



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD  
**Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART**

Forschungsbereich Biodiversität und Umweltmanagement

31.05.2011

---

# **Qualitative Evaluation von Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen von Landwirtschaftsbetrieben**

## **Projektbericht der Phase 1**

**Johanna Mieleitner, Daniel U. Baumgartner und  
Gérard Gaillard**

**Mai 2011**

---

**Inhalt**

Zusammenfassung .....5

1. Ausgangslage und Ziele.....6

    1.1 Ziele des Projekts: Auftrag.....6

    1.2 Ausgangslage: Treibhausgasemissionen der Schweizer Landwirtschaft.....6

2. Methode .....8

    2.1 Betrachtete Emissionen .....8

    2.2 Vorgehen zur Festlegung der emissionsmindernden Massnahmen .....8

    2.3 Grenzen .....9

3. Auswahl der Massnahmen.....10

4. Bewertung der ausgewählten Massnahmen.....10

    4.1 Übersicht .....10

    4.2 Energie.....11

        4.2.1 Produktion erneuerbarer Energien .....11

        4.2.2 Einsatz erneuerbarer Energien.....13

        4.2.3 Fahrzeuge: geringerer Treibstoffverbrauch .....13

    4.3 Tierhaltung .....13

        4.3.1 Erhöhung der Anzahl Laktationen .....13

        4.3.2 Stallmanagement.....14

        4.3.3 Abdecken des Güllebehälters.....16

    4.4 Pflanzenbau .....17

        4.4.1 Pfluglose Bodenbearbeitung .....17

        4.4.2 Düngungsplan.....18

        4.4.3 Bodennahe Ausbringungstechnik: Schleppschlauch .....19

        4.4.4 Abnahme und Ausbringen von Gärresten aus Vergärungsanlagen.....20

    4.5 Weitere Bereiche .....20

        4.5.1 Kompostierung von Grünabfuhr und Einsatz von Kompost .....20

        4.5.2 Produktion von Holz (Wald).....21

5. Schlussfolgerungen und Ausblick .....21

    5.1 Synthese aus der Analyse .....21

    5.2 Empfehlungen.....23

    5.3 Schlussfolgerungen und Ausblick .....24

6. Literatur .....25

7. Anhang .....27

    7.1 Bewertungsraster .....27

    7.2 Expertenworkshop .....31

        7.2.1 Gruppeneinteilung: Experten und Massnahmen .....31

    7.3 Bewertung der Massnahmen.....34

    7.4 Ausgewählte Massnahmen: Bewertung in der Literatur .....38

        7.4.1 Erhöhung der Anzahl Laktationen .....38

        7.4.2 Stallmanagement.....38

        7.4.3 Abdecken des Güllebehälters.....41

        7.4.4 Pfluglose Bodenbearbeitung .....42

        7.4.5 Düngungsplan.....42

        7.4.6 Schleppschlauch.....42

        7.4.7 Kompostierung von Grünabfuhr und Einsatz von Kompost .....43

## Danksagung

Wir danken Peter Althaus (IP-SUISSE) für die intensive Mitarbeit am Projekt und die vielen fachlichen Beiträge sowie Stefan Flückiger für die fachliche und organisatorische Mitarbeit.

Thomas Nemecek, Michael Winzeler, Margret Keck, Sabine Schrade und Albrecht Neftel von der ART danken wir für die fachliche Unterstützung.

Wichtig für das Projekt war ein Workshop mit Experten verschiedener Fachrichtungen. Für die Teilnahme und die wertvollen fachlichen Beiträge danken wir:

- Althaus Peter (IP-SUISSE)
- Bracher Annelies (ALP Posieux)
- Brang Peter (WSL Birmensdorf)
- Bretscher Daniel (ART Reckenholz)
- Charles Raphaël (ACW Changins)
- Cutullic Erwan (SHL Zollikofen)
- Dubois David (ART Reckenholz)
- Flisch René (ART Reckenholz)
- Flury Christian (ART Tänikon)
- Hayer Frank (ART Reckenholz)
- Hersener Jean-Louis (Ingenieurbüro HERSENER)
- Huguenin Olivier (ART Reckenholz)
- Kamm Martin (IP-SUISSE)
- Müller Georges (ArGe Natur und Landschaft)
- Oberholzer Hansruedi (ART Reckenholz)
- Rothen Fritz (IP-SUISSE)
- Ryser Stefan (IP-SUISSE)
- Schlegel Patrick (ALP Posieux)
- Stalder Andreas (IP-SUISSE)
- van Caenegem Ludo (ART Tänikon)
- Weber Rudolf (IP-SUISSE)
- Winzeler Michael (ART Reckenholz)

**Abkürzungen**

ART	Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NO <sub>3</sub>	Nitrat

## Zusammenfassung

### Ausgangslage und Ziele

Mit einem Anteil von ca.11% ist der Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgasemissionen in der Schweiz bedeutend. Um eine umweltschonende Landwirtschaft zu erreichen, ist es zentral, effiziente Massnahmen zur Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen zu fördern. Aus diesem Grund will IP-SUISSE einen Massnahmenkatalog im Bereich 'Klimaschutz' erstellen, der ihren Mitgliedern als Basis zur Reduktion der Treibhausgasemissionen dient.

Bei der Ausgestaltung des Labels legt IP-SUISSE Wert auf eine wissenschaftliche Abstützung. Daher hat sie die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART mit der wissenschaftlichen Begleitung ihres Projektes beauftragt. In einer ersten Phase galt es, Massnahmen zur Reduktion der klimarelevanten Emissionen in der Landwirtschaft zu definieren und deren Reduktionspotenzial qualitativ zu bewerten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen einerseits der IP-SUISSE als Basis für die Ausgestaltung eines Massnahmenkatalogs im Bereich 'Klimaschutz' dienen, andererseits die Grundlage für eine weitgehende wissenschaftliche Evaluation des gesamten Bereichs durch Quantifizierung der einzelnen Massnahmen und Analyse in der Praxis liefern.

### Ergebnisse

Massnahmen, die sich für die Umsetzung in der Praxis eignen, haben verschiedene Kriterien zu erfüllen. Sie müssen geeignet sein, Treibhausgasemissionen zu reduzieren, gleichzeitig umsetzbar und kontrollierbar sein sowie nicht in Konflikt mit anderen Zielen des Labels stehen.

