



## Vergleich der produktspezifischen THG-Emissionen für ausgewählte landwirtschaftliche Produkte

T. Reinsch

Kiel, im April 2018

**Im Auftrag des MELUND**

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau,  
Christian-Albrechts-Universität, Hermann-Rodewaldstr. 9, 24118 Kiel

Kontakt: [treinsch@gfo.uni-kiel.de](mailto:treinsch@gfo.uni-kiel.de)

## Inhalt

1. Zielsetzung.....	2
2. Methodische Vorgehensweise .....	2
3. Ergebnisse.....	3
4. Methodische Restriktionen .....	9
5. Empfehlungen.....	10
Referenzen .....	10
Appendix.....	12
Verwendete Referenzen der Tabelle SI .....	22

### 1. Zielsetzung

Ziel des vom MELUND beauftragten Berichtes ist es, dem Leser einen Eindruck zu verschaffen, in wie weit sich die Vorgehensweise zur Berechnung der produktspezifischen Emissionen von der Methodik der THG- Berichterstattung auf Bund- und Länderebene unterscheidet und welche Zielsetzungen sie verfolgt. Darüber hinaus sollen Zahlenbeispiele (CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Produkteinheit) für verschiedene landwirtschaftliche Produkte (z.B. Weizen, Milch, Schweinefleisch) gezeigt werden, um eine Vergleichbarkeit und Einordnung der referenzierten Ergebnisse zu ermöglichen. Ferner stellt dieses Kapitel einen möglichen Ausblick für Bewertungsverfahren zukünftig diskutierter THG-Minderungsstrategien in der Landwirtschaft für Schleswig-Holstein dar und bildet die Basis für ein ergänzendes Kapitel im Arbeitspapier „Entwicklung der THG-Emissionen der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein“, welches derzeit vom MELUND erarbeitet wird.

### 2. Methodische Vorgehensweise

Die Darstellung produktspezifischer THG-Emissionen erfordert die methodische Erläuterung der Ökobilanzierung. Die Ökobilanzierung wurde durch die internationale Organisation für Standardisierung (ISO) definiert, so dass auf die entsprechenden Publikationen verwiesen werden kann (ISO 14040 und ISO 14044). Da die produktbezogenen THG-Inventarisierung im Sinne einer Ökobilanz andere Systemgrenzen als die nationale THG- Berichterstattung aufweist, müssen diese deskriptiv oder grafisch verdeutlicht werden. Dies kann z.B. in Form eines Stoffstromflussdiagramms für Emissionen während der Produktion von 1 kg Milch erfolgen. Dieses Stoffstromdiagramm beinhaltet neben den Emissionen auf dem landwirtschaftlichen Betrieb auch Emissionen aus den vorgelagerten Prozessketten (z.B. Mineraldünger, Kraftfutter). Nachgelagerte Prozesse wie die Weiterverarbeitung, Verteilung zum Konsumenten und die Entsorgung werden in den Ausführungen nicht berücksichtigt, da für landwirtschaftliche Güter der Großteil der Emissionen auf dem Betrieb selbst und in der vorgelagerten Prozesskette stattfinden, so dass hier das größte Minderungspotential zu finden ist. Die Ausweisung von produktspezifischen Emissionen erfolgt als Tabelle und/oder Abbildung. Letzteres veranschaulicht die Produktemissionen im Verhältnis zueinander. Die

zugrunde gelegten Werte basieren auf Informationen redigierter Publikationen und wissenschaftlich geprüfter Datenbanken.

Für die Zielerfüllung wurden in einem ersten Schritt in der Literaturdatenbank (Web of Science) nach redigierten Publikationen zum Kohlenstofffußabdruck für verschiedene Produkte (Rind, Schwein, Schaf, Geflügel, Eier, Weizen, Raps und Kartoffeln) recherchiert. Zusätzlich wurden populäre Datenbanken durchsucht. Insgesamt wurden 72 Quellen mit 277 Einzelwerten gesichtet. Die Ergebnisse wurden mit dem Statistikprogramm R (<https://www.r-project.org>) visualisiert und ausgewertet. Eine Übersicht der Einzelwerte und Referenzen befindet sich im Appendix. Die ausgewiesenen CO<sub>2</sub>-Emissionen lagen in den gesichteten Publikation in unterschiedlichen Relativen vor (siehe Appendix Tabelle SI). Die Daten wurden auf die Bezugsgrößen „kg Produkt“, „kg Protein“ (de Vries et al., 2010) und je „Getreideeinheit (GE)“ (BMEL, 2012) umgerechnet und in Boxplots dargestellt.

### 3. Ergebnisse

In Abgrenzung zu den Treibhausgas (THG)-emissionen auf Bundes- oder Landesebene erfolgt die Bewertung landwirtschaftlicher Produkte und Produktionsverfahren oft in Form einer Ökobilanzierung. Anders als bei den THG-Inventaren findet hier keine sektorale Abgrenzung (Landwirtschaft, Industrie usw.) statt. Es werden alle Stoffstromflüsse und die damit verbundenen Emissionen berücksichtigt, die in den Produktionsprozess einfließen. Hierzu zählen für die Landwirtschaft die Emissionen auf dem landwirtschaftlichen Betrieb selbst und auch alle vorgelagerten Prozesse wie z.B. die Herstellung von Mineraldüngern oder die Futtermittelimporte. Nachgelagerte Prozesse wie die Weiterverarbeitung der Erzeugnisse ab Hof-Tor werden für landwirtschaftliche Produkte oft gesondert betrachtet (partielle Ökobilanz), da der größte Teil der Emissionen in der Vorkette und dem Ort der Produktion entstehen und somit hier das größte Minderungspotential besteht (Abbildung 1). In der Methodik der Ökobilanzierung werden alle Emissionen auf eine Produkteinheit bezogen. In Abhängigkeit der Verwertung können die Zielgrößen unterschiedliche sein (z.B. je kg Produkt, je kg Protein oder je Getreideeinheit (GE)). Die relative Betrachtung hat den Vorteil, dass auf Basis einer einheitlichen Zielgröße unterschiedliche Produktionsverfahren und/oder Produktionsintensitäten miteinander verglichen werden können. Gleichzeitig erlaubt der iterative Ansatz der Ökobilanzierung die Höhe der Emissionsbeiträge einzelner Produktionsschritte (Prozesseinheiten) auf dem landwirtschaftlichen Betrieb zu identifizieren. Die gewonnenen Informationen können Verwendung finden für die Bewertung von Umweltleistungen, der Umweltkommunikation, der Produktzertifizierung und der Erarbeitung von Minderungsstrategien. Gleichzeitig erlaubt die Ökobilanz, verschiedene umweltrelevante Zielgrößen gleichzeitig zu betrachten (z.B. Klima- und Gewässerschutz), um mögliche Synergien und/oder Antagonismen zu identifizieren. Da THG-Emissionen nicht an dem Ort ihrer Entstehung verbleiben, sondern einen globalen Einfluss ausüben, ist die relative Betrachtungsweise der Ökobilanzierung für den Klimaschutz besonders geeignet um THG-Emissionen je Produkteinheit für global handelbare Güter auszuweisen. In Schleswig-Holstein hat die Tierhaltung, im speziellen die Rinderhaltung, einen großen Beitrag an den THG-Emissionen aus der Landwirtschaft. Somit ist die Effizienzbewertung der Rohmilch- und

Fleischproduktion von besonderer Relevanz. Bei der Erzeugung von Milchprodukten entstehen mehr als 72% der gesamten THG-Emissionen während der Rohmilcherzeugung, der restliche Teil entsteht während der Weiterverarbeitung, Verkauf und Entsorgung (Thoma et al., 2013), so dass das auch in der gesamten Verfahrensketten 'Milch' das größte THG-Minderungspotential auf dem Betrieb selbst besteht.

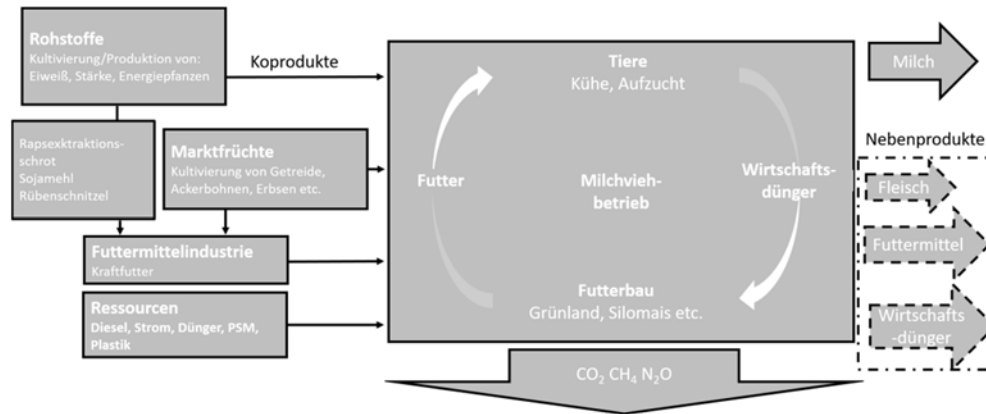


Abbildung 1: Diagramm der Stoffstromflüsse im System Milchproduktion (verändert nach Cederberg und Flysjö (2004)).

