**Projekt SUKI**
Sustainable Kitchen

# Möglichkeiten von Großküchen zur Reduktion ihrer $CO_2$-Emissionen

*(Maßnahmen, Rahmenbedingungen und Grenzen)*

**Endbericht**

## MILCH- UND MILCHPRODUKTE

Wien, März 2011


EUROPEAN UNION
European Regional
Development Fund

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

„wir sind“

Klimabündnis Betrieb

RRRRRRMMMMMMAAAAAA

Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

Ressourcen Management Agentur

# Möglichkeiten von Großküchen zur Reduktion ihrer $CO_2$-Emissionen (Maßnahmen, Rahmenbedingungen und Grenzen) - Sustainable Kitchen

(Projekt SUKI)

## MILCH- UND MILCHPRODUKTE

(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: Südböhmische 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
Vysočina: 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. $CH_4$, $N_2O$ und $CO_2$), 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 Milch- und Milchprodukten aus Deutschland (Region München) und beinhaltet die vorgelagerten Prozesse sowie die Prozesse Landwirtschaft, Handel und Verarbeitung. Die vorgelagerten Prozesse setzen sich aus der Erzeugung von Futtermittel und Energie zusammen. Der Beitrag zur Veränderung des Klimas wird mithilfe von $CO_2$-Äquivalenten (kurz $CO_2$ 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 Milch und Joghurt betragen 0,9 kg $CO_2$ pro Kilogramm Milch bzw. Joghurt. Die biologisch produzierte Milch bzw. das biologisch produzierte Joghurt emittiert 1,4 kg $CO_2$ pro Kilogramm Milch. Der Prozess Landwirtschaft ist in beiden Produktionsweisen zu einem großen Anteil verantwortlich für die Höhe der Gesamtemissionen.

Bei konventionell produzierter Milch bzw. Joghurt beträgt der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen 82 % bzw. 88 %, der Anteil des Handels rund 11 % und der Anteil der Verarbeitung 8 % bzw. 9 %. Die Landwirtschaft emittiert somit insgesamt 0,7 kg $CO_2$, der Handel 0,09 kg $CO_2$ und die Verarbeitung 0,07 kg $CO_2$. Im Prozess Handel sind die Prozesse Transport und Lagerung ausschlaggebend für die Höhe der gesamten $CO_2$ Emissionen.

Der Anteil der Landwirtschaft von biologisch produzierter Milch bzw. biologisch produziertem Joghurt an den Gesamtemissionen beträgt 88 % bzw. 87 %, der Anteil der Verarbeitung 5 % bzw. 6 % und der Anteil des Handels rund 7 %. Der Prozess Landwirtschaft emittiert 1,2 kg $CO_2$, der Prozess Handel 0,09 kg $CO_2$ und der Prozess Verarbeitung 0,07 kg $CO_2$. Auch in der biologischen Produktion von Milch und Joghurt sind innerhalb des Prozesses Handel die Prozesse Transport und Lagerung ausschlaggebend für die Höhe der gesamten $CO_2$ Emissionen.

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

- 1°kg konventionell produzierte Milch aus Deutschland (Region München) emittiert mit 0,7°kg $CO_2$ 35 % weniger $CO_2$ als 1°kg biologisch produzierte Milch aus derselben Herkunftsregion (1,2°kg $CO_2$).

- Die landwirtschaftliche biologische Produktion von 1°kg Milch in Deutschland (Region München) emittiert mit 1,2°kg $CO_2$ 35 % mehr THG-Emissionen als 1°kg konventionell produzierte Milch aus derselben Herkunftsregion (0,7°kg $CO_2$).

- Die Verarbeitung von Milch zu Joghurt ist in beiden Produktionsweisen gleich und mit etwa 5 % (0,02 kg $CO_2$) für die Gesamtemissionen nicht relevant.

- Der Transport der Milch von Deutschland nach Österreich ist für 8-10 % der gesamten freigesetzten Emissionen verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG ..... I
INHALTSVERZEICHNIS ..... I
1 EINLEITUNG ..... 1
2 ZIELSETZUNG, FRAGESTELLUNG ..... 3
3 METHODISCHES VORGEHEN ..... 5
3.1 Untersuchungsrahmen – Systemdefinition ..... 5
3.2 Allgemeine Annahmen ..... 6
3.3 Vorgelagerte Prozesse: ..... 8
3.3.1 Futtermittel Erzeugung ..... 8
3.3.2 Energie Erzeugung ..... 11
3.4 Prozess Landwirtschaft ..... 12
3.4.1 Magengärung ..... 15
3.4.2 Wirtschaftsdüngermanagement ..... 18
3.4.2.1 Methanemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement ..... 18
3.4.2.2 Direkte Lachgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement ..... 20
3.4.2.3 Indirekte Lachgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement ..... 23
3.4.3 Maschineneinsatz ..... 26
3.5 Prozess Handel ..... 30
3.5.1 Transport ..... 30
3.5.1.1 Straßentransport ..... 31
3.5.1.2 Transportszenarien ..... 32
3.5.2 Lagerung ..... 33
3.6 Prozess Verarbeitung ..... 35
4 ERGEBNISSE ..... 39
4.1 Erzeugung von Milchprodukten (Milch und Joghurt) in Deutschland (Region München) ..... 39
5 SCHLUSSFOLGERUNGEN ..... 49
6 LITERATUR ..... 51

# 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. $CH_4$, $N_2O$ und $CO_2$), 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.

Österreichs Großküchen produzieren pro Tag etwa 1,5 Mio. Speisen und verbrauchen dabei große Mengen an direkter und indirekter Energie. Der direkte Energieverbrauch ergibt sich durch den Bedarf an Gas, Strom, Fernwärme, Kohle, Öl, etc. für die Beleuchtung, Beheizung, Lüftung, Maschinen, Kühlung und den Kochvorgang. Das Energieeinsparungspotential von Großküchen ist hoch. Untersuchungen zeigen, dass zwischen 20 % und 25 % des Energieverbrauchs eingespart werden können. Zur Erzielung der Einsparungen werden die Schwerpunktverbraucher identifiziert.

Neben dem Energiebedarf der Küchengeräte steckt in den verarbeiteten Lebensmitteln ebenfalls 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. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom so genannten „Ökologischen Rucksack“ der Lebensmittel. Während der direkte Energieverbrauch einer Küche relativ einfach ermittelt werden kann, ist der indirekte weitgehend unbekannt. Die Höhe der $CO_2$-Emissionen von Großküchen wird durch die Wahl der Lebensmittel und Speisen wesentlich beeinflusst.

Durch die bewusste Wahl der verwendeten Lebensmittel können Großküchen einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Eine bewusste Auswahl der Lebensmittel hat jedoch nicht nur ökologische Vorteile, sie trägt zum Wohlbefinden der KonsumentInnen bei und stellt insbesondere in Schulküchen und in Küchen von Kindergärten eine Vorbildwirkung für jüngere Generationen dar.

Neben ernährungsphysiologischen und ökonomischen Kriterien, spielen zunehmend auch ökologische Kriterien bei der Zusammensetzung der Menüs eine wichtige 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)?

# 2 Zielsetzung, Fragestellung

Das Ziel des Projekts SUKI ist es, die gesamten $CO_2$-Emissionen der am Projekt beteiligten Großküchen zu erfassen und die direkten und die indirekten Einflussmöglichkeiten von Großküchen auf ihre $CO_2$-Emissionen zu analysieren. Es werden Möglichkeiten und Grenzen von Großküchen zur Reduktion ihrer $CO_2$-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 $CO_2$-Emissionen von Großküchen?
- Welchen Einfluss hat die Berücksichtigung der Herkunft (Regionalität) bei der Auswahl der Lebensmittel auf die $CO_2$-Emissionen von Großküchen?
- Welchen Einfluss hat die Berücksichtigung der Saisonalität bei der Auswahl der Lebensmittel auf die $CO_2$-Emissionen von Großküchen?
- Welche Speise trägt den größten ökologischen Rucksack?
- Welche kurz-, mittel- und langfristigen Maßnahmen zur $CO_2$-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 Milch bzw. 1 Kilogramm Joghurt, die vom Haupterzeugungsgebiet in Deutschland, Region (München) nach Wien (Österreich) geliefert werden. Das Produktsystem beinhaltet alle wesentlichen Aufwendungen für die Milch- und Joghurtproduktion.

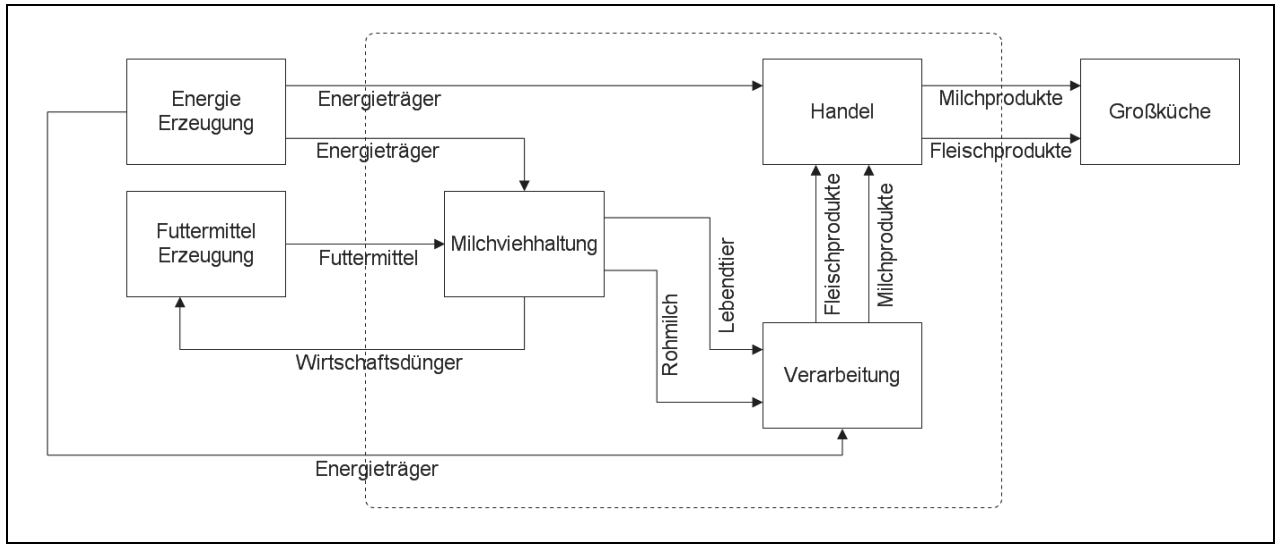


*Abbildung 3-1: Systemdefinition Produktion, Transport und Verarbeitung von Milch- und Milchprodukten (frisch und verarbeitet); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)*

**Allokation**

Der Prozess Milchviehhaltung ist ein Multi-Outputprozess. Neben dem betrachteten Produkt Milch entstehen in der Milcherzeugung weitere Produkte, die so genannten Koppelprodukte. Die ermittelten Stoff- und Energieflüsse und die damit verbundenen Umweltwirkungen werden dem Hauptprodukt Milch, dem Fleisch der Altkuh und dem Wirtschaftsdünger zugeordnet. Die Umweltwirkungen werden mittels ökonomischer Allokati-

on den Produkten zugeordnet. Der Bilanzraum zur Erzeugung von Milch und Milchprodukten umfasst die Prozesse Milchviehhaltung, Handel und Verarbeitung. Berücksichtigt werden die vorgelagerten Prozesse Futtermittelerzeugung und Energieerzeugung.

Nicht berücksichtigt werden Mineralfutter, Futterzusätze, Arzneimittel, da angenommen wird, dass ihre Klimawirkung aufgrund der geringen Menge vernachlässigt werden kann. Ebenso nicht berücksichtigt wird der Verbrauch von Wasser.

## 3.2 Allgemeine Annahmen

Im konventionellen Bereich orientieren sich die Annahmen an Vorgaben durch EU oder nationale Verordnungen. Die Annahmen im ökologischen Bereich orientieren sich an den Bioland Richtlinien. Die Milcherzeugung in Deutschland dominiert in Grünlandgebieten. In der Milchviehhaltung in Deutschland ist die Laufstallhaltung im konventionellen und im biologischen Bereich gesetzliche Vorschrift. Für den konventionellen Bereich wird die Stallhaltung auf Voll- oder Teilspaltenboden im Flüssigmistverfahren angenommen. Für den ökologischen Bereich die Stallhaltung im Tiefstreuverfahren mit Festmist.