Um geeignete Massnahmen zu finden, wurde zunächst eine Liste mit 69 möglichen Massnahmen sowie ein Bewertungsraster zu deren Beurteilung erstellt. In einem nächsten Schritt wurden in einer Negativauswahl alle Massnahmen ausgeschlossen, die sich aus verschiedenen Gründen wie z.B. schlechter Akzeptanz, schwieriger Umsetzbarkeit oder mangelnder Kontrollierbarkeit nicht eignen. Die verbleibenden 43 Massnahmen wurden in einem Expertenworkshop von Experten aus verschiedenen Fachgebieten geprüft und bewertet. Die sich aus den Ergebnissen des Expertenworkshops ergebenden restlichen zwölf Massnahmen wurden einer gezielten Literaturrecherche unterzogen, was zur Zurückstellung von vier Massnahmen führte.

Als Ergebnisse dieser Projektphase wurden folgende acht Massnahmen ausgewählt, die sich nach heutigem Kenntnisstand für die Aufnahme in den geplanten Massnahmenkatalog eignen:

- Produktion erneuerbarer Energien
- Einsatz erneuerbarer Energien
- Fahrzeuge: Geringer Treibstoffverbrauch
- Erhöhung der Anzahl Laktationen bei Milchkühen
- Abdeckung des Güllebehälters
- Direktsaat
- Düngungsplan
- Abnahme und Ausbringen von Gärresten aus Vergärungsanlagen

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die ausgewählten Massnahmen werden für die Umsetzung in der Praxis empfohlen. Allerdings erfolgte die Auswahl aufgrund des heutigen Kenntnisstandes, auf der Basis von Expertenwissen und ergänzt durch Literatur. Eine vollständige wissenschaftliche Analyse erfordert eine Überprüfung der effektiven Wirkung auf das Treibhausgaspotenzial. Dies muss durch eine Quantifizierung und eine Evaluation unter praxisrelevanten Rahmenbedingungen erfolgen. Es wird daher empfohlen, die Phase 2 des Projektes zu lancieren.

## 1. Ausgangslage und Ziele

### 1.1 Ziele des Projekts: Auftrag

Die Landwirtschaft verursacht ca. 11% der Treibhausgasemissionen der Schweiz (Swiss Greenhouse Gas Inventories, 2010). Um diesen Wert zu verringern ist es zentral, effiziente Massnahmen zur Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen zu fördern. Daher beabsichtigt IP-SUISSE den Labelbereich 'Biodiversität und Ressourcenschutz' um einen Massnahmenkatalog im Bereich „Klimaschutz“ zu ergänzen.

Bei der Ausgestaltung des Labels legt IP-SUISSE Wert auf eine wissenschaftliche Abstützung. Dies betrifft einerseits die Auswahl und Bewertung der einzelnen Massnahmen zur Senkung der klimarelevanten Emissionen, andererseits deren Einbau in einem Bewertungssystem, welches grundsätzlich für alle Landwirtschaftsbetriebe in der Schweiz anwendbar sein soll.

Die IP-SUISSE hat die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART mit der wissenschaftlichen Begleitung bei der Weiterentwicklung ihres Labels für den Bereich Klimaschutz beauftragt. Die Arbeit der ART beinhaltet in der Phase 1 des Projekts die folgenden Punkte:

- Definition von Massnahmen zur Reduktion der klimarelevanten Emissionen in der Landwirtschaft strukturiert in einem Massnahmenkatalog.
- Qualitative Bewertung des Reduktionspotenzials der Massnahmen auf wissenschaftlicher Basis.

Die Arbeiten der ART sollen der IP-SUISSE als Basis für die Ausgestaltung eines Massnahmenkatalogs im Bereich Klimaschutz dienen. Ziel von IP-SUISSE ist es, einen Massnahmenkatalog festzulegen, auf dessen Basis ein Landwirt einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemission leistet.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse der Phase 1 des Projekts.

In späteren Projektphasen sollen die Massnahmen überprüft und das Reduktionspotenzial quantifiziert werden.

### 1.2 Ausgangslage: Treibhausgasemissionen der Schweizer Landwirtschaft

Folgendes Kapitel gibt einen kurzen Überblick über die Treibhausgasemissionen der Schweizer Landwirtschaft und über die wichtigsten Treibhausgase. Hierbei wurden die Daten aus dem Treibhausgasinventar der Schweiz verwendet (Swiss Greenhouse Gas Inventories, 2010).

Abbildung 1 zeigt die Treibhausgasemissionen der Schweiz im Jahr 2008 nach Sektoren aufgeteilt. Die Landwirtschaft verursacht ca. 11% der Schweizer Treibhausgasemissionen und ist somit zweitwichtigste Sektor nach Energie. Der Sektor Energie hat mit über 80% bei weitem den grössten Anteil. Allerdings ist der Energieverbrauch der Landwirtschaft dem Sektor Energie zugeteilt, wobei er mit jenem der Forstwirtschaft zusammengefasst ist. Land- und Forstwirtschaft haben einen Anteil von ca. 1.2% am Sektor Energie.

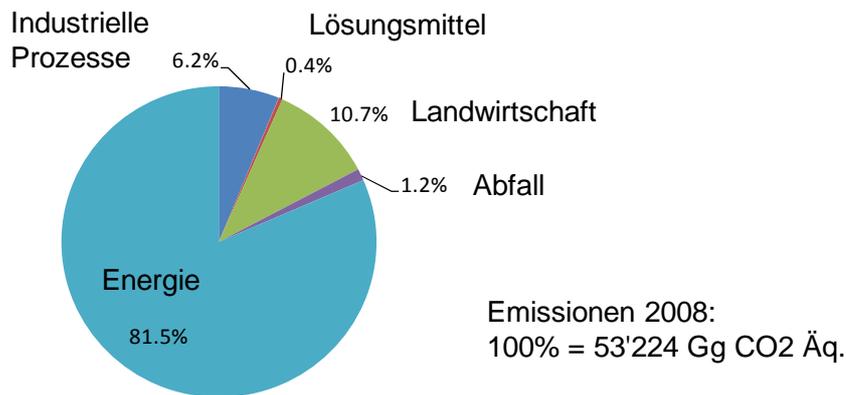


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen der Schweiz 2008. Nicht eingeschlossen sind Landnutzungsänderungen (in der Schweiz nicht relevant) und die Vorketten. Quelle: Swiss Greenhouse Gas Inventories 2010.