Im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Gütern weisen tierische Produkte einen besonders großen Kohlenstofffußabdruck auf (Abbildung 2). Dies gilt im Besonderen für Fleischerzeugnisse aus der Wiederkäuerhaltung. Ursache hierfür sind an erster Stelle die unvermeidbaren Energieverluste während der ruminalen Verdauung und den damit verbundenen Methanemissionen sowie dem vergleichsweise hohen Flächenbedarf je kg erzeugtes Fleisch. Bei dem Vergleich unterschiedlicher landwirtschaftlicher Produkte stellt sich die Frage nach der richtigen Bezugsgröße. Da die Zielsetzung für die unterschiedlichen Erzeugnisse voneinander abweichen ist die Interpretation der Ergebnisse auf Basis der CO<sub>2</sub>-Äquivalente je kg erzeugtes Produkt nur begrenzt möglich, da tierische Produkte schwerpunktmäßig Protein von hoher biologischer Wertigkeit liefern und viele pflanzlichen Erzeugnisse der Energie bzw. Stärkeproduktion dienen. Berücksichtigt man den unterschiedlichen Proteingehalt je kg tierisches Erzeugnis bzw. das Energieäquivalent je Getreideeinheit (GE) für pflanzliche Produkte, so ist festzustellen, dass die Differenz der THG-Emissionen zwischen den Prüfgliedern innerhalb einer Kategorie abnimmt (vergl. Abb. 3 und Abb. 4). Auffällig ist, dass große Streuungen nach oben und unten innerhalb eines Produktes bestehen. Da in Abhängigkeit der gewählten Zielgröße in der Tierhaltung verschiedene Nebenprodukte anfallen (Fleisch, Futtermittel und Wirtschaftsdünger), muss deren Prozessbeitrag an den gesamten betrieblichen Emissionen in der Ökobilanzierung mitberücksichtigt werden. In der Milchproduktion wird oft von einem Prozessbeitrag von 86% für Milch und 14% Fleisch von den gesamten betrieblichen Emissionen inklusive der Vorkette ausgegangen (IDF, 2015).

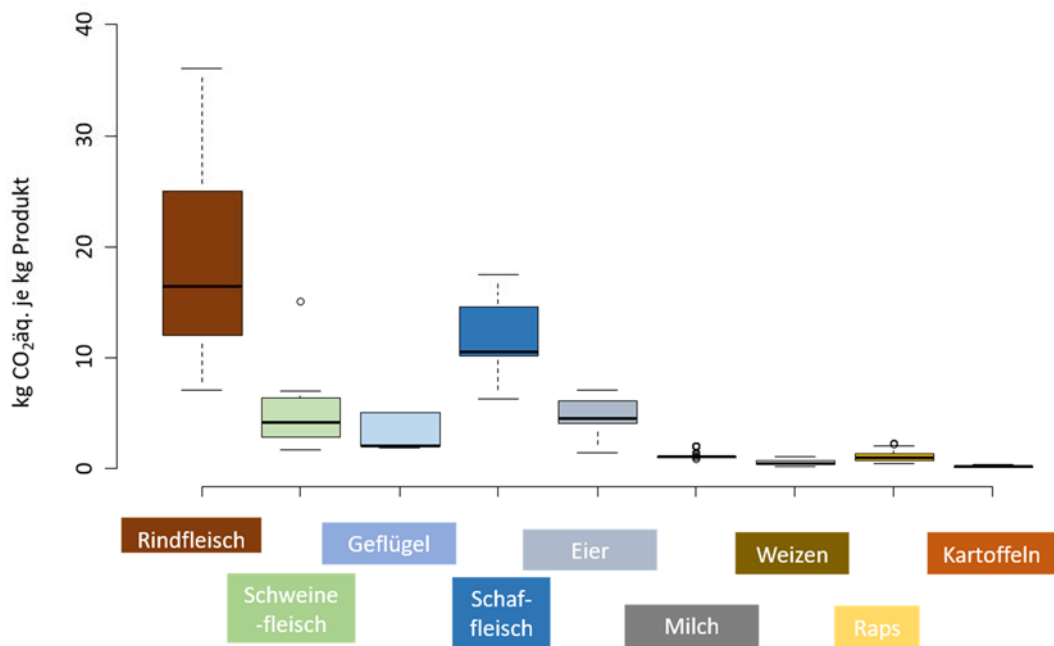


Abbildung 2: Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck je kg erzeugtes Produkt unterschiedlicher landwirtschaftlicher Güter.

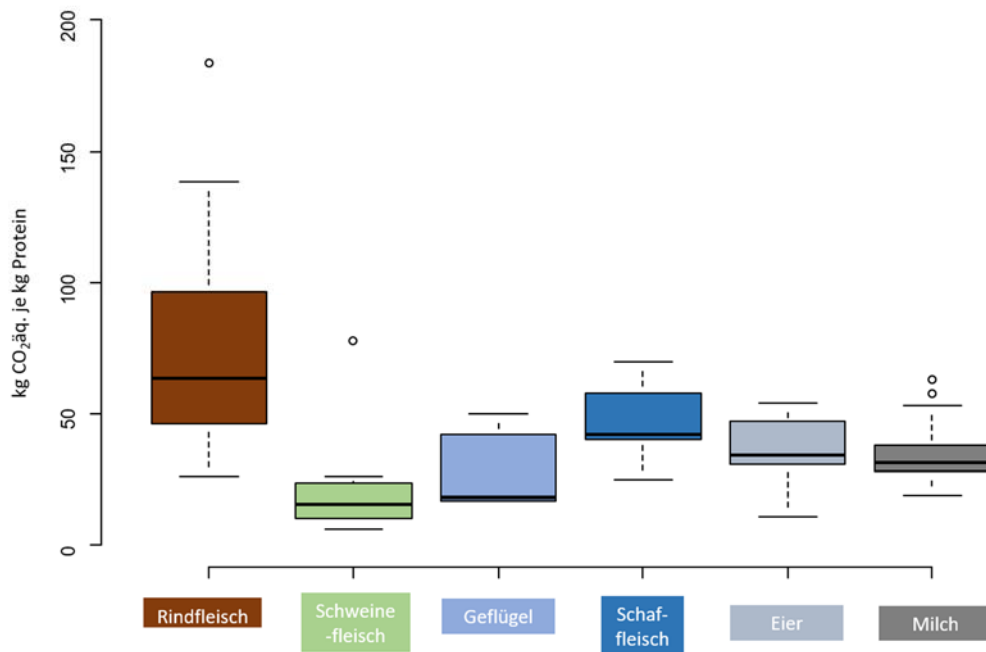


Abbildung 3: Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck je kg erzeugtes tierisches Protein am Beispiel von Rindfleisch (n=50)<sup>1</sup>, Schweinefleisch (n=20), Geflügelfleisch (n=6), Schaffleisch (n=10), Eier (n=8) und Milch (n=102).

<sup>1</sup> Anzahl der Studien innerhalb einer Produktkategorie (n=x)

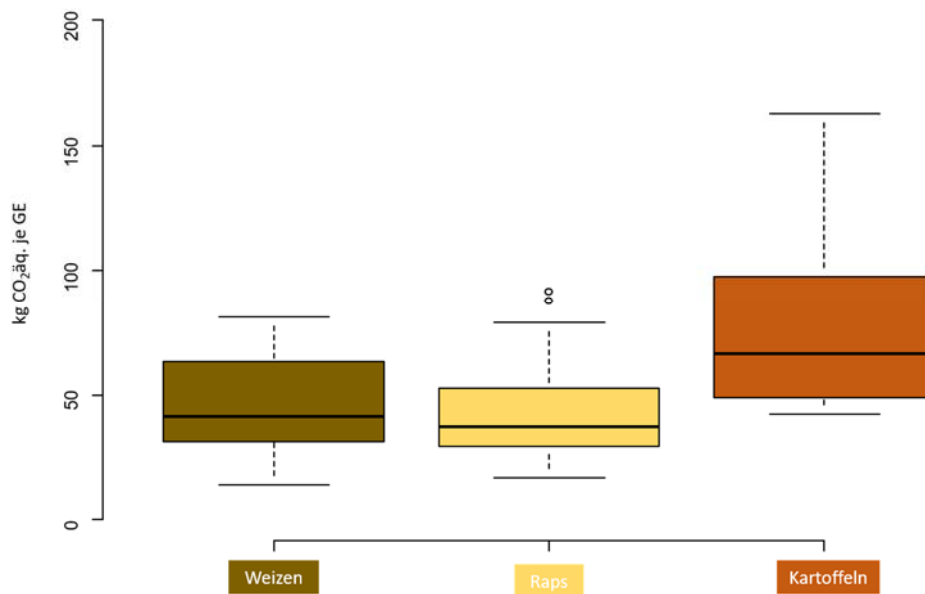


Abbildung 4: Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck je erzeugte Getreideeinheit (GE) am Beispiel von Weizen (n=40), Raps (n=31) und Kartoffeln (n=10).