*Tabelle 3-1: Allgemeine Annahmen der konventionellen Landwirtschaft*

| **Konventionelle Landwirtschaft** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Einheit** | **Wert** | **Spannbreite** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Produktionsleistung | kg in Nutzungsdauer | 20.000 | | Jährliche Milchleistung x Nutzungsdauer |
| Milchleistung | kg $Jahr^{-1}$ | 8.000 | 7.000 – 9.000 | [Folkert, 2010] |
| Melktage | d | 305 | | [Franke & e.V., 2004] |
| Aufzuchtzeit Milchvieh/Erstkalbealter | Monate | 24 | | [Sutter, 2006] |
| Nutzungsdauer (Milchvieh) | a | 2,5 | | [Wangler et al., 2009] |

*Tabelle 3-2: Allgemeine Annahmen der biologischen Landwirtschaft*

| Biologische Landwirtschaft | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Einheit** | **Wert** | **Spannbreite** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Produktionsleistung | kg in Nutzungsdauer | 27.500 | | Jährliche Milchleistung x Nutzungsdauer |
| Milchleistung | kg $Jahr^{-1}$ | 5.000 | 4.000 – 7.000 | [Greimel, 2000] |
| Melktage | d | 305 | | [Franke & e.V., 2004] |
| Aufzuchtzeit Milchvieh/Erstkalbealter | Monate | 28 | | [Sutter, 2006] |
| Nutzungsdauer (Milchvieh) | a | 5,5 | | [Wangler et al., 2009] |

*Tabelle 3-3: Energieverbrauch Landwirtschaft*

| | **Einheit** | **Stromverbrauch pro Jahr** | **Heizenergieverbrauch pro Jahr** | **Quelle** |
|---|---|---|---|---|
| Milchviehhaltung | kWh/Kuh | 400 | --- | [Averberg et al., 2009] |

**Futterrationen Milchvieh**

Die Beispielration ist zusammengestellt aus Bedarfswerten, Praxisempfehlungen und Primärdaten nach [Alert & Riehl, 2003], [Kirchgessner, 2004], [Weiß et al., 2005; Wenk et al., 2007].

Aus Gründen der Vereinfachung wird für die Futterration in der Aufzuchtzeit (24 Monate in der konventionellen Erzeugung und 28 Monate in der biologischen Erzeugung) die gleiche Futterration angenommen wie für laktierende Kühe.

*Tabelle 3-4 Beispielration Jungvieh Sommer Grünland, Zukauf von Mais und Soja in der konventionellen Erzeugung*

| Angaben in kg $FM^{-1}$ | Jungvieh konventionell | | Milchkuh ökologisch | |
|---|---|---|---|---|
| | Menge in kg | Futtermittel | Menge in kg | Futtermittel |
| Raufutter | 1,5<br>18,75<br>3,0 | Heu<br>Grünfutter- Gras/Kräuter<br>Grassilage | 0,2<br>0,7<br>18,8<br>2,3 | Heu-Luzerne<br>Heu<br>Grünfutter- Gras/Kräuter<br>Grassilage |
| Energie | - | - | - | - |
| Eiweiß | - | - | - | - |

*Tabelle 3-5: Beispielration Milchkuh Grünland, Zukauf von Soja in der konventionellen Erzeugung*

| Angaben in kg $FM^{-1}$ | Milchkuh konventionell | | Milchkuh ökologisch | |
|---|---|---|---|---|
| | Menge in kg | Futtermittel | Menge in kg | Futtermittel |
| Raufutter | 21 | Maissilage | 0,4<br>1,4<br>37,7<br>4,6 | Heu – Luzerne<br>Heu<br>Grünfutter- Gras/Kräuter<br>Grassilage |
| Energie | 6 | Weizen | - | - |
| Eiweiß | - | - | - | - |

## 3.3 Vorgelagerte Prozesse:

### 3.3.1 Futtermittel Erzeugung

Als Grundlage für die Berechnung der Emissionen aus der Futtermittelerzeugung dienen die Daten der Ecoinvent Datenbank [Ecoinvent Centre, 2007]. Die für die Zusammensetzung der Futterrationen verwendeten Futtermittel werden der Futtermitteldatenbank der Eidgenössischen Techni-

schen Hochschule Zürich [Wenk et al., 2007] entnommen. Diese werden grob in drei Bereiche unterteilt: 1) Eiweißfutter, 2) Energiefutter, und 3) Raufutter. Die Unterteilung ist von Bedeutung für die Unterscheidung konventionelle oder biologische Futterration (siehe Kapitel 3.4.1 und 3.4.2). Die emissionsrelevanten Unterschiede zwischen konventioneller und biologischer Erzeugung bestehen hauptsächlich in der Fütterung.

*Tabelle 3-6: Prozesse zur Futtermittelerzeugung aus der Ecoinvent Datenbank*

| **Futtermittel Erzeugung in der konventionelle und biologische Landwirtschaft** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Futtermittel** | | **Einheit** | **Wert** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Eiweißfutter | Ackerbohne | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,994 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Fava beans IP, at feed mill/CH U“ |
| | Erbse | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,869 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Protein peas IP, at feed mill/CH U“ |
| | Kartoffeleiweiß | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,6 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Potato starch, at plant/DE U“ |
| | Maiskleber | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 1,11 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Maize starch, at plant/DE U“ |
| | Rapssamen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 1,24 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rape seed conventional, at farm/DE U“ |
| | Rapssamen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,702 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rape seed conventional, Saxony-Anhalt, at farm/DE U“ |
| | Rapssamen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,854 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rape seed extensive, at farm/CH U“ |
| | Rapssamen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 1,6 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rape seed IP, at farm/CH U“ |
| | Rapssamen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,608 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rape seed, organic, at farm/CH U“ |
| | Sojabohnen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 1,26 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Soy beans IP, at farm/CH U“ |
| | Sojabohnen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 1,11 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Soy beans organic, at farm/CH U“ |
| | Sojabohnen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 1,5 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Soybeans, at farm/BR U“ |
| | Sojabohnen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,364 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Soybeans, at farm/US U“ |
| Energiefutter | Weizen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,579 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Wheat IP, at feed mill/CH U“ |
| | Weizen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,502 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Wheat organic, at feed mill/CH U“ |
| | Gerste | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,444 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Barley IP, at feed mill/CH U“ |
| | Gerste | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,457 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Barley organic, at feed mill/CH U“ |
| | Kartoffel | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0925 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Potatoes IP, at farm/CH U“ |
| | Kartoffel | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,104 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Potatoes organic, at farm/CH U“ |

| Futtermittel Erzeugung in der konventionelle und biologische Landwirtschaft | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Futtermittel** | | **Einheit** | **Wert** | **Quelle und Bemerkungen** |
| | Körnermais | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,555 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grain maize IP, at feed mill/CH U“ |
| | Körnermais | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,435 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grain maize organic, at feed mill/CH U“ |
| | Melasse | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0983 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Molasses, from sugar beet, at sugar refinery/CH U“ |
| | Roggen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,347 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rye IP, at feed mill/CH U“ |
| | Roggen | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,435 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Rye organic, at feed mill/CH U“ |
| | Futterrüben | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0311 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Fodder beets IP, at farm/CH U“ |
| Raufutter | Grünfutter-Gras/Kräuter | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,181 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass from meadow intensive IP, at field/CH U“ |
| | Grünfutter-Gras/Kräuter | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,142 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass from meadow intensive, organic, at field/CH U“ |
| | Grünfutter-Gras/Kräuter | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0765 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass from natural meadow extensive IP, at field/CH U“ |
| | Grünfutter-Gras/Kräuter | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0762 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass from natural meadow extensive organic, at field/CH U“ |
| | Grünfutter-Gras/Kräuter | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,16 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass from natural meadow intensive IP, at field/CH U“ |
| | Grünfutter-Gras/Kräuter | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,12 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass from natural meadow intensive organic, at field/CH U“ |
| | Grassilage | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,201 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass silage IP, at farm/CH U“ |
| | Grassilage | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,149 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Grass silage organic, at farm/CH U“ |
| | Heu | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0665 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Hay extensive, at farm/CH U“ |
| | Heu | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,185 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Hay intensive IP, at farm/CH U“ |
| | Heu | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,151 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Hay intensive organic, at farm/CH U“ |
| | Maissilage | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0467 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Silage maize IP, at farm/CH U“ |
| | Maissilage | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0311 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Silage maize organic, at farm/CH U“ |

| Futtermittel Erzeugung in der konventionelle und biologische Landwirtschaft | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Futtermittel** | | **Einheit** | **Wert** | **Quelle und Bemerkungen** |
| | Stroh | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0842 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Straw IP, at farm/CH U“ |
| | Stroh | kg $CO_2$e $kg^{-1}$ | 0,0554 | [Ecoinvent Centre, 2007]: Prozess „Straw organic, at farm/CH U“ |

### 3.3.2 Energie Erzeugung

Energie wird nicht direkt, sondern über Energieträger genutzt, in denen sie physikalisch oder chemisch gespeichert ist. Durch die Umwandlung der Primärenergieträger 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 ecoinvent Datenbank [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 Gewächshäuser) was im Einzelfall gesondert betrachtet werden muss. Daten zum Erdgas als Treibstoff und als Rohstoff für die Düngemittelherstellung werden nicht angepasst, sondern so verwendet wie sie in der Datenbank vorhanden sind.

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 Dieselverbrauchsdaten 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 Fernwärme aus der Müllverbrennung werden dem Prozess „disposal, municipal solid waste, water, to municipal incineration“ entnommen und nach den Regeln der Allokation 1/3 der Fernwärme zugerechnet.

*Tabelle 3-7: Eingesetzte Energieträger in die 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 modulating <100kW/RER U“ |
| | kg $CO_2$e $MJ^{-1}$ | 0,0663 | [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“ |

## 3.4 Prozess Landwirtschaft

*Tabelle 3-8: Allgemeine Annahmen der Energiegehalte und Verdaulichkeit der organischen Substanz der verwendeten Futtermittel*

| Type | Bezeichnung | Abk. | Energiegehalt des Futters (MJ (kg Frischmasse)$^{-1}$) | Verdaulichkeit der organische Substanz (%) | Ecoinventprozess |
|---|---|---|---|---|---|
| Eiweiß | Ackerbohne | Ab | 17 | 83 | Fava beans IP, at feed mill/CH U |
| | Erbse | Eb | 16 | 89 | Protein peas IP, at feed mill/CH U |
| | Kartoffel | Kap | 21 | 89 | Potato starch, at plant/DE U |
| | L-Lysin-HCL | Ly | | | k.A. |
| | Maiskleber | Mk | 17 | 83 | Maize starch, at plant/DE U |

| Type | Bezeichnung | Abk. | Energiegehalt des Futters (MJ (kg Frischmasse)$^{-1}$) | Verdaulichkeit der organische Substanz (%) | Ecoinventprozess |
|---|---|---|---|---|---|
| | Magermilchpulver | Mmp | 18 | 95 | k.A. |
| | Molkenpulver | Mop | 16 | 94 | k.A. |
| | Raps | Ra | 18 | 76 | Rape seed conventional, at farm/DE U;<br>Rape seed conventional, Saxony-Anhalt, at farm/DE U;<br>Rape seed extensive, at farm/CH U;<br>Rape seed IP, at farm/CH U;<br>Rape seed, organic, at farm/CH U |
| | Soja | So | 18 | 90 | soy beans IP, at farm/kg/CH;<br>soy beans organic, at farm/kg/CH;<br>soybeans, at farm/kg/BR;<br>soybeans, at farm/kg/US |
| | L-Threonin | Th | | | k.A. |
| Energie | Futterweizen | Fw | 16 | 91 | Wheat IP, at feed mill/CH U;<br>Wheat organic, at feed mill/CH U |
| | Gerste | Gr | 16 | 94 | Barley IP, at feed mill/CH U;<br>Barley organic, at feed mill/CH U |
| | Kartoffel | Ka | 4 | 89 | Potatoes IP, at farm/CH U;<br>Potatoes organic, at farm/CH U |
| | Mais | Ma | 12 | 87 | Grain maize IP, at feed mill/CH U;<br>Grain maize organic, at feed mill/CH U |
| | Melasse | Mel | 13 | 92 | Molasses, from sugar beet, at sugar refinery/CH U |
| | Roggen | Ro | 16 | 89 | Rye IP, at feed mill/CH U;<br>Rye organic, at feed mill/CH U |
| | Triticale | Tr | 16 | 90 | Wheat IP, at feed mill/CH U;<br>Wheat organic, at feed mill/CH U |
| | Zuckerrübe | Zr | 4 | 85 | Fodder beets IP, at farm/CH U |

| Type | Bezeichnung | Abk. | Energiegehalt des Futters (MJ (kg Frischmasse)$^{-1}$) | Verdaulichkeit der organische Substanz (%) | Ecoinventprozess |
|---|---|---|---|---|---|
| Rau | Grünfutter-Gras/Kräuter | Gk | 3 | 77 | Grass from meadow intensive IP, at field/CH U;<br>Grass from meadow intensive, organic, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow extensive IP, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow extensive organic, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow intensive IP, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow intensive organic, at field/CH U |
| | Grünfutter-Gras/Mischbestand | Gm | 3 | 75 | Grass from meadow intensive IP, at field/CH U;<br>Grass from meadow intensive, organic, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow extensive IP, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow extensive organic, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow intensive IP, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow intensive organic, at field/CH U |
| | Grünmehl-Gras | GMg | 16 | 71 | k.A. |
| | Grünmehl-Kräuter | GMk | 16 | 74 | k.A. |
| | Grassilage | Gs | 6 | 73 | Grass silage IP, at farm/CH U;<br>Grass silage organic, at farm/CH U |
| | Heu-Luzerne | Hl | 16 | 65 | hay extensive, at farm/kg/CH;<br>hay intensive IP, at farm/kg/CH;<br>hay intensive organic, at farm/kg/CH |
| | Luzerne grün | Hlg | 3 | 70 | Grass from meadow intensive IP, at field/CH U;<br>Grass from meadow intensive, organic, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow extensive IP, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow extensive organic, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow intensive IP, at field/CH U;<br>Grass from natural meadow intensive organic, at field/CH U |

| Type | Bezeichnung | Abk. | Energiegehalt des Futters (MJ (kg Frischmasse)$^{-1}$) | Verdaulichkeit der organische Substanz (%) | Ecoinventprozess |
|---|---|---|---|---|---|
| | Luzerne_silo | Hls | 6 | 66 | Grass silage IP, at farm/CH U;<br>Grass silage organic, at farm/CH U |
| | Heu-gräserreicher Mischbestand | Hm | 16 | 67 | hay extensive, at farm/kg/CH;<br>hay intensive IP, at farm/kg/CH;<br>hay intensive organic, at farm/kg/CH |
| | Maissilage | Ms | 7 | 74 | silage maize IP, at farm/kg/CH;<br>silage maize organic, at farm/kg/CH |
| | Stroh | St | 16 | 44 | straw IP, at farm/kg/CH;<br>straw organic, at farm/kg/CH |