Abbildung 2 zeigt die Treibhausgasemissionen der Schweiz (2008) nach klimawirksamen Gasen.

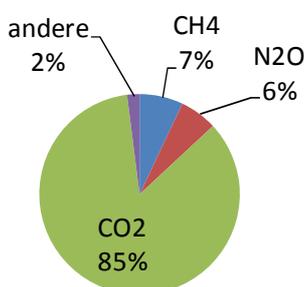
**Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)** ist mit einem Anteil von über 80% das wichtigste Treibhausgas der Schweiz. Der Anteil der Landwirtschaft ist bei CO<sub>2</sub> nicht separat aufgeführt. Land- und Forstwirtschaft haben hier zusammen einen Anteil von 1.2% (ohne den Anteil aus den Vorketten).

Den zweitgrössten Anteil an den Treibhausgasemissionen der Schweiz hat **Methan (CH<sub>4</sub>)**. Hier hat die Landwirtschaft mit 83% den weitaus grössten Beitrag. Die CH<sub>4</sub>-Emissionen der Landwirtschaft stammen zum grössten Teil aus Verdauungsemissionen der Tiere und aus der Bewirtschaftung von Hofdüngern (Swiss Greenhouse Gas Inventories, 2010).

Auch bei **Lachgas (N<sub>2</sub>O)**, das dritte bedeutende Treibhausgas, hat die Landwirtschaft mit 75% den grössten Anteil. Bei den landwirtschaftlichen N<sub>2</sub>O-Emissionen haben diejenigen aus der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Böden und die Hofdüngerbewirtschaftung die grössten Anteile. Bei den Emissionen von N<sub>2</sub>O wird zwischen direkten und indirekten Emissionen unterschieden. Indirekte N<sub>2</sub>O-Emissionen entstehen aus Ammoniak oder aus Nitrat, die zu N<sub>2</sub>O umgewandelt werden.

Bei diesen Daten sind die Vorketten (z.B. Verbrauch von nicht-erneuerbaren Ressourcen für Erzeugung von Mineraldüngern, Maschinen, Gebäuden) nicht berücksichtigt. Wenn z.B. im Rahmen einer Ökobilanzierung die Vorketten mit einbezogen würden, wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Landwirtschaft höher (Swiss Greenhouse Gas Inventories, 2010).

Emissionen 2008:  
100% = 53'224 Gg CO<sub>2</sub>-Äq.



Anteile der Landwirtschaft:

CH<sub>4</sub>: 83%  
N<sub>2</sub>O: 75%  
CO<sub>2</sub>: 1.2% (Land- und Forstw.)

Abbildung 2: Treibhausgasemissionen der Schweiz 2008. Anteile der einzelnen Treibhausgase. Nicht eingeschlossen sind Landnutzungsänderungen (in der Schweiz nicht relevant) und die Vorketten. Quelle: Swiss Greenhouse Gas Inventories 2010

## 2. Methode

### 2.1 Betrachtete Emissionen

Aufgrund dieser Ausgangslage werden im Rahmen dieses Projekts die Emissionen der folgenden Treibhausgase und Vorstufen von Treibhausgasen berücksichtigt:

- Methan (CH<sub>4</sub>): 25 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro kg CH<sub>4</sub> (Forster et al. 2007)
- Lachgas (N<sub>2</sub>O): 298 CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro kg N<sub>2</sub>O (Forster et al. 2007)
- Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)
- Ammoniak (NH<sub>3</sub>) als Vorstufe für N<sub>2</sub>O-Emissionen.  
Indirekte N<sub>2</sub>O-Emissionen: ca. 1% der NH<sub>3</sub>-Emissionen und Stickoxid-Emissionen (kg NH<sub>3</sub>-N + kg NO<sub>x</sub>-N) werden zu N<sub>2</sub>O umgewandelt (kg N<sub>2</sub>O-N) (IPCC 2006).
- Nitrat (NO<sub>3</sub>) als Vorstufe für N<sub>2</sub>O-Emissionen.  
Indirekte N<sub>2</sub>O-Emissionen: ca. 0.75% der NO<sub>3</sub>-Emissionen werden zu N<sub>2</sub>O (kg N-Auswaschung, hauptsächlich N<sub>2</sub>O-N) umgewandelt (IPCC 2006).

### 2.2 Vorgehen zur Festlegung der emissionsmindernden Massnahmen

Massnahmen, die sich für die Umsetzung in der Praxis eignen, müssen verschiedene Kriterien erfüllen. Sie müssen für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen selbstverständlich geeignet sein, gleichzeitig aber auch umsetzbar und kontrollierbar sein sowie nicht in Konflikt mit anderen Zielen des Labels (Swissness, Tierwohl, Biodiversität, Soziales&Fairness) stehen.

Das Vorgehen ist im Folgenden beschrieben:

#### 1. Liste mit potenziellen Massnahmen

Aufgrund von Expertenwissen und Literatur wurde eine Liste mit möglichen Massnahmen zur Reduktion der klimarelevanten Emissionen in der Landwirtschaft erstellt.

#### 2. Bewertungsraster

Es wurde ein **Bewertungsraster** für die Beurteilung der Massnahmen erstellt. Das Bewertungsraster beinhaltet folgende Bereiche (siehe Anhang 7.1 Bewertungsraster, Tabelle 4)

- Akzeptanz, Konflikt mit anderen Zielen von IP-SUISSE
- Akzeptanz (Zielkonflikt mit Politik, Umweltverbänden, Tierschutz, Konsumentenschutz, Landwirte)
- Kontrollierbarkeit
- Umsetzbarkeit / Machbarkeit für die Betriebe
- Reduktionspotenzial für Treibhausgasemissionen
- Wissenschaftlichkeit
- Relevanz der Massnahme (Wie viele Betriebe sind betroffen?)
- Umsetzbarkeit in einen Massnahmenkatalog

#### 3. Negativauswahl (Grobanalyse)

Im Rahmen einer Grobanalyse wurde eine erste Bewertung sowie Priorisierung der Massnahmen vorgenommen. Hierbei wurden folgende Bereiche berücksichtigt (siehe Anhang 7.1 Bewertungsraster,

Tabelle 5)

- Akzeptanz, Konflikt mit anderen Zielen von IP-SUISSE
- Akzeptanz (Zielkonflikt mit Politik, Umweltverbänden, Tierschutz, Konsumentenschutz, Landwirte)
- Kontrollierbarkeit
- Umsetzbarkeit / Machbarkeit für die Betriebe

Aufgrund dieser Bewertung wurden die Massnahmen priorisiert und ungeeignete Massnahmen wurden ausgeschlossen (Negativauswahl).