Die THG-Emissionen aus der Landwirtschaft haben komplexe Ursachen, so dass Minderungsmaßnahmen in einzelnen Systemeinheiten zu einer Reduktion von THG-Emissionen führen, der Sachverhalt im Gesamtsystem aber nicht immer evident ist, insbesondere, wenn man globale Zusammenhänge wie z.B. den Effekt einer Erhöhung oder Reduktion von Futtermittelimporten oder den Einfluss auf andere Produktionsverfahren (Systemexpansion), die in einer direkten Abhängigkeit zueinander stehen, mitberücksichtigt. Als Beispiel machen in der Milchproduktion die Methanemissionen der Milchkühe je kg Milch mehr als 40% der Gesamtemissionen aus; inklusive der eingesetzten Ressourcen wie Diesel, Saatgut und Dünger entfallen mehr als 30% auf den betrieblichen Futterbau und die Futtermittelimporte (Abbildung 5). Die Methanemissionen je Einzeltier lassen sich durch Leistungssteigerungen je kg Milch effektiv senken (vergl. Tabelle 2 Arbeitspapier). Auf die gesamten erzeugten Emissionen je Liter Milch trifft dies allerdings nicht zwingend auf alle Leistungsgruppen zu, da hohe Einzeltierleistungen oft mit höheren Remontierungsraten einhergehen, die einen zusätzlichen Bedarf an Nachzuchtieren (Lucy, 2001) und den damit verbundenen THG-Emissionen während der Aufzucht mit sich bringt. Zehetmeier (2011) zeigten zudem, dass der Effekt von hohen Einzeltierleistungen zusätzlich reduziert wird, wenn Milchviehrassen mit einem geringeren Fleischansatz zum Einsatz kommen, so dass eine am Bedarf des Konsumenten orientierte ausgewogene Bereitstellung von Milch und Rindfleisch den Einsatz von Mutterkuhhaltung notwendig macht, um den Fleischbedarf zu decken. Da Masttiere aus Mutterkuhhaltungen in der relativen Betrachtung aber hohe Treibhausgasemissionen aufweisen, führen Modellkalkulationen unter Berücksichtigung einer solchen Systemexpansion entsprechend zu einem optimalen Milchleistungsniveau von etwa 6000-8000 kg ECM/Jahr. Schließlich besteht bei Leistungsniveaus deutlich über 8000 kg ECM/Kühe zudem ein höherer Energiebedarf zur Bereitstellung von Betriebsmitteln (z.B. Grundfutterwerbung und Kraftfutterverbrauch) bei einem oft gleichzeitig niedrigeren betrieblichen Grünlandanteil im Futterbau und der damit verbundenen verminderten CO<sub>2</sub>-

Speicherung in Böden (O'Brien et al., 2014). Die Interpretation von Kausalitäten, die sich außerhalb der zu bewertenden Systemgrenze befinden, sind allerdings oft mit großen Unsicherheit verbunden und bedürfen noch weiterer Untersuchungen, so dass in solchen Betrachtungsweisen die Ergebnisse unter Berücksichtigung der verschiedenen Annahmen getrennt voneinander dargestellt werden müssen.

Das anzustrebende Milchproduktionsverfahren und Leistungsniveau ist zudem stark abhängig von den Standortbedingungen. Tragfähige Böden mit einer ausreichenden Wasserversorgung im Sommer eignen sich in Schleswig-Holstein sowohl für den intensiven Ackerfutterbau mit ganzjähriger Stallhaltung bei vergleichsweise hohen Einzeltierleistungen wie auch für intensive Vollweidesysteme mit geringerer Kraftfutterzufütterung und den damit verbundenen niedrigeren Milchleistungen. Beide Systeme weisen in ihren jeweiligen Einzeltierleistungsbereichen bei einem guten Management gleichermaßen hohe Effizienzen bei den erzeugten THG-Emissionen je Produkteinheit auf. Auf Standorten mit einer ausgeprägten Sommertrockenheit und/oder Grenzlagen wie die Niedermoorregionen sind spezialisierte Stallhaltungssysteme begünstigt. Die Moorregionen in Schleswig-Holstein stellen aufgrund ihres vergleichsweise großen Anteils an der landwirtschaftlichen Nutzfläche aus der Klimaschutzsicht eine besondere Situation dar, da hier große Mengen an CO<sub>2</sub> bedingt durch die Torfmineralisation, die aus einer Bewirtschaftung bei niedrigen Grundwasserständen resultiert, verloren gehen und die Ökobilanz solcher Systeme deutlich ungünstiger ist (Poyda et al., 2016). Der Einfluss des Managements und der Standortbedingungen verdeutlicht sich in der Verteilung der Daten der gezeigten landwirtschaftlichen Produkte (vergl. Abbildungen 2-4) auf dessen Basis 50% der Variation der Ökobilanzergebnisse erklärt werden können.

Die kulturräumlichen Gegebenheiten in S.-H. machen daher eine generelle Empfehlung der anzustrebenden Produktionsverfahren und Intensität schwierig. Empfehlungen müssen stets vor dem Hintergrund der Gebietskulisse erfolgen, um eine Reduktion der THG-Emissionen auf Landesebene und/oder Produkteinheit zu realisieren. Generell sind an erster Stelle THG-Minderungsmaßnahmen zu empfehlen die unabhängig vom Produktionsverfahren zu einer Optimierung des Managements führen und gleichzeitig Synergien zu anderen Umweltzielen zeigen (z.B. Gewässerschutz, Luftqualität und Artenvielfalt). Hierzu zählen in der pflanzlichen Erzeugung die Reduktion von Stickstoff Bilanzüberschüssen, wodurch es z.B. zu einer Reduktion mineraldüngerbasierter Emissionen je kg eingespartes N kommen kann (Abbildung 6), die Förderung emissionsarmer Ausbringungstechniken für Wirtschaftsdünger, der Grünlanderhalt und die optimierte Moorbewirtschaftung mit einem angepassten Grundwassermanagement. Für die Tierproduktion zählen die Förderung des Tierwohls und der Einsatz von gasdichten Abdeckungen von Güllelagern in Kombination mit der energetischen Nutzung der Gärgase als adäquate Klimaschutzmaßnahmen (KTBL, 2017), deren Potential es auf Landesebene zu bestimmen gilt. Der Förderung des Ökolandbaus führt durch die Einsparung von Betriebsmitteln (Mineraldünger, Pflanzenschutz) zu einer Reduktion der THG-Emissionen je Flächeneinheit (ha). Allerdings zeigt sich je erzeugte Produkteinheit durch die geringeren Ertragserwartungen nur ein geringer Unterschied. So zeigten Knudsen et al. (2014) in einer viergliedrigen Fruchtfolge (Sommergerste, Ackerbohnen, Kartoffeln und Winterweizen) im Mittel dreier Standorte, dass die THG-Emissionen je ha durch die Einsparung von Mineraldüngern und Pflanzenschutz um 27% reduziert werden können (siehe Abbildung 7

„Öko 'güllebasiert'“). Die zusätzliche Etablierung von Kleegras mulch für die Gründüngung reduzierte die Emissionen weiter um 57% („Öko 'Kleegras mulch'“), wobei durch die energetische Nutzung des Kleegrases in einer Biogasanlage („Öko 'Kleegras mulch+Biogas'“) mit anschließender Rückführung der Gärreste unter Berücksichtigung von Substitutionseffekten von fossilen Energieträgern die Fruchtfolge nahezu 'klimaneutral' berechnet wurde (vergl. Abbildung 7). Die Ergebnisse je kg Produkteinheit zeigten sich in diesem Vergleich nahezu identisch. Unberücksichtigt blieben die Effekte durch mögliche Agrarimporte, um die Ertragsausfälle für den Markt zu kompensieren. Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine umfangreiche Studie, durchgeführt auf viehlosen Ackerbaubetrieben in Schleswig-Holstein, in denen sich die Vorzüglichkeit des Ökolandbaus bezüglich des THG-Minderungspotential je ha bestätigte, Vor- oder Nachteile je Produkteinheit aber nicht gegeben waren (Biernat, 2016). Es bleibt daher zu hinterfragen, ob eine Diskussion über die Ausweitung des Ökolandbaus auch unter dem Aspekt der jeweiligen Ertragsserwartungen einzelner Standorte geführt werden sollten, um die gesamten Wohlfahrtseffekte und Klimaschutzziele gleichermaßen zu optimieren (Albrecht et al., 2017).