### 3.4.1 Magengärung

Die bedeutendste Quelle von Methan in der Landwirtschaft ist die Magengärung der Rinder. Methan ist ein Nebenprodukt des fermentativen Abbaus von Zellwandmaterial im Vormagensystem der Rinder [Stangassinger, 2007]. Die Emissionen aus dem Dickdarm der Nichtwiederkäuer (Schweine, Geflügel) sind vernachlässigbar gering und werden nicht mit einbezogen [Flachowsky & Brade, 2007]. Die Menge an freigesetztem Methan aus der Magenfermentation ist abhängig von der Tierart, dem Alter, Gewicht und der Art der eingesetzten Futtermittel. Je größer die Menge an Futtermittel pro Funktionseinheit (kg Produkt) desto höher die Methanemissionen. Auch die Anteile der verschiedenen Nährstoffe in der Futterration beeinflussen die $CH_4$ Bildung. Proteinarme Rationen bewirken eine verminderte Methanbildung infolge eines N-Defizits der Pansenmikroorganismen und des dadurch bedingt geringeren Zellwandabbaus [Kirchgessner, 2004]. Die höchste $CH_4$ Bildung ist bei faserreichen Rationen und einem langsamen Faserabbau im Pansen zu erwarten. Bei Verfütterung von Zucker und Stärke (Getreide, Rüben, Kartoffeln) wären die $CH_4$ Emissionen aufgrund der schnelleren Fermentation geringer. Dies führt jedoch zu einer Senkung des pH-Werts im Pansen und ist nicht „wiederkäuertauglich“. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass diese Futtermittel mehr technische Energie zu ihrer Erzeugung benötigen und dass damit je Masseeinheit mehr $CO_2$ anfällt als beim Grünfuttereinsatz.

Um die Methanemissionen abschätzen zu können gibt es in den IPCC Richtlinien verschiedene Methoden. Die Tier 1 (Default- Methode) ist anwendbar für Länder in denen die Methan Emissionen aus der Tierhaltung in Relation zu den Gesamtemissionen von untergeordneter Bedeutung

sind, und/oder in denen die relevanten Daten nicht zur Verfügung stehen. Daher werden Standardwerte verwendet. Die Tier-2 oder First-order-Decay Methode ist detaillierter und für Länder mit großen Viehbeständen geeignet, in denen die Methan Emissionen aus der Tierhaltung einen großen Anteil an den gesamten Methan Emissionen ausmachen. In Deutschland stammen zwei Drittel der Methan Emissionen aus der Rinderhaltung [UBA, 2009]. Aus diesem Grund werden in dieser Studie die Emissionen anhand der Tier 2 (First-order-Decay Methode) abgeschätzt [De Klein et al., 2006]. Bei der Tier 2 Methode werden spezifische Daten zur Futteraufnahme (in MJ/Tier/Tag) verwendet und der Methan Umwandlungsfaktor wird tierartspezifisch berechnet [De Klein et al., 2006].

Die Methanemissionen aus der Magengärung werden anhand der Formel 3-1 aus IPCC 2006 ermittelt [De Klein et al., 2006]. Die Formel wird in einem Punkt an die spezifischen Anforderungen angepasst. In der Formel ist der Bezug auf ein Jahr vorgegeben, im Projekt SUKI wird der Bezug auf die Produktionsdauer bzw. Mastdauer benötigt. Die Bruttoenergieaufnahme, berechnet anhand von Formel 3-2, basiert auf den Futterrationen aus Tabelle 3-9 und Tabelle 3-10 und den durchschnittlichen Energiegehalten der eingesetzten Futtermittel. Die Daten zu den Futtermitteln stammen aus der Futtermitteldatenbank der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich [Wenk et al., 2007]. Die Inputdaten für die Berechnung der Magengärung sind in Tabelle 3-11 bis Tabelle 3-12 dargestellt.

*Formel 3-1: Emissionsfaktor für Methanemissionen aus tierischen Fermentation*

$$EF = \left( \frac{GE \times \left( \frac{Y_m}{100} \right) \times MD}{55{,}65} \right)$$

EF: Methan Emissionsfaktor, kg $CH_4$ $Tier^{-1}$
GE: Brutto Energieaufnahme, MJ $Tier^{-1}$ $Tag^{-1}$
$Y_m$: Methan Umwandlungsfaktor: Anteil der Bruttoenergie im Futter die in Methan umgewandelt wird, %
MD: Anzahl der Produktionstage bzw. Mastdauer, Tage
55,65: Energiegehalt von Methan, MJ (kg $CH_4)^{-1}$

*Formel 3-2: Brutto Energieaufnahme*

$$GE = E_{FUT} \times m_{FUT}$$

$E_{FUT}$: Energiegehalt des betreffenden Futtermittels, MJ (kg Frischmasse)$^{-1}$
$m_{FUT}$: Futteraufnahme in kg Tier$^{-1}$ Tag$^{-1}$

*Tabelle 3-13: Inputdaten für die Methanemissionen aus der Magengärung in der konventionellen Milchviehhaltung*

| **Konventionelle Landwirtschaft – Methanemissionen aus Magengärung in der Milchviehhaltung** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $Y_m$ | Methan Umwandlungsfaktor: Anteil der Brutto-energie im Futter die in Methan umgewandelt wird | % | 6,5 | [De Klein et al., 2006] Kap. 10.3.2,S.10.30,Tbl.10.12 |
| MD | Anzahl der Melktage | Tage | 305 | |
| ML | Milchleistung | kg Milch Tier$^{-1}$ Jahr$^{-1}$ | 8.000 | [Folkert, 2010] |

*Tabelle 3-14: Inputdaten für die Methanemissionen aus der Magengärung in der biologischen Milchviehhaltung*

| **Biologische Landwirtschaft – Methanemissionen aus Magengärung in der Milchviehhaltung** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $Y_m$ | Methan Umwandlungsfaktor: Anteil der Brutto-energie im Futter die in Methan umgewandelt wird | % | 6,5 | [De Klein et al., 2006] Kap. 10.3.2,S.10.30,Tbl.10.12 |
| MD | Anzahl der Melktage | Tage | 305 | |
| ML | Milchleistung | kg Milch Tier$^{-1}$ Jahr$^{-1}$ | 5.000 | [Greimel, 2000] |

## 3.4.2 Wirtschaftsdüngermanagement

Zum Wirtschaftsdüngermanagement gehört die Lagerung, Aufbereitung und Ausbringung des hofeigenen Düngers (Gülle, Mist) Aus der Tierhaltung. Lagerung, Aufbereitung und Ausbringung führen zur Freisetzung von Methan ($CH_4$), Lachgas ($N_2O$), Ammoniak ($NH_3$ ) und Stickstoff ($N_2$ ). Die Emissionen sind abhängig von der Tierart, Menge und Zusammensetzung der Exkremente, deren Zusammensetzung wiederum von der Zusammensetzung der Futterration, von der Haltungsform (mit Stroh oder ohne Stroh), von der Lagerart und - dauer, Ausbringungsart und- zeitpunkt abhängt. Durch die mikrobiellen Abbauprozesse unter anaeroben Bedingungen bei der Lagerung entsteht das meiste Methan [IPCC, 1996]. Daher sind die Methanemissionen in der Güllewirtschaft am höchsten, da die Gülle meist in abgeschlossenen Behältern gelagert wird. Auf die Höhe der Emissionen hat auch die Temperatur entscheidenden Einfluss. Bei der Ausbringung sind Höhe und Zusammensetzung der Emissionen abhängig von der Applikationstechnik. Eine flache Einarbeitung unmittelbar nach der Ausbringung erzeugt die geringsten Emissionen auf Ackerland. Auf Grünland führt die Ausbringung mit dem Schleppschuh zu den geringsten Emissionen [Wegener et al., 2006].

### 3.4.2.1 Methanemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement

Die Methanemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement für Milch- und Rindviehhaltung werden anhand von Formel 3-3 und Formel 3-2 aus IPCC 2006 [De Klein et al., 2006] ermittelt.

Die Formel wird in einem Punkt an die spezifischen Anforderungen der Fleischerzeugung angepasst. Statt 365 Tage als Bezugszeitraum wird die durchschnittliche Mastdauer als Bezugszeitraum vorgegeben. Der Faktor MS wird in der Berechnung nicht mitberücksichtigt. Dieser Faktor bezeichnet den Anteil der Gesamtanzahl an Tieren in einem Land denen ein bestimmtes Managementsystem zugeordnet werden kann, z.B. 50 % der Milchkühe in Deutschland werden dem Düngermanagementsystem Gülle zugeordnet. Hier wird für den konventionellen Bereich das Güllesystem angenommen und für den biologischen wird das Festmistsystem angenommen. Die Bruttoenergieaufnahme wird mit Formel 3-2 berechnet und basiert auf den Futterrationen. Aus Tabelle 3-15 und Tabelle 3-16 können die durchschnittlichen Energiegehalte der eingesetzten Futtermittel entnommen werden.

*Formel 3-3: Methan Emissionsfaktor aus dem Düngermanagement*

$$EF_{(T)} = \left(VS_{(T)} \times MD\right) \times \left(B_{o(T)} \times 0{,}67 \times \left(\frac{MCF_{S,k}}{100}\right)\right)$$

$EF_{(T)}$: Emissionsfaktor der betreffenden Tierkategorie, kg $CH_4$ $Tier^{-1}$ $Jahr^{-1}$
$VS_{(T)}$: Ausscheidung leicht umsetzbarer Substanz, in kg Trockensubstanz $Tier^{-1}$ $Tag^{-1}$
$B_{o(T)}$: Maximale Methan- Produktionskapazität von Wirtschaftsdünger, $m^3$ $CH_4$ (kg VS)$^{-1}$
0,67: Umrechnungsfaktor, $m^3$ $CH_4$ (kg $CH_4$)$^{-1}$
$MCF_{S,k}$: Methanumwandlungsfaktor für Düngermanagementsystem Gülle oder Festmist, Klimaregion Kühl, %
MD: Anzahl der Produktionstage bzw. Mastdauer, Tage

*Formel 3-4: Ausscheidung leicht umsetzbarer Substanz von Vieh*

$$VS_{(T)} = \left[GE \times \left(1 - \frac{DE\%}{100}\right) + \left(UE \times GE\right)\right] \times \left[\frac{1 - ASH}{18{,}45}\right]$$

GE: Bruttoenergieaufnahme, MJ $Tier^{-1}$ $Tag^{-1}$
DE%: Verdaulichkeit der organischen Substanz, %
UE x GE: Harnfaktor als Anteil von GE (0,04GE für Milch und Rindvieh; 0,02GE für Kraftfutterdiäten oder für Schwein)
ASH: Aschegehalt der Dünger berechnet als Anteil der Futteraufnahme (Trockensubstanz)
18,45: Umrechnungsfaktor, MJ $kg^{-1}$

*Tabelle 3-15: Inputdaten für die Methanemissionen aus dem Düngermanagement in der konventionellen Milchviehhaltung*

| **Konventionelle Landwirtschaft – Methanemissionen Düngermanagement in der Milchviehhaltung** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| ASH | Aschegehalt der Exkremente von Milchvieh | % | 0,11 | [Anderl et al., 2009] Kap.6.3,S.246,Tbl.155 |
| MD | Anzahl der Melktage | Tage | 305 | |

| Konventionelle Landwirtschaft – Methanemissionen Düngermanagement in der Milchviehhaltung | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $B_o$ | Maximale Methan- Produktionskapazität von Wirtschaftsdünger Milchvieh | $m^3$ $CH_4$ (kg VS)$^{-1}$ | 0,24 | [De Klein et al., 2006] Kap10, Annex10A.2, S.10.78,Tbl.10A-5 |
| MCFg | Methanumwandlungsfaktor für Düngermanagementsystem Gülle, Klimaregion Kühl | % | 17 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.4,S.10.44-47,Tbl.10.17 |
| ML | Milchleistung | kg Milch Tier$^{-1}$ Jahr$^{-1}$ | 8.000 | [Folkert, 2010] |
| UE | Harnfaktor als Anteil von GE | keine | 0,04 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.4,S.10.42,Eq.10.24 |

