

Möglichkeiten von Großküchen zur Reduktion ihrer CO₂-Emissionen

(Maßnahmen, Rahmenbedingungen und Grenzen)

Endbericht



SALAT

Wien, März 2011



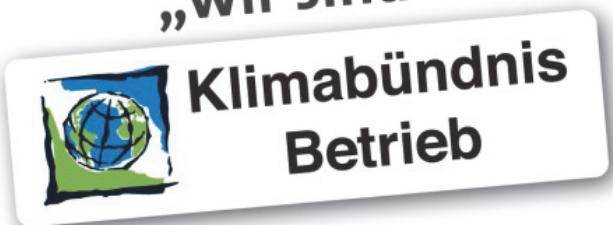
R R R M M M M A A A A A A A A
Ressourcen Management Agentur
Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung



EUROPEAN UNION
European Regional
Development Fund



EUROPEAN TERRITORIAL CO-OPERATION
AUSTRIA-CZECH REPUBLIC 2007-2013
Gemeinsam mehr erreichen. Společně dosahneme více.



„wir sind“

Klimabündnis
Betrieb

**Möglichkeiten von Großküchen
zur Reduktion ihrer CO₂-
Emissionen
(Maßnahmen, Rahmenbedingun-
gen und Grenzen) -
Sustainable Kitchen**

(Projekt SUKI)

SALAT

(Vers. 1.0)

**Hans Daxbeck
Doris Ehrlinger
Diederik de Neef
Marianne Weineisen**

gefördert aus Mitteln
des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung
des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft
des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit
der Stadt Wien – MA22 (ÖkoKauf) und MA38
des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung
des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung

Wien, März 2011

I M P R E S S U M :

Projektleitung:

Hans Daxbeck

Projektsachbearbeitung:

Hans Daxbeck, Diederik de Neef, Doris Ehrlinger, Marianne Weineisen

Projektpartner:

Österreich: Ressourcen Management Agentur (RMA), BIO AUSTRIA

Tschechien: Südböhmishe Universität České Budějovice, Daphne ČR, EPOS

Mitarbeitende Großküchen:

Österreich:

Wien: Sozialmedizinisches Zentrum Baumgartner Höhe Otto-Wagner-Spital; EB-Restaurantsbetriebe Ges.m.b.H.

Niederösterreich: Landhausküche in St. Pölten, HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau in Klosterneuburg

Oberösterreich: Landtagsküche in Linz; Landeskrankenhaus Rohrbach

Tschechien:

Südböhmen: Koleje a menzy der Südböhmischen Universität České Budějovice, Küche der Grundschule in Sezimovo Ústí

Vysocina: Küche der Fachschule in Jihlava

Südmähren: Küche der Grundschule in Brünn

Leadpartner:

Ressourcen Management Agentur (RMA)

Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

ZVR Zahl: 482686233

Argentinierstraße 48/2. Stock

1040 Wien

Tel.: +43 (0)1 913 22 52.0

Fax: +43 (0)1 913 22 52.22

Email: office@rma.at; www.rma.at

Kurzfassung

Die Lebensmittelproduktion hat beträchtliche Auswirkungen auf den Klimawandel, welcher eine der größten Herausforderungen unserer Zeit darstellt. Die Landwirtschaft ist weltweit für etwa 14 % aller anthropogenen Treibhausgasemissionen (v.a. CH₄, N₂O und CO₂), für 52 % der anthropogenen Methan- und für 84 % der Lachgasemissionen verantwortlich. Durch die Wahl der verwendeten Lebensmittel können Großküchen einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Der Untersuchungsrahmen umfasst die biologische und konventionelle Produktion von Salat aus Italien (Region Bari) und beinhaltet die vorgelagerten Prozesse sowie die Prozesse Landwirtschaft und Handel. Die vorgelagerten Prozesse setzen sich aus der Erzeugung von Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Saatgut und Energie zusammen. Der Beitrag zur Veränderung des Klimas wird mithilfe von CO₂-Äquivalenten (kurz CO₂ eq) angegeben. Für Projekt SUKI wird die derzeit aktuellste Methode, ReCiPe 2008, gewählt, welche im November 2009 letztmals auf den neuesten Stand gebracht wurde und sich auf die zuletzt veröffentlichten Treibhauspotentiale des International Panel on Climate Change (IPCC) bezieht.

Die Gesamtemissionen der konventionellen Produktion von Salat betragen 0,25 kg CO₂ pro Kilogramm Salat. Der biologisch produzierte Salat emittiert 0,23 kg CO₂ pro Kilogramm Salat. Der Prozess Handel ist in beiden Produktionsweisen zu einem großen Anteil verantwortlich für die Höhe der Gesamtemissionen.

Bei konventionell produziertem Salat beträgt der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen 36 %, der Anteil des Handels rund 64 %. Die Landwirtschaft emittiert somit insgesamt 0,09 kg CO₂, der Handel 0,16 kg CO₂. Im Prozess Handel sind die Prozesse Transport und Lagerung ausschlaggebend für die Höhe der gesamten CO₂ Emissionen.

Der Anteil der Landwirtschaft von biologisch produziertem Salat an den Gesamtemissionen beträgt 31 % und der Anteil des Handels rund 69 %. Der Prozess Landwirtschaft emittiert 0,07 kg CO₂ und der Prozess Handel 0,16 kg CO₂. Auch in der biologischen Produktion von Salat sind innerhalb des Prozesses Handel die Prozesse Transport und Lagerung ausschlaggebend für die Höhe der gesamten CO₂ Emissionen.

Aus den Ergebnissen des Projektes SUKI können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- 1°kg biologisch produzierter Salat aus Italien (Region Bari) emittiert mit 0,23°kg CO₂ 7 % weniger CO₂ als 1°kg konventionell produzierter Salat aus derselben Herkunftsregion (0,25°kg CO₂).
- Die landwirtschaftliche biologische Produktion von 1°kg Salat in Italien (Region Bari) emittiert mit 0,07°kg CO₂ 21 % weniger THG-Emissionen als 1°kg konventionell produzierter Salat aus derselben Herkunftsregion (0,09°kg CO₂).

- Der Handel (Transport und Lagerung) von Salat hat mit 69% in der biologischen Produktion bzw. mit 64% in der konventionellen Produktion den höchsten Anteil an den Gesamtemissionen. Beim Handel von Italien (Region Bari) nach Österreich (Wien) werden 0,16°kg CO₂ freigesetzt.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	V
INHALTSVERZEICHNIS	I
1 EINLEITUNG	1
2 ZIELSETZUNG, FRAGESTELLUNG.....	3
3 METHODISCHES VORGEHEN	5
3.1 Untersuchungsrahmen – Systemdefinition	5
3.2 Vorgelagerte Prozesse.....	6
3.2.1 Erzeugung von Düngemittel.....	6
3.2.2 Erzeugung von Pflanzenschutzmittel.....	8
3.2.3 Erzeugung von Saatgut	9
3.2.4 Erzeugung von Energie	10
3.3 Prozess Landwirtschaft.....	12
3.3.1 Allgemeine Annahmen.....	12
3.3.2 Landwirtschaftliche Inputs.....	13
3.3.3 Feldemissionen.....	16
3.3.3.1 Direkte N ₂ O-Feldemissionen	16
3.3.3.2 Indirekte N ₂ O-Feldemissionen	20
3.3.4 Maschineneinsatz	24
3.4 Prozess Handel.....	30
3.4.1 Transport.....	30
3.4.1.1 Straßentransport.....	31
3.4.1.2 Transportszenarien	32
3.4.2 Lagerung.....	33
3.5 Verarbeitung.....	35
4 ERGEBNISSE	37
5 SCHLUSSFOLGERUNGEN	43
6 LITERATUR.....	45

1 Einleitung

Die Lebensmittelproduktion hat beträchtliche Auswirkungen auf den Klimawandel, welcher eine der größten Herausforderungen unserer Zeit darstellt. Die Landwirtschaft ist weltweit für etwa 14 % aller anthropogenen Treibhausgasemissionen (v.a. CH₄, N₂O und CO₂), für 52 % der anthropogenen Methan- und für 84 % der Lachgasemissionen verantwortlich.

Der Trend zur Verpflegung außer Haus ist ungebrochen. Gründe dafür sind wachsende berufliche, räumliche und soziale Mobilität, die Zunahme von Single-Haushalten und die zunehmenden Entfernungen zwischen Wohnort und Arbeitsplatz. Rund ein Fünftel der Lebensmittelausgaben der KonsumentInnen entfällt auf die Ernährung außer Haus, das entspricht rund 3 Mrd. Euro.

Großküchen verbrauchen täglich große Mengen an Energie. Diese setzt sich zum einen zusammen aus der direkten Energie, die für die Zubereitung von Speisen, Kühlung der Lebensmittel, Heizung, Beleuchtung, Lüftung, etc. aufgewendet wird. Zum anderen steckt neben dem Energiebedarf der Küche auch in den verarbeiteten Lebensmitteln Energie. Dieser indirekte Energiebedarf ergibt sich aus dem gesamten Energieverbrauch, der während der Produktion, Lagerung bzw. Kühlung und dem Transport vom Feld über den Handel bis in die Küche anfällt. Dieser indirekte Energiebedarf ist der so genannte „Ökologische Rucksack“ der Lebensmittel.

Während der direkte Energieverbrauch einer Küche relativ einfach ermittelt werden kann, ist der indirekte Energieverbrauch weitgehend unbekannt. Die Höhe der CO₂-Emissionen von Großküchen wird sowohl durch die Wahl der Lebensmittel als auch der Speisen wesentlich beeinflusst. Großküchen produzieren täglich bis zu 1,5 Mio. Speisen. Das Energieeinsparungspotential ist hoch. Untersuchungen zeigen, dass zwischen 20 % und 25 % des Energieverbrauchs eingespart werden können.

Durch die Wahl der verwendeten Lebensmittel können Großküchen einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Neben ernährungsphysiologischen und ökonomischen, spielen zunehmend auch ökologische Kriterien bei der Zusammensetzung der Menüs eine gewichtige Rolle. Die Frage, die sich stellt, lautet: Wie groß ist der Einfluss der Art der Produktion (konventionell/biologisch), des Ortes der Produktion (aus der Region/nicht aus der Region) und des Kaufzeitpunkts (saisonal/nicht saisonal) auf die CO₂-Emissionen von Lebensmitteln bzw. Speisen.

Eine bewusste Auswahl der Lebensmittel hat jedoch nicht nur ökologische Vorteile, sie trägt zudem zum Wohlbefinden der KonsumentInnen bei und stellt insbesondere in Schulküchen und in Küchen von Kindergärten eine Vorbildwirkung für jüngere Generationen dar.

2 Zielsetzung, Fragestellung

Das Ziel des Projekts SUKI ist es, die gesamten CO₂-Emissionen der am Projekt beteiligten Großküchen zu erfassen und die direkten und die indirekten Einflussmöglichkeiten von Großküchen auf ihre CO₂-Emissionen zu analysieren. Es werden Möglichkeiten und Grenzen von Großküchen zur Reduktion ihrer CO₂-Emissionen aufgezeigt.

Folgende Fragen werden beantwortet:

- Wie viel Energie wird in Großküchen für den gesamten Produktionsprozess eingesetzt?
- Inwiefern unterscheidet sich der Energieverbrauch von Frischkostküchen im Vergleich zu Cook&Chill Küchen?
- Wie viel Energie verbrauchten die eingesetzten Lebensmittel auf ihrem Weg vom Feld in die Küche? Welchen Einfluss hat die Berücksichtigung der Produktionsart (konventionell, biologisch/ökologisch) bei der Auswahl der Lebensmittel auf die CO₂-Emissionen von Großküchen?
- Welchen Einfluss hat die Berücksichtigung der Herkunft (Regionalität) bei der Auswahl der Lebensmittel auf die CO₂-Emissionen von Großküchen?
- Welchen Einfluss hat die Berücksichtigung der Saisonalität bei der Auswahl der Lebensmittel auf die CO₂-Emissionen von Großküchen?
- Welche Speise trägt den größten ökologischen Rucksack?
- Welche kurz-, mittel- und langfristigen Maßnahmen zur CO₂-Emissionsreduktion können in den Großküchen getroffen werden?

