVARRIA L., CAILLAUD D., REDING R., PAUL C., STILMANT D. (2012b).** Analyse de la variabilité des émissions de GES pour des systèmes d'élevages de la Région transfrontalière Lorraine-Luxembourg-Wallonie. Rencontres Recherche Ruminantes 2012, 19. 29-32.
- LIOY R., DUSSELDORF T., KLOECKER D., FRIEDEN L., MEIER A., TURMES S., REDING R. (2014a):** TEP-agro-Zwischenbericht. Bericht zu den Projektjahren 2008 – 2013. [https://www.convis.lu/fileadmin/data/departments/Beratung-neu/ForschungNachhaltigkeit/TEPagro\\_Zwischenbericht\\_2008-2013.pdf](https://www.convis.lu/fileadmin/data/departments/Beratung-neu/ForschungNachhaltigkeit/TEPagro_Zwischenbericht_2008-2013.pdf)
- LIOY R., DUSSELDORF T., MEIER, A., REDING R., TURMES S. (2014b):** Carbon footprint and energy consumption of Luxembourgish dairy farms. 11. IFSA symposium, Berlin 1-4 April 2014 , Abstracts
- LIOY R., MEIER, A., DUSSELDORF T., REDING R., THIRIFAY C. (2016):** Sustainability assessment in Luxembourgish dairy production by CONVIS: A tool to improve both environmental and economical performance of dairy farms. The 12th IFSA Symposium 2016 Harper Adams University, UK on 12-15 July 2016, Abstracts
- LEONHARD N., KOCH C., ROMBERG F.-J.; RIEDE C., STIER C.H. (2013):** Das optimale Erstkalbealter – Praxisdaten aus Rheinland-Pfalz. [http://www.dlr.rlp.de/internet/global/themen.nsf/747270cf8f15f0d1c1257abb0030380e/c929fa858d072aa4c1257b720041527a/\\$FILE/Erstkalbealter\\_Praxisdaten\\_RLP\\_2013.pdf](http://www.dlr.rlp.de/internet/global/themen.nsf/747270cf8f15f0d1c1257abb0030380e/c929fa858d072aa4c1257b720041527a/$FILE/Erstkalbealter_Praxisdaten_RLP_2013.pdf)

- LUKEHURST C. T., FROST P, AL SEADI T. (2010):** Utilisation of digestate from biogas plants as biofertilizer. IEA Bioenergy. [https://energiatalgud.ee/img\\_auth.php/4/46/IEA Bioenergy. Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. 2010.pdf](https://energiatalgud.ee/img_auth.php/4/46/IEA_Bioenergy_Utilisation_of_digestate_from_biogas_plants_as_biofertiliser_2010.pdf)
- MBR (2018):** Persönliche Mitteilung von Mme Louise Frieseisen
- MIELEITNER J., BAUMGARTNER D., GAILLARD G. (2011):** Qualitative Evaluation von Maßnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen von Landwirtschaftsbetrieben. <https://www.google.com/search?q=Mieleitner+agroscope+qualitative&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>
- MISSFELDT, F., DOLENC V., UND KRÜGER S. (2017):** Frühes Abkalben bringt mehr Milch. Top-Agrar 7/2017
- MÜLLER, M., SCHAFFLÜTZEL, R., CHERVET, A, STURNY, W. G., ZIHLMANN U., WEISSKOPF P. (2009):** Humusgehalte stiegen nicht wie erwartet : Vergleich der Humusgehalte nach 12 Jahren Direktsaat und Pflug. Landwirtschaft ohne Pflug, 7, 2009, 29-33.
- PATYK A., REINHARDT, G. (1997):** Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen. Vieweg Verlag
- PE INTERNATIONAL (2011):** Energiebedarfs- und Emissionsvergleich von LKW und Bahn im Güterfernverkehr. Abschlussbericht der Studie im Auftrag des Verbandes der Automobilindustrie (VDA). <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/energiebedarfs--und-emissionsvergleich-von-lkw-und-bahn-im-g-ter.html>
- PELLERIN S., BAMIÈRE L., ANGERS D., BELINE F., BENOIT M., BUTAULT J.P., CHENU C., COLNENNE-DAVID C., DE CARA S., DELAME N., DOREAU M., DUPRAZ P., FAVERDIN P., GARCIA-LAUNAY F., HASSOUNA M., HENAUT C., JEUFFROY M.H., KLUMPP K., METAY A., MORAN D., RECOUS S., SAMSON E., SAVINI I., PARDON L., (2013):** Quelle contribution de l’agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre? Potentiel d’atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d’étude, INRA (France), 92 p.
- PLAN NATIONAL CONCERNANT LA PROTECTION DE LA NATURE (2017):** <http://legilux.pu-blic.lu/eli/etat/leg/dgc/2017/01/13/a194/jo>
- POWLSON D.S., STIRLING C.M., JAT M.L., GERARD B.G., PALM C.A., SANCHEZ P.A., CASSMAN K.G. (2014):** Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. Nature Climate Change 4:678–683
- RAHMANN G., K. AULRICH, K. BARTH, H. BÖHM, R. KOOPMANN, R. OPPERMANN, H. M. PAULSEN UND F. WEISSMANN /(2008):** Klimarelevanz des Ökologischen Landbaus - Stand des Wissens. Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research 1/2 2008 (58):71-89
- REGLEMENT GRAND-DUCAL DU 30 NOVEMBRE 2007 CONCERNANT LA PERFORMANCE ENERGÉTIQUE DES BATIMENTS D’HABITATION (2007):** <http://data.legilux.pu-blic.lu/eli/etat/leg/rgd/2007/11/30/n7/jo>
- REGLEMENT GRAN-DUCAL Nr.175/2015:** <http://legilux.pu-blic.lu/eli/etat/leg/rgd/2015/07/30/n5/jo#blank>