*Tabelle 3-16: Inputdaten für die Methanemissionen aus dem Düngermanagement in der biologischen Milchviehhaltung*

| Biologische Landwirtschaft – Methanemissionen Düngermanagement in der Milchviehhaltung | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| ASH | Aschegehalt der Exkremente von Milchvieh | % | 0,11 | [Anderl et al., 2009] Kap.6.3,S.246,Tbl.155 |
| MD | Anzahl der Melktage | Tage | 305 | |
| $B_o$ | Maximale Methan produzierende Kapazität von Milchviehdung | $m^3$ $CH_4$ (kg VS)$^{-1}$ | 0,24 | [De Klein et al., 2006] Kap10, Annex10A.2,S.10.78,Tbl.10A-5 |
| MCFf | Methanumwandlungsfaktor für Düngermanagementsystem Festmist, Klimaregion Kühl | % | 2 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.4,S.10.44-47,Tbl.10.17 |
| ML | Milchleistung | kg Milch Tier$^{-1}$ Jahr$^{-1}$ | 5.000 | [Greimel, 2000] |
| UE | Harnfaktor als Anteil von GE | keine | 0,04 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.4,S.10.42,Eq.10.24 |

#### 3.4.2.2 Direkte Lachgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement

Lachgas ($N_2O$) ist ein Zwischenprodukt im Stickstoffkreislauf und entsteht bei der Umwandlung von Nitrat in elementaren Stickstoff ($N_2$), die sogenannte Denitrifikation, und bei der Umwandlung von Ammoniak ($NH_3$) zu Nitrat ($NO_3$), die Nitrifikation [Wrage, 2009]. Die Emission von Lachgas ist

allgemein abhängig vom Nitratangebot, den Temperaturen und dem Wasserangebot. Im Wirtschaftsdüngermanagement beeinflussen Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt des Düngers, das Düngermanagementsystem und die Lagerdauer die Menge an Emissionen [De Klein et al., 2006].

Organische Dünger wie Stallmist enthalten Stickstoff sowohl organisch gebunden als auch in Form von Ammonium ($NH_4$), nicht aber in Form von Nitrat wie Mineraldünger. Für die Pflanzen ist er erst verfügbar, wenn er im Boden mikrobiell umgesetzt, d.h. mineralisiert wurde. Bei der mikrobiellen Umwandlung organischer N-Dünger im Boden zu Ammonium ($NH_4$) und beim weiteren Abbau von $NH_4$ zu Nitrat ($NO_3$) treten gasförmige Verluste in Form von Lachgas ($N_2O$) und Ammoniak ($NH_3$) auf [Wrage, 2009]. Ammoniak ($NH_3$) zählt nach dem Kyoto- Protokoll nicht zu den THG-Emissionen, ist aber indirekt klimawirksam, da im Boden teilweise eine Umwandlung in $N_2O$ stattfindet [Oltmanns et al., 2004].

Die direkten Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement werden nach [IPCC, 2006] anhand der Formel 3-5 ermittelt. Diese Formel wird den spezifischen Bedingungen angepasst. Der Faktor Anzahl der Tiere ($N_{(T)}$) wird gleich eins gesetzt, da die Emissionen auf ein Tier Bezug nehmen und dann in kg pro Produkt umgerechnet werden. Der Faktor MS wird in der Berechnung nicht mitberücksichtigt. Dieser Faktor bezeichnet den Anteil der Gesamtanzahl an Tieren in einem Land, denen ein bestimmtes Managementsystem zugeordnet werden kann, z.B. 50 % der Milchkühe in D. werden dem Düngermanagementsystem Gülle zugeordnet. Hier wird für den konventionellen Bereich das Güllesystem angenommen und für den biologischen wird das Festmistsystem angenommen.

Für die durchschnittliche Stickstoffausscheidung (Nex) wird ein Standardwert (NexS, kg N (1.000 kg Tiermasse)$^{-1}$ Tag$^{-1}$) angenommen. Dieser wird über das durchschnittliche Gewicht der Tiere und die Produktionsdauer (Melktage bzw. Mastdauer) errechnet. Das Ergebnis wird anhand der Milchleistung, bzw. Produktionsleistung auf kg pro Produkt umgerechnet (kg $N_2O$ (kg Milch oder Fleisch)$^{-1}$). In Tabelle 3-17 und Tabelle 3-18 sind die Inputwerte der Berechnungen gegeben.

*Formel 3-5: Gesamten direkten Lachgas Emissionen aus dem Düngermanagement Festmist oder Gülle*

$$N_2O_{D(mm)} = \left(\frac{NexS_{(T)}}{(1.000 \div Lgew)}\right) \times MD \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28}$$

$N_2O_{D(mm)}$: Direkte Lachgasemissionen aus Düngermanagement, kg $N_2O$
$NexS_{(T)}$: Durchschnittliche Stickstoffausscheidung von Mastvieh, kg N (1000 kg Tiermasse)$^{-1}$ Tag$^{-1}$;
Lgew: Durchschnittliches Lebendgewicht der Tiere bei Lieferung zum Schlachthof, kg Tier$^{-1}$

MD: Anzahl Tage das produziert wird bzw. Mastdauer, Tage
$EF_{3(S)}$: Lachgas Emissionsfaktor aus Düngermanagementsysteme bez. Viehhaltung, kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$

*Tabelle 3-17: Inputdaten für die direkten Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement in der konventionellen Milchviehhaltung*

| **Konventionelle Landwirtschaft – Direkte Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement in der Milchviehhaltung** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $NexS_{(T)}$ | Durchschnittlicher Düngeranfall bzw. N-Ausscheidung von Milchvieh | kg N (1.000 kg Tiermasse)$^{-1}$ Tag$^{-1}$ | 0,48 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.5,S.10.59,Tbl.10.19 |
| $EF_{3(g)}$ | Lachgasemissionsfaktor aus Düngermanagement-system Gülle | kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$ | 0,001 | [Anderl et al., 2009] Kap.6.3,S.252,Tbl.164 |
| Lgew | Durchschnittliches Lebendgewicht der Milchkuh | kg Tier$^{-1}$ | 500 | |
| ML | Milchleistung | kg Milch Tier$^{-1}$ Jahr$^{-1}$ | 8.000 | [Folkert, 2010] |
| MD | Anzahl der Melktage | Tage | 305 | |

*Tabelle 3-18: Inputdaten für die direkte Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement in der biologischen Milchviehhaltung*

| **Biologische Landwirtschaft – Direkte Lachgasemissionen aus Düngermanagement in der Milchviehhaltung** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $NexS_{(T)}$ | Durchschnittlicher Düngeranfall bzw. N-Ausscheidung von Milchvieh | kg N (1.000 kg Tiermas-se)$^{-1}$ Tag$^{-1}$ | 0,48 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.5,S.10.59,Tbl.10.19 |
| $EF_{3(f)}$ | Lachgasemissionsfaktor aus Düngermanagement-system Festmist bez. Milchviehhaltung | kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$ | 0,02 | [Anderl et al., 2009] Kap.6.3,S.252,Tbl.164 |
| Lgew | Durchschnittliches Lebendgewicht der Milchkuh | kg Tier$^{-1}$ | 500 | |
| ML | Milchleistung | kg Milch Tier$^{-}$ | 5.000 | [Greimel, 2000] |

| Biologische Landwirtschaft – Direkte Lachgasemissionen aus Düngermanagement in der Milchviehhaltung | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| | | [1] $Jahr^{-1}$ | | |
| MD | Anzahl der Melktage | Tage | 305 | |

### 3.4.2.3 Indirekte Lachgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement

Die indirekten Emissionen werden differenziert nach den Bereichen „leaching“ (Auswaschung) und „runoff“ (Oberflächenabfluss) sowie den Emissionen die durch atmosphärische Deposition gasförmiger N- Verbindungen entstehen.

Für die Berechnung der indirekten Lachgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement in der Landwirtschaft werden Formeln aus IPCC 2006 verwendet Formel 3-6 und Formel 3-7 [De Klein et al., 2006]. Die Formeln werden den spezifischen Bedingungen angepasst.

Der Faktor Anzahl der Tiere ($N_{(T)}$) wird gleich eins gesetzt, da die Emissionen auf ein Tier Bezug nehmen und dann in kg Produkt umgerechnet werden. Der Faktor MS wird in der Berechnung nicht mitberücksichtigt. Dieser Faktor bezeichnet den Anteil der Gesamtanzahl an Tieren in einem Land denen ein bestimmtes Managementsystem zugeordnet werden kann, z.B. 50 % der Milchkühe in Deutschland werden dem Düngermanagementsystem Gülle zugeordnet. Hier wird für den konventionellen Bereich das Güllesystem angenommen und für den biologischen wird das Festmistsystem angenommen.

Der Faktor $N_{ex}$ bezeichnet die durchschnittliche Stickstoff-Ausscheidung im Wirtschaftsdünger pro Tier und Tag. Der Stickstoffanteil im Wirtschaftsdünger ist abhängig von der Tierart und der Zusammensetzung der Futterration. Hier werden Standardwerte verwendet. Anhand der Formel 3-7 werden die indirekten Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement durch den Oberflächenabfluss und die Auswaschung, nach [De Klein et al., 2006] (Kombination der Formeln 10-28 und 10-29) wie Formel 3-6 adaptiert und ermittelt. Folglich werden die indirekten Lachgasemissionen anhand der Milch- bzw. Produktionsleistung pro kg Produkt berechnet (kg $N_2O$ (kg Milch oder Fleisch)$^{-1}$). Fleisch wird anhand der Ausschlachtung auf das Netto-Schlachtgewicht umgerechnet, die indirekten Lachgasemissionen werden damit vollständig dem Fleisch zugerechnet.

*Formel 3-6: Indirekte Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement durch Ausgasung*

$$N_2O_V = \left(\frac{\left(NexS_{(T)} \times MD\right)}{\left(1.000 \div Lgew\right)}\right) \times \left(\frac{Frac_{GasMS}}{100}\right) \times EF_4 \times \frac{44}{28}$$

$N_2O_V$: Indirekte Lachgasemissionen aus Düngermanagement durch Ausgasung,
$Frac_{GasMS}$: Stickstoff Anteil in ausgeschiedene Fäkalien von Rindvieh das als $NH_3$ und $NO_x$ verflüchtigt in Düngermanagementsysteme, %;
$EF_4$: Lachgas Emissionsfaktor für indirekte $N_2O$ Emissionen aus $NH_3$ und $NO_x$ bez. Viehhaltung, kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$

*Formel 3-7: Indirekte Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement infolge Oberflächenabfluss und Auswaschung*

$$N_2O_L = \left(\frac{\left(NexS_{(T)} \times MD\right)}{\left(1.000 \div Lgew\right)}\right) \times \left(\frac{Frac_{leachMS}}{100}\right) \times EF_5 \times \frac{44}{28}$$

$N_2O_L$: Indirekte Lachgasemissionen aus Düngermanagement infolge Oberflächenabfluss und Auswaschung, kg $N_2O$ Jahr$^{-1}$
$Frac_{leachiMS}$: Anteil des Stickstoffs der aus dem Düngermanagementsystem verloren geht durch Oberflächenabfluss und Auswaschung, %
$EF_5$: Emissionsfaktor für $N_2O$ Emissionen aus Oberflächenabfluss und Auswaschung, kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$

*Tabelle 3-19: Inputdaten für die indirekten Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement in der konventionellen Milchviehhaltung*

| **Konventionelle Landwirtschaft – Indirekte Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement in der Milchviehhaltung** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $N_{ex}S_{(T)}$ | Durchschnittliche Stickstoffausscheidung von Milchvieh | kg N (1.000 kg Tiermasse)$^{-1}$ Tag$^{-1}$ | 0,48 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.5,S.10.59,Tbl.10.19 |
| $Frac_{gasMSg}$ | Stickstoff Anteil in ausgeschiedenen Fäkalien von Vieh das als $NH_3$ und $NO_x$ verflüchtigt in Gülle Düngermanagement System | % | 40 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.5.4,S.10.65,Tbl.10.22 |

| Konventionelle Landwirtschaft – Indirekte Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement in der Milchviehhaltung | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $EF_4$ | Lachgas Emissionsfaktor für indirekte $N_2O$ Emissionen aus $NH_3$ und $NO_x$ bez. Viehhaltung | kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$ | 0,01 | [De Klein et al., 2006] Kap.11.2.2,S.11.24,Tbl.11.3 |
| $Frac_{leach}$ | Anteil des Stickstoffs der aus den Düngermanagementsystemen verloren geht durch Oberflächenabfluss und Auswaschung | % | 30 | [De Klein et al., 2006] Kap.11.2,S.11.24,Tbl.11.3 |
| $EF_5$ | Emissionsfaktor für $N_2O$ Emissionen von Oberflächenabfluss und Auswaschung | kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$ | 0,0075 | [De Klein et al., 2006] Kap.11.2.2,S.11.24,Tbl.11.3 |
| Lgew | Durchschnittliches Lebendgewicht der Tiere bei Anlieferung am Schlachthof | kg Tier$^{-1}$ | 650 | |
| ML | Milchleistung | kg Milch Tier$^{-1}$ Jahr$^{-1}$ | 8.000 | [Folkert, 2010] |
| MD | Anzahl der Melktage | Tage | 305 | |