Hintergrund ist das Bestreben, Großküchen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Produktion und gleichzeitiger Erhöhung der Ernährungsqualität zu unterstützen, indem am Beispiel der THG-Emissionen ausgewählter Lebensmittel sowie Speisen aus unterschiedlichen Regionen und verschiedenen Produktionssystemen durch die Wahl der Rohstoffe bedingte Möglichkeiten einer Emissionseinsparung abgeleitet werden.

3 Methodisches Vorgehen

3.1 Untersuchungsrahmen – Systemdefinition

Die funktionelle Einheit ist 1 Kilogramm Salat, das vom Hauptanbaugebiet in der Region Bari, Italien nach Wien, Österreich geliefert wird. Das Produktsystem beinhaltet alle wesentlichen CO₂-relevanten Größen für die Produktion von 1 kg Salat.

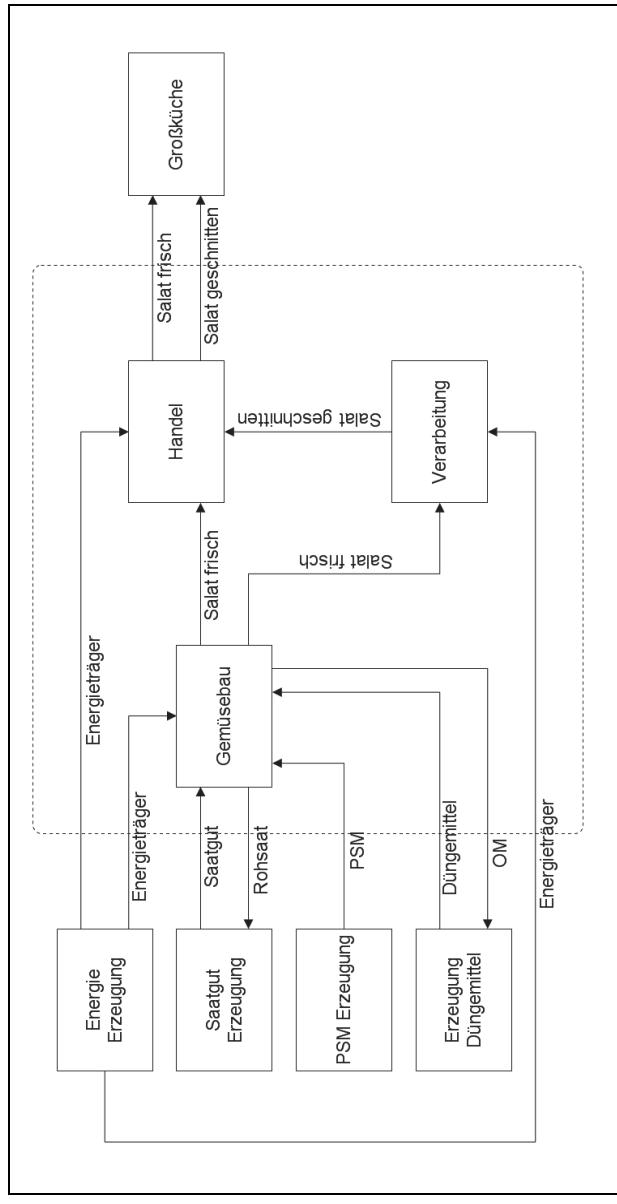


Abbildung 3-1: Systemdefinition Produktion, Transport und Verarbeitung von Salat (frisch und verarbeitet); Herkunft: Italien (Region Bari), Ziel: Österreich (Wien)

OM: Organisches Material
PSM: Pflanzenschutzmittel

3.2 Vorgelagerte Prozesse

3.2.1 Erzeugung von Düngemittel

Mineralische Düngemittelerzeugung

Die Produktion mineralischer Düngemittel verursacht Emissionen von Ammoniak (NH_3), Phosphor- und Salpetersäure (H_2PO_4 ; HNO_3) [International Fertilizer Industry Association (IFA)]. Im Rahmen der Produktion von Mineraldüngern werden die drei primären Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P_2O_5) und Kalium (K_2O) eingesetzt. Die in dieser Studie verwendeten Emissionsfaktoren basieren auf Davis und Hagl [Davis, 1999], die derzeit umfassendste und aktuellste Studie. Die Klimawirkung (bzw. $\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$) der mineralischen Düngemittelproduktion wird entnommen (siehe Tabelle 3-1) [Ecoinvent Centre, 2007].

Tabelle 3-1: Allgemeine Annahmen bezüglich der Erzeugung von mineralischen Düngemitteln

Konventionelle Landwirtschaft			
Düngemittel	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
N-Düngemittel	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	8,16	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	8,2	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Calcium ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	5,49	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Urea ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	4,7	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Ammonium nitrate phosphate, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	2,39	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Ammonium sulphate, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	4,43	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Calcium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	3,07	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Urea, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	2,49	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	15,4	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Potassium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	2,5	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U“
P_2O_5 -Düngemittel	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	1,4	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Monoammonium phosphate, as P_2O_5 , at regional storehouse/RER U“
	$\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$	2,1	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Single superphosphate, as P_2O_5 , at regional storehouse/RER U“

Konventionelle Landwirtschaft			
Düngemittel	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
kg CO ₂ e kg ⁻¹	1,74	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Triple superphosphate, as P ₂ O ₅ , at regional storehouse/RER U“	
kg CO ₂ e kg ⁻¹	1,38	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Diammonium phosphate, as P ₂ O ₅ , at regional storehouse/RER U“	
kg CO ₂ e kg ⁻¹	1,09	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Ammonium nitrate phosphate, as P ₂ O ₅ , at regional storehouse/RER U“	
K ₂ O-Düngemittel	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,677	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Potassium nitrate, as K ₂ O, at regional storehouse/RER U“
	kg CO ₂ e kg ⁻¹	1,13	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Potassium sulphate, as K ₂ O, at regional storehouse/RER U“

Organische Düngemittelerzeugung

In Tabelle 3-2 sind die aus [Ecoinvent Centre, 2007] entnommenen Prozesse für die organische Düngemittelproduktion aufgelistet. Für die Erzeugung von Gülle und Festmist (organische Düngemittel) werden 12 neue Prozesse erstellt. Diese Prozesse werden vom Düngermanagement der Viehhaltung abgeleitet. Bezuglich der Methanemissionen sowie der direkten und indirekten Lachgasemissionen werden für Mastvieh und Milchvieh jeweils Gülle und Festmist berücksichtigt, wobei Gülle als Nebenprodukt der konventionellen Tierhaltung (Milch- und Fleischherzeugung) festgelegt wird und Festmist als Nebenprodukt der ökologischen Tierhaltung. Die Umweltauswirkungen werden mittels Allokationsfaktor den entsprechenden „Outputs‘ zugerechnet. Die Umweltauswirkung wird anhand einer ökonomischen Allokation den Düngemitteln zugeschrieben.

Tabelle 3-2: Allgemeine Annahmen bezüglich der Erzeugung von organischen Düngemitteln

Biologische Landwirtschaft			
Düngemittel	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
Kompost	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,325	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Compost, at plant/CH U“
Hornmehl	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,252	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Horn meal, at regional storehouse/CH U“
Hühnermist	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,0966	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Poultry manure, dried, at regional storehouse/CH U“
Vinassee	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,0157	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Vinassee, at regional storehouse/CH U“
Gründüngung, konventionell	kg CO ₂ e ha ⁻¹	915	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Green manure IP, until February/CH U“

Biologische Landwirtschaft			
Düngemittel	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
Gründüngung, biologisch	kg CO ₂ e ha ⁻¹	498	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Green manure organic, until February/CH U“
Festmist, Mastbullen	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,0362	FESTMIST; aus Mastbullenhaltung; DE v02.1
Festmist, Milchvieh	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,0118	FESTMIST; aus Milchviehhaltung; DE v02.1
Gülle, Mastbullen	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,0154	GÜLLE; aus Mastbullenhaltung; DE v02.1
Gülle, Milchvieh	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,0204	GÜLLE; aus Milchviehhaltung; DE v02.1

Die Treibhausgasemissionen Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) (direkte und indirekte N₂O Emissionen) aus dem Düngermanagement werden nach der IPCC 2006-Methode [De Klein et al., 2006] berechnet. Grundlage für die Berechnung ist die Gesamtmenge an ausgeschiedenem Wirtschaftsdünger und der Stickstoffgehalt im Dünger. Die Daten werden der Düngemitteltabelle der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft entnommen [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010]. Die Emissionen werden in kg CO₂e (kg Festmist oder Gülle)⁻¹ angegeben.

3.2.2 Erzeugung von Pflanzenschutzmittel

Die Erzeugung von in der Landwirtschaft verwendeten Pestiziden trägt geringfügig zu den Treibhausgasemissionen bei (unter 5 %) und wird deshalb ‚grob‘ modelliert. Eine grobe Modellierung bedeutet, dass die Pflanzenschutzmittel (Pestizide) in drei Kategorien eingeteilt werden: Herbizide, Insektizide, Fungizide und zur Darstellung der Emissionen werden die vorhandenen Sachbilanzen aus [Ecoinvent Centre, 2007] Sachbilanzen basieren auf [Green, 1987], und sind derzeit die qualitativ hochwertigste Datenquelle zur Erzeugung von chemischen Düngemitteln [Nemecek & Kägi, 2007].

Tabelle 3-3: Für die Modellierung der Erzeugung von Pflanzenschutzmitteln verwendeten Prozesse [Ecoinvent Centre, 2007]

Konventionelle Landwirtschaft – Erzeugung chemischer Pflanzenschutzmittel			
Düngemittel	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
Pestizide	kg CO ₂ e kg ⁻¹	9,36	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Pesticide unspecified, at regional storehouse/RER U“
Herbizide	kg CO ₂ e kg ⁻¹	9,46	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Herbicides, at regional storehouse/RER U“

Konventionelle Landwirtschaft – Erzeugung chemischer Pflanzenschutzmittel			
Düngemittel	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
Fungizide	kg CO ₂ e kg ⁻¹	9,92	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Fungicides, at regional storehouse/RER U“
Insektizide	kg CO ₂ e kg ⁻¹	15,8	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Insecticides, at regional storehouse/RER U“

Biologische Pflanzenschutzmittel basieren auf natürlichen pflanzlichen oder tierischen Produkten, auf Mikroorganismen, auf Substanzen, die in Fällen eingesetzt werden oder auf Substanzen, die traditionell im ökologischen Landbau eingesetzt werden [Kelderer, 2011]. Konventionelle Pflanzenschutzmittel hingegen basieren auf chemischen Wirkstoffen. Die Produktion von biologischen und konventionellen Mitteln ist somit sehr unterschiedlich. Aufgrund mangelnder Datenlage bezüglich der Produktion von biologischen Pflanzenschutzmitteln wird im Rahmen der biologischen Landwirtschaft die Erzeugung von biologischen Pflanzenschutzmitteln nicht berücksichtigt. Der erforderliche Maschineneinsatz für die Ausbringung der Pflanzenschutzmittel fließt in die Berechnung mit ein (siehe Kapitel 3.3.4.).

3.2.3 Erzeugung von Saatgut

Die Erzeugung von Saat- und Pflanzgut trägt im Allgemeinen geringfügig (unter 5 %) zu den gesamten Treibhausgasemissionen von Lebensmitteln bei [Nemecek & Kägi, 2007]. Eine Ausnahme stellt die Kartoffel dar, da eine größere Menge an Pflanzgut pro ha notwendig ist. Aufgrund des relativ niedrigen Anteils der Saat- und Pflanzguterzeugung an den gesamten Treibhausgasemissionen wird dieser Prozess anhand der vorhandenen Daten in [Ecoinvent Centre, 2007] modelliert (siehe Tabelle 3-4). Dabei wird lediglich der Input Saat- und Pflanzgut für einjährige Kulturen berücksichtigt; für mehrjährige Kulturen (z.B. Obstsorten) wird die Erzeugung von Saat- und Pflanzgut aufgrund des niedrigen Beitrags an den gesamten CO₂-Emissionen vernachlässigt.