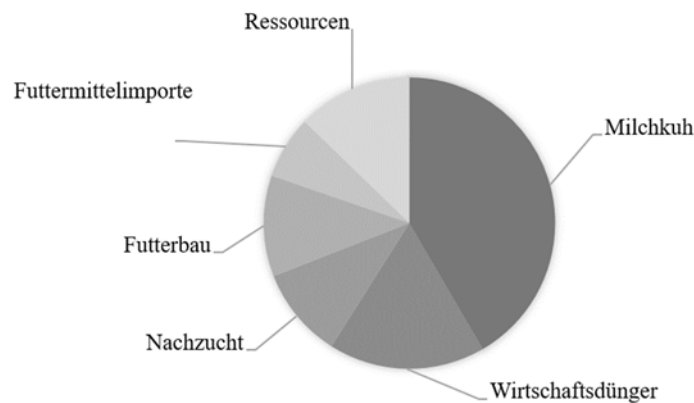


Abbildung 5: Durchschnittlicher Beitrag unterschiedlicher Prozesseinheiten zu den Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-äq.) je kg Milch. Summe der Emissionen je kg Milch: ~1.3 kg CO<sub>2</sub>äq..

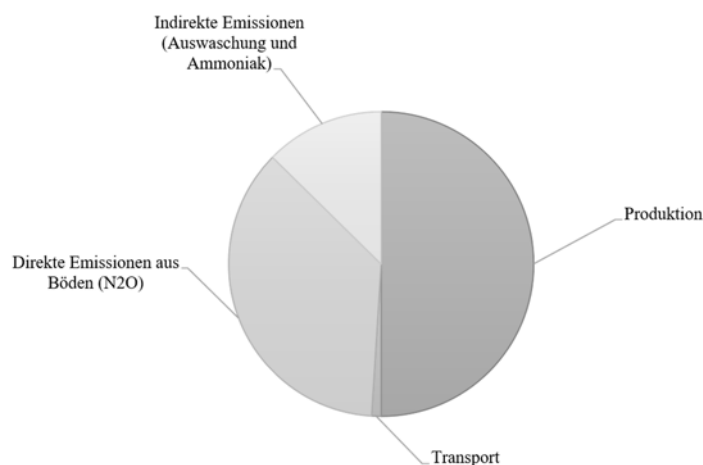


Abbildung 6: Prozessbeiträge zu den Treibhausgasemissionen je kg mineralisches Düngermittel-N. Hier am Beispiel Ammonium-Nitrat. Summe der Emissionen je kg N: ~11 kg CO<sub>2</sub>äq..



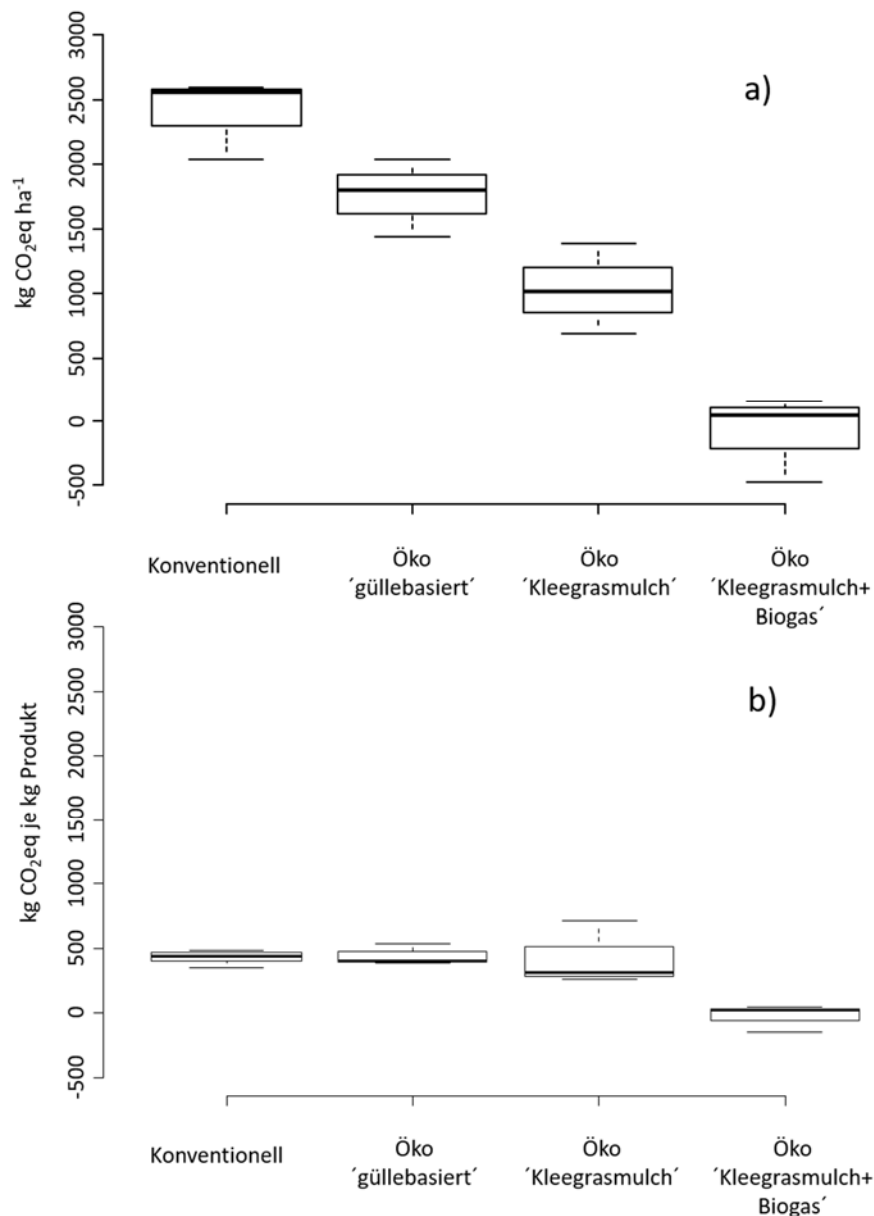


Abbildung 7 Treibhausgasemissionen je ha (a) und je Produkteinheit (b) einer viergliedrigen Fruchtfolge (Sommergerste – Ackerbohnen – Kartoffeln – Winterweizen) in vier unterschiedlichen Systemen: „Konventionell“, „Öko 'güllebasiert'“ (ohne Einsatz von Mineraldüngern und Pflanzenschutz), „Öko 'Kleegrasmulch'“ (mit Kleegrasuntersaat nach Sommergerste mit einem Hauptnutzungsjahr ohne das Fruchtfolgeglied Ackerbohne), „Öko 'Kleegrasmulch + Biogas'“ (unter Verwendung des Kleegrasmulches in einer Biogasanlage). Verändert nach Knudsen et al., 2014.

#### 4. Methodische Restriktionen

Der Textentwurf bietet einen Einblick in die Methodik der Ökobilanzierung, deren Vorteile und Limitationen. Beispielhaft wurde dies für den Bereich Milchproduktion erläutert. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge landwirtschaftlicher Produktionssysteme und

deren externen Einflussnahmen (Vorkette) sind lediglich allgemeingültige Aussagen für Treibhausgasminderungsmaßnahmen in vorgelegten Bericht möglich. Regionalisierte Maßnahmen für Schleswig-Holstein müssen entwickelt werden. Wichtigen Themen wie Landnutzung und Landnutzungswandel werden im Textentwurf nur oberflächlich erläutert. Insgesamt ist zu konstatieren das die bereitgestellten Daten (siehe Appendix) noch weiter ausgewertet werden könnten. Dies wäre im Besonderen für den Bereich Milchproduktion möglich, da hier die größte Datendichte vorliegt.

## 5. Empfehlungen

Es wird empfohlen die vorgeschlagenen Textpassagen in den Bericht zu integrieren. Vernetzungen zu anderen Kapiteln des Arbeitspapierees müssen hergestellt werden. Mittelfristig wird empfohlen, ein weiteres Papier zu erarbeiten in welchem umfangreich geeignete THG-Minderungsmaßnahmen für den Sektor Landwirtschaft in Schleswig-Holstein unter Berücksichtigung der jeweiligen Kulturräume und Standortbedingungen in SH beschrieben werden. Eine Nutzen-Kosten-Analyse dieser Maßnahmen in Kooperation mit dem Institut für Agrarökonomie der CAU-Kiel (Prof Dr. Dr. Christian Henning) ist zu empfehlen.

## Referenzen

Albrecht E, Reinsch T, Poyda A, Taube F, Henning C 2017. Klimaschutz durch Wiedervernässung von Niedermoorböden: Wohlfahrtseffekte am Beispiel der Eider-Treene-Region in Schleswig-Holstein. *Berichte über Landwirtschaft*, 95 [10.12767/buel.v95i3.178](https://doi.org/10.12767/buel.v95i3.178)

Biernat, L., 2016. Ökoeffizienz im ökologischen und konventionellen Marktfruchtbau Schleswig-Holsteins – ein konzeptioneller Ansatz zur Bewertung von Landnutzungssystemen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, ... S.