*Tabelle 3-20: Inputdaten für die indirekten Lachgasemissionen aus dem Düngermanagement in der biologischen Milchviehhaltung*

| Biologische Landwirtschaft – Indirekte Lachgasemissionen aus der Düngermanagement in der Milchviehhaltung | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $N_{ex}S_{(T)}$ | Durchschnittliche Ausscheidung von Stickstoff bei Milchvieh | kg N (1.000 kg Tiermasse)$^{-1}$ Tag$^{-1}$ | 0,48 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.5,S.10.59,Tbl.10.19 |
| $Frac_{gasMSf}$ | Stickstoff Anteil in ausgeschiedenen Fäkalien des Viehs das als $NH_3$ und $NO_x$ verflüchtigt in Festmist Düngermanagementsystem | % | 30 | [De Klein et al., 2006] Kap.10.5.4,S.10.65,Tbl.10.22 |
| $EF_4$ | Lachgas Emissionsfaktor für indirekte N2O Emissionen aus $NH_3$ und $NO_x$ bez. Viehhaltung | kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$ | 0,01 | [De Klein et al., 2006] Kap.11.2.2,S.11.24,Tbl.11.3 |

| Biologische Landwirtschaft – Indirekte Lachgasemissionen aus der Düngermanagement in der Milchviehhaltung | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $Frac_{leach}$ | Anteil des Stickstoffs der aus Düngermanagement-systeme verloren geht durch Oberflächenabfluss und Auswaschung | % | 30 | [De Klein et al., 2006] Kap.11.2,S.11.24,Tbl.11.3 |
| $EF_5$ | Emissionsfaktor für $N_2O$ Emissionen von Oberflächenabfluss und Auswaschung | kg $N_2O$-N (kg N)$^{-1}$ | 0,0075 | [De Klein et al., 2006] Kap.11.2.2,S.11.24,Tbl.11.3 |
| Lgew | Durchschnittliches Lebendgewicht der Tiere bei Lieferung zum Schlachthof | kg Tier$^{-1}$ | 650 | |
| ML | Milchleistung | kg Milch Tier$^{-1}$ Jahr$^{-1}$ | 5.000 | [Greimel, 2000] |
| MD | Anzahl der Melktage | Tage | 305 | |

## 3.4.3 Maschineneinsatz

Der Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen verursacht Treibhausgasemissionen durch die Verbrennung von fossilen Treibstoffen. Es wird angenommen das Diesel der repräsentative Treibstoff in der Landwirtschaft ist. Die entsprechende Emissionsfaktoren sind [Nemecek & Kägi, 2007] entnommen. Eine durchschnittliche Dichte des Treibstoffs Diesel wird angenommen (siehe Kapitel 3-21).

*Tabelle 3-22 Allgemeine Annahmen bezüglich Treibhausgasemissionen durch Maschineneinsatz in der Landwirtschaft*

| Konventionelle und biologische Landwirtschaft – Allgemeine Annahmen | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Einheit** | **Größe** | **Aus:** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $CO_2$ Emissionsfaktor durch Verbrennung von Diesel in landwirtschaftlichen Maschinen | kg $CO_2$ (kg Diesel)$^{-1}$ | 3,12 | | [Nemecek & Kägi, 2007] Kap.7.2.6,S.62,Tbl.7.1 |
| $CH_4$ Emissionsfaktor durch Verbrennung von Diesel in landwirtschaftlichen Maschinen | kg $CH_4$ (kg Diesel)$^{-1}$ | 0,000129 | | [Nemecek & Kägi, 2007] Kap.7.2.6,S.62,Tbl.7.1 |
| $N_2O$ Emissionsfaktor durch Verbrennung von Diesel in | kg $N_2O$ (kg | 0,00012 | | [Nemecek & Kägi, 2007] |

| Konventionelle und biologische Landwirtschaft – Allgemeine Annahmen | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Einheit** | **Größe** | **Aus:** | **Quelle und Bemerkungen** |
| landwirtschaftlichen Maschinen | Diesel)$^{-1}$ | | | Kap.7.2.6,S.62,Tbl.7.1 |
| Dichte von Diesel | kg $l^{-1}$ | 0,8325 | Min. 0,820<br>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) |
| $N_2O$ Emissionsfaktor durch Verbrennung von LPG in landwirtschaftlichen Maschinen | kg $N_2O$ (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 3-23: Energieverbrauch durch Maschineneinsatz in der konventionellen Viehhaltung*

| Konventionelle Landwirtschaft - Energieverbrauch | | | |
|---|---|---|---|
| **Ressourcen Einsatz** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Melken | kWh $kg^{-1}$ | 0,0457 | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Milking/CH U“ |
| Dieselverbrauch - Nichtzuordenbar | kg $kg^{-1}$ | | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U“ |
| Stromverbrauch - Nichtzuordenbar | kWh $kg^{-1}$ | | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Electricity, low voltage, at grid/AT U“ |

*Tabelle 3-24: Energieverbrauch durch Maschineneinsatz in die biologische Viehhaltung*

| Biologische Landwirtschaft - Energieverbrauch | | | |
|---|---|---|---|
| **Ressourcen Einsatz** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Melken | kWh $kg^{-1}$ | 0,0457 | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Milking/CH U“ |
| Dieselverbrauch - Nichtzuord- | kg $kg^{-1}$ | | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U“ |

| Biologische Landwirtschaft - Energieverbrauch | | | |
|---|---|---|---|
| **Ressourcen Einsatz** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| enbar | | | |
| Stromverbrauch - Nichtzuord-enbar | kWh $kg^{-1}$ | | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Electricity, low voltage, at grid/AT U“ |

*Tabelle 3-25: Ressourceneinsatz und Treibhausgasemissionen für Heizung mittels Erdgas in der konventionellen Viehhaltung*

| Konventionelle Landwirtschaft – Heizung mittels Erdgas | | | |
|---|---|---|---|
| **Ressourcen Einsatz** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Erdgasverbrauch | MJ $Tier^{-1}$ | | |
| Produktionsleistung | kg $Tier^{-1}$ | | |
| 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]; 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]; Prozess: „Natural gas, burned in boiler modulating <100kW/RER U“; grobe Schätzung, hohe Unsicherheit |
| Emissionsfaktor $N_2O$ | kg $N_2O$ (MJ Erdgas)$^{-1}$ | $0{,}5e^{-6}$ | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Natural gas, burned in boiler modulating <100kW/RER U“; grobe Schätzung, hohe Unsicherheit |

*Tabelle 3-26: Ressourceneinsatz und Treibhausgasemissionen für Heizung mittels Erdgas in der biologischen Viehhaltung*

| Biologische Landwirtschaft – Heizung mittels Erdgas | | | |
|---|---|---|---|
| **Ressourcen Einsatz** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Erdgasverbrauch | MJ $Tier^{-1}$ | | |
| Produktionsleistung | kg $Tier^{-1}$ | | |
| 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]; 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]; Prozess: „Natural gas, burned in boiler modulating <100kW/RER U“; grobe Schätzung, hohe Unsicherheit |
| Emissionsfaktor $N_2O$ | kg $N_2O$ (MJ Erdgas)$^{-1}$ | 0,5e$^{-6}$ | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „Natural gas, burned in boiler modulating <100kW/RER U“; grobe Schätzung, hohe Unsicherheit |

*Tabelle 3-27: Ressourceneinsatz und Treibhausgasemissionen für Heizung mittels Fernwärme aus der Müllverbrennung in der konventionellen Viehhaltung*

| **Konventionelle Landwirtschaft – Heizung mittels Fernwärme** | | | |
|---|---|---|---|
| **Ressourcen Einsatz** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Fernwärmeverbrauch | MJ Tier$^{-1}$ | | |
| Produktionsleistung | kg Tier$^{-1}$ | | |
| Emissionsfaktor $CO_2$ | kg $CO_2$ (kg Abfall)$^{-1}$ | 1,197 | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „disposal, municipal solid waste, 22,9% water, to municipal incineration“; Summe der biogene und fossilen $CO_2$-Emissionen |
| Emissionsfaktor $CH_4$ | kg $CH_4$ (kg Abfall)$^{-1}$ | 0,639e$^{-5}$ | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „disposal, municipal solid waste, 22,9% water, to municipal incineration“; Summe der biogene und fossilen $CH_4$-Emissionen |
| Emissionsfaktor $N_2O$ | kg $N_2O$ (kg Abfall)$^{-1}$ | 0,132e$^{-4}$ | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „disposal, municipal solid waste, 22,9% water, to municipal incineration“; |
| Netto Wärme-Energie aus MSWI | MJ (kg Abfall)$^{-1}$ | 2,16 | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „disposal, municipal solid waste, 22,9% water, to municipal incineration“; |
| Allokationsfaktor | | 0,33 | |

*Tabelle 3-28: Ressourcen Einsatz und Treibhausgasemissionen für Heizung mittels Fernwärme aus Müllverbrennung in der biologischen Viehhaltung*

| **Konventionelle Landwirtschaft – Heizung mittels Fernwärme** | | | |
|---|---|---|---|
| **Ressourcen Einsatz** | **Einheit** | **Größe** | **Quelle und Bemerkungen** |
| Fernwärmeverbrauch | MJ $Tier^{-1}$ | | |
| Produktionsleistung | kg $Tier^{-1}$ | | |
| Emissionsfaktor $CO_2$ | kg $CO_2$ (kg Abfall)$^{-1}$ | 1,197 | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „disposal, municipal solid waste, 22,9 % water, to municipal incineration"; Summe der biogenen und fossilen $CO_2$-Emissionen |
| Emissionsfaktor $CH_4$ | kg $CH_4$ (kg Abfall)$^{-1}$ | $0{,}639e^{-5}$ | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „disposal, municipal solid waste, 22,9 % water, to municipal incineration"; Summe der biogenen und fossilen $CH_4$-Emissionen |
| Emissionsfaktor $N_2O$ | kg $N_2O$ (kg Abfall)$^{-1}$ | $0{,}132e^{-4}$ | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „disposal, municipal solid waste, 22,9 % water, to municipal incineration"; |
| Netto Wärme-Energie aus MSWI | MJ (kg Abfall)$^{-1}$ | 2,16 | [Ecoinvent Centre, 2007]; Prozess: „disposal, municipal solid waste, 22,9 % water, to municipal incineration"; |
| Allokationsfaktor | | 0,33 | |

## 3.5 Prozess Handel

### 3.5.1 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.

#### 3.5.1.1 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 jeweiligen Emissionsfaktoren und die Auslastung der Lastkraftwagen (LKW). Die Parameter werden aus TREMOVE (www.tremove.org), ein europäisches 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 3-29 sind die durchschnittlicher Treibstoffverbräuche der schweren und leichten Nutzfahrzeuge der 5 Herkunftsländer dargestellt. Der Treibstoffverbrauch zwischen Fahrzeugtechnologieklassen (bzw. EURO-Standard) ist relativ niedrig, es wird deswegen ein durchschnittlicher Treibstoffverbrauch je Fahrzeugkategorie (bzw. Nutzlastklasse) verwendet. Die Emissionsfaktoren sowie ein Maß für die Auslastung wurde das TREMOVE-Modell und ist in Tabelle 3-29 wiedergegeben.

*Tabelle 3-29: Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch, Treibhausgasemissionsfaktoren und Auslastung je Fahrzeugkategorie*

| **Durchschnittlicher Emissionsfaktoren und Auslastung** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fahrzeugkategorie** | **kg Treibstoff $vkm^{-1}$** | **kg $CO^2$ $vkm^{-1}$** | **kg $CH^4$ $vkm^{-1}$** | **kg $N^2O$ $vkm^{-1}$** | **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 |

### 3.5.1.2 Transportszenarien

*Tabelle 3-30: Transportszenario 1 für Milch aus Deutschland mit Maximalisierung des Einsatzes von schweren Nutzfahrzeugen (SNF)*

| **Transportszenario 1: Milch DE-AT - MAX. SNF** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Transportstrecke** | **Transportmittel** | **km** | **Transportgewicht (t)** | **tkm** | **Quelle & Bemerkungen** |
| LW - VA (Molkerei) | SNF 16-32t | 100 | 0,001 | 0,1 | Annahme: durchschnittliche Distanz zwischen Landwirt und Molkerei 100 km |
| VA (Molkerei) - HA (Zwischenlager AT) | SNF 16-32t | 400 | 0,001 | 0,4 | München - Distributionszentrum AT |
| HA (Zwischenlager AT) - Großküche | SNF 7,5-16t | 50 | 0,001 | 0,05 | Distributionszentrum AT - Großküche |
| | | 100 | 0,001 | 0,1 | Distributionszentrum AT - Großküche |
| | | 200 | 0,001 | 0,2 | Distributionszentrum AT - Großküche |

*Tabelle 3-31: Transportszenario 2 für Milch aus Deutschland mit Minimalisierung des Einsatzes von schweren Nutzfahrzeugen (SNF)*

| **Transportszenario 2: Milch DE-AT - MIN. SNF** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Transportstrecke** | **Transportmittel** | **km** | **Transportgewicht (t)** | **tkm** | **Quelle & Bemerkungen** |
| LW - VA (Molkerei) | SNF 7,5-16t | 100 | 0,0014 | 0,14 | Annahme: durchschnittliche Distanz zwischen Landwirt und Molkerei 100 km; |
| VA (Molkerei) - HA (Zwischenlager AT) | SNF 7,5-16t | 400 | 0,001 | 0,4 | München - Distributionszentrum AT |
| HA (Zwischenlager AT) - Großküche | SNF <3,5t | 50 | 0,001 | 0,05 | Distributionszentrum AT - Großküche |
| | | 100 | 0,001 | 0,1 | Distributionszentrum AT - Großküche |
| | | 200 | 0,001 | 0,2 | Distributionszentrum AT - Großküche |

### 3.5.2 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 3-32). In diesen Daten werden berücksichtigt: die Lagerung bei Raumtemperatur, die Kühllagerung und die Tiefkühllagerung.