Tabelle 3-4: Verwendete Prozesse für die Modellierung der Saat- und Pflanzguterzeugung, [Ecoinvent Centre, 2007]

Konventionelle Landwirtschaft – Erzeugung Saat- und Pflanzgut			
Saat- oder Pflanzgut	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
Gerste, konventionell	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,37	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Barley seed IP, at regional storehouse/CH U“
Gerste, biologisch	kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,42	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Barley seed organic, at regional storehouse/CH U“

Konventionelle Landwirtschaft – Erzeugung Saat- und Pflanzgut			
Saat- oder Pflanzgut	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
Klee, konventionell	kg CO _{2e} kg ⁻¹	3,15	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Clover seed IP, at regional storehouse/CH U“
Gras, konventionell	kg CO _{2e} kg ⁻¹	1,82	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass seed IP, at regional storehouse/CH U“
Gras, biologisch	kg CO _{2e} kg ⁻¹	1,38	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass seed organic, at regional storehouse/CH U“
Mais, konventionell	kg CO _{2e} kg ⁻¹	1,78	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Maize seed IP, at regional storehouse/CH U“
Mais, biologisch	kg CO _{2e} kg ⁻¹	1,24	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Maize seed organic, at regional storehouse/CH U“
Erbse, konventionell	kg CO _{2e} kg ⁻¹	0,82	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Pea seed IP, at regional storehouse/CH U“
Erbse, biologisch	kg CO _{2e} kg ⁻¹	0,84	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Pea seed organic, at regional storehouse/CH U“
Raps, konventionell	kg CO _{2e} kg ⁻¹	1,6	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rape seed IP, at regional storehouse/CH U“
Raps, biologisch	kg CO _{2e} kg ⁻¹	1,17	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rape seed organic, at regional storehouse/CH U“
Roggen, konventionell	kg CO _{2e} kg ⁻¹	0,29	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rye seed IP, at regional storehouse/CH U“
Roggen, biologisch	kg CO _{2e} kg ⁻¹	0,4	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rye seed organic, at regional storehouse/CH U“
Weizen, konventionell	kg CO _{2e} kg ⁻¹	0,51	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Wheat seed IP, at regional storehouse/CH U“
Weizen, biologisch	kg CO _{2e} kg ⁻¹	0,46	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Wheat seed organic, at regional storehouse/CH U“
Kartoffel, konventionell	kg CO _{2e} kg ⁻¹	0,177	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Potato seed IP, at regional storehouse/CH U“
Kartoffel, biologisch	kg CO _{2e} kg ⁻¹	0,163	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Potato seed organic, at regional storehouse/CH U“

3.2.4 Erzeugung von Energie

Energie wird nicht direkt, sondern über Energieträger genutzt, in dem sie physikalisch oder chemisch gespeichert ist. Durch die Umwandlung der Primärennergieträger Erdöl, Kohle, Gas, Holz und Biomasse entstehen die Sekundärenergieträger Strom, Dampf und Druckluft.

Für die Prozesse Landwirtschaft, Handel und Verarbeitung werden unterschiedliche Energieträger benötigt. Die Emissionen aus der Erzeugung der Energieträger werden komplett aus der Datenbank Ecoinvent [Ecoinvent Centre, 2007] entnommen.

In den Daten zur Erzeugung von Elektrizität sind berücksichtigt: Inlandserzeugung, Importe, Übertragungs- und Transformationsverluste sowie Schwefel-Hexafluorid (SF_6) Emissionen [Ecoinvent Centre, 2007].

Die für den Prozess Landwirtschaft relevanten Werte sind Niederspannungswerte. Für den industriellen Bereich, also den Prozess Verarbeitung sind Mittelspannungswerte angegeben. Für alle Heizprozesse wird generell Erdgas als Energieträger angenommen (z.B. Beheizung von Gewächshäusern) was im Einzelfall gesondert betrachtet werden muss. Daten zum Erdgas als Treibstoff und als Rohstoff für die Düngemittelproduktion werden nicht angepasst, sondern wie vorhanden in der Datenbank, verwendet.

In den Prozessen Landwirtschaft und Handel ist Diesel der meistverwendete Brennstoff. Berücksichtigt werden die Raffination von Diesel sowie der Transport des Diesels zum Endverbraucher. Grundlegende Annahme für die Dieserverbrauchsdaten in allen Prozessen stellt der durchschnittliche Stand der Technik in Europa dar, d.h. Diesel nach EN 590, mit niedrigem Schwefelgehalt. Die Raffination des Diesels ist im Vergleich zu den Verbrennungsprozessen beim Verbrauch bezüglich der Emissionen vernachlässigbar.

Die mit der Erzeugung assoziierten Treibhausgase werden berücksichtigt.

Die Emissionsfaktoren der Fernwärmе aus der Müllverbrennung wurde dem Prozess „disposal, municipal solid waste, 22,9 % water, to municipal incineration“ entnommen und nach den Regeln der Allokation 1/3 der Fernwärmе zugerechnet.

Tabelle 3-5: Eingesetzte Energieträger in der Lebensmittelproduktionskette

Erzeugung Energieträger	Energieträger	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
Diesel		kg CO ₂ e kg ⁻¹	0,441	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U“
Elektrizität	kg CO ₂ e kWh ⁻¹	0,431		[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Electricity, low voltage, at grid/AT U“
	kg CO ₂ e kWh ⁻¹	0,914		[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Electricity, low voltage, at grid/CZ U“
	kg CO ₂ e kWh ⁻¹	0,708		[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Electricity, low voltage, at grid/DE U“
	kg CO ₂ e kWh ⁻¹	0,627		[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Electricity, low voltage, at grid/IT U“
	kg CO ₂ e kWh ⁻¹	0,735		[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Electricity, low voltage, at grid/HU U“
Erdgas	kg CO ₂ e MJ ⁻¹	0,0708		[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Heat, natural gas, at boiler condensing modulat-

Erzeugung Energieträger			
Energieträger	Einheit	Größe	Quelle und Bemerkungen
		kg CO ₂ e MJ ⁻¹	ing <100kW/RER U“ [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Natural gas, burned in boiler condensing modulating >100kW/RER U“
Fernwärme	kg CO ₂ e MJ ⁻¹	0,0738	[Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Heat from waste, at municipal waste incineration plant/CH U“

3.3 Prozess Landwirtschaft

3.3.1 Allgemeine Annahmen

Tabelle 3-6: Allgemeine Annahmen der konventionellen Landwirtschaft

Konventionelle Landwirtschaft	Parameter	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Ertrag		kg ha ⁻¹	30.300	25.800	[Cambise, 2010]
				30.000,	[ProF.i, 2005]
				35.000	

Tabelle 3-7: Allgemeine Annahmen der biologischen Landwirtschaft

Biologische Landwirtschaft	Parameter	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Ertrag		kg ha ⁻¹	27.000	22.000-32.000	[Fontanabona, 2010]

3.3.2 Landwirtschaftliche Inputs

In diesem Abschnitt werden die landwirtschaftlichen Inputs tabellarisch dargestellt. Die Werte werden zum Teil den vorgelagerten Prozessen, vgl. Kapitel 3.2 entnommen.

Tabelle 3-8: Düngemittel-Inputs in der konventionellen Landwirtschaft

Konventionelle Landwirtschaft – Düngemittel-Inputs				
Düngemittel		Einheit	Größe	Spanne:
Mineralische Düngemittel	N-Düngemittel	kg N ha ⁻¹	114	160 70,125,130 110 90
	P ₂ O ₅ -Düngemittel	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	70	85,60,125 70 52
	K ₂ O-Düngemittel	kg K ₂ O ha ⁻¹	164	150 175,180,175 160 142
Organische Düngemittel	Kompost	kg ha ⁻¹		
	Hornmehl	kg ha ⁻¹		
	Hühnermist	kg ha ⁻¹		
	Vinasse	kg ha ⁻¹		
	Mastviehmist	kg ha ⁻¹		
	Mastviehgülle	kg ha ⁻¹		
	Milchviehmist	kg ha ⁻¹		
	Milchviehgülle	kg ha ⁻¹		

Konventionelle Landwirtschaft – Düngemittel-Inputs			
Düngemittel	Einheit	Größe	Spanne:
Gründüngung, konventionell	ha		
Gründüngung, biologisch	ha		

Tabelle 3-9: Düngemittel-Inputs in der biologischen Landwirtschaft

Biologische Landwirtschaft – Düngemittel-Inputs			
Düngemittel	Einheit	Größe	Spanne:
Mineralische Düngemittel	N-Düngemittel	kg N ha ⁻¹	
	P ₂ O ₅ -Düngemittel	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	
	K ₂ O-Düngemittel	kg K ₂ O ha ⁻¹	
Organische Düngemittel	Kompost	kg ha ⁻¹	
	Hornmehl	kg ha ⁻¹	
	Hühnermist	kg ha ⁻¹	
	Vinasse	kg ha ⁻¹	
	Mastviehmist	kg ha ⁻¹	
	Mastviehgülle	kg ha ⁻¹	
	Milchviehmist	kg ha ⁻¹	40.000
	Milchviehgülle	kg ha ⁻¹	
	Gründüngung, konventionell	ha	
Gründüngung, biologisch			ha

Berechnung nach [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010] und [Anderst, 2010]

Tabelle 3-10: Pflanzenschutzmittel-Inputs der konventionellen Landwirtschaft

Konventionelle Landwirtschaft – Pflanzenschutzmittel-Input				
Pflanzenschutzmittel	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Pestizide	kg ha ⁻¹	5,5		[Aster et al., 2009]
Herbizide	kg ha ⁻¹	0		
Insektizide	kg ha ⁻¹	0		
Fungizide	kg ha ⁻¹	0		

Tabelle 3-11: Pflanzenschutz-Inputs der biologischen Landwirtschaft

Biologische Landwirtschaft – Pflanzenschutzmittel-Input				
Pflanzenschutzmittel	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Pestizide	kg ha ⁻¹	0		
Herbizide	kg ha ⁻¹	0		
Insektizide	kg ha ⁻¹	0		
Fungizide	kg ha ⁻¹	0		

Tabelle 3-12: Saatgut-Inputs der konventionellen Landwirtschaft

Konventionelle Landwirtschaft – Saat- und Pflanzgut-Input				
Saat- oder Pflanzgut	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Saatgut	kg ha ⁻¹	1,5		Berechnung nach [Konrad & Knapp, 2011] und [Enza Zaden Deutschland GmbH & Co. KG, 2011]

Tabelle 3-13: Saatgut-Inputs der biologischen Landwirtschaft

Biologische Landwirtschaft – Saat- und Pflanzgut-Input				
Saat- oder Pflanzgut	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Saatgut	kg ha ⁻¹	1,5		Berechnung nach [Konrad & Knapp, 2011] und [Enza Zaden Deutschland GmbH & Co. KG, 2011]

3.3.3 Feldemissionen

Landwirtschaftlich genutzte Böden enthalten in der durchwurzelten Bodenschicht zwischen 3.000 und 50.000 kg N/ha, wovon etwa 99 % in organischer Form gebunden sind. Für die treibhausrelevanten Emissionen (hier N₂O) von Bedeutung ist die Menge an anorganisch vorliegendem Stickstoff (NO₃ und NH₄), d.h. durch Mineralisierungsvorgänge entstandener oder durch Düngemittel aufgebrachter Stickstoff.

Direkte sowie indirekte Emissionen von Lachgas (N₂O) entstehen auf landwirtschaftlich genutzten Böden hauptsächlich durch die Anwendung anorganischer und organischer Düngemittel [Spiess & Richner, 2005].

3.3.3.1 Direkte N₂O-Feldemissionen

Bei den direkten Lachgas (N₂O)-Feldemissionen werden die Emissionen als Folge der anorganischen, also mineralischen Stickstoffdüngung (F_{SN}) und der organischen Stickstoffdüngung (F_{ON}) (Harn und Exkreme der Weidetiere) berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt werden: mineralisierter Stickstoff als Folge des Verlustes von organisch gebundenem Kohlenstoff aus organischer Substanz im Boden (F_{SOM}) und der Stickstoff aus Ernterückständen (F_{CR}). Die daraus entstehenden Emissionen sind im Vergleich vernachlässigbar gering. Ebenfalls nicht berücksichtigt wird der aus der Luft fixierte Stickstoff aus dem Anbau von Leguminosen. Die Bindung des Stickstoffs aus der Luft durch Leguminosen wie Luzerne und Ackerbohne ist im ökologischen Pflanzenbau, v.a. im Weizenanbau der wichtigste Stickstofflieferant. Da die Datenlage über die Emissionen aus der N-Bindung durch Leguminosen bisher noch unzureichend ist um konkrete Aussagen treffen zu können, werden die Emissionen durch symbiotische N-Bindung Leguminosen nicht berücksichtigt [Strogies & Gniffke, 2009].