BMLEV, 2012. 172. Getreideeinheitenschlüssel. Available from: <http://www.berichte.bmelv-statisitk.de/3120100-2012-pdf>.

Cederberg, C., Flysjö, A., 2004. Life Cycle Inventory of 23 Dairy Farms in South-Western Sweden. swensk mjölk, swedish dairy association, SIK-rapport (728).

IDF, 2015: A-common-carbon-footprint approach-for-the-dairy-sector. Bullentin of the International Dairy Federation (479).

ISO, 2006a. Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006);. Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006.

ISO, 2006b. Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006): Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006.

Knudsen, M.T., Meyer-Aurich, A., Olesen, J.E., Chirinda, N., and Hermansen, J.E. (2014). Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations – using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production* 64, 609-618.

KTBL, 2017. Klimaschutz in der Landwirtschaft. Emissionsminderung in der Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.

Lucy, M.C., 2001. Reproductive Loss in High-Producing Dairy Cattle: Where Will It End? *Journal of Dairy Science* 84, 1277-1293.

O'Brien, D., Capper, J.L., Garnsworthy, P.C., Grainger, C., Shalloo, L., 2014. A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. *Journal of Dairy Science* 97, 1835-1851.

Poyda A, Reinsch T, Kluß C, Loges R, Taube F 2016. Greenhouse Gas Emissions from Fen Soils Used for Forage Production in Northern Germany. *Biogeosciences*, 13, 5221-5244, 10.5194/bg-13-5221-2016

Thoma, G., Popp, J., Nutter, D., Shonnard, D., Ulrich, R., Matlock, M., Kim, D.S., Neiderman, Z., Kemper, N., East, C., *et al.* (2013). Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. *International Dairy Journal* 31, S3-S14.

de Vries, M., and de Boer, I.J.M. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* 128, 1-11

Zehetmeier, M., Baudracco, J., Hoffmann, H., Heißenhuber, A., 2011. Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* 6, 154-166.

Appendix

*SI: Übersicht der Einzelergebnisse zum produktbezogenen Kohlenstofffußabdruck berechnet in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>äq) verschiedener landwirtschaftlicher Erzeugnisse.*

Produkt	FU	kg CO <sub>2</sub> äq/ kg Produkt.	FU <sup>1</sup>	kg CO <sub>2</sub> äq/ kg Protein	FU <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub> äq/kg GE	Quelle
Rindfleisch	kg Produkt	25	kg Protein	97	GE	429	Williams et al. (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	25	kg Protein	97	GE	429	Williams et al. (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	16	kg Protein	63	GE	278	Williams et al. (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	16	kg Protein	61	GE	268	Williams et al. (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	26	kg Protein	98	GE	434	Casey and Holden (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	17	kg Protein	65	GE	288	Cederberg and Darelus (2002)
Rindfleisch	kg Produkt	28	kg Protein	108	GE	475	Cederberg, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	27	kg Protein	104	GE	458	Cederberg, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	15	kg Protein	58	GE	254	Cederberg, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	22	kg Protein	85	GE	373	Cederberg, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	21	kg Protein	81	GE	356	Cederberg, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	8	kg Protein	30	GE	134	Edward Jones, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	7	kg Protein	26	GE	114	Edward Jones, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	36	kg Protein	139	GE	611	Edward Jones, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	111	kg Protein	426	GE	1,876	Edward Jones, 2009
Rindfleisch	kg Produkt	9	kg Protein	33	GE	144	Reitmayr, (2005)
Rindfleisch	kg Produkt	29	kg Protein	112	GE	492	Reitmayr, (2005)
Rindfleisch	kg Produkt	9	kg Protein	33	GE	147	Woitowicz, (2007)
Rindfleisch	kg Produkt	10	kg Protein	39	GE	173	Woitowicz, (2007)
Rindfleisch	kg Produkt	11	kg Protein	42	GE	186	Flachowski et al., 2009
Rindfleisch	kg Produkt	23	kg Protein	88	GE	390	Flachowski et al., 2009
Rindfleisch	kg Produkt	12	kg Protein	44	GE	195	Wechselberger, (2000)
Rindfleisch	kg Produkt	13	kg Protein	51	GE	225	Fritsche and Eberle, (2007)
Rindfleisch	kg Produkt	11	kg Protein	44	GE	193	Fritsche and Eberle, (2007)

Rindfleisch	kg Produkt	16	kg Protein	61	GE	268	DEFRA, (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	18	kg Protein	70	GE	308	DEFRA, (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	24	kg Protein	91	GE	400	Casey und Holden, (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	20	kg Protein	78	GE	342	Casey und Holden, (2006)
Rindfleisch	kg Produkt	8	kg Protein	32	GE	142	Hirschfeld et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	8	kg Protein	30	GE	133	Hirschfeld et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	14	kg Protein	52	GE	229	Hirschfeld et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	11	kg Protein	42	GE	186	Hirschfeld et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	17	kg Protein	64	GE	284	Hirschfeld et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	16	kg Protein	61	GE	270	Hirschfeld et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	16	kg Protein	63	GE	276	Hirschfeld et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	14	kg Protein	54	GE	239	Hirschfeld et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	27	kg Protein	105	GE	463	Nguyen et al., 2010
Rindfleisch	kg Produkt	16	kg Protein	62	GE	271	Nguyen et al., 2010
Rindfleisch	kg Produkt	18	kg Protein	69	GE	303	Nguyen et al., 2010
Rindfleisch	kg Produkt	20	kg Protein	77	GE	337	Nguyen et al., 2010
Rindfleisch	kg Produkt	19	kg Protein	74	GE	325	Pelletier, 2010
Rindfleisch	kg Produkt	15	kg Protein	57	GE	251	Pelletier, 2010
Rindfleisch	kg Produkt	10	kg Protein	38	GE	168	Peters et al., 2009
Rindfleisch	kg Produkt	12	kg Protein	46	GE	203	Peters et al., 2009
Rindfleisch	kg Produkt	48	kg Protein	184	GE	812	Phetteplace et al., 2001
Rindfleisch	kg Produkt	33	kg Protein	129	GE	568	Phetteplace et al., 2001
Rindfleisch	kg Produkt	13	kg Protein	51	GE	223	Phetteplace et al., 2001
Rindfleisch	kg Produkt	36	kg Protein	139	GE	611	Phetteplace et al., 2001
Rindfleisch	kg Produkt	28	kg Protein	109	GE	481	Verge et al., 2008
Rindfleisch	kg Produkt	23	kg Protein	90	GE	397	Verge et al., 2008
Geflügel	kg Produkt	5	kg Protein	42	GE	169	Williams et al. (2006)
Geflügel	kg Produkt	5	kg Protein	50	GE	203	Williams et al. (2006)
Geflügel	kg Produkt	2	kg Protein	19	GE	77	Katajajuuri (2008)
Geflügel	kg Produkt	2	kg Protein	17	GE	68	Verge et al (2009)

Geflügel	kg Produkt	2	kg Protein	17	GE	70	Verge et al. (2009)
Geflügel	kg Produkt	1.93	kg Protein	18	GE	71	Cederberg et al., 2009b
Eier	kg Produkt	3.9	kg Protein	30	GE	152	Mollenhorst et al. (2006)
Eier	kg Produkt	4.3	kg Protein	33	GE	167	Mollenhorst et al. (2006)
Eier	kg Produkt	4.6	kg Protein	35	GE	179	Mollenhorst et al. (2006)
Eier	kg Produkt	4.2	kg Protein	32	GE	163	Mollenhorst et al. (2006)
Eier	kg Produkt	6.28	kg Protein	48	GE	245	Williams et al. (2006)
Eier	kg Produkt	5.96	kg Protein	46	GE	232	Williams et al. (2006)
Eier	kg Produkt	7.02	kg Protein	54	GE	273	Williams et al. (2006)
Eier	kg Produkt	1.42	kg Protein	11	GE	55	Cederberg, 2009b
Milch	kg Produkt	0.93	kg Protein	27	GE	108	Basset-Mens et al. (2009)
Milch	kg Produkt	0.99	kg Protein	29	GE	115	Cederberg and Mattsson (2000)
Milch	kg Produkt	0.87	kg Protein	26	GE	101	Cederberg and Flysjö (2004)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	116	Cederberg and Flysjö (2004)
Milch	kg Produkt	1.3	kg Protein	38	GE	151	Haas et al. (2001)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	116	Haas et al. (2001)
Milch	kg Produkt	1.3	kg Protein	38	GE	151	Casey and Holden (2005)
Milch	kg Produkt	1.1	kg Protein	32	GE	128	Hospido et al. (2003)
Milch	kg Produkt	1.4	kg Protein	41	GE	163	Thomassen et al. (2008b)
Milch	kg Produkt	1.4	kg Protein	41	GE	163	Thomassen et al. (2009)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	31	GE	123	Williams et al. (2006)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	114	Williams et al. (2006)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	30	GE	119	Williams et al. (2006)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	30	GE	120	Williams et al. (2006)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	39	GE	152	Cederberg, 2009b
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	27	GE	108	Basset-Mens et al. (2009)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	19	GE	75	Basset-Mens et al. (2009)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	22	GE	89	Basset-Mens et al. (2009)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	22	GE	88	Basset-Mens et al. (2009)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	37	GE	147	Bava et al., (2014)