#### **4. Expertenworkshop**

Ein Expertenworkshop diente der Bewertung der verbleibenden Massnahmen. Diese wurden in drei Gruppen mit jeweils 5-7 Experten und Landwirten diskutiert. In jeder Gruppe waren Wissenschaftler sowie Vertreter der IP-SUISSE und Landwirte vertreten. Eine Liste der Workshop-Teilnehmer und die Aufteilung in die Gruppen sind im Anhang (7.2 Expertenworkshop) zu finden. Ziel war es, die vorgeschlagenen Massnahmen zu überprüfen und zu bewerten sowie allfällige weitere Massnahmen vorzuschlagen. Die Experten bewerteten die Massnahmen gemäss folgenden Kriterien:

- Reduktionspotenzial
- Wissenschaftlichkeit
- Machbarkeit / Umsetzbarkeit
- Umsetzbarkeit in einen Massnahmenkatalog

Das Bewertungsraster für den Expertenworkshop ist in Anhang 7.1 Bewertungsraster, Tabelle 6) dargestellt.

#### **5. Positivauswahl**

Aufgrund der Bewertung am Expertenworkshop wurde eine Auswahl geeigneter Massnahmen getroffen.

#### **6. Literaturrecherche**

Für die verbliebenen Massnahmen wurde eine Literaturrecherche mit dem Ziel durchgeführt, die Ergebnisse aus dem Workshop zu überprüfen und zu untermauern. Dies führte zum Ausschluss einzelner Massnahmen. Die übrigen Massnahmen werden für die Umsetzung in der Praxis vorgeschlagen.

### **2.3 Grenzen**

Die Auswahl der Massnahmen erfolgte aufgrund des heutigen Kenntnisstandes auf der Basis von Expertenwissen und ergänzt durch Literatur. Deren effektive Wirkung auf das Treibhausgaspotenzial muss durch eine Quantifizierung noch überprüft werden.

Wesentliche Herausforderungen dabei sind der Umgang mit der Referenz und der Bezugsgrösse. Als Referenz muss ein Ausgangsstandard definiert werden um die Treibhausgasemissionen vor der Einführung der Massnahme berechnen zu können. Z.B. bei der Erzeugung von alternativen Energien muss definiert werden, wie die Energie ohne diese Massnahme erzeugt wird. Auch die Bezugsgrösse muss definiert werden. Das Treibhauspotenzial soll grundsätzlich pro Produktionseinheit oder pro Betrieb (bei gleichem Output) betrachtet werden.

### 3. Auswahl der Massnahmen

Im Folgenden sind die Ergebnisse bei der Auswahl der Massnahmen kurz zusammengefasst.

#### Liste mit potenziellen Massnahmen

Basierend auf Expertenwissen und Literatur (Smith et al. 2007, Peter et al. 2009, Dalgaard 2011) wurde eine Liste mit 69 Massnahmen aus den Bereichen Energie, Tierhaltung, Hofdüngerbewirtschaftung, Pflanzenbau und C-Sequestrierung zusammengestellt.

#### Negativauswahl (Grobanalyse)

Aufgrund der Grobanalyse wurden 26 Massnahmen ausgeschlossen. Es verblieben 43 Massnahmen die am Expertenworkshop diskutiert wurden.

#### Positivauswahl nach Expertenworkshop

Als Folge der Bewertung am Expertenworkshop und weiterer Gründe (z.B. politische Gründe) wurde eine Auswahl von 17 geeigneten Massnahmen getroffen.

Im Bereich erneuerbare Energien wurden einige Massnahmen zusammengefasst. Es ergaben sich insgesamt 12 Massnahmen. Für einen Teil dieser Massnahmen wurde eine Literaturrecherche durchgeführt.

#### Auswahl nach Literaturrecherche

Die Auswahl aufgrund der Literaturrecherche ist im nächsten Kapitel beschrieben. Insgesamt können acht Massnahmen für die Umsetzung in der Praxis empfohlen werden.

Im Anhang (7.3 Bewertung der Massnahmen) sind alle Massnahmen mit den Ergebnissen der Bewertung aufgelistet.

### 4. Bewertung der ausgewählten Massnahmen

#### 4.1 Übersicht

Zwölf Massnahmen wurden nach dem Expertenworkshop aufgrund ihres Reduktionspotenzials und weiteren Bewertungskriterien als geeignet befunden, um in der Praxis umgesetzt zu werden (Tabelle 1).

Diese Massnahmen werden nachfolgend beschrieben und ihre Bewertung durch die Experten sowie die Ergebnisse der Literaturrecherche zusammengefasst. Die Massnahmen 'Produktion erneuerbarer Energien' (1), 'Einsatz erneuerbarer Energien' (2) und 'Abnahme und Ausbringen Gärreste' (10) wurden im Vorfeld und am Expertenworkshop als unbestritten eingestuft. Daher erfolgt für diese Massnahmen keine Literaturanalyse.

Bei den Massnahmen 'Fahrzeuge: Geringer Treibstoffverbrauch' (3) und 'Produktion von Holz (Wald)' (12) wurde eine genauere Recherche vorerst zurückgestellt. Hier erfolgt ebenfalls keine Literaturanalyse. Dies wird in späteren Projektphasen erfolgen.

Tabelle 1: Ausgewählte Massnahmen.