In Formel 3-1 ist die Berechnungsmethode der N₂O-N Emissionen wiedergegeben, adaptiert von [De Klein et al., 2006].

Formel 3-1: Stickstoffanteil der Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Inputs

$$N_2O - N_{N \text{ inputs}} = [(F_{SN} + F_{ON}) \times EF_1]$$

N₂O-N_{inputs}: jährliche direkte Feldemissionen aus Stickstoff-Inputs in landwirtschaftlichen Boden, kg N₂O-N ha⁻¹

F_{SN}: Aufgebrachte Menge anorganische Düngemittel, kg N ha⁻¹

F_{ON}: Aufgebrachte Menge organische Düngemittel, kg N ha⁻¹

EF₁: Emissionsfaktor für Lachgas Emissionen aus landwirtschaftlichen Stickstoff-Inputs, kg N₂O-N (kg N)⁻¹

Die durchschnittlichen Inputs an anorganischem Stickstoff (F_{SN}) sind aus der Fragenbogenerhebung, Publikationen von Landwirtschaftskammern und entsprechender Fachliteratur ermittelt worden. Die Stickstoffverluste die durch Verflüchtigung von Ammoniak (NH₃) und Stickoxide (NO_x) entstehen werden [Anderl et al., 2009] und [De Klein et al., 2006] entnommen (siehe Formel 3-2).

Formel 3-2: Menge des aufgebrachten Stickstoffs korrigiert um Verluste durch Verflüchtigung

$$F_{SN} = N_{FERT} \times (1 - Frac_{GASF})$$

N_{FERT}: Jährliche Menge an Stickstoff der in Form von Dünger aufgebracht wird, kg N

Frac_{GASF}: Anteil des Stickstoffs der sich in Form von NH₃ und NO_x verflüchtigt, kg/kg (0,023 für mineralische Düngemittel und 0,153 für Harnstoff)

Organische Düngemittel umfassen tierische Exkreme (bzw. Gülle, Festmist), Abwasserrückstände, Kompost, und sonstige organische Düngemittel wie zum Beispiel Vinasse oder Gründünger. Die durchschnittlichen organischen Stickstoff-Inputs (F_{ON}) sind aus der Fragenbogenerhebung und Literaturangaben ermittelt und werden anhand Formel 3-3 aus [De Klein et al., 2006] berechnet. Die entsprechende Stickstoffgehalte der organischen Düngemittel werden der Düngemitteltabelle der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010] entnommen.

Formel 3-3: Jährlich aufgebrachte Menge organischen Stickstoffs

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

F_{AM} : Jährliche aufgebrachte Menge an N über Wirtschaftsdünger, kg N year⁻¹

F_{SEW} : Jährliche aufgebrachte Menge an N über Abwasserrückstände, kg N year⁻¹

F_{COMP} : Jährliche aufgebrachte Menge an N über Kompost, kg N year⁻¹

F_{OOA} : Jährliche aufgebrachte Menge an N über sonstige organische Düngemittel, kg N year⁻¹

Bei Weidehaltungssystemen von Milch- und Mastvieh auf Grünland ist die Zufuhr von Stickstoff durch die Exkremeante der Tiere gewährleistet.

Die entsprechenden Lachgasemissionen werden anhand [De Klein et al., 2006] ermittelt (siehe Formel 3-4).

Formel 3-4: N2O-N Emissionen als Folge der Zufuhr der Exkreme von Weidetieren

$$N_2O - N_{PRP} = F_{PRP} \times EF_{PRP}$$

$N_2O - N_{PRP}$: Jährliche direkte Emissionen aus den Exkremen von Weidetieren, kg N₂O-N yr⁻¹

F_{PRP} : Jährliche Menge der Zufuhr von Exkrementen durch Weidetiere, kg N yr⁻¹

EF_{PRP} : Emissionsfaktor für N₂O Emissionen aus den Exkremen von Weidetieren, (kg N)⁻¹

Anhand Formel 3-5 entnommen und angepasst von [De Klein et al., 2006] wird der Stickstoffanteil der Lachgasemissionen (N₂O-N) auf Lachgas (N₂O) hochgerechnet.

Formel 3-5: Umrechnung von N₂O-N auf N₂O

$$N_2O = (N_2O - N_{N\text{ inputs}} + N_2O - N_{PRP}) \times \left(\frac{44}{28}\right)$$

Tabelle 3-14: Direkte N_2O Feldemissionen der konventionellen Landwirtschaft

Konventionelle Landwirtschaft					
Parameter	Beschreibung	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
N_{FERT}	Mineralisches N-Düngemittel	kg N ha ⁻¹	114	160 70,125,130 110 90	[Aster et al., 2009] [Prof.i, 2005] [Cambisse, 2010] [Fidegelli, 2005]
$Frac_{GASF}$	Anteil N-Verluste durch Verflüchtigung (NH_3 und NO_x)	kg N (kg Düngemittel) ⁻¹	0,023		[Anderl et al., 2009] 6.4.2.1,S.260;(0,023 für anorganische Düngemittel, 0,153 für Urea)
F_{AM}		kg N ha ⁻¹	0		
F_{SEW}		kg N ha ⁻¹	0		
F_{COMP}		kg N ha ⁻¹	0		
F_{OOA}		kg N ha ⁻¹	0		
EF_1	N_2O -N Emissionsfaktor für Feldemissionen durch Anwendung anorganischer und organischer N-Düngung	kg N_2O -N (kg N) ⁻¹	0,01		[De Klein et al., 2006] 11.2.11.2,S.11.11,Tbl.11.1.
F_{PRP}	N_2O -N Emissionsfaktor für Feldemissionen durch Zufuhr von Exkrementen von Weidetieren	kg N_2O -N (kg N) ⁻¹	0		[De Klein et al., 2006] 11.2.11.2,S.11.11,Tbl.11.1.

Tabelle 3-15: Direkte N_2O Feldemissionen der biologischen Landwirtschaft

Biologische Landwirtschaft					
Parameter	Beschreibung	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
N_{FERT}		kg N ha ⁻¹	0		
$Frac_{GASF}$	Anteil N-Verluste durch Verflüchtigung	kg N (kg Düngemittel) ⁻¹	0,023	[Anderl et al., 2009]	Kap.

Biologische Landwirtschaft					Quelle und Bemerkungen
Parameter	Beschreibung	Einheit	Größe	Aus:	
	(NH ₃ und NO _x)	(H ₂ O mittel) ⁻¹		6.4.2.1, S.260,(0,023 für anorganische Düngemittel, 0,153 für Urea)	
F _{AM}	Milchviehmist	kg N ha ⁻¹	208	Berechnung nach [Fontanabona, 2010] und [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010]	
F _{SEW}		kg N ha ⁻¹	0		
F _{COMP}		kg N ha ⁻¹	0		
F _{OOA}		kg N ha ⁻¹	0		
EF ₁	N ₂ O-N Emissionsfaktor für Feldemissionen durch Anwendung anorganischer und organischer N-Düngung	kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹	0,01	[De Klein et al., 2006] Kap. 11.2.1.2,S.11.11,Tbl.11.1.	
F _{PRP}	N ₂ O-N Emissionsfaktor für Feldemissionen durch Zufuhr von Exkrementen von Weidetieren	kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹	0	[De Klein et al., 2006] Kap. 11.2.1.2,S.11.11,Tbl.11.1	

3.3.3.2 Indirekte N₂O-Feldemissionen

Die Anwendung von anorganischen sowie organischen Düngemitteln kann auch zu indirekten Lachgasemissionen führen. Indirekte Lachgasemissionen entstehen durch Verflüchtigung des Stickstoffs in Form von Ammoniak (NH₃) und Stickoxiden (NO_x) und deren anschließende Umwandlung in Lachgas.

Indirekte Lachgasemissionen aus Verflüchtigung von Stickstoff werden nach [De Klein et al., 2006] anhand der Formel 3-6 ermittelt. Die Stickstoff-Inputs entsprechen den Berechnungen der direkten Lachgasemissionen nach [De Klein et al., 2006] (siehe 3.3.3.1).

Formel 3-6: Lachgas aus atmosphärischer Deposition von landwirtschaftlichen Böden verflüchtigter Stickstoff

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM})] \times EF_4$$

$N_2O_{(ATD)}$: Jährliche Menge N_2O -N an Stickstoff der aus landwirtschaftlichen Böden ausgast, kg N_2O -N Jahr $^{-1}$
 F_{SN} : Aufgebrachte Menge anorganischer Düngemittel, kg N ha $^{-1}$ (zur Abstimmung mit den direkten N_2O Emissionen wird hier N_{FERT} verwendet)

$Frac_{GASF}$: Stickstoffanteil der als NH_3 und NO_x aus mineralischer Düngung verflüchtigt (atmosphärische Deposition), kg/kg (0,023 für mineralische Düngemittel und 0,153 für Harnstoff)

F_{ON} : Aufgebrachte Menge organischer Düngemittel, kg N ha $^{-1}$

F_{PRP} : Jährliche Menge der von Weidetieren abgegebenen Exkreme, kg N yr $^{-1}$

$Frac_{GASM}$: Stickstoffanteil der als NH_3 und NO_x aus organischer Düngung verflüchtigt (atmosphärische Deposition), kg N-Verflüchtigt (kg N) $^{-1}$

EF_4 : Emissionsfaktor für N_2O Emissionen aus atmosphärischer Deposition von Stickstoff, kg N_2O -N (kg NH_3 -N + NO_x -N verflüchtigt) $^{-1}$

Weitere indirekte Lachgasemissionen werden verursacht durch Oberflächenabfluss und Auswaschung von Stickstoff aus landwirtschaftlichen Böden. Im Boden liegt der Stickstoff in Form von sehr mobilem Nitrat vor (NO_3^-), das vor allem im Winterhalbjahr (kein Bewuchs) leicht mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden kann [Spiess & Richner, 2005].

Die indirekten Lachgasemissionen aus Oberflächenabfluss und Auswaschung von Stickstoff werden anhand von Formel 3-7 [De Klein et al., 2006] ermittelt.

Formel 3-7: Jährliche Menge N_2O -N Emissionen aus Oberflächenabfluss und Auswaschung

$$N_2O_L - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{LEACH-(H)} \times EF_5$$

N_2O_L -N: Jährliche Menge N_2O -N Emissionen aus Oberflächenabfluss und Auswaschung, kg N_2O -N Jahr $^{-1}$
 F_{SN} : Aufgebrachte Menge anorganischer Düngemittel, kg N ha $^{-1}$ (zur Abstimmung mit die direkte N_2O Emissionen wird hier N_{FERT} verwendet)

F_{ON} : Aufgebrachte Menge organischer Düngemittel, kg N ha⁻¹

F_{PRP} : Jährliche Menge von Weidetieren deponierter Harn und Dung, kg N yr⁻¹

$Frac_{LEACH-(H)}$: Anteil des gesamten aufgebrachten Stickstoffs welcher durch Oberflächenabfluss und Auswaschung verloren geht, kg N (kg hinzugefügte N)⁻¹

EF_5 : Emissionsfaktor für N₂O Emissionen von Oberflächenabfluss und Auswaschung, kg N₂O-N (kg N)⁻¹

Schließlich wird der Stickstoffanteil der indirekten Lachgassemissionen (N₂O-N) auf Lachgas (N₂O) anhand Formel 3-8 Formel 3-5, adaptiert von [De Klein et al., 2006], hochgerechnet.