Milch	kg Produkt	1	kg Protein	37	GE	148	Bava et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	37	GE	145	Bava et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	31	GE	122	Bonesmo et al., (2013)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	44	GE	174	Casey and Holden (2005a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	36	GE	143	Casey and Holden (2005a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	33	GE	129	Casey and Holden (2005a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	116	Casey and Holden (2005a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	26	GE	104	Cederberg and Stadig (2003)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	26	GE	105	Cederberg and Flysjö (2004)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	116	Cederberg and Flysjö (2004)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	27	GE	108	Cederberg and Flysjö (2004)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	21	GE	85	Chobtang et al.,
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	25	GE	100	Chobtang et al.,
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	36	GE	143	Christie et al., (2012)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	114	Christie et al., (2012)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	113	Christie et al., (2012)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	23	GE	90	de Léis et al., (2015)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	31	GE	124	de Léis et al., (2015)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	30	GE	118	de Léis et al., (2015)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	34	GE	135	Flysjö et al., (2011)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	116	Flysjö et al., (2011)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	33	GE	129	Gollnow et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	42	GE	165	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	32	GE	128	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	44	GE	175	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	34	GE	136	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	47	GE	184	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	36	GE	142	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	38	GE	149	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	53	GE	209	Guerci et al., (2013a)

Milch	kg Produkt	1	kg Protein	41	GE	162	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	33	GE	132	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	32	GE	126	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	38	GE	151	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	46	GE	180	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	51	GE	200	Guerci et al., (2013a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	42	GE	167	Kiefer et al., (2014)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	49	GE	193	Kiefer et al., (2014)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	58	GE	230	Kiefer et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	39	GE	153	Kiefer et al., (2014)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	44	GE	176	Kiefer et al., (2014)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	63	GE	250	Kiefer et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	26	GE	105	Kristensen et al., (2011)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	27	GE	106	Kristensen et al., (2011)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	32	GE	127	Lizzaralde et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	28	GE	112	Lizzaralde et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	27	GE	107	Lizzaralde et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	43	GE	169	Nguyen et al., (2013)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	39	GE	155	Nguyen et al., (2013)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	38	GE	150	Nguyen et al., (2013)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	34	GE	136	Nguyen et al., (2013)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	33	GE	129	O'Brien et al., (2012)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	38	GE	149	O'Brien et al., (2012)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	27	GE	106	O'Brien et al., (2014a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	26	GE	104	O'Brien et al., (2014a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	26	GE	104	O'Brien et al., (2014a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	33	GE	129	O'Brien et al., (2014a)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	26	GE	105	O'Brien et al., (2015)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	25	GE	101	Ross et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	33	GE	132	Ross et al., (2014)



Milch	kg Produkt	1	kg Protein	31	GE	121	Ross et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	116	Rotz et al., (2010)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	27	GE	108	Rotz et al., (2010)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	25	GE	98	Rotz et al., (2010)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	22	GE	88	Rotz et al., (2010)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	26	GE	103	Rotz et al., (2010)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	22	GE	89	Rotz et al., (2010)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	47	GE	187	Thomassen et al., (2008a)
Milch	kg Produkt	2	kg Protein	44	GE	174	Thomassen et al., (2008b)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	41	GE	163	Thomassen et al., (2008b)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	31	GE	121	van der Werf et al., (2009)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	32	GE	126	van der Werf et al., (2009)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	113	Vergé et al., (2007)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	113	Vergé et al., (2007)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	33	GE	131	Vergé et al., (2007)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	31	GE	122	Vergé et al., (2007)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	114	Vergé et al., (2007)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	35	GE	140	Yan et al., (2013)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	42	GE	166	Yan et al., (2013)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	31	GE	123	Yan et al., (2013)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	31	GE	123	Zehetmeier et al., (2014)
Milch	kg Produkt	1	kg Protein	29	GE	114	Zehetmeier et al., (2014)
Raps	kg Produkt	2	kg Protein	NAN	GE	70	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	2	kg Protein	NAN	GE	66	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	0.96	kg Protein	NAN	GE	39	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	0.78	kg Protein	NAN	GE	32	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	0.78	kg Protein	NAN	GE	32	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	0.55	kg Protein	NAN	GE	22	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	0.90	kg Protein	NAN	GE	37	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	0.58	kg Protein	NAN	GE	24	Gan et al., 2012

Raps	kg Produkt	0.62	kg Protein	NAN	GE	25	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	0.83	kg Protein	NAN	GE	34	Gan et al., 2012
Raps	kg Produkt	0.53	kg Protein	NAN	GE	22	Biernat (2016)
Raps	kg Produkt	0.49	kg Protein	NAN	GE	20	Biernat (2016)
Raps	kg Produkt	0.41	kg Protein	NAN	GE	17	Lehuger et al., 2009
Raps	kg Produkt	0.53	kg Protein	NAN	GE	22	Lehuger et al., 2009
Raps	kg Produkt	1.33	kg Protein	NAN	GE	54	Anonymus
Raps	kg Produkt	1.27	kg Protein	NAN	GE	52	Anonymus
Raps	kg Produkt	0.77	kg Protein	NAN	GE	32	Anonymus
Raps	kg Produkt	0.95	kg Protein	NAN	GE	39	Anonymus
Raps	kg Produkt	0.91	kg Protein	NAN	GE	37	Anonymus
Raps	kg Produkt	1.88	kg Protein	NAN	GE	77	Anonymus
Raps	kg Produkt	0.68	kg Protein	NAN	GE	28	Anonymus
Raps	kg Produkt	1.00	kg Protein	NAN	GE	41	Anonymus
Raps	kg Produkt	2.26	kg Protein	NAN	GE	92	Anonymus
Raps	kg Produkt	0.86	kg Protein	NAN	GE	35	Anonymus
Raps	kg Produkt	1.22	kg Protein	NAN	GE	50	Anonymus
Raps	kg Produkt	0.91	kg Protein	NAN	GE	37	Anonymus
Raps	kg Produkt	1.37	kg Protein	NAN	GE	56	Anonymus
Raps	kg Produkt	2.17	kg Protein	NAN	GE	88	Anonymus
Raps	kg Produkt	1.05	kg Protein	NAN	GE	43	Anonymus
Raps	kg Produkt	1.02	kg Protein	NAN	GE	42	Anonymus
Raps	kg Produkt	1.95	kg Protein	NAN	GE	79	Anonymus
Schweine-fleisch	kg Produkt	15	kg Protein	78	GE	423	Zhu-XueQin and Van Ierland (2004)
Schweine-fleisch	kg Produkt	4.34	kg Protein	16	GE	124	Basset-Mens and Van der Werf (2005)
Schweine-fleisch	kg Produkt	6.60	kg Protein	24	GE	189	Basset-Mens and Van der Werf (2005)
Schweine-fleisch	kg Produkt	6.08	kg Protein	23	GE	174	Williams et al. (2006)
Schweine-fleisch	kg Produkt	6.42	kg Protein	24	GE	183	Williams et al. (2006)
Schweine-fleisch	kg Produkt	6.33	kg Protein	23	GE	181	Williams et al. (2006)
Schweine-fleisch	kg Produkt	6.36	kg Protein	24	GE	182	Williams et al. (2006)