<b>Energie</b>	
<b>1</b>	<b>Produktion erneuerbare Energie</b>
	Sonnenkollektoren
	Photovoltaik
	Wärmepumpe
	Wärmerückgewinnung
	Bioenergie (Reststoffe, Holz)
<b>2</b>	<b>Einsatz erneuerbare Energie</b>
<b>3</b>	<b>Fahrzeuge: Geringer Treibstoffverbrauch</b>
<b>Tierhaltung</b>	
<b>4</b>	<b>Erhöhung Anzahl Laktationen</b>
<b>5</b>	<b>Stallmanagement</b>
<b>6</b>	<b>Abdeckung Güllebehälter</b>
<b>Pflanzenbau</b>	
<b>7</b>	<b>Direktsaat</b>
<b>8</b>	<b>Düngungsplan</b>
<b>9</b>	<b>Schleppschlauch</b>
<b>10</b>	<b>Abnahme und Ausbringen Gärreste</b>
<b>Sonstiges</b>	
<b>11</b>	<b>Kompostierung (Grünabfuhr)</b>
<b>12</b>	<b>Produktion von Holz (Wald)</b>

## 4.2 Energie

### 4.2.1 Produktion erneuerbarer Energien

#### Definition

Tabelle 2 zeigt die Massnahmen im Bereich Produktion erneuerbarer Energien. Es handelt sich um die Nutzung von Sonnenenergie und Wärme sowie um die Produktion von Bioenergie aus Reststoffen, Abfällen und Holz.

Die Produktion von erneuerbaren Energien aus auf landwirtschaftlicher Nutzfläche angebauten Pflanzen (z.B. Biokraftstoffe aus Feldfrüchten oder Energieholzproduktion) wurde wegen der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion ausgeschlossen.

Tabelle 2: Definition der Massnahmen im Bereich Produktion erneuerbarer Energien.

Massnahme	Definition
Thermische Solaranlage, Sonnenkollektoren	Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme und Nutzung der Wärme. Die Sonnenenergie wird auf einen Wärmeträger (Wasser) übertragen. Die Wärme dient z.B. der Gebäudeheizung.
Photovoltaikanlage, Solarstromanlage, Solarzellen	Umwandlung von Sonnenenergie in Strom.
Wärmepumpe (als Heizung)	Der Umgebung (Luft, Erde) wird Wärme entzogen und auf ein höheres Temperaturniveau angehoben. Die Wärme kann so zum Heizen von Gebäuden verwendet werden.
Wärmerückgewinnung	Wärme wird durch Wärmetauscher auf ein anderes Medium übertragen und somit wieder nutzbar gemacht. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmerückgewinnung aus Abluft (Gebäude, Stall)</li> <li>• Wärmerückgewinnung aus Prozessen (z.B. Milchkühlung)</li> </ul>
Bioenergieerzeugung (Reststoffe, Holz)	Wärme-, Strom- und Treibstoffherstellung aus Bioenergie auf Basis von Reststoffen und Abfällen oder Holz. <ul style="list-style-type: none"> <li>• anaerobe Vergärung (z.B. Biogasanlage)</li> <li>• Verbrennung (z.B. Biomassekraftwerk, Holzschnitzelheizung)</li> </ul>

### Wirkung

Erneuerbare Energien ersetzen fossile Energieträger. Durch diese Substitution entstehen weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen aus nicht-erneuerbaren Quellen.

### Bewertung Expertenworkshop

Am Expertenworkshop wurden die Massnahmen folgendermassen bewertet (Tabelle 3):

Tabelle 3: Bewertung der Massnahmen im Bereich Produktion erneuerbarer Energien beim Expertenworkshop.

Massnahme	Reduktionspotenzial	Technische Machbarkeit	Machbarkeit: Investitionsbedarf
Sonnenkollektoren	eher hoch	ja	Rentabel für Warmwasser im Betrieb.
Photovoltaik	eher tief (aber breit einsetzbar)	ja	Rentabilität ist abhängig von der Einspeisevergütung.
Wärmepumpe	eher tief	Bei Abluft: Problem wegen Verstaubung	Risiko
Wärmerückgewinnung	hoch (besonders bei Tierproduktion)	Noch nicht ganz reif: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problem mit Staub</li> <li>• minimaler Wirkungsgrad nicht immer garantiert</li> </ul>	Risiko
Bioenergie (Reststoffe, Holz)	eher hoch	ja	Die Wirtschaftlichkeit ist nur bei Reststoffen gegeben, diese sind hart umkämpft.

## 4.2.2 Einsatz erneuerbarer Energien

### Definition

Einsatz der erneuerbaren Energien, die im Kapitel 4.2.1 'Produktion erneuerbarer Energien' beschrieben sind, sowie Bezug von Ökostrom.

Ökostrom ist ökologisch produzierter Strom aus erneuerbaren Energiequellen. Gleich wie bei der Produktion erneuerbarer Energien ist Ökostrom auf Basis von auf landwirtschaftlicher Nutzfläche angebauten Pflanzen ausgeschlossen.

### Wirkung

Erneuerbare Energien ersetzen fossile Energieträger. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus nicht erneuerbaren Quellen werden somit reduziert.

### Bewertung Expertenworkshop

Das Reduktionspotenzial wird von den Experten als hoch bewertet.

## 4.2.3 Fahrzeuge: geringerer Treibstoffverbrauch

### Definition

Einsatz von landwirtschaftlichen Fahrzeugen mit geringerem Treibstoffverbrauch.

### Wirkung

Der Einsatz von Fahrzeugen mit geringerem Treibstoffverbrauch senkt den Verbrauch fossiler Energieträger und somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### Bewertung Expertenworkshop

Das Reduktionspotenzial wurde von den Experten als hoch bewertet.

Die Umsetzung in der Praxis ist möglich. Messgrössen könnten z.B. der Traktortyp (Normen vorgeben) oder der Dieserverbrauch sein.

## 4.3 Tierhaltung

### 4.3.1 Erhöhung der Anzahl Laktationen

#### Definition

Die Anzahl der Laktationen der Milchkühe soll erhöht werden, bei möglichst gleich bleibender Milchleistung.