Formel 3-8: Jährliche Menge indirekter N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Stickstoff-Inputs

$$N_2O = \left(N_2O_{(ATD)} + N_2O_{LEACH-(H)} \right) \times \left(\frac{44}{28} \right)$$

Tabelle 3-16: Indirekte N₂O Feldemissionen der konventionellen Landwirtschaft

Konventionelle Landwirtschaft						Quelle und Bemerkungen
Parameter	Beschreibung	Einheit	Größe	Aus:		
N _{FERT} (F _{SN})		kg N ha ⁻¹	114	160 70,125,130 110 90	[Aster et al., 2009] [Prof. i, 2005] [Cambise, 2010] [Fidaghelli, 2005]	
Frac _{GASF}	Anteil N-Verluste durch Verflüchtigung (NH ₃ und NO _x)	kg N (kg Düngemittel) ⁻¹	0,023	[Anderl et al., 2009] 6.4.2.1, S.260; 0,023 für anorganische Düngemittel, 0,153 für Urea)		
F _{AM}	Gülle (kg Gülle-N/ha)	kg N ha ⁻¹	0			
F _{SEW}		kg N ha ⁻¹	0			
F _{COMP}		kg N ha ⁻¹	0			
F _{OOA}		kg N ha ⁻¹	0			

Konventionelle Landwirtschaft	
Parameter	Beschreibung
F_{PRP}	
$Frac_{GASM}$	Anteil N-Verluste von Harn und Dung von Beweidung durch Verflüchtigung (NH_3 und NO_x)
EF_4	Emissionsfaktor für N_2O Emissionen von atmosphärische Deposition von N
$Frac_{LEACH(H)}$	Anteil der N-Verluste durch Oberflächenabfluss und Auswaschung
EF_5	Emissionsfaktor für N_2O Emissionen durch Oberflächenabfluss und Auswaschung

Tabelle 3-17: Indirekte N_2O Feldemissionen der biologische Landwirtschaft

Biologische Landwirtschaft	
Parameter	Beschreibung
$N_{FERT}(F_{SN})$	
$Frac_{GASF}$	Anteil N-Verluste durch Verflüchtigung (NH_3 und NO_x)
F_{AM}	Milchviehmist
F_{SEW}	
F_{COMP}	Kompost

Biologische Landwirtschaft					
Parameter	Beschreibung	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
F_{OOA}		kg N ha^{-1}	0		
F_{PRP}		kg N ha^{-1}	0		
$\text{Frac}_{\text{GASM}}$	Anteil N-Verluste von Harn und Dung von Beweidung durch Verflüchtigung (NH_3 und NO_x)	$\text{kg N}_2\text{O-N (kg ver- flüchtigte NH}_3\text{-N + NO}_x\text{-N)}^{-1}$	0,2		[Anderl et al., Kap.11.2.2,S.11.19-24,Tbl.11.3
EF_4	Emissionsfaktor für N_2O Emissionen von atmosphärische Deposition von N	$\text{kg N}_2\text{O-N (kg ver- flüchtigte NH}_3\text{-N + NO}_x\text{-N)}^{-1}$	0,01		[Anderl et al., Kap.11.2.2,S.11.19-24,Tbl.11.3
$\text{Frac}_{\text{LEACH-(H)}}$	Anteil der N-Verluste durch Oberflächen-abfluss und Auswaschung	$\text{kg N (kg aufge- brachte N)}^{-1}$	0,3		[Anderl et al., Kap.11.2.2,S.11.19-24,Tbl.11.3
EF_5	Emissionsfaktor für N_2O Emissionen durch Oberflächenabfluss und Auswaschung	$\text{kg N}_2\text{O-N (kg N)}^{-1}$	0,0075		[Anderl et al., Kap.11.2.2,S.11.19-24,Tbl.11.3

3.3.4 Maschineneinsatz

Der Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen verursacht Treibhausgasemissionen durch die Verbrennung von fossilen Treibstoffen. Es wird angenommen, dass Diesel der repräsentative Treibstoff in der Landwirtschaft ist. Die entsprechenden Emissionsfaktoren sind [Nemecek & Kägi, 2007] entnommen und in der Tabelle 3-18 wiedergegeben. Eine durchschnittliche Dichte des Treibstoffs Diesel wird angenommen (siehe Tabelle 3-18).

Tabelle 3-18: Allgemeine Annahmen bezüglich Treibhausgasemissionen durch Maschineneinsatz in der Landwirtschaft

Konventionelle und biologische Landwirtschaft – Allgemeine Annahmen			
Parameter	Einheit	Größe	Aus:
CO_2 Emissionsfaktor durch Verbrennung von Diesel in landwirtschaftlichen Maschinen	$\text{kg CO}_2 \text{ (kg Diesel)}^{-1}$	3,12	[Nemecek & Kägi, Kap.7.2.6,S.62,Tbl.7.1

Konventionelle und biologische Landwirtschaft – Allgemeine Annahmen				
Parameter	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
CH ₄ Emissionsfaktor durch Verbrennung von Diesel in landwirtschaftlichen Maschinen	kg CH ₄ (kg Diesel) ⁻¹	0,000129		[Nemecek & Kägi, Kap.7.2.6, S.62, Tbl.7.1]
N ₂ O Emissionsfaktor durch Verbrennung von Diesel in landwirtschaftlichen Maschinen	kg N ₂ O (kg Diesel) ⁻¹	0,00012		[Nemecek & Kägi, Kap.7.2.6, S.62, Tbl.7.1]
Dichte von Diesel	kg l ⁻¹	0,8325	Min. 0,820 Max. 0,845	http://de.wikipedia.org
CO ₂ Emissionsfaktor durch Verbrennung von LPG in landwirtschaftlichen Maschinen	kg CO ₂ (kg Propan) ⁻¹	2,9		[Gomez et al., 2006] Vol.2,S.2.22,Tbl.2.5 (Annahme: NCV _{LPG} :46 MJ/kg)
CH ₄ Emissionsfaktor durch Verbrennung von LPG in landwirtschaftlichen Maschinen	kg CH ₄ (kg Propan) ⁻¹	2,3e ⁻⁴		[Gomez et al., 2006] Vol.2,S.2.22,Tbl.2.5 (Annahme: NCV _{LPG} :46 MJ/kg)
N ₂ O Emissionsfaktor durch Verbrennung von LPG in landwirtschaftlichen Maschinen	kg N ₂ O (kg Propan) ⁻¹	4,6e ⁻⁶		[Gomez et al., 2006] Vol.2,S.2.22,Tbl.2.5 (Annahme: NCV _{LPG} :46 MJ/kg)

Tabelle 3-19: Arbeitsgänge und Treibstoffverbrauch für Maschineneinsatz in der konventionellen Landwirtschaft

Konventionelle Landwirtschaft - Maschineneinsatz					Quelle und Bemerkungen
Arbeitsgang	Sätze	Einheit	Treibstoff-verbrauch	Aus:	
Säen	1	kg ha ⁻¹	3,82		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Sowing/CH U“ [Fideghelli, 2005]
Pflanzen		kg ha ⁻¹	16,8		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Planting/CH U“ [Fideghelli, 2005]
Kartoffellegen		kg ha ⁻¹	8,9		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Potato planting/CH U“

Konventionelle Landwirtschaft - Maschineneinsatz					
Arbeitsgang	Sätze	Einheit	Treibstoffverbrauch	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Pflügen	2	kg ha ⁻¹	26,1		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, ploughing/CH U“ [Fideghelli, 2005]
Grubbern		kg ha ⁻¹	15,5		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, cultivating, chiselling/CH U“
Eggen (Kreiselegge)	1	kg ha ⁻¹	11,5		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, harrowing, by rotary harrow/CH U“ [Fideghelli, 2005]
Eggen (Federzinkenegge)		kg ha ⁻¹	4,44		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, harrowing, by spring tine harrow/CH U“
Fräsen	1	kg ha ⁻¹	14,1		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, rotary cultivator/CH U“ [Fideghelli, 2005]
Walzen	1	kg ha ⁻¹	3,18		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, rolling/CH U“ [Fideghelli, 2005]
Striegeln mit Hackstriegel		kg ha ⁻¹	1,6		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, currying, by weeder/CH U“
Ausbringen mineralischer Düngemittel	2	kg ha ⁻¹	5,29		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Fertilising, by broadcaster/CH U“
Ausbringen Gülle mit Vakuumfass		m ³ ha ⁻¹	0,217		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Slurry spreading, by vacuum tanker/CH U“
Ausbringen Festmist		kg ha ⁻¹	0,000531		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Solid manure loading and spreading, by hydraulic loader and spreader/CH U“
Mähen, Kreiselmäher		kg ha ⁻¹	4,3		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Mowing, by rotary mower/CH U“
Schwaden		kg ha ⁻¹	2,95		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Swath, by rotary windrower/CH U“
Heuen, Kreiselheuer		kg ha ⁻¹	1,92		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Haying, by rotary tedder/CH U“

Konventionelle Landwirtschaft - Maschineneinsatz					
Arbeitsgang	Sätze	Einheit	Treibstoffverbrauch	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Ernten mit Mähdrescher		kg ha ⁻¹	33,3		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Combine harvesting/CH U“
Kartoffel Vollernter	1	kg ha⁻¹	28,1		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Harvesting, by complete harvester, potatoes/CH U“
Rüben Vollernter		kg ha ⁻¹	103		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Harvesting, by complete harvester, beets/CH U“
Spritzen von chemischen Pflanzenschutzmitteln	2	kg ha⁻¹	1,76		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Application of plant protection products, by field sprayer/CH U“
Hacken		kg ha ⁻¹	3,28		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Hoeing/CH U“
Mulchen	1	kg ha⁻¹	3,51		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Mulching/CH U“ [Fidegelli, 2005]
Abflammnen		kg ha ⁻¹	3,3		[Anderst, 2010] Prozess: „Abflammnen;in ha;TEMPLATE (v.01)“, Emissionsfaktoren von LPG werden angewendet für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Propanverbrennung, siehe Tabelle 3-18.
		kg Propan ha ⁻¹	60		
Bewässerung	Diesel Strom	kg ha⁻¹	3,78		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Irrigating/ha/CH U“
		kWh ha⁻¹	876		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Irrigating/ha/CH U“
	Wasser	m³ ha⁻¹	1.200		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Irrigating/ha/CH U“
Dieselverbrauch - Nichtzuordenbar		kg ha ⁻¹			[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U“
Stromverbrauch - Nichtzuordenbar		kWh ha ⁻¹			[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Electricity, low voltage, at grid/AT U“

Tabelle 3-20: Arbeitsgänge und Treibstoffverbrauch für Maschineneinsatz in der biologischen Landwirtschaft

Biologische Landwirtschaft - Maschineneinsatz					
Arbeitsgang	Sätze	Einheit	Treibstoffverbrauch	Aus:	Quelle und Bemerkungen
Säen	1	kg ha ⁻¹	3,82		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Sowing/CH U“
Pflanzen		kg ha ⁻¹	16,8		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Planting/CH U“
Kartoffellegen		kg ha ⁻¹	8,9		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Potato planting/CH U“
Pflügen		kg ha ⁻¹	26,1		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, ploughing/CH U“
Grubbern	1	kg ha ⁻¹	15,5		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, cultivating, chiselling/CH U“
Eggen (Kreiselegge)	2	kg ha ⁻¹	11,5		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, harrowing, by rotary harrow/CH U“
Eggen (Federzinkenegge)		kg ha ⁻¹	4,44		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, harrowing, by spring tine harrow/CH U“
Fräsen		kg ha ⁻¹	14,1		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, rotary cultivator/CH U“
Walzen		kg ha ⁻¹	3,18		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, rolling/CH U“
Strieglein mit Hackstriegel	2	kg ha ⁻¹	1,6		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Tillage, currying, by weeder/CH U“ [Fontanabona, 2010]
Ausbringen mineralischer Düngemittel		kg ha ⁻¹	5,29		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Fertilising, by broadcaster/CH U“
Ausbringen Gülle mit Vakuumfass		m ³ ha ⁻¹	0,217		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Slurry spreading, by vacuum tank-er/CH U“
Ausbringen Festmist	40.000	kg ha ⁻¹	0,000531		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Solid manure loading and spreading, by hydraulic loader and spreader/CH U“
Mähen, Kreiselmäher		kg ha ⁻¹	4,3		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Mowing, by rotary mower/CH U“
Schwaden		kg ha ⁻¹	2,95		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Swath, by rotary windrower/CH U“
Heuen, Kreiselheuer		kg ha ⁻¹	1,92		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Haying, by rotary tedder/CH U“
Ernten mit Mähdrescher		kg ha ⁻¹	33,3		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Combine harvesting/CH U“