Schweine-fleisch	kg Produkt	4.8	kg Protein	18	GE	137	Cederberg and Dareljus (2002)
Schweine-fleisch	kg Produkt	6.98	kg Protein	26	GE	199	Blonk et al. (1997)
Schweine-fleisch	kg Produkt	4.08	kg Protein	15	GE	117	Cederberg and Flysjö (2004a)
Schweine-fleisch	kg Produkt	3.63	kg Protein	13	GE	104	Cederberg and Flysjö (2004a)
Schweine-fleisch	kg Produkt	4.43	kg Protein	16	GE	127	Cederberg and Flysjö (2004a)
Schweine-fleisch	kg Produkt	2.85	kg Protein	11	GE	81	Erikson et al (2005)
Schweine-fleisch	kg Produkt	2.56	kg Protein	10	GE	73	Erikson et al (2005)
Schweine-fleisch	kg Produkt	2.62	kg Protein	10	GE	75	Erikson et al (2005)
Schweine-fleisch	kg Produkt	3.07	kg Protein	11	GE	88	Hirschfeld et al., 2008
Schweine-fleisch	kg Produkt	2.79	kg Protein	10	GE	80	Hirschfeld et al., 2008
Schweine-fleisch	kg Produkt	2.07	kg Protein	8	GE	59	Hirschfeld et al., 2008
Schweine-fleisch	kg Produkt	1.7	kg Protein	6	GE	49	Hirschfeld et al., 2008
Schweine-fleisch	kg Produkt	3.4	kg Protein	13	GE	97	Cederberg et al., 2009b
Kartoffeln	kg Produkt	0.22	kg Protein	11	GE	98	Williams et al. (2006)
Kartoffeln	kg Produkt	0.199	kg Protein	10	GE	90	Williams et al. (2006)
Kartoffeln	kg Produkt	0.11	kg Protein	5	GE	49	Anonymus
Kartoffeln	kg Produkt	0.12	kg Protein	6	GE	57	Anonymus
Kartoffeln	kg Produkt	0.16	kg Protein	8	GE	73	Anonymus
Kartoffeln	kg Produkt	0.36	kg Protein	18	GE	163	Anonymus
Kartoffeln	kg Produkt	0.24	kg Protein	12	GE	112	Anonymus
Kartoffeln	kg Produkt	0.10	kg Protein	5	GE	44	Anonymus
Kartoffeln	kg Produkt	0.09	kg Protein	5	GE	42	Anonymus
Kartoffeln	kg Produkt	0.13	kg Protein	7	GE	60	Anonymus
Schafffleisch	kg Produkt	6.3	kg Protein	25	GE	75	Edward-Jones et al., 2009
Schafffleisch	kg Produkt	6.6	kg Protein	26	GE	79	Edward-Jones et al., 2009
Schafffleisch	kg Produkt	10.8	kg Protein	43	GE	129	Peters et al., 2009
Schafffleisch	kg Produkt	10.2	kg Protein	41	GE	121	Peters et al., 2009
Schafffleisch	kg Produkt	13	kg Protein	52	GE	155	Peters et al., 2009
Schafffleisch	kg Produkt	17.5	kg Protein	70	GE	208	Peters et al., 2009
Schafffleisch	kg Produkt	10.1	kg Protein	40	GE	120	Peters et al., 2009

Schafffleisch	kg Produkt	17.5	kg Protein	70	GE	208	Williams et al. (2006)
Schafffleisch	kg Produkt	10.1	kg Protein	40	GE	120	Williams et al. (2006)
Schafffleisch	kg Produkt	14.6	kg Protein	58	GE	174	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	1	kg Protein	6	GE	75	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	1	kg Protein	5	GE	66	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	1	kg Protein	6	GE	76	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	1	kg Protein	6	GE	81	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	1	kg Protein	5	GE	69	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	1	kg Protein	6	GE	79	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	1	kg Protein	5	GE	69	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	0.73	kg Protein	5	GE	68	Williams et al. (2006)
Weizen	kg Produkt	0.24	kg Protein	2	GE	23	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.45	kg Protein	3	GE	42	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.25	kg Protein	2	GE	23	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.27	kg Protein	2	GE	25	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.15	kg Protein	1	GE	14	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.19	kg Protein	1	GE	18	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.28	kg Protein	2	GE	26	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.18	kg Protein	1	GE	17	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.31	kg Protein	2	GE	29	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.21	kg Protein	1	GE	20	Biernat (2016)
Weizen	kg Produkt	0.64	kg Protein	4	GE	59	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.75	kg Protein	5	GE	70	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.55	kg Protein	4	GE	51	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.62	kg Protein	4	GE	58	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.54	kg Protein	4	GE	51	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.49	kg Protein	4	GE	46	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.64	kg Protein	5	GE	60	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.87	kg Protein	6	GE	81	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.37	kg Protein	3	GE	34	Anonymus

Weizen	kg Produkt	0.37	kg Protein	3	GE	35	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.32	kg Protein	2	GE	30	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.52	kg Protein	4	GE	49	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.34	kg Protein	2	GE	32	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.38	kg Protein	3	GE	35	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.40	kg Protein	3	GE	37	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.42	kg Protein	3	GE	39	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.38	kg Protein	3	GE	35	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.45	kg Protein	3	GE	42	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.38	kg Protein	3	GE	36	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.35	kg Protein	3	GE	33	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.52	kg Protein	4	GE	48	Anonymus
Weizen	kg Produkt	0.54	kg Protein	4	GE	50	Anonymus

<sup>1</sup>Umrechnung von kg Schlachtgewicht auf kg Protein nach de Vries und de Boer (2010); angenommen Proteingehalte je kg tierisches Produkt: Rindfleisch 26%; Geflügelfleisch 11%; Schaffleisch 25%; Schweinefleisch 27%; Milch 3,4%; Eier 13%. Pflanzliche Erzeugnisse: Weizen 13%; Raps -; Kartoffeln 2%.

<sup>2</sup>Getreideeinheitenschlüssel nach BMLEV (2012); Getreideeinheiten beziehen sich bei den tierischen Produkten auf kg Schlachtgewicht

## Verwendete Referenzen der Tabelle SI

Basset-Mens, C., van der Werf, H.M.G., 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105, 127–144.

Bava, L. et al., 2014. How can farming intensification affect the environmental impact of milk production? *Journal of Dairy Science*, 97(7), pp.4579–4593. Available at: [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(14\)00316-6/abstract%5CnM:%5CProjekt%5CEnviroMilk%5CLitteratur](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(14)00316-6/abstract%5CnM:%5CProjekt%5CEnviroMilk%5CLitteratur) relevant for projektet%5CBava et al 2014 How can farming intensification affect the environmental impact of milk production.pdf.

Biernat, Lars (2016). Ausgewählte Parameter der Ökoeffizienz im ökologischen und konventionellen Marktfruchtbau Schleswig-Holsteins. 13. WiTa Ökologischer Landbau.

Blonk, H., Lafleur, M., Van Zeijts, H., 1997. Towards an environmental infrastructure of the Dutch food industry: exploring the information conversion of five food commodities. Amsterdam, The Netherlands IVAM

BMLEV, 2012. 172. Getreideeinheitenschlüssel. Available from: <http://www.berichte.bmelv-statisitk.de/SJT-3120100-2012-pdf>.

Bonesmo, H. et al., 2013. Greenhouse gas emission intensities of grass silage based dairy and beef production: A systems analysis of Norwegian farms. *Livestock Science*, 152(2–3), pp.239–252.

Broiler Chicken Production. MTT Agrifood Research Finland, Jokioinen.

Casey, J.W., Holden, N.M., 2005. Analysis of Greenhouse Gas Emissions from the average Irish Milk Production System. *Agricultural Systems* 86, 97–114.

Casey, J.W., Holden, N.M., 2006. Quantification of GHG emissions from suckler-beef production in Ireland. *Agricultural Systems* 90, 79–98.

Cederberg, C. & Stadig, M., 2003. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(6), pp.350–356.

Cederberg, C., Darelius, K., 2002. Using LCA methodology to assess the potential environmental impact of intensive beef and pork production (PhD Thesis). Department of Applied Environmental Science. Göteborg

Cederberg, C., Stadig, M., 2003. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *International Journal of Life Cycle Assessment* 8, 350–356.

Cederberg, C., Flysjö, A., 2004a. Environmental Assessment of Future Pig Farming Systems – Quantification of Three Scenarios from the FOOD 21 Synthesis Work. SIK Report 723.

SIK, Göteborg.

Cederberg, C., Flysjö, A., 2004b. Life Cycle Inventory of 23 Dairy Farms in South- Western Sweden. SIK Report No. 728. SIK, Göteborg.

Cederberg, C., Flysjö, A., Sonesson, U., Sund, V., Davis, J., 2009b. Greenhouse Gas Emissions from Swedish Consumption of Meat, Milk and Eggs, 1990 and 2005. SIK Report No. 793. SIK, Göteborg.

Cederberg, C., Mattsson, B., 2000. Life cycle assessment of milk production — a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production* 8, 49–60.

Cederberg, C., Meyer, D., Flysjö, A., 2009a. Life Cycle Inventory of Greenhouse Gasses and Use of Land and Energy in Brazilian Beef Production. SIK Report No. 792. SIK, Göteborg.

Chobtang, J. et al., 2017. Life cycle environmental impacts of high and low intensification pasture-based milk production systems: A case study of the Waikato region, New Zealand. *Journal of Cleaner Production*, 140, pp.664–674.

Christie, K.M.. et al., 2012. Whole-farm systems analysis of Australian dairy farm greenhouse gas emissions. *Animal Production Science*, 52(11), pp.998–1011. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84867372714&partnerID=40&md5=53fe56bf66b732579d8010dbb122234d>.

de Léis, C.M. et al., 2014. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(1), pp.46–60. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84922005126&partnerID=tZOtx3y1%5Cnhttp://link.springer.com/10.1007/s11367-014-0813-3>.