- REGLEMENT GRAN-DUCAL Nr.188/2016:** <http://data.legilux.public.lu/file/eli-etat-leg-memorial-2016-188-fr-pdf.pdf>
- REICOSKI D.C. (1997):** Tillage-induced CO<sub>2</sub>-emissions from soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems 1997; 49: 273-85.
- RISOUD, B., THEOBALD, O. (1999):** Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et son pouvoir de réchauffement global. ADEME – ENESAD (Dép. Économie et Sociologie), Dijon
- ROCHETTE P. (2008):** No-till only increases N<sub>2</sub>O emissions in poorly aerated soils. Soil Till. Res. Vol. 101 97-100.
- SANITEL (2018):** Persönliche Mitteilung von Mme Jeanne Bormann (ASTA).
- SERVICE D'ECONOMIE RURALE (2015):** Durchführung in Luxemburg der Cross Compliance im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik. Anhang II: Berechnung der Düngeeinheiten, S. 156
- SICONA (2014):** Plan d'action espèces – Chat sauvage. Studie im Auftrag des MDDI. Autoren: Dr. S. Schneider, F. Sowa. [https://environnement.public.lu/dam-assets/documents/natur/plan\\_action\\_especes/felides\\_chat\\_sauvage.pdf](https://environnement.public.lu/dam-assets/documents/natur/plan_action_especes/felides_chat_sauvage.pdf)
- SMITH P. (2010):** Carbon sequestration in agricultural soils – A global perspective. [https://www.fibl.org/fileadmin/documents/de/news/2012/calas/4\\_CaLas2011\\_Smith.pdf](https://www.fibl.org/fileadmin/documents/de/news/2012/calas/4_CaLas2011_Smith.pdf)
- SMITH P., POWLSON D., GLENDINING M., SMITH J. (1997):** Potential for carbon sequestration in european soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. Global Change Biology (1997) 3, 67-69
- SUTTER F. (2006):** Optimales Erstkalbealter von Aufzuchttrindern ausökonomischer und physiologischer Sicht. 33. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 26. - 27. April 2006, 11-17. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning. <https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/44-viehwirtschaftstagung-2006/10-optimales-erstkalbealter-sutter.html>
- STOLL J., M. HOFFMANN, R. LIOY, A. MEYERS, N. SCHMIT-MEYERS, M. WEBER (2000):** New criteria to caraterize sustainability in farm animal husbandry. Tagungsband der ICAR-Tagung 14-19 Mai 2000 (Bled, Slowenien), 211-216
- STOLZENBURG K. (2013):** Bewertung des Anbaus von KUP und Miscanthus aus Sicht des Boden-, Wasser und Klimaschutzes. KUP-Tagung, 20.März 2013 [https://www.google.com/search?client=firefox-b&ei=nwE2W\\_2yL9GdsAfjlegAQ&q=C+boden+Miscanthus&oq=C+boden+Miscanthus&gs\\_l=psy-ab.3...3952.3952.0.4487.1.1.0.0.0.0.53.53.1.1.0...0...1c.1.64.psy-ab..0.0.0...0.6J7BFqAm4Lw](https://www.google.com/search?client=firefox-b&ei=nwE2W_2yL9GdsAfjlegAQ&q=C+boden+Miscanthus&oq=C+boden+Miscanthus&gs_l=psy-ab.3...3952.3952.0.4487.1.1.0.0.0.0.53.53.1.1.0...0...1c.1.64.psy-ab..0.0.0...0.6J7BFqAm4Lw)
- STEVENS A., VAN WESEMAEL B., MARX S., LEYDET L. (2014):** Mapping Topsoil Organic Carbon Stocks in Grand-Duchy of Luxembourg. <https://agriculture.public.lu/content/dam/agriculture/publications/asta/boden/rapport-corg-stock-map-lu-stevens-2014-vfinale.pdf>