Biologische Landwirtschaft - Maschineneinsatz				
Arbeitsgang	Sätze	Einheit	Treibstoffverbrauch	Aus:
Kartoffel Vollernter	1	kg ha⁻¹	28,1	[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Harvesting, by complete harvester, potatoes/CH U“
Rüben Vollernter		kg ha ⁻¹	103	[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Harvesting, by complete harvester, beets/CH U“
Spritzen von chemischen Pflanzenschutzmitteln	1	kg ha⁻¹	1,76	[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Application of plant protection products, by field sprayer/CH U“
Hacken	1,5	kg ha⁻¹	3,28	[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Hoeing/CH U“
Mulchen		kg ha ⁻¹	3,51	[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Mulching/CH U“
Abflammnen		kg ha ⁻¹	3,3	[Anderst, 2010] Prozess: „Abflammnen;in ha; TEMPLATE (v.01)“; Emissionsfaktoren von LPG werden angewendet für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Propanverbrennung, siehe Tabelle 3-18.
		kg Propan ha ⁻¹	60	
Diesel		kg ha⁻¹	3,78	[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Irrigating/ha/CH U“
Bewässerung Strom	1	kWh ha⁻¹	876	[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Irrigating/ha/CH U“
Wasser		m³ ha⁻¹	1.200	[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Irrigating/ha/CH U“
Dieselverbrauch - Nichtzuordnenbar		kg ha ⁻¹		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U“
Stromverbrauch - Nichtzuordnenbar		kWh ha ⁻¹		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Electricity, low voltage, at grid/AT U“

Tabelle 3-21: Ressourceneinsatz und Treibhausgasemissionen für Heizung mittels Erdgas in der konventionellen Landwirtschaft

Konventionelle Landwirtschaft – Heizung mittels Erdgas					
Ressourcen Einsatz	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen	
Erdgasverbrauch	MJ ha ⁻¹				
Produktionsleistung	kg ha ⁻¹				
Erdgas	MJ (MJ Wärme) ⁻¹	1,04		[Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Heat, natural gas, at boiler modulating <100kW/RER U“	
Emissionsfaktor CO ₂	kg CO ₂ (MJ Erdgas) ⁻¹	0,056		[Ecoinvent Centre, 2007 #3484]; Prozess: „Natural gas, burned in boiler modulating <100kW/RER U“	
Emissionsfaktor CH ₄	kg CH ₄ (MJ Erdgas) ⁻¹	0,2e ⁻⁵		Ecoinvent Centre, 2007 #3484}; Prozess: „Natural gas, burned in boiler modulating <100kW/RER U“; grobe Schätzung, hohe Unsicherheit	
Emissionsfaktor N ₂ O	kg N ₂ O (MJ Erdgas) ⁻¹	0,5e ⁻⁶		Ecoinvent Centre, 2007 #3484}; Prozess: „Natural gas, burned in boiler modulating <100kW/RER U“; grobe Schätzung, hohe Unsicherheit	

3.4 Prozess Handel

3.4.1 Transport

Der Prozess Transport wird in vier verschiedene Kategorien unterteilt: Straßentransport, Bahntransport, Lufttransport und Seetransport. Im Folgenden werden die Transportkategorien definiert. Der Transport von Gütern wird anhand der Einheit Tonnenkilometer (tkm) dargestellt. Ein Tonnenkilometer (tkm) ist definiert als der Transport von einer Tonne Gütern mit einem bestimmten Transportmittel über 1 Kilometer.

Der Transport von Salat von Italien nach Österreich findet mit schweren Nutzfahrzeugen (SNF) statt. Der Transport wird anhand von Transportszenarien dargestellt (siehe Kapitel 3.4.1.2). Es werden durchschnittliche Distanzen herangezogen und der Transport auf 1

kg Endprodukt umgerechnet. Die Transportdauer, wichtig für Transporte mit Kühlcontainer, wird anhand einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 80 km/h ermittelt.

3.4.1.1 Straßentransport

Der Straßentransport verursacht Emissionen von Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O).

Für die Berechnung der Emissionen aus dem Transport werden folgende Parameter benötigt: der Treibstoffverbrauch, die jeweilige Emissionsfaktoren, und die Auslastung der Lastkraftwagen (LKW). Die Parameter werden aus TREMOVE (www.tremove.org), einem europäischen Transportmodell, abgeleitet. Obwohl länderspezifische Methoden vorhanden sind, bietet das TREMOVE-Modell eine einheitliche Methodik für 31 europäische Länder, was für das Ableiten der Parameter bevorzugt wird. In Tabelle 3-22 sind die durchschnittlichen Treibstoffverbräuche der schweren und leichten Nutzfahrzeuge der 5 Herkunftsländer dargestellt. Der Treibstoffverbrauch zwischen Fahrzeugtechnologieklassen (bzw. EURO-Standard) ist relativ niedrig, daher wird ein durchschnittlicher Treibstoffverbrauch je Fahrzeugkategorie (bzw. Nutzlastklasse) verwendet. Die Emissionsfaktoren sowie ein Maß für die Auslastung wird das TREMOVE-Modell herangezogen und ist in Tabelle 3-22 wiedergegeben.

Tabelle 3-22: Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch, Treibhausgassemissionsfaktoren und Auslastung je Fahrzeugkategorie

Durchschnittliche Emissionsfaktoren und Auslastung					
Fahrzeugkategorie	kg Treibstoff vkm^{-1}	kg $\text{CO}_2 \text{ vkm}^{-1}$	kg $\text{CH}_4 \text{ vkm}^{-1}$	kg $\text{N}_2\text{O} \text{ vkm}^{-1}$	Auslastung (vkm tkm^{-1})
SNF >32t	0,299	3,14	1,65E-04	1,01E-04	0,08
SNF 16-32t	0,232	3,14	2,14E-04	1,30E-04	0,16
SNF 7,5-16t	0,172	3,14	9,07E-05	1,75E-04	0,28
SNF 3,5-7,5t	0,099	3,14	1,66E-04	3,05E-04	0,92
LNF <3,5t	0,062	3,15	1,18E-04	1,36E-04	1,25

3.4.1.2 Transportszenarien

Tabelle 3-23: Transportszenario 1 für Salat aus Italien mit Maximalisierung des Einsatzes von schweren Nutzfahrzeugen (SNF)

Transportszenario 1: SALAT IT-AT - MAX. SNF					
Transportstrecke	Transportmittel	km	Transportgewicht t	tkm	Transport-dauer (h)
LW (IT) - HA (Zwischenlager IT)	SNF 16-32t	100	0,001	0,1	1,25
HA (Zwischenlager IT) - HA (Zwischenlager AT)	SNF >32t	1.400	0,001	1,4	17,5
HA (Zwischenlager AT) - Großküche (Wien)	SNF 7,5-16t	50	0,001	0,05	0,625
		100	0,001	0,1	1,25
		200	0,001	0,2	2,5

Tabelle 3-24: Transportszenario 2 für Salat aus Italien mit Minimalisierung des Einsatzes von schweren Nutzfahrzeugen (SNF)

Transportszenario 2: SALAT IT-AT - MIN. SNF					
Transportstrecke	Transportmittel	km	Transportgewicht t	tkm	Transport-dauer (h)
LW (IT) - HA (Zwischenlager IT)	SNF 7,5-16t	50	0,001	0,05	0,63
HA (Zwischenlager IT) - HA (Zwischenlager AT)	SNF 7,5-16t	1.400	0,001	1,40	17,50
HA (Zwischenlager AT) - Großküche (Wien)	SNF <3,5t	50	0,001	0,05	0,63
		100	0,001	0,10	1,25
		200	0,001	0,20	2,50

Transportzenario 2: SALAT IT-AT - MIN. SNF					
Transportstrecke	Transportmittel	km	Transportgewicht (t)	Transport- dauer (h)	Quelle & Bemerkungen
					(Wien)

3.4.2 Lagerung

Daten zum Energieverbrauch bei der Lagerung von Lebensmitteln werden der dänischen Datenbank Icafood [Nielsen et al., 2003] und der Studie von [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000] entnommen, die eine umfangreiche Datensammlung zu Energieverbräuchen im gesamten Lebensmittelsektor darstellt. Fallweise werden Sachbilanzen aus der ecoinvent-Datenbank entnommen [Ecoinvent Centre, 2007] (siehe Tabelle 3-25). In diesen Daten wird berücksichtigt: die Lagerung bei Raumtemperatur, die Kühlagerung und die Tiefkühlagerung.

Der Energieverbrauch für die Lagerung bei Raumtemperatur besteht aus Strom- und Wärmeverbrauch und wird anhand Formel 3-9 berechnet, aus [Nielsen et al., 2003] und [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000] entnommen. Der Energieverbrauch der Kühlung und Tiefkühlung von Lebensmitteln wird anhand Formel 3-10 berechnet, die ebenso von [Nielsen et al., 2003] und [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000] entnommen wird. Die Inputdaten der jeweiligen Prozesse sind in Tabelle 3-26 und Tabelle 3-27 dargestellt.

Formel 3-9: Energieverbrauch der Lebensmittel/lagerung bei Raumtemperatur

$$E = E_S \times M_p \times t$$

E: Energieverbrauch für Lebensmittel/lagerung bei Raumtemperatur, kWh kg⁻¹

E_S: Spezifischer Stromverbrauch für Lagerungstype S, kWh (m³)⁻¹ Tag⁻¹

M_P: Gewicht des gelagerten Produktes, kg

t: Lagerdauer, Tage

Formel 3-10: Energieverbrauch der Kühl- und Tiefkühl Lagerung

$$E = E_S \times u \times V_p \times t$$

E: Energieverbrauch für Kühl- und Tiefkühl Lagerung, kWh kg⁻¹

u: Durchschnittliche Auslastung der Kühl- und Tiefkühl Lagerer, %

V_p: Volumen des gelagerten Lebensmittels, m³ kg⁻¹

Tabelle 3-25: Sachbilanzen für die Berechnung der Treibhausgasemissionen des Energieverbrauchs, [Ecoinvent Centre, 2007]

Sachbilanz	kg CO ₂ e kWh ⁻¹
Electricity, medium voltage, at grid/AT U	0,393
Heat, natural gas, at boiler modulating <100kW/RER U	0,270

Tabelle 3-26: Inputdaten für die Lebensmittel Lagerung bei Raumtemperatur

Lebensmittel Lagerung bei Raumtemperatur					Quelle und Bemerkungen
Parameter	Beschreibung	Einheit	Größe	Aus:	
E _{S(E)}	Spezifischer Stromverbrauch für die Lebensmittel Lagerung bei Raumtemperatur	kWh kg ⁻¹ Tag ⁻¹	0,00144		[Nielsen et al., 2003] [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000]
E _{S(G)}	Spezifischer Wärmeverbrauch für die Lebensmittel Lagerung bei Raumtemperatur	kWh kg ⁻¹ Tag ⁻¹	0,002167		[Nielsen et al., 2003] [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000]
M _P	Gewicht des gelagerte Produktes	kg			
t	Lagerdauer	Tag			

Tabelle 3-27: Inputdaten für die Kühl- und Tiefkühl Lagerung der Lebensmittel

Kühlung und Tiefkühlung in Lebensmittellager					
Parameter	Beschreibung	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
$E_{S(K)}$	Spezifischer Stromverbrauch für die Kühl Lagerung	kWh (m^3) ⁻¹ Tag ⁻¹	0,59		[Nielsen et al., 2003] [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000]
$E_{S(TK)}$	Spezifischer Stromverbrauch für die Tiefkühl Lagerung	kWh (m^3) ⁻¹ Tag ⁻¹	0,63		[Nielsen et al., 2003] [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000]
u	Durchschnittliche Auslastung der Kühl- und Tiefkühl Lager	%	50		[Nielsen et al., 2003] [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000]
V_p	Volumen des gelagerten Lebensmittels	$m^3 \text{ kg}^{-1}$			
t	Lagerdauer	Tag			

3.5 Verarbeitung

Tabelle 3-28: Energieverbrauch für das Schneiden von Salat

Energieverbrauch für das Schneiden von Salat					
Parameter	Beschreibung	Einheit	Größe	Aus:	Quelle und Bemerkungen
E_s					
Rohstoff		kg kg^{-1}	1		Annahme

4 Ergebnisse

Der Beitrag zur Veränderung des Klimas wird mithilfe von CO₂-Äquivalenten (kurz CO₂ eq) angegeben. Für das Projekt SUKI wird die derzeit aktuellste Methode, ReCiPe 2008, gewählt, welche im November 2009 letztmals auf den neuesten Stand gebracht wurde [SimaPro 7, 2009] und sich auf die zuletzt veröffentlichten Treibhauspotentiale des International Panel on Climate Change (IPCC) bezieht [Goedkoop et al., 2009, S. 3]. Als funktionelle Einheit werden kg CO₂ eq pro kg des jeweiligen Lebensmittels festgelegt. Das bedeutet, dass sich die Ergebnisse der Berechnungen in kg CO₂ eq auf 1 kg des Lebensmittels beziehen, sodass die Vergleichbarkeit gewährleistet wird.