Der Energieverbrauch für die Lagerung bei Raumtemperatur besteht aus Strom- und Wärmeverbrauch und wird anhand der Formel 3-8 berechnet, welche aus [Nielsen et al., 2003] und [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000] entnommen wird. Der Energieverbrauch der Kühlung und Tiefkühlung von Lebensmitteln wird anhand der Formel 3-9 berechnet die ebenso von [Nielsen et al., 2003] und [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000] entnommen wird. Die Inputdaten der jeweiligen Prozesse sind in Tabelle 3-33 und Tabelle 3-34 ersichtlich.

*Formel 3-8: Energieverbrauch der Lebensmittellagerung bei Raumtemperatur*

$$E = E_S \times M_P \times t$$

E: Energieverbrauch für Lebensmittellagerung bei Raumtemperatur, kWh $kg^{-1}$
$E_S$: Spezifischer Stromverbrauch für Lagerungstype S, kWh $(m^3)^{-1}$ $Tag^{-1}$
$M_P$: Gewicht des gelagerten Produktes, kg
t: Lagerdauer, Tage

*Formel 3-9: Energieverbrauch der Kühl- und Tiefkühllagerung*

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

E: Energieverbrauch für Kühl- und Tiefkühllagerung, kWh $kg^{-1}$
u: Durchschnittliche Auslastung der Kühl- und Tiefkühllager, %
$V_P$: Volumen des gelagerten Lebensmittels, $m^3$ $kg^{-1}$

*Tabelle 3-32: 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 3-33: Inputdaten für die Lebensmittellagerung bei Raumtemperatur*

| Lebensmittellagerung bei Raumtemperatur | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Aus:** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $E_{S(E)}$ | Spezifischer Stromverbrauch für die Lebensmittellagerung bei Raumtemperatur | kWh $kg^{-1}$ $Tag^{-1}$ | 0,00144 | | [Nielsen et al., 2003] [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000] |
| $E_{S(G)}$ | Spezifischer Wärmeverbrauch für die Lebensmittellagerung bei Raumtemperatur | kWh $kg^{-1}$ $Tag^{-1}$ | 0,002167 | | [Nielsen et al., 2003] [Carlsson-Kanyama & Faist, 2000] |
| $M_P$ | Gewicht des gelagerten Produktes | kg | | | |
| t | Lagerdauer der Ware | Tage | | | |

*Tabelle 3-34: Inputdaten für die Kühl- und Tiefkühllagerung der Lebensmittel*

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

## 3.6 Prozess Verarbeitung

Milch ist ein dreiphasiges System bestehend aus einer wässrigen Lösung, Proteinen und Fett. Bevor die Milch konsumiert werden kann (Konsummilch) muss die Rohmilch homogenisiert und wärmebehandelt werden. Die Wärmebehandlung der Milch wird durchgeführt um unerwünschte Mikroorganismen abzutöten und so die Milch konsumfähig und haltbar zu machen. Bei den thermischen Verfahren kann grob zwischen drei Verfahren unterschieden werden: pasteurisieren, ultrahocherhitzen und sterilisieren [Frister, 2007]. In der Milchverarbeitung werden zur Energieversorgung überwiegend die Energieträger Erdgas, Heizöl und Strom eingesetzt. Die Höhe des Energieeinsatzes hängt ab von Prozesstechnik, Produktpalette, Produktionsmenge und Auslastung der Anlagen.

Die Energieträger Erdgas und Heizöl werden zur Bereitstellung der Prozesswärme für die thermischen Verfahren benötigt. Elektrische Energie wird zur Kälteerzeugung, Drucklufterzeugung und für Automatisierungsvorgänge benötigt. Wärme wird im Wesentlichen in Form von Dampf und Warmwasser für Erhitzungs- und Reinigungsprozesse benötigt. Zur Wärmeerzeugung werden Dampfkessel oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen eingesetzt.

**Herstellung von Joghurt**

Die Ausgangsbasis für Joghurt ist eine homogenisierte und pasteurisierte Milch. Dann werden Bakterienkulturen (Milchsäurebakterien) zugesetzt und die Milch wird bei 45°C für 2 bis 3 Stunden bebrütet [Frister, 2007].

*Tabelle 3-35: Inputdaten der Milchverarbeitung*

| **Inputdaten der Milchverarbeitung** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Aus:** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $E_S$ | Stromverbrauch für die Milchverarbeitung | kWh (kg Milch)$^{-1}$ | | 0,012 | [Bayerische Landesanstalt für Umweltschutz, 2000] S.43 |
| | | | | 0,0485 | [Energieagentur, 2010] |
| $E_T$ | Thermische Energieverbrauch für die Milchverarbeitung | MJ (kg Milch)$^{-1}$ | | 0,0565 | [Bayerische Landesanstalt für Umweltschutz, 2000] S.43 |
| | | | | 0,1455 | [Energieagentur, 2010] |
| Rohstoff | | kg (kg Milch)$^{-1}$ | | | |

*Tabelle 3-36: Inputdaten der Joghurt Produktion*

| Inputdaten der Joghurt Produktion | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Beschreibung** | **Einheit** | **Größe** | **Aus:** | **Quelle und Bemerkungen** |
| $E_S$ | Stromverbrauch für die Joghurt Produktion | kWh (kg Joghurt)$^{-1}$ | | 0,00147 | [Bayerische Landesanstalt für Umweltschutz, 2000] S.43 |
| | | | | | |
| $E_T$ | Thermischer Energieverbrauch für die Joghurt Produktion | kWh (kg Joghurt)$^{-1}$ | | 0,0216 | [Bayerische Landesanstalt für Umweltschutz, 2000] S.43 |
| Rohstoff | | kg (kg Joghurt)$^{-1}$ | | | |

*Tabelle 3-37 Gesamtverbrauch spezifische Energie Milch und Milchprodukte*

| Gesamtverbrauch spezifische Energie Verarbeitung Milch und Milchprodukte | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Einheit** | **Wert** | **Spannbreite** | **Quelle und Bemerkungen** |
| **Wärme** | kWh/l Milch | 0,1 | 0,02 - 0,18 | [Energieagentur, 2010] |
| Gas | kWh/ kg Milchverarbeitung | 0,13 | | [Bollwein, 2009] ;<br>0,05 kWh/kg aus Rückgewinnung |
| **Strom** | kWh/l Milch | **0,05** | 0,0 - 0,13 | [Energieagentur, 2010] → 0,0485 kWh (kg Milch)$^{-1}$ |
| | kWh/ kg Milchverarbeitung | 0,08 | | [Bollwein, 2009] |
| **Gesamt** | kWh/l Milch | **0,15** | 0,025 - 0,2 | [Energieagentur, 2010] →0,1455 kWh (kg Milch)$^{-1}$ |
| | kWh/ kg Milchver- | 0,21 | | [Bollwein, 2009] |

| Gesamtverbrauch spezifische Energie Verarbeitung Milch und Milchprodukte | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Einheit** | **Wert** | **Spannbreite** | **Quelle und Bemerkungen** |
| | arbeitung | | | |
| | kWh/ kg Milchver-arbeitung | 0,23 | | [Wirner, 2010] |
| Dichte | kg $(dm^3)^{-1}$ | 1,0315 | Min. 1,028<br>Max. 1,035 | |

# 4 Ergebnisse

Der Beitrag zur Veränderung des Klimas wird mithilfe von $CO_2$-Äquivalenten (kurz $CO_2$ eq) angegeben. Für das Projekt SUKI wird die derzeit aktuellste Methode [ReCiPe, 2008] gewählt, welche im November 2009 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 $CO_2$ eq pro kg des jeweiligen Produktes festgelegt. Das bedeutet, dass sich die Ergebnisse der Berechnungen in kg $CO_2$ eq auf 1 kg des Lebensmittels beziehen, sodass die Vergleichbarkeit gewährleistet wird.

Die Beiträge der einzelnen Module und deren Prozesse sind anhand eines Flussdiagramms dargestellt (Abbildung 4-1). Im Flussdiagramm dargestellt sind die Module Landwirtschaft, Handel und Verarbeitung. Das Modul Handel beinhaltet die Prozesse Transport und Lagerung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die ersten sieben Ebenen dargestellt.

## 4.1 Erzeugung von Milchprodukten (Milch und Joghurt) in Deutschland (Region München)

Die Gesamtemissionen der konventionellen Milchproduktion betragen 0,9 kg $CO_2$ pro Kilogramm Milch. Die biologisch produzierte Milch emittiert 1,4 kg $CO_2$ pro Kilogramm Milch. Der größte Anteil an den Gesamtemissionen liegt bei beiden Produktionsweisen in der Landwirtschaft mit 82% (konventionell) bzw. 88 % (biologisch). Im Prozess Landwirtschaft sind die Prozesse mit den höchsten Anteilen an den Gesamtemissionen die Magengärung und die Futtermittel. In der Magengärung ist neben der Höhe der Futteraufnahme, also der absoluten Menge (vor allem Raufutter), der Proteinanteil in Zusammenhang mit der Raufutteraufnahme ist mitentscheidend für die Höhe der $CH_4$-Emissionen.

In der biologischen Milchproduktion ist die absolute Menge an Raufutter höher und daher entscheidend für die Höhe der $CH_4$-Emissionen aus der Magengärung. In der konventionellen Produktion können die Mikroorganismen im Vormagensystem der Rinder durch den höheren Proteinanteil in der Ration aus weniger Raufutter mehr Methan erzeugen, hier entscheidet das Verhältnis Raufutter zu Protein über die Höhe der Emissionen [Flachowsky & Brade, 2007].

### *$CO_2$ Emissionen von 1 kg konventionell produzierter Milch (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)*

Die Abbildung 4-2 zeigt im Flussdiagramm die Anteile der jeweiligen Prozesse an den gesamten $CO_2$ Emissionen für konventionell produzierte Milch. Der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen beträgt 82 %, der Anteil des Handels also von Transport und Lagerung 10 % und die Verarbeitung 8 %. Die Landwirtschaft trägt insgesamt 0,7 kg $CO_2$ bei, der Handel 0,09 kg $CO_2$ und die Verarbeitung 0,07 kg $CO_2$.

In der Landwirtschaft sind die Magengärung (48 %) und das Futtermittel (30%) ausschlaggebend für die Höhe der gesamten $CO_2$ Emissionen. Das Futtermittel beinhaltet die Bereitstellung von Energie-, Eiweiß-, und Raufutter. Die Bereitstellung der Futtermittel beinhaltet die landwirtschaftliche Produktion der Futtermittel, d.h. es werden der Einsatz von Saatgut, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln und der Transport der Rohstoffe berücksichtigt. Als Eiweißlieferant dient Soja. Berücksichtigt werden die landwirtschaftliche Produktion der Sojabohne in Brasilien und der Transport aus Brasilien nach Österreich. Bei der Magengärung ist neben der Höhe der Futteraufnahme, also der absoluten Menge (vor allem Raufutter), der Proteinanteil in Zusammenhang mit der Raufutteraufnahme mitentscheidend für die Höhe der $CH_4$-Emissionen. Das Düngermanagement ist mit 20 % an den gesamten Emissionen beteiligt. Dem Düngermanagement werden Methan – und Lachgasemissionen aus der Lagerung, Aufbereitung und Ausbringung des Wirtschaftsdüngers zugeordnet.

Die Milch wird mittels LKW (inkl. Kühlung) vom Haupterzeugungsgebiet Bayern (München) nach Österreich transportiert. Der LKW – Transport trägt 15 % zu den gesamten $CO_2$ Emissionen bei.