- STROBL M. (2009):** Rechnet sich Miscanthus für den Landwirt. Status Quo – Seminar, TFZ, Straubing  
[http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/strobl\\_miscanthus\\_wirtschaftlichkeit.pdf](http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/strobl_miscanthus_wirtschaftlichkeit.pdf)
- SOUSSANA JF, ALLARD V, PILEGAARD K et al. (2007).** Full accounting of the green-house gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. Agriculture, Ecosystems and Environment, 121, 121–134
- TAUBE F. (2001):** N-Bilanzsalden auf Grünland – Ein Indikator für die gute fachliche Praxis? DLGGrünlandtagung 28. Juni 2001, Abstracts pp. 5-12
- TAYLOR, R., JONES, A. & EDWARDS-JONES, G. 2010.** Measuring holistic carbon footprints for lamb and beef farms in the Cambrian Mountains initiative. CCW Policy Research Report No. 10/8
- TEBRÜGGE F., DÜRING R.-A. (1999):** Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. Soil Till. Res. Vol. 53 15-28.
- TECHNOLOGIE UND FÖRDERZENTRUM (2008):** Heizwerttabellen für verschiedene Halmgutbrennstoffe. Bayerisches Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe. [http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/mb\\_b\\_rs\\_heizwerttabelle\\_halmgutbrennstoffe.pdf](http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/mb_b_rs_heizwerttabelle_halmgutbrennstoffe.pdf)
- THIELEN S., MUTSCH H. (2013):** Miscanthus – Anbau und Wirtschaftlichkeit. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz. [http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/1bf01248c22dacd6c125707c002e7de6/e881f66381bcf9b2c1257b5c0044582d/\\$FILE/Miscanthus\\_Anbau\\_Wirtschaftlichkeit.pdf](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/1bf01248c22dacd6c125707c002e7de6/e881f66381bcf9b2c1257b5c0044582d/$FILE/Miscanthus_Anbau_Wirtschaftlichkeit.pdf)
- TIS INNOVATIONSPARK (2011):** Energetische, ökologische und ökonomische Analyse von Biogasanlagen in Südtirol, Abschlussbericht. [https://tis.bz.it/doc-bereiche/ren\\_doc/pdf/okobilanz-von-biogasanlagen.pdf](https://tis.bz.it/doc-bereiche/ren_doc/pdf/okobilanz-von-biogasanlagen.pdf)
- UMEG (2002) In: ISERMANN, K., ISERMANN, R. (2002):** Aktualisierung der Emissionsfaktoren von Methan, NMVOC, Ammoniak, Lachgas, Stickstoffmonoxid aus biogenen Quellen. DECHEMA, GDCh, DBG, Frankfurt am Main
- WARD S.E., SMART S.M., QUIRK E., TALLOWIN J.R.B., MORTIMER S.R., SHIEL R.S., WILBY A., BARDGETT R.D. (2016):** Legacy effects of grassland management on soil carbon to depth. Global Change Biology, Volume 22, Issue 8, PP. 2929-2938
- WERNER W. (1995):** "Nährstoffbilanz als Instrument der Düngeberatung". In: "Nährstoffbilanz im Blickfeld von Landwirtschaft und Umwelt". Tagung des Verbands der Landwirtschaftskammern e.v. und des Bundes Arbeitskreises Düngung, 29.-30.03.1995, Würzburg, im Tagungsband
- WETTERICH, F., HAAS G. (1999):** Ökobilanz Allgäuer Grünlandbetriebe - Intensiv, Extensiviert, Ökologisch. ISBN 3-89574-365-8, Verlag Dr. Köster, Berlin, 94 S.

**WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT FÜR DÜNGUNGSFRAGEN (2009):** Minderung der Stickstoff-Überschüsse in der Landwirtschaft durch Verbesserung der Stickstoff-Effizienz der Düngung. Sandpunkt erarbeitet im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Duengungsfragen/Stickstoff.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Duengungsfragen/Stickstoff.pdf?__blob=publicationFile)

**ZEHETMEIER M., ZICKGRAF W., EFFENBERGER M., ZERHUSEN B. (2017):** Treibhausgas-Emissionen in bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Schriftenreihe 1-2017, ISSN 1611-4159 (im Internet)

<sup>1</sup>*Alle Internetlinks waren aktiv am 04.09.2018*