Die Beiträge der einzelnen Prozesse sind anhand eines Flussdiagramms dargestellt, es enthält die Prozesse Landwirtschaft, Transport und Verarbeitung. Zu beachten ist, dass der Prozess Handel aus dem Transport und der Lagerung besteht. In den Flussdiagrammen sind diese Prozesse getrennt dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden maximal die ersten sieben Ebenen dargestellt, das heißt, dass manche Prozesse in den Flussdiagrammen nicht mehr dargestellt sind.

Die Gesamtemissionen von konventionell produziertem Salat aus Italien betragen 0,25 kg CO₂ pro Kilogramm Salat. Biologisch produzierter Salat emittiert 7 % weniger Emissionen, das sind insgesamt 0,23 kg CO₂. Der größte Anteil an den Gesamtemissionen liegt bei beiden Produktionsweisen im Prozess Handel mit 64 % (konventionell) bzw. mit 69 % (biologisch). Für die Berechnungen werden für beide Produktionsweisen Transportszenario 1 herangezogen (siehe Kapitel 3.4.1.2). Der Prozess Landwirtschaft trägt bei der konventionellen Produktion mit 36 %, bei der biologischen Produktion mit 31 % zu den THG-Emissionen bei.

CO₂ Emissionen von 1 kg konventionell produziertem Salat (frisch); Herkunft: Italien (Region Bari), Ziel: Österreich (Wien)

Die Abbildung 4-1 zeigt die Anteile der einzelnen Prozesse an den gesamten CO₂ Emissionen von konventionell produziertem Salat. Konventionell produzierter Salat aus Italien verursacht pro kg etwa 0,25 kg CO₂. Durch den Transport des Salats von Bari (Italien) nach Wien (Österreich) werden 0,16 kg CO₂ freigesetzt. Mit einem Anteil von 64 % an den gesamten THG-Emissionen ist der Prozess Handel beteiligt. 36 % der gesamten CO₂ Emissionen kommen dem Prozess Landwirtschaft zu. Die Produktion von konventionellem Salat in Italien verursacht 0,09 kg CO₂.

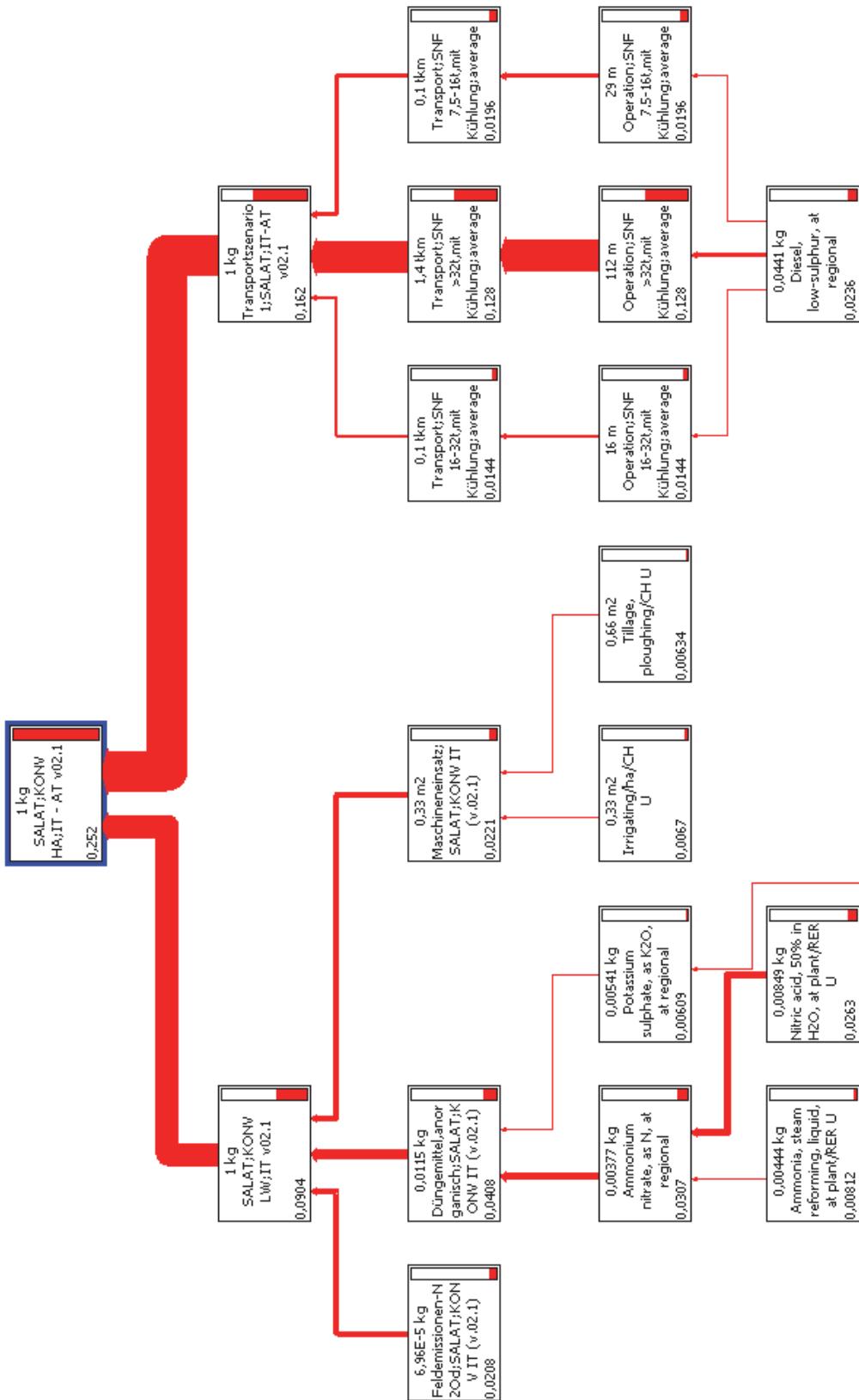


Abbildung 4-1: CO₂ Emissionen von 1 kg konventionell produziertem Salat (frisch); Herkunft: Italien (Region Bari), Ziel: Österreich (Wien)

CO₂ Emissionen von 1 kg biologisch produziertem Salat (frisch); Herkunft: Italien (Region Bari), Ziel: Österreich (Wien)

Die Abbildung 4-2 zeigt die Anteile der einzelnen Prozesse an den gesamten CO₂ Emissionen von biologisch produziertem Salat. Biologisch produzierter Salat aus Italien verursacht pro kg etwa 0,23 kg CO₂, wobei durch den Transport des Salats von Italien nach Österreich 0,16 kg CO₂ freigesetzt werden. Mit einem Anteil von 69 % an den gesamten THG-Emissionen ist der Prozess Handel beteiligt. 31 % der gesamten CO₂ Emissionen kommen dem Prozess Landwirtschaft zu. Die Produktion von Salat in Italien verursacht 0,07 kg CO₂.

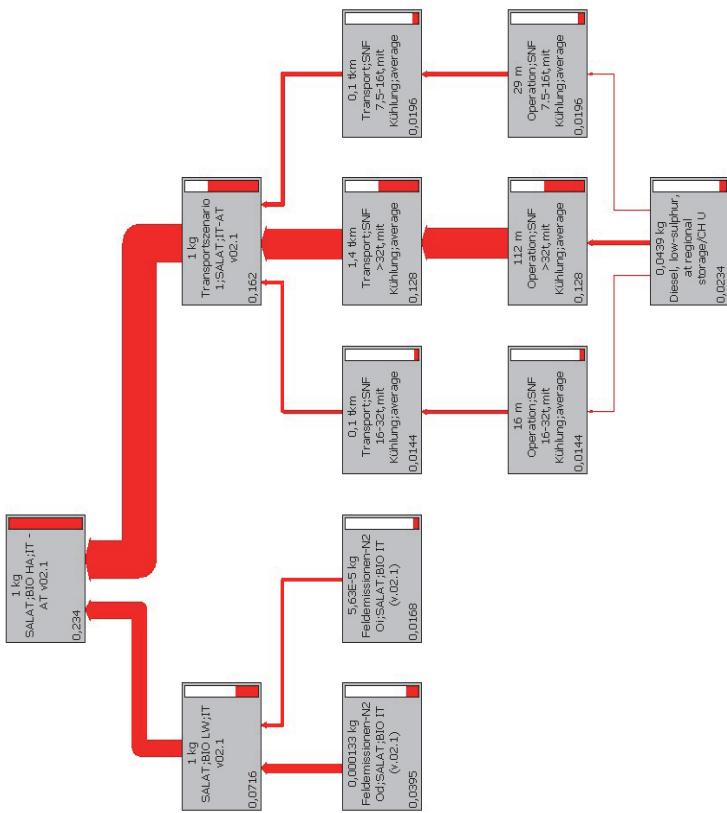


Abbildung 4-2: CO₂ Emissionen von 1 kg biologisch produziertem Salat (frisch); Herkunft: Italien (Region Bari), Ziel: Österreich (Wien)

Vergleich der CO₂ Emissionen von konventioneller und biologischer Produktion von 1 kg Salat (frisch); Herkunft: Italien (Region Bari), Ziel: Österreich (Wien)

Biologisch produzierter Salat setzt 0,23 kg CO₂ frei, konventionell produzierter Salat 0,25 kg CO₂, das sind um 7 % mehr CO₂. Der Großteil der Emissionen geht auf den Prozess Handel (Transport von Bari - Italien nach Wien - Österreich) zurück. Dieser hat in der biologischen Landwirtschaft einen Anteil von 69 %, in der konventionellen Landwirtschaft einen Anteil von 64 % an den gesamten THG-Emissionen. Die Emissionen aus der biologischen Landwirtschaft betragen 0,07 kg CO₂ und in der konventionellen Landwirtschaft 0,09 kg CO₂, das ist ein Anteil von 31 % (biologisch) bzw. 36 % (konventionell) an den Gesamtemissionen.