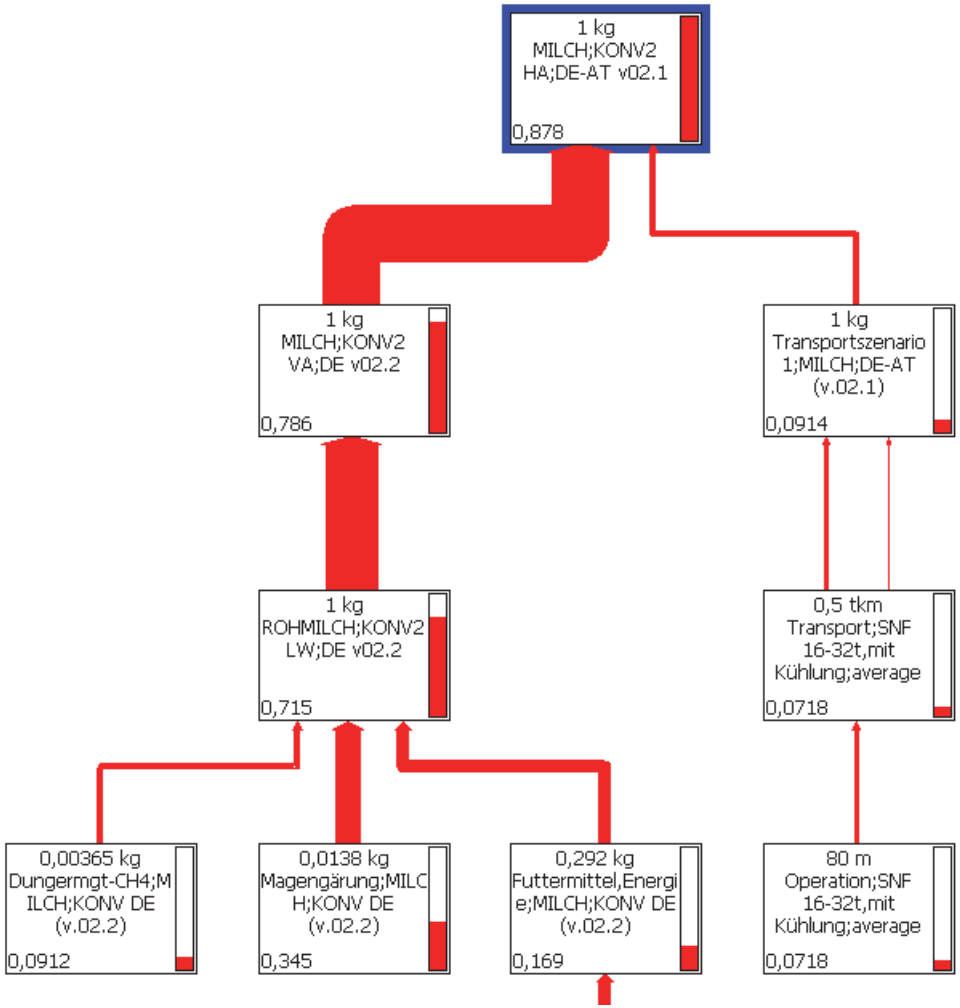
1 kg
MILCH;KONV2
HA;DE-AT v02.1
0,878
1 kg
MILCH;KONV2
VA;DE v02.2
0,786
1 kg
Transportszenario
1;MILCH;DE-AT
(v.02.1)
0,0914
1 kg
ROHMILCH;KONV2
LW;DE v02.2
0,715
0,5 tkm
Transport;SNF
16-32t,mit
Kühlung;average
0,0718
0,00365 kg
Dungermgt-CH4;M
ILCH;KONV DE
(v.02.2)
0,0912
0,0138 kg
Magengärung;MILC
H;KONV DE
(v.02.2)
0,345
0,292 kg
Futtermittel,Energi
e;MILCH;KONV DE
(v.02.2)
0,169
80 m
Operation;SNF
16-32t,mit
Kühlung;average
0,0718

*Abbildung 4-3: $CO_2$ Emissionen von 1 kg konventionell produzierter Milch (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)*

***$CO_2$ Emissionen von 1 kg biologisch produzierter Milch (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)***

Die Abbildung 4-4 zeigt im Flussdiagramm die Anteile der jeweiligen Prozesse an den gesamten $CO_2$ Emissionen für biologisch produzierte Milch. Der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen beträgt 79 %, der Anteil des Transports 12 % und die Verarbeitung 9 %. Der Prozess Landwirtschaft trägt insgesamt 1,2 kg $CO_2$ bei, der Prozess Handel 0,09 kg $CO_2$ und der Prozess Verarbeitung 0,07 kg $CO_2$.

Im Prozess Landwirtschaft hat das Düngermanagement mit 52 % (0,32 kg $CO_2$) den höchsten Anteil an den Gesamtemissionen. Ursache dafür kann die absolute Menge an Raufutter sein, die in der biologischen Milchproduktion benötigt wird, da die höchste $CH_4$- Bildung bei faserreichen Rationen und einem langsamen Faserabbau im Pansen zu erwarten ist [Flachowsky & Brade, 2007]. Der Prozess Magengärung hat einen Anteil von 28 % (0,2 kg $CO_2$) an den Emissionen im Prozess Landwirtschaft. Das Futtermittel hat mit 17 % einen relativ geringen Anteil. Die Emissionen beim Futtermittel stammen aus der Bereitstellung von Raufutter.

Die Milch wird mittels LKW (inkl. Kühlung) vom Haupterzeugungsgebiet Bayern (München) nach Österreich transportiert. Der LKW – Transport trägt mit 12 % zu den gesamten $CO_2$ Emissionen bei.

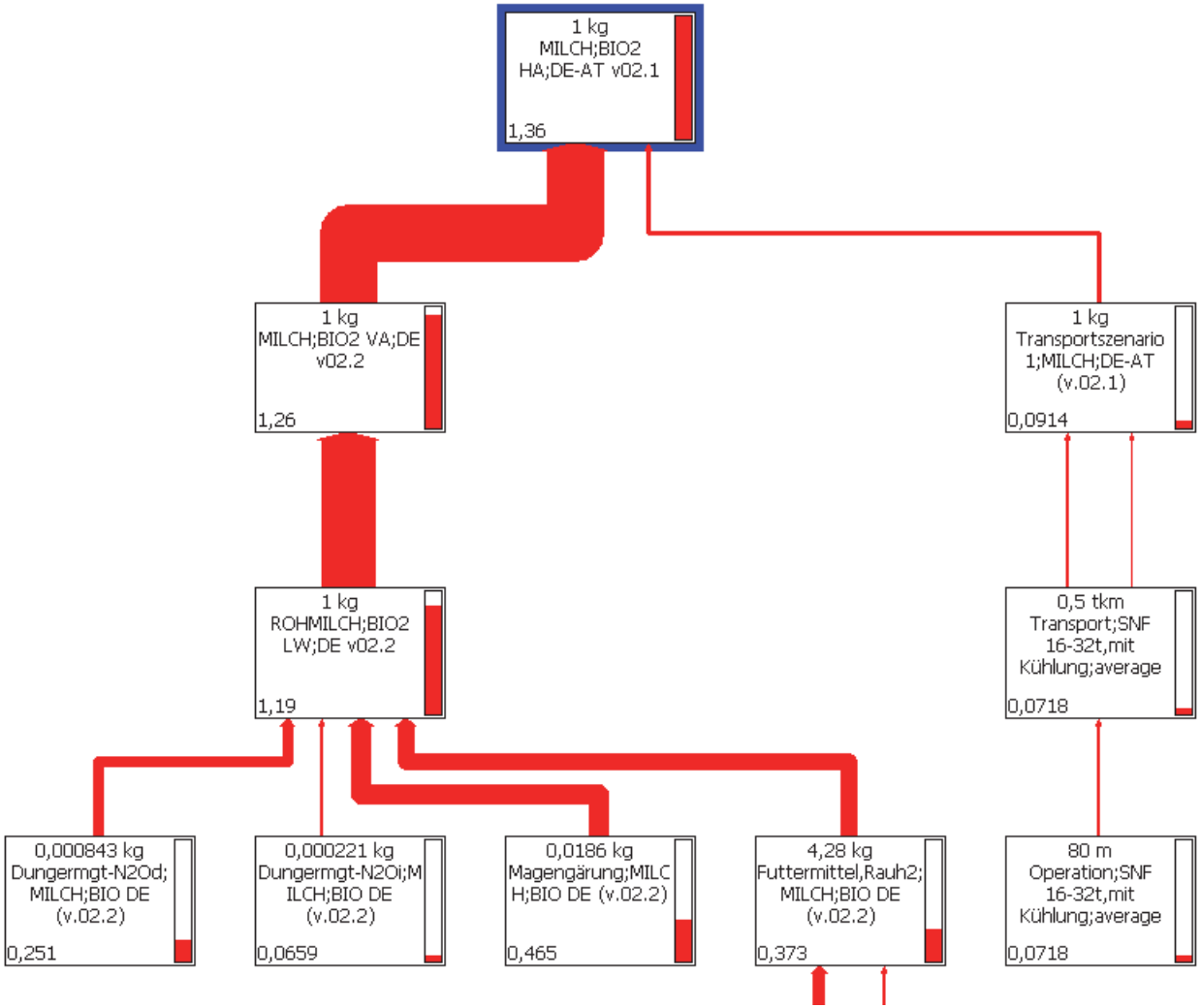


*Abbildung 4-5: $CO_2$ Emissionen von 1 kg biologisch Milch (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)*

***Vergleich der CO2 Emissionen von konventioneller und biologischer Produktion von 1 kg Milch (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)***

Die Abbildung 4-6 zeigt im Flussdiagramm die Anteile der jeweiligen Prozesse an den gesamten $CO_2$ Emissionen für konventionell produziertes Joghurt. Der wesentliche, für die THG Emissionen relevante Verfahrensschritt bei der Verarbeitung von Milch zu Joghurt ist die Bebrütung der Milch bei 40°C bevor die Fermentation durchgeführt wird. Bei diesem Verfahrensschritt gibt es keinen Unterschied zwischen konventioneller und biologischer Produktion. Durch die Verarbeitung zu Joghurt werden 0,02 kg $CO_2$ emittiert. Die Emissionen von konventionell produziertem Joghurt liegen somit bei 1,47 kg $CO_2$, die Emissionen von biologisch produziertem Joghurt bei 1,56 kg $CO_2$.

Das Joghurt wird mittels LKW (inkl. Kühlung) vom Haupterzeugungsgebiet Bayern (München) nach Österreich transportiert. Der LKW – Transport trägt 6 % zu den gesamten $CO_2$ Emissionen bei.

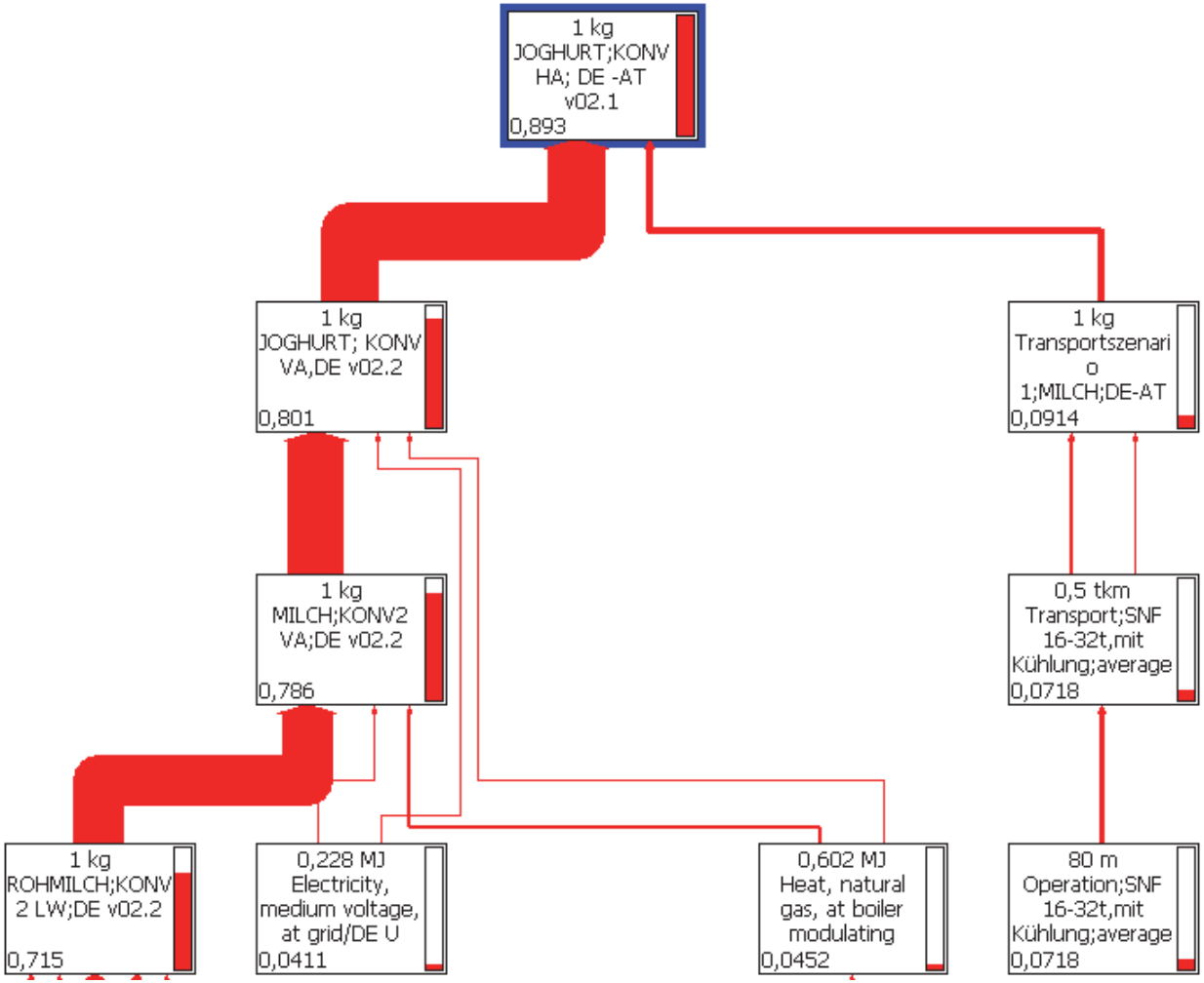


*Abbildung 4-6 CO2 Emissionen von 1 kg konventionell produziertem Joghurt (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)*

***Vergleich der CO2 Emissionen von konventioneller und biologischer Produktion von 1 kg Milch (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)***

Konventionell produzierte Milch emittiert mit 0,7 kg $CO_2$ pro kg Milch 35 % weniger $CO_2$ als biologisch produzierte Milch mit 1,2 kg $CO_2$. Bei beiden Produktionsweisen hat der Prozess Landwirtschaft den höchsten Anteil an den Gesamtemissionen.