#### Wirkung

Eine Erhöhung der Anzahl Laktationen der Milchkühe und somit ein längeres Verbleiben der Kühe in der Herde führt dazu, dass eine geringere Anzahl weiblicher Tiere zur Bestandesreproduktion benötigt wird. Dadurch sinkt die Anzahl der Aufzuchtrinder, was sich in einer Reduktion der Methan-, aber auch Lachgas-, Ammoniak- und Kohlendioxid-Emissionen pro kg Milch auswirkt. Gleichzeitig führt die verlängerte Nutzungsdauer der Milchkühe – möglichst in Verbindung mit einer kurzen Aufzuchtdauer – auch dazu, dass mehr Kälber für die Fleischerzeugung verfügbar werden. Die Gebrauchskreuzung mit Stieren ausgewählter Fleischrinderrassen führt zusätzlich zu einer Methanreduktion in der Rindfleischerzeugung (pro kg Rindfleisch) durch Leistungssteigerung (Flachowsky & Brade 2007). O'Mara (2004) zeigt für einen Milchviehbetrieb mit 100 Kühen plus Aufzuchtieren den Einfluss der Nutzungsdauer auf die Methanemissionen: Eine Erhöhung der Nutzungsdauer von 2.5 auf 5 Laktationen/Kuh führte zu einer Senkung der Methanemissionen von 15'800 auf 13'800 kg CH<sub>4</sub>/Betrieb, dies entspricht 12.7 %. Noch nicht berücksichtigt ist dabei die zusätzliche tierindividuelle Leistungssteigerung mit zunehmendem Alter, die zu einer weiteren Reduktion der Methanemissionen pro kg Milch führt. Unterstützend zur Erhöhung der Anzahl Laktationen muss auf die wichtigen Abgangsursachen beim Milchvieh, wie z.B. Klauen- und Eutererkrankungen, Einfluss genommen werden.

Dabei muss bedacht werden, dass wenn die Erhöhung der Anzahl Laktationen mit einer tieferen Milchleistung einhergeht, dies zu einem Rückgang der Gesamtmilchmenge pro Jahr führt. Wird die jährliche Milchmenge durch die Haltung zusätzlicher Milchkühe wieder erhöht, mindert dies die emissionsenkende Wirkung der Massnahme. Weiter muss beachtet werden, dass das Milchleistungsniveau für die Senkung der Methanemissionen bedeutsamer ist, als die Anzahl Laktationen selbst (Flachowsky & Brade 2007).

### **Bewertung Expertenworkshop**

Grundsätzlich wurde das Potenzial der Massnahme von den Experten als hoch gewertet, solange die Milchleistung nicht zu stark zurückgeht und die Mindermenge nicht durch die Erhöhung des Milchkuhbestandes ausgeglichen werden muss. Eine Minderleistung von bis zu 1'000 kg pro Laktation kann gemäss Expertenmeinung durch eine längere Nutzungsdauer ökonomisch ausgeglichen werden. Führt die tiefere Milchleistung pro Kuh jedoch zu höheren Tierbeständen zur Erhaltung derselben Produktionsmenge, verlieren sich die Vorteile. Die Herausforderung der Massnahme besteht darin, das Optimum zwischen Milchleistung und Lebensdauer zu finden.

Die Massnahme ist technisch machbar, kurzfristig umsetzbar und verursacht bei gleichbleibendem Tierbestand keinen Investitionsbedarf. Soll die Produktionsmenge jedoch mittels Erhöhung des Milchviehbestandes erhalten werden, führt dies zu hohen Investitionskosten für zusätzliche Tierplätze.

Als Messgrösse für die Umsetzbarkeit in der Praxis bieten sich Milchleistung und Lebensdauer, die über die Tierverkehrsdatenbank (TVD) und/oder Zuchtverbände kontrollierbar sind.

Vorstellbar wäre eine spezielle Vermarktung zu höherem Preis, z.B. Wiesenmilch. Eine Milchkuh mit 10'000kg Jahresmilchleistung, die sowohl im Stall als auch auf der Weide gehalten wird, kann besser bedarfsgerecht gefüttert werden und lebt daher länger.

### **Bewertung in der Literatur**

Siehe Anhang 7.4.1 Erhöhung der Anzahl Laktationen.

## **4.3.2 Stallmanagement**

### **Definition**

Unter Stallmanagement verstehen wir hier technische, organisatorische und bauliche Massnahmen, welche von Betriebsleitern in der Stallhaltung von Rindern und Schweinen zur Minderung von klimarelevanten Emissionen, d.h. Methan ( $\text{CH}_4$ ), Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) aus den Tierexkrementen vorgenommen werden. Die Massnahmen beschränken sich im Folgenden auf bestehende Stallbauten, weil ein Neubau eine grosse Investition erfordert und nicht in einem kurz- bis mittelfristigen Zeitrahmen für teilnehmende Betriebe umgesetzt werden kann. Die Massnahmen umfassen die Bereiche (nach BAFU & BLW 2011):

- Rasche Drainage und saubere, trockene Bewegungs- und Liegeflächen
- Begrenzung der verschmutzbaren Fläche
- Optimales Stallklima (Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Beschattung)

Nicht berücksichtigt sind die Bereiche 'Minimierung der N-Ausscheidung' und 'Abluftreinigung', weil beide Massnahmen im Evaluierungsprozess zurückgestellt wurden (siehe Anhang 0). Im Rahmen des Expertenworkshops wurden die Themen Oberflächenreinigung und Temperatur zur Ammoniakreduktion diskutiert. Die anderen Stallemissionen wurden nicht aufgegriffen. Die Oberflächengestaltung konnte von den Anwesenden nicht ausreichend beurteilt werden. Ebenso wenig wurden die Themen Begrenzung der verschmutzbaren Fläche, Luftgeschwindigkeit sowie Beschattung behandelt. Die Hofdüngerlagerung (ausserhalb des Stalls) ist in diesem Massnahmenkomplex ausgeklammert. Eine Massnahme dazu findet sich unter Kapitel 4.3.3 (Abdecken des Güllebehälters).

Der Massnahmenkomplex 'Stallmanagement' gewinnt an Bedeutung, da bei allen Rindviehkategorien der Trend hin zu Laufställen geht und durch die vermehrte Teilnahme an den beiden Tierhaltungsprogrammen "Regelmässiger Auslauf von Nutztieren im Freien" (RAUS) und "Besonders tierfreundliche Stallhaltungssysteme" (BTS) das Flächenangebot, wie z.B. für Laufhöfe, steigt (Schrade 2009). Bei

der Schweinehaltung ist die Beteiligung an den Programmen RAUS und BTS mit rund der Hälfte des Schweinebestands ebenfalls bedeutsam (BLW 2003). Dadurch steigt insbesondere der Anteil an verschmutzbarer Fläche. Ein weiterer Effekt der Beteiligung an diesen Ethoprogrammen ist der Einsatz von Einstreu bei beiden Tierkategorien.