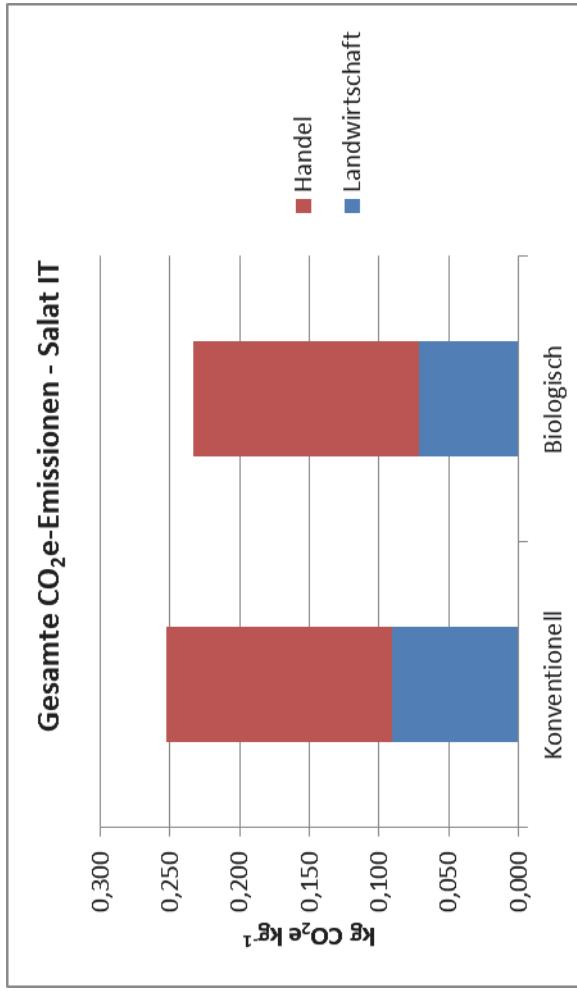


Abbildung 4-3: Vergleich der gesamten CO₂ Emissionen von konventioneller und biologischer Produktion von 1 kg Salat (frisch); Herkunft: Italien (Region Bari), Ziel: Österreich (Wien)

Die Abbildung 4-4 zeigt die Emissionen von biologisch und konventionell produziertem Salat aus Italien. In Bezug auf die Landwirtschaft setzt biologisch produzierter Salat im Vergleich zu konventionell produziertem Salat 21 % weniger THG-Emissionen frei. Durch

die konventionelle Landwirtschaft von Salat werden 0,09 kg CO₂ freigesetzt, in der biologischen Landwirtschaft 0,07 kg CO₂. Der größte Indikator für die Höhe der Emissionen ist beim konventionell produzierten Salat das Düngemittel mit einem Anteil von 45 % (0,04 kg CO₂) an den THG-Emissionen aus der Landwirtschaft, während in der biologischen Landwirtschaft die Düngemittel lediglich 2 % ausmachen. Durch die Bewirtschaftung der Felder (durch Ausbringung von anorganischen und organischen Düngemitteln) fallen in der konventionellen Landwirtschaft Feldemissionen im Ausmaß von 0,03 kg CO₂ (29 %) und in der biologischen Landwirtschaft 0,06 kg CO₂ (79 %) an. Der Anteil des Maschineneinsatzes ist in der biologischen Landwirtschaft mit 19 % bzw. 0,01 kg CO₂ relativ hoch. Im Vergleich dazu hat der Maschineneinsatz in der konventionellen Landwirtschaft einen Anteil von 24 % (0,02 kg CO₂). Das Pflanzenschutzmittel und das Saatgut haben nahezu keinen Einfluss auf die gesamten THG-Emissionen.

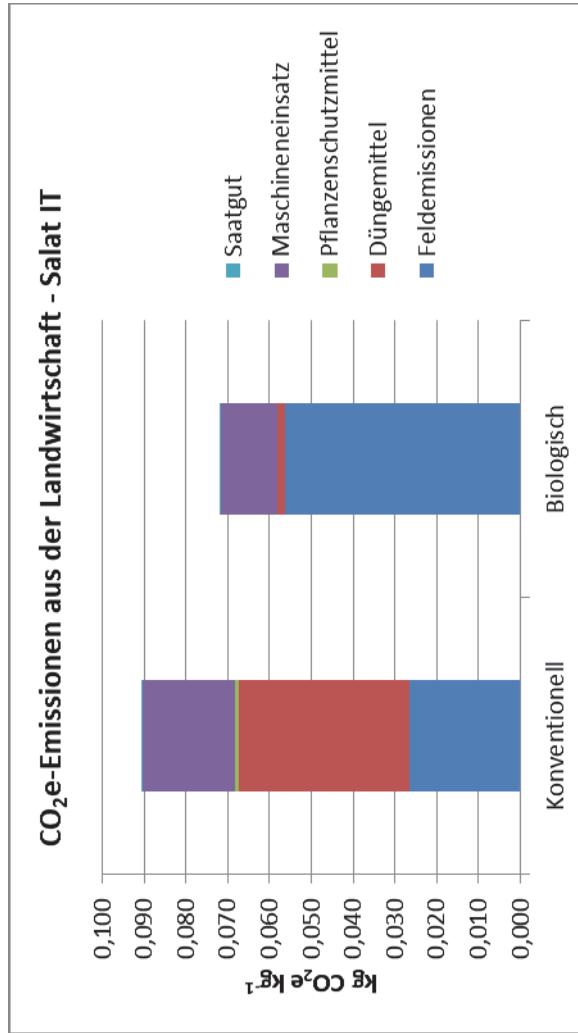


Abbildung 4-4: Vergleich der landwirtschaftlichen CO₂ Emissionen von konventioneller und biologischer Produktion von 1 kg Salat
(frisch); Herkunft: Italien (Region Bari), Ziel: Österreich (Wien)

5 Schlussfolgerungen

In den Berechnungen wird der gesamte Lebenszyklus der Lebensmittel berücksichtigt, von der landwirtschaftlichen Produktion in Italien (Region Bari) bis in die Großküchen nach Österreich (Wien). Darin enthalten sind auch die vorgelagerten Prozesse (z.B. Erzeugung von Dünge- bzw. Pflanzenschutzmittel), aber auch der Handel, der den Transport und die Lagerung (z.B. Kühlung) beinhaltet sowie die Verarbeitung berücksichtigt.

Die Gesamtemissionen von konventionell produziertem Salat aus Italien betragen 0,25 kg CO₂ pro Kilogramm Salat. Biologisch produzierter Salat emittiert 7 % weniger Emissionen, das sind insgesamt 0,23 kg CO₂. Der größte Anteil an den Gesamtemissionen liegt bei beiden Produktionsweisen im Prozess Handel mit 64 % (konventionell) bzw. mit 69 % (biologisch). Die Landwirtschaft trägt bei der konventionellen Produktion mit 36 %, bei der biologischen Produktion mit 31 % zu den THG-Emissionen bei.

- **1°kg biologisch produzierter Salat aus Italien (Region Bari) emittiert mit 0,23°kg CO₂ 7 % weniger CO₂ als 1°kg konventionell produzierter Salat aus derselben Herkunftsregion (0,25°kg CO₂).**

Der Handel ist überwiegend für die Höhe der Emissionen verantwortlich. Dieser hat einen Anteil von 64 % (konventionell) bzw. 69 % (biologisch) an den gesamten THG-Emissionen. Durch den Transport von Salat werden 0,16 kg CO₂ freigesetzt.

- **Die landwirtschaftliche biologische Produktion von 1°kg Salat in Italien (Region Bari) emittiert mit 0,07°kg CO₂ 21 % weniger THG-Emissionen als 1°kg konventionell produzierter Salat aus derselben Herkunftsregion (0,09°kg CO₂).**

Der Einsatz von Düngemitteln hat in der konventionellen Salatproduktion mit 45 % bzw. 0,04 kg CO₂ den größten Anteil an den THG-Emissionen, während in der biologischen Landwirtschaft die Feldemissionen mit 79 % bzw. 0,06 kg CO₂ dominieren. Der Maschineneneinsatz ist in der biologischen Landwirtschaft mit einem Anteil von 22 % niedriger als in der konventionellen Landwirtschaft mit einem Anteil von 24 % bzw. 0,02 kg CO₂. Die Pflanzenschutzmittel und das Saatgut hingegen sind bei beiden Produktionsweisen sehr gering.

- **Der Handel (Transport und Lagerung) von Salat hat mit 69% in der biologischen Produktion bzw. mit 64% in der konventionellen Produktion den höchsten Anteil an den Gesamtemissionen. Beim Handel von Italien (Region Bari) nach Österreich (Wien) werden 0,16°kg CO₂ freigesetzt.**

0,16 kg CO₂ werden sowohl für 1°kg konventionell produzierten als auch für 1°kg biologisch produzierten Salat beim Transport von der Region Bari (Italien) nach Wien (Österreich) emittiert. Im Prozess Handel sind die Prozesse Transport und Lagerung ausschlaggebend für die Höhe der gesamten CO₂ Emissionen.

6 Literatur

Anderl, M.; Freudenschuß, A.; Köther, T.; Kuschel, V.; Pazdernik, K.; Poupa, S.; Schodl, B.; Schwaiger, E.; Seuss, K.; Weiss, P.; Wieser, M.; Zethner, G. (2009) Austria's National Inventory Report 2009. Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0188.pdf>. 08.09.2009.

Anderst, M. (2010) Einfluss der Produktionsform, Regionalität und Saisonalität der eingekauften Lebensmittel auf die CO₂-Emissionen von Großküchen. CO₂-Bilanzierung von Tomaten, Kopfsalaten, Karotten und Zwiebeln. Universität für Bodenkultur Wien. Institut für Meteorologie. Wien.

Aster, M.; Holzer, G.; Hauser, M.; Kerschbaumer, A.; Sigmund, M.; Stimpfl, E.; Zelger, R. (2009) Kulturanleitungen Gemüsebau 2009. Autonome Provinz Bozen - Südtirol. Abteilung Land-, Forst- und Hauswirtschaftliche Berufsbildung. Dienststelle Bergbauernberatung. <http://www.provincia.bz.it/land-hausbildung/beratung/gemuese.asp>. 07. 01. 2010.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2010) Basisdaten für die Ermittlung des Düngerechts und für die Umsetzung der Düngeverordnung.

Cambise, F. (2010) Mündliche Mitteilung am 10.02.2010. Konventioneller Landwirt, Firma Cambesi, Trasacco, Italien. Trasacco.

Carlsson-Kanyama, A.; Faist, M. (2000) Energy use in the food sector. A data survey. Universität Stockholm, Department of Systems Ecology; ETH Zürich, Department of Civil and Environmental Engineering.

Davis, J., Haglund, C., (1999) Life Cycle Inventory (LCI) of fertiliser production. Fertiliser products used in Sweden and Western Europe. SIK-report No. 654. Master Thesis. Chalmers University of Technology.

De Klein, C.; Novoa, R. S. A.; Ogle, S.; Smith, K. A.; Rochette, P.; Wirth, T. C.; McConkey, B. G.; Mosier, A.; Rypdal, K.; Walsh, M.; Williams, S. A. (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva.

Ecoinvent Centre (2007) Ecoinvent data v2.0. Ecoinvent reports No. 1-25. Dübendorf (CH). Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Enza Zaden Deutschland GmbH & Co. KG (2011) Kulturinformation Salat. <http://www.enzazaden.de/GrowerServices/tips/salat.aspx>. 12.4.2011.

Fideghelli, C. (2005) Disciplinari di agricoltura integrata della regione Campania - parte speciale - Lattuga. Regione Campania. Area Generale di Coordinamento Sviluppo Attività Settore Primario (SeSIRCA). <http://www.sito.regione.campania.it/AGRICOLTURA/disciplinari/LATTUGA.pdf>. 27. 04. .

Fontanabona, P. (2010) Mündliche Mitteilung am 31.03.2010. Biolandwirt, Verona, Italien. Verona.

Goedkoop, M.; Heijungs, R.; Huijbregts, M.; Schryver, A. D.; Struijs, J.; van Zelm, R. (2009) ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report I: Characterisation. Niederlande.

Gomez, D. R.; Watterson, J. D.; Americano, B. B.; Ha, C.; Marland, G.; Matsika, E.; Namayanga, L. N.; Osman-Elasha, B.; Saka, J. D. K.; Treanton, K. (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy. IPCC.

Green, M. B. (1987) Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Energy in plant nutrition and pest control, Energy in world agriculture. 2. Hrsg. v. Helsel, Z. R. S. 165-177.

International Fertilizer Industry Association (IFA) <http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/SUSTAINABILITY/Climate-change/Emissions-from-production.html>. 23.09.2010.

Kelderer, M. (2011) Mitteleinsatz im Bioanbau – Ein Labyrinth der Bürokratie? Voraussetzungen dafür, dass ein Mittel im Bioanbau eingesetzt werden darf - Fallbeispiel Pflanzenschutz. VZ-Laimburg. Laimburg.

Konrad, P.; Knapp, L. (2011) Kulturblatt Chicorée-Wurzeln. Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg. Gemüse- und Beerenbau. Salenstein.

Nemecek, T.; Kägi, T. (2007) Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent V2.0 No. 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Zurich and Dübendorf, CH.

Nielsen, P. H.; Nielsen, A. M.; Weidema, B. P.; Dalgaard, R.; Halberg, N. (2003) LCA Food Database.

ProF.i (2005) Lattuga. http://fertirrigazione.it/ita_246. 09. 04. .

SimaPro 7 (2009) Ökobilanzierungsprogramm SimaPro. Amersfoort. product ecology consultants.

Spiess, E.; Richner, W. (2005) Stickstoff in der Landwirtschaft. Forschungsanstalt für Landwirtschaft Agroscope Reckenholz-Tänikon (FAL ART). Schriftenreihe der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Zürich.

Strogies, M.; Gniffke, P. (2009) Nationaler Inventarbericht Deutschland, Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2007. Dessau. Umweltbundesamt. 572 p. 83-390.