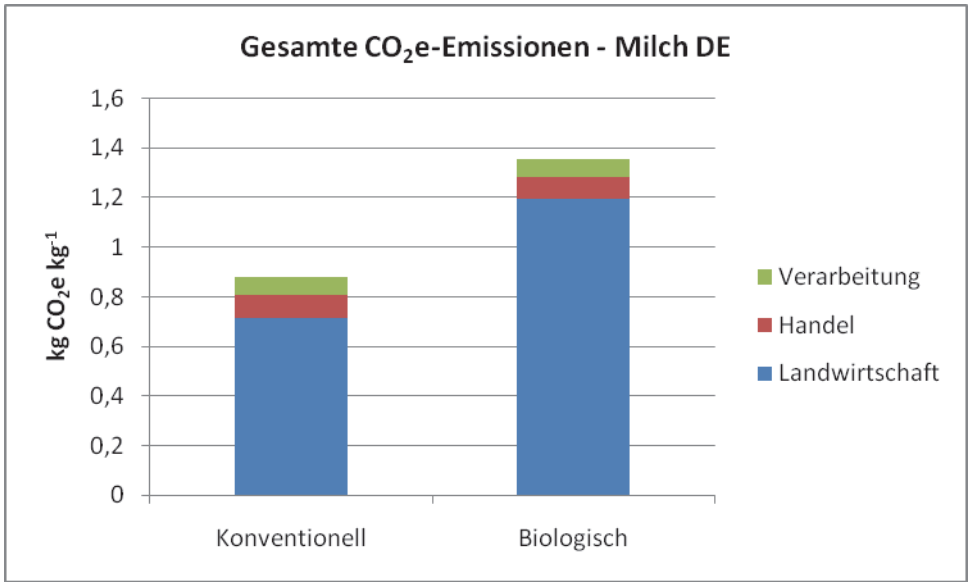


*Abbildung 4-7: Vergleich der gesamten CO2 Emissionen von konventioneller und biologischer Produktion von 1 kg Milch (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)*

In der Landwirtschaft (siehe Abbildung 4-8) ist bei beiden Produktionsweisen der Prozess Magengärung für einen großen Anteil der Emissionen verantwortlich. In der konventionellen Produktion mit einem Anteil von 48 % (0,35 kg $CO_2$), in der biologischen Produktion mit einem Anteil von 39 % (0,47 kg $CO_2$). Das Düngermanagement und Futtermittel haben in der biologischen Produktion jeweils einen Anteil von etwa 30 % an den Emissionen im Prozess Landwirtschaft. In der konventionellen Produktion ist das Düngermanagement mit nur 20 % beteiligt.

Die Emissionen aus dem Maschineneinsatz sind bei beiden Produktionsweisen in etwa gleich niedrig und für die Gesamtemissionen nicht relevant. Das Pflanzenschutzmittel und das Saatgut haben nahezu keinen Einfluss auf die gesamten THG-Emissionen.

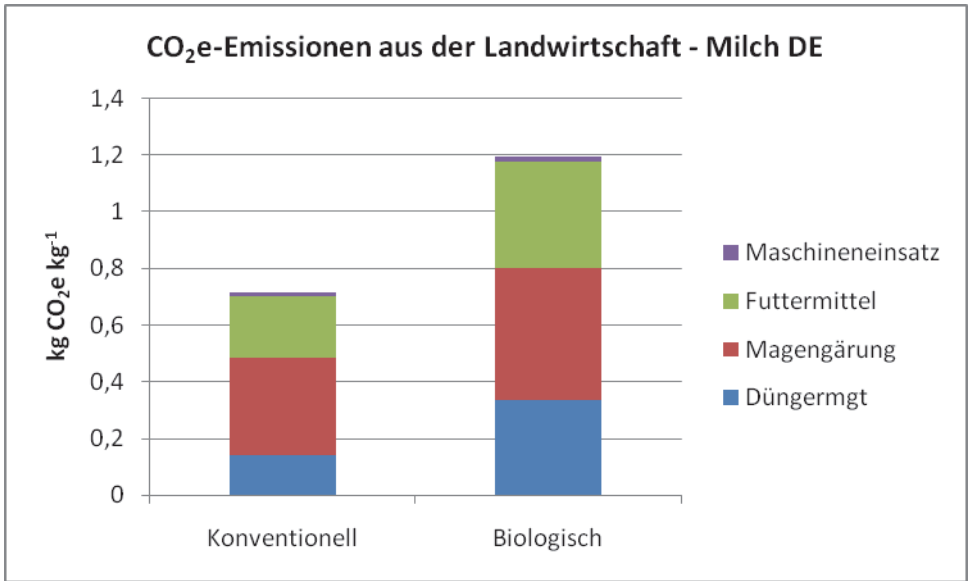


*Abbildung 4-9: Vergleich der landwirtschaftlichen $CO_2$ Emissionen von konventioneller und biologischer Produktion von 1 kg Milch (frisch); Herkunft: Deutschland (Region München), Ziel: Österreich (Wien)*

# 5 Schlussfolgerungen

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

Die Gesamtemissionen von konventionell produzierter Milch aus Deutschland betragen 1,46 kg $CO_2$ pro Kilogramm Milch. Biologisch produzierte Milch emittiert 7 % weniger Emissionen, das sind insgesamt 0,08 kg $CO_2$. Der größte Anteil an den Gesamtemissionen liegt bei beiden Produktionsweisen im Prozess Landwirtschaft mit 89% (konventionell) bzw. mit 88 % (biologisch). Der Prozess Handel trägt in der konventionellen Produktion 11 % zu den THG-Emissionen bei, in der biologischen Produktion 6 %. Der Prozess Verarbeitung ist mit 4 % (konventionell) bzw. 8% (biologisch) beteiligt und hat keine große Auswirkung auf die Höhe der Gesamtemissionen.

- **1°kg konventionell produzierte Milch aus Deutschland (Region München) emittiert mit 0,7°kg $CO_2$ 35 % weniger $CO_2$ als 1°kg biologisch produzierte Milch aus derselben Herkunftsregion (1,2°kg $CO_2$).**
  Die Landwirtschaft ist überwiegend für die Höhe der Emissionen verantwortlich. Diese hat einen Anteil von 82 % (konventionell) bzw. 79 % (biologisch) an den gesamten THG-Emissionen. Durch die landwirtschaftliche Produktion von Milch werden 0,7 kg $CO_2$ (konventionell) bzw. 1,2 kg $CO_2$ freigesetzt.

- **Die landwirtschaftliche biologische Produktion von 1°kg Milch in Deutschland (Region München) emittiert mit 1,2°kg $CO_2$ 35 % mehr THG-Emissionen als 1°kg konventionell produzierte Milch aus derselben Herkunftsregion (0,7°kg $CO_2$).**
  Die Magengärung hat einen Anteil von 48 % an den gesamten $CO_2$ Emissionen in der biologischen Produktion. In der konventionellen Produktion ist die Magengärung mit 39 % an den gesamten $CO_2$ Emissionen beteiligt. Das Futtermittel (30 % konventionell, 17 % biologisch) und das Düngermanagement (20 % konventionell, 52 % biologisch), haben in beiden Produktionsweisen ebenfalls relativ hohe Anteile an den Gesamtemissionen.

- **Die Verarbeitung von Milch zu Joghurt ist in beiden Produktionsweisen gleich und mit etwa 5% (0,02 kg $CO_2$) für die Gesamtemissionen unbedeutend.**
  Pro kg konventionell produziertem Joghurt aus Deutschland (werden 0,7 kg $CO_2$ emittiert. Pro kg biologisch produziertem Joghurt werden 1,2 kg $CO_2$ freigesetzt.

- **Der Transport der Milch von Deutschland (Region München) nach Österreich (Wien) ist für 8-10 % der gesamten freigesetzten Emissionen verantwortlich.**
  Durch den Transport von Deutschland (München) nach Österreich (Wien) werden 0,09 kg CO2 emittiert.

# 6 Literatur

Alert, H.-J.; Riehl, G. (2003) Fütterung Milchvieh. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

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.

Averberg, U.; Block, C.; Brüggemann, K. (2009) Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft. Energietechnik. Hrsg. v. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, L. N.-W.

Bayerische Landesanstalt für Umweltschutz (2000) Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch ratuionelle Energienutzung - Milchverarbeitender Betrieb. Ausgsburg.

Bollwein, A. (2009) Umwelterklärung 2009. Molkerei Weihenstephan GmbH & Co. KG Freising.

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.

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.

Energieagentur, N. (2010) Energieeffizienz in Molkereien.

Flachowsky, G.; Brade, W. (2007) Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL),Braunschweig; Institut für Tierernährung, Tierärztliche Hochschule Hannover. Züchtungskunde.

Folkert, O. (2010) MLP-Jahresabschluß - Höhere Leistungen und Strukturwandel. Aktuelles. Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V. http://www.dlq-web.de/mlpjahresabschluss_2010__hoehere_leistungen_und_st.html. 18.02.2011.

Franke, G.; e.V., B. L. (2004) Milchviehhaltung: aktuelle Beratungsempfehlungen ; Betriebswirtschft, Fütterung, Milchgewinnung, Entmistung, Bauausführung, Tiergesundheit, Herdenmanagement. Hrsg. v. Landwirtschaftsverlag.

Frister, H. (2007) Technologische Aspekte der Milchverarbeitung. Kurzes Lehrbuch der Milchkunde und Milchhygiene. Hrsg. v. Krömker, V.; Hannover, F.;Bioverfahrenstechnik, F. Parey Verlag. Hannover.

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.

Greimel, M. (2000) Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung im biologisch wirtschaftenden Betrieb. 27. Viehwirtschaftliche Tagung. Irdning. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft.

IPCC (1996) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual Volume 3.

Kirchgessner, M. (2004) Tierernährung: Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. Hrsg. v. DLG-Verl.

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.

Oltmanns, M.; Müller-Lindenlauf, M.; Raupp, J. (2004) Konsequenzen der Mistaufbereitung für die Emission klimarelevanter Gase. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenwissenschaften.

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

Stangassinger, M. (2007) Zur Bedeutung der Nahrungsfaser für die Entwicklung und Funktion des Verdauungstraktes beim Wiederkäuer. Ludwig-maximilians-Universität München, Tierärztliche Fakultät, Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung. Sekundärwirkungen von Futterinhaltsstoffen - vom Nährstoff zum Wirkstoff. Hrsg. v. Windisch, W.; Plitzner, C.;Kraft, M. München.

Sutter, F. (2006) Optimales Erstkalbealter von Aufzuchtrindern aus ökonomischer und physiologischer Sicht. 33. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Irdning. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft.

UBA (2009) National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory. Dessau.

Wangler, A.; Blum, E.; Böttcher, I.; Sanftleben, P. (2009) Lebensleistung und Nutzungsdauer von Milchkühen aus der Sicht einer effizienten Milchproduktion. Züchtungskunde. Hrsg. v. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. Stuttgart.

Wegener, J.; Lücke, W.; Heinzemann, J. (2006) Potentieller Beitrag der Landwirtschaft zur Verminderung der THG in Deutschland. Georg-August Universität, Institut für Agrartechnik. Agrarwirtschaft. Göttingen.

Weiß, J.; Pabst, W.; Strack, K. E.; Granz, S. (2005) Tierproduktion. Hrsg. v. Verlag Paul Parey. Berlin.

Wenk, C.; Hinterberger, H.; Bracher, A.; Dahinden, M.; Schory, F. (2007) Schweizerische Futtermitteldatenbank. Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Poiseux (ALP), EidgenössischeTechnische Hochschule Zürich (ETH-Z).

Wirner, H. (2010) Umwelterklärung 2010 - 2013. Molkerei Gropper GmbH & Co. KG. Bissingen.

Wrage, N. (2009) Grünland als Quelle und Senke für N2O. Futterbau und Klimawandel - Grünlandbewirtschaftung als Quelle und Senke für Treibhausgase. Kleve. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. 47-52.