## Wirkung

Um **Methanemissionen** im Stall zu senken gibt es drei Möglichkeiten (Monteny et al. 2006):

- Reduktion der Gasproduktion durch Kühlung der Gülle (<10°C) oder Senkung des pH-Wertes in der Gülle durch Additive
- Häufiges und vollständiges Entfernen von Kot und Harn von allen verschmutzten Flächen, inklusive Ablaufkanäle und Flüssigmistkeller. Die regelmässige Reinigung hält das Inokkulum der methanbildenden Bakterien tief (Gallmann 2003).
- Korrekte Bewirtschaftung der Liegeflächen durch Vermeidung von Verdichtung, häufiges Zuführen von Einstreu und häufiges Entmisten (> 1 Mal pro Monat).

Da die Methanemissionen aus der Verdauung der Tiere (Rind und Schwein) im europäischen Kontext rund 75% gegenüber von 25% aus den Exkrementen ausmachen (Gallmann 2003), sollten Fütterungsmassnahmen in einer späteren Phase des Projekt genauer geprüft werden.

Der Stall ist bei den direkten **Lachgasemissionen** nicht unter den wichtigsten Bildungsorten innerhalb der Landwirtschaft. Dennoch wird Lachgas in Tiefstreu- und Festmistsystemen freigesetzt (Monteny et al. 2006). Unter ungünstigen Bedingungen können sowohl die Nitrifikation, wie auch die Denitrifikation ablaufen. Daher sind bezüglich der Lachgasemissionen Flüssigmistsysteme jenen Systemen mit Tiefstreu und Festmist vorzuziehen. Ein schnelleres Wegführen des Festmists aus dem Stall ist insofern wenig hilfreich, als die vermiedenen N<sub>2</sub>O-Emissionen stattdessen bei der Mistlagerung entstehen und entweichen.

Eine Reduktion der **Ammoniakemissionen** aus dem Stallgebäude (und somit die indirekten Lachgasemissionen) kann bei allen drei Bereichen des Massnahmenkomplexes 'Stallmanagement', d.h. „Begrenzung der verschmutzbaren Fläche“, „Rasche Drainage und saubere, trockene Bewegungs- und Liegeflächen“ sowie „Optimales Stallklima“, erreicht werden. Zwar wird nur ca. 1% des Ammoniaks via atmosphärische Deposition in Lachgas umgewandelt (IPCC 2006), weil aber Lachgas einen sehr hohen Wirkungsfaktor hat (298 CO<sub>2</sub>-Äquivalente), ist eine Reduktion von Ammoniak aus dem Stall gleichwohl anzustreben.

Im Stall werden die Ammoniakemissionen durch vier Faktoren bestimmt (Zähler, 2005):

- die Menge des ausgeschiedenen Harnstoffs,
- die Grösse der verschmutzten Fläche,
- die Temperatur sowie
- die Luftgeschwindigkeit über den verschmutzten Flächen.

Die günstige Beeinflussung der drei letzteren Faktoren sind die Ansatzpunkte für eine Minderung der Ammoniakemissionen (Die Reduktion des ausgeschiedenen Harnstoffs ist nur über die Fütterung zu erzielen). Grössere verschmutzte Flächen führen zu einer grösseren Kontaktfläche zwischen den tierischen Ausscheidungen und der Umgebungsluft, was das Potenzial für Ammoniakemissionen erhöht. Bei höheren Temperaturen steigen sowohl die Ammoniakbildungsrate aus Harnstoff, wie auch der Übergang von flüssigem Ammoniak resp. gasförmigem Ammoniak an der Grenzfläche zu gasförmigem Ammoniak in der Luft (Schrade 2009). Letzterer ist auch grösser bei höheren Luftgeschwindigkeiten. Entsprechend lassen sich durch regelmässige Reinigung, beziehungsweise durch Reduktion der verschmutzten Fläche, durch tiefere Stalltemperaturen sowie Begrenzung der Luftgeschwindigkeit im Stall die Ammoniakemissionen verringern (BAFU & BLW 2011).

Tiefere Stalltemperaturen haben auch eine günstige Wirkung auf Methan und Lachgas, wie dies durch Gallmann (2003) in einem Vergleich zwischen zwangsbelüfteten Ställen und Aussenklimaställen gezeigt werden konnte. Eine Massnahme zur Reduktion eines Treibhausgases sollte auf ihre Auswirkungen auf die anderen klimarelevanten Gase geprüft werden, um eine mögliche negative Gesamt-

wirkung auf das Treibhauspotential zu vermeiden. Beispielsweise sind Einstreusysteme (Tiefstreu) günstig für die Minderung von Ammoniak, können aber bezüglich Lachgas- und Methanemissionen nachteilig sein (Monteny et al. 2006).

Ein erwünschter Nebeneffekt einer verringerten Stalltemperatur im Sommer und sauberer Oberflächen ist das verbesserte Tierwohl und die bessere Tiergesundheit, was sich positiv auf die Leistung der Tiere auswirkt.

Die Menge des ausgeschiedenen Harnstoffs wird durch die Fütterung bestimmt. In der Grobanalyse der Massnahmen (siehe Anhang 0) wurde die Fütterung zurückgestellt, da die Kontrollierbarkeit als schlecht eingestuft wurde. Allerdings verweisen alle konsultierten Quellen in der Literatur auf das Ammoniak-Reduktionspotenzial durch eine bedarfsgerechte Versorgung durch Proteine und damit eine Reduktion des ausgeschiedenen Harnstoffs (z.B. BAFU & BLW 2011, Schrade 2009, Zähler 2005). Bei der Weiterentwicklung des Programms zum Klimaschutz in der Landwirtschaft ist diese Massnahme einer vertieften Prüfung zu unterziehen.

Eine Abluftreinigung durch Bio- und Chemowäscher bei zwangsbelüfteten Ställen sind zwar wirksame Massnahmen zur Ammoniakemissionsminderung, sind aber auch mit hohen Investitions- und Betriebskosten und energieaufwändigem Betrieb verbunden (BAFU & BLW 2011). Diese Anlagen können nur bei zwangsgelüfteten Ställen zum Einsatz kommen. Bei zwangsbelüfteten Ställen mit Auslauf, wie sie in der Schweiz vorkommen, kann die Luft vom Auslauf nicht gefasst werden. In einem solchen System wäre die emissionsmindernde Wirkung durch die Abluftreinigung reduziert.