Edwards-Jones, G., Plassmann, K., Harris, I.M., 2009. Carbon footprinting of lamb and beef production systems: insights from an empirical analysis of farms in Wales, UK. *Journal of Agricultural Science* 147, 707–719.

Environmental Research. University of Amsterdam.

Eriksson, I.S., Elmquist, H., Stern, S., Nybrant, T., 2005. Environmental systems analysis of pig production: the impact of feed choice. *International Journal of Life Cycle Assessment* 10, 143–154.

Espinoza-Orias, N., Stichnothe, H., and Azapagic, A. (2011). The carbon footprint of bread. *Int J Life Cycle Assess* 16, 351-365.

Flachowsky, G., Hachenberg, S., 2009. CO<sub>2</sub> footprints for food of animal origin – present stage and open questions. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 4, 190–198.

Flysjö, A., Cederberg, C., et al., 2011a. How does co-product handling affect the carbon

footprint of milk? Case study of milk production in New Zealand and Sweden. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(5), pp.420–430.

Flysjö, A., Henriksson, M., et al., 2011b. The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems*, 104(6), pp.459–469.

Gan, Y., Liang, C., Huang, G., Malhi, S.S., Brandt, S.A., and Katepa-Mupondwa, F. (2012). Carbon footprint of canola and mustard is a function of the rate of N fertilizer. *Int J Life Cycle Assess* 17, 58-68.

Gollnow, S. et al., 2014. Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. *International Dairy Journal*, 37(1), pp.31–38. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.02.005>.

Guerci, M., Bava, L., et al., 2013. Effect of farming strategies on environmental impact of intensive dairy farms in Italy. *The Journal of dairy research*, 80(3), pp.300–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23806128>.

Guerci, M., Knudsen, M.T., et al., 2013. Parameters affecting the environmental impact of a range of dairy farming systems in Denmark, Germany and Italy. *Journal of Cleaner Production*, 54(2013), pp.133–141. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.035>.

Guerci, M. et al., 2014. Effect of summer grazing on carbon footprint of milk in Italian Alps: A sensitivity approach. *Journal of Cleaner Production*, 73, pp.236–244. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.021>.

Haas, G., Wetterich, F., Köpke, U., 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 43–53.

Hillier, J., Hawes, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S., and Smith, P. (2009). The carbon footprints of food crop production. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7, 107-118.

Hirschfeld, J., Weiss, J., Preidl, M., Korbun, T., 2008. Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland (in German; Climate impacts of German agriculture). Schriftenreihe des IOW 186/08. IOW, Berlin.

Hospido, A., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2003. Simplified life cycle assessment of galician milk production. *International Dairy Journal* 13, 783–796.

Katajajuuri, J., 2007. Experiences and Improvement Possibilities – LCA Case Study of

Kiefer, L., Menzel, F. & Bahrs, E., 2014. The effect of feed demand on greenhouse gas emissions and farm profitability for organic and conventional dairy farms. *Journal of dairy science*, 97(12), pp.7564–74. Available at:



<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203021400719X>.

Kristensen, T. et al., 2011. Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. *Livestock Science*, 140(1–3), pp.136–148. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.002>.

Lehuger, S., Gabrielle, B., and Gagnaire, N. (2009). Environmental impact of the substitution of imported soybean meal with locally-produced rapeseed meal in dairy cow feed. *Journal of Cleaner Production* 17, 616-624.

Lizarralde, C. et al., 2014. Practices to Reduce Milk Carbon Footprint on Grazing Dairy Farms in Southern Uruguay: Case Studies. *Sustainable Agriculture Research*, 3(2), p.1. Available at: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/sar/article/view/32905>.

Mollenhorst, H., Berentsen, P.B.M., De Boer, I.J.M., 2006. On-farm quantification of sustainability indicators: an application to egg production systems. *British Poultry Science* 47, 405–417.

Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., and Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security* 14, 1-8.

Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E., Mogensen, L., 2010. Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *Journal of Cleaner Production* 18, 756–766.

Nguyen, T.T.H. et al., 2013. Effect of dairy production system, breed and co-product handling methods on environmental impacts at farm level. *Journal of Environmental Management*, 120, pp.127–137.

O’Brien, D. et al., 2012. Evaluation of the effect of accounting method, IPCC v. LCA, on grass-based and confinement dairy systems’ greenhouse gas emissions. *Animal*, 6(9), pp.1512–1527.

O’Brien, D. et al., 2014a. A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. *Journal of dairy science*, 97(3), pp.1835–51. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24440256>.

O’Brien, D. et al., 2014b. An appraisal of carbon footprint of milk from commercial grass-based dairy farms in Ireland according to a certified life cycle assessment methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(8), pp.1469–1481.

O’Brien, D. et al., 2015. Relating the carbon footprint of milk from Irish dairy farms to economic performance. *Journal of Dairy Science*, 98(10), pp.7394–7407. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030215005469>.

Pelletier, N., Pirog, R., and Rasmussen, R. (2010). Comparative life cycle environmental

impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems* 103, 380-389.

Pelletier, N.L., Ayer, N.W., Tyedmers, P.H., Kruse, S.A., Flysjö, A., Robillard, G., Ziegler, F., Scholz, A.J., Sonesson, U., 2007. Impact categories for life cycle assessment research of seafood production systems: review and prospectus. *International Journal of Life Cycle Assessment* 12, 414–421.

Peters, G.M., Rowley, H.V., Wiedemann, S., Tucker, R., Short, M.D., Schulz, M., 2009. Red meat production in Australia: life cycle assessment and comparison with overseas studies. *Environmental Science & Technology* 44, 1327–1332.

Phetteplace, H., Johnson, D., Seidl, A., 2001. Greenhouse gas emissions from simulated beef and dairy livestock systems in the United States. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 99–102.

Ross, S.A. et al., 2014. Effect of cattle genotype and feeding regime on greenhouse gas emissions intensity in high producing dairy cows. *Livestock Science*, 170, pp.158–171. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.09.011>.

Rotz, C.A. et al., 2009. Grazing can reduce the environmental impact of dairy production systems. *Forage and Grazinglands*, 7(1), pp.1–16.

Rotz, C.A., Montes, F. & Chianese, D.S., 2010. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *Journal of dairy science*, 93(3), pp.1266–1282. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2162>.

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., and Fixen, P.E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture Ecosystems & Environment* 133, 247-266.

Thomassen, M.A. et al., 2008. Attributional and consequential LCA of milk production. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(4), pp.339–349.

Thomassen, M.A. et al., 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems*, 96(1–3), pp.95–107.

Thomassen, M.A., Dolman, M.A., Van Calster, K.J., De Boer, I.J.M., 2009. Relating life cycle assessment indicators to gross value added for Dutch dairy farms. *Ecological Economics* 68, 2278–2284.

Thomassen, M.A., Van Calster, K.J., Smits, M.C.J., Iepema, G.L., De Boer, I.J.M., 2008b. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural systems* 96, 95–107.

van der Werf, H.M.G., Kanyarushoki, C. & Corson, M.S., 2009. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle

assessment. *Journal of Environmental Management*, 90(11), pp.3643–3652. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.003>.

Vergé, X.P.C., Dyer, J.A., Desjardins, R.L., Worth, D., 2008. Greenhouse gas emissions from the Canadian beef industry. *Agricultural Systems* 98, 126–134.

Vergé, X.P.C., Dyer, J.A., Desjardins, R.L., Worth, D., 2009. Long-term trends in greenhouse gas emissions from the Canadian poultry industry. *Journal of Applied Poultry Research* 18, 210–222.

de Vries, M., and de Boer, I.J.M. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* 128, 1-11

Williams, A.G., Audsley, E., Sandars, D.L., 2006. Determining the Environmental Burdens and Resource Use in the Production of Agricultural and Horticultural Commodities. Natural Resource Management Institute, Cranfield University, Silsoe Research Institute, Bedford.

Yan, M.-J., Humphreys, J. & Holden, N.M., 2013. Life cycle assessment of milk production from commercial dairy farms: the influence of management tactics. *Journal of dairy science*, 96(7), pp.4112–24. Available at: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23660142%5Cnfile:///Users/DURU/Documents/Mendeley Desktop/1-s2.0-S0022030213003172-main.pdf](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23660142%5Cnfile:///Users/DURU/Documents/Mendeley%20Desktop/1-s2.0-S0022030213003172-main.pdf).

Zehetmeier, M. et al., 2014. A dominance analysis of greenhouse gas emissions, beef output and land use of German dairy farms. *Agricultural Systems*, 129, pp.55–67. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.006>

Zhu-XueQin, Van Ierland, E.C., 2004. Protein chains and environmental pressures: a comparison of pork and novel protein foods. *Environmental Sciences* 1 (3) 2003/2004.