### **Bewertung Expertenworkshop**

Das Reduktionspotenzial des Massnahmenkomplexes 'Stallmanagement' wurde von den Experten hinsichtlich der Verminderung der Ammoniakemissionen als eher hoch bewertet (die anderen Stall-emissionen wurden nicht bewertet). Die Massnahmen zur Temperaturregelung sind in einem kurzfristigen Zeitrahmen machbar. Allerdings sind einige Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Temperatur vom Stalltyp abhängig und müssten daher schon beim Bau des Stalls eingeplant werden. Dies gilt auch für emissionsmindernde Optionen für den Bereich 'Rasche Drainage und saubere, trockene Bewegungs- und Liegeflächen' (z.B. Schieberentmischung, geneigte Bodenelemente, Spülsysteme). Die Begrenzung der verschmutzten Oberflächen muss auf die Funktionsbedürfnisse der Tiere abgestimmt werden (Tierwohl) und steht im Widerspruch zum (freiwilligen) Tierhaltungsprogramm RAUS. Oberflächenreinigung bedeutet auch mehr Arbeit und ist schwierig kontrollierbar. Schliesslich sind die Massnahmen auf die saisonale Belegung des Stalls abzustimmen (Weide im Sommer).

Grundsätzlich halten die Experten fest, dass im Bereich der Emissionsmessungen im Stall noch erheblicher Forschungsbedarf besteht. Die Schwankungen der wenigen Messungen der klimarelevanten Emissionen aus verschiedenen Haltungssystemen ist beachtlich. Zudem ist die Datenlage zu den Emissionsmessungen dünn. Hier sind systematische Versuche nötig. Ebenso fehlen Untersuchungen mit einem Systemansatz, bei denen die verschiedenen Massnahmen und ihrer Wirkung auf die klimarelevanten Gase einander gegenüber gestellt werden. Entsprechend erschwert dies die Beurteilung möglicher Trade-offs einer Massnahme zwischen einzelnen Treibhausgasen. Die vorgestellten Massnahmen beruhen oftmals aus theoretischen Überlegungen der Forschenden. Aus diesen Gründen kann das Reduktionspotenzial der vorgestellten Massnahmen zurzeit nicht bewertet werden und bedarf einer eingehenderen Untersuchung in einer späteren Phase des Projekts.

### **Bewertung in der Literatur**

Siehe Anhang 7.4.2 Stallmanagement.

## **4.3.3 Abdecken des Güllebehälters**

### **Definition**

Es gibt verschiedene Arten der Abdeckung von Güllebehältern. Folgende Abdeckungen werden berücksichtigt:

- Natürlich entstehende Schwimmdecke
- Schwimmdecke aus organischem Material (z.B. Stroh)

- Schwimmende Abdeckungen aus anorganischem Material (z.B. Schwimmfolie, Kunststoff-Schwimmkörper, Blähtonkugeln)
- Geschlossener Behälter (z.B. festes Behälterdach, Zeltdach)

Es kann zudem zwischen oberirdischen und unterirdischen Güllebehältern unterschieden werden.

### **Wirkung**

Durch die Abdeckung werden die Emissionen von CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> im Vergleich zur offenen Lagerung reduziert.

- Das grösste Reduktionspotenzial haben geschlossene Behälter oder schwimmende Abdeckungen aus anorganischem Material. Gemäss Keck et al. 2002 werden die NH<sub>3</sub>-Emissionen um 40-100% reduziert, die Emissionen von CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> um 90-99%. Van Caenegem et al. (2005) gibt für feste Abdeckungen und Schwimmfolien eine Verminderung der NH<sub>3</sub>-Emissionen um 70-90% an. Bei Zeltdächern sind aus Sicherheitsgründen (Explosionsgefahr) Lüftungsöffnungen nötig. Diese können das Emissionsminderungspotenzial erheblich reduzieren (Van Caenegem 2008).
- Eine natürliche Schwimmdecke bildet sich bei Rindergülle. Das Reduktionspotenzial hängt von der Schichtdicke ab. Gemäss Keck et al. (2002) beträgt die Reduktion der Emissionen bei NH<sub>3</sub> und CH<sub>4</sub> 30-90%, bei N<sub>2</sub>O ca. 30%. Bei schwacher Ausbildung der Schwimmdecke werden die Emissionen kaum reduziert (van Caenegem et al. 2005). Zudem kann die Schwimmschicht durch Befüllen des Behälters, Niederschläge oder Wind beeinträchtigt werden. In der Praxis ist das Reduktionspotenzial daher noch geringer (Keck et al. 2002). Natürliche Schwimmdecken eignen sich daher eher nicht zur Verminderung der Treibhausgasemissionen.
- Bei Schwimmdecken aus organischem Material kann es auch zu einer Minderung der NH<sub>3</sub>-Emissionen kommen, gleichzeitig aber zu erhöhten Emissionen von N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> (Keck et al. 2002). Daher ist diese Form der Abdeckung nicht geeignet, um die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren.

Ein Reduktionspotenzial für Treibhausgase besteht folglich nur bei geschlossenen Behältern oder bei schwimmenden Abdeckungen aus anorganischem Material.

### **Bewertung Expertenworkshop**

Das Reduktionspotenzial wird von den Experten als tief bewertet.

Massnahme ist machbar und gut in der Praxis umsetzbar.

Ein Problem ist die Temperaturerhöhung bei oberirdischen Güllebehältern sein. Durch die Abdeckung kann es ebenfalls zu einer Temperaturerhöhung kommen. Die höheren Temperaturen können zu einer Erhöhung der Emissionen führen.

### **Bewertung in der Literatur**

Siehe Anhang 7.4.3 Pfluglose Bodenbearbeitung.

## **4.4 Pflanzenbau**

### **4.4.1 Pfluglose Bodenbearbeitung**

#### **Definition**

Es gibt verschiedene Varianten der pfluglosen Bodenbearbeitung. Kennzeichnend für diese Massnahme ist der Verzicht auf den Pflug während mehreren Jahren.

Es werden folgende Formen der pfluglosen Bodenbearbeitung berücksichtigt (KTBL 2005):

- Direktsaat (keine Bodenbearbeitung seit der Ernte der Vorfrucht)
- konservierende Bodenbearbeitung (nicht wendende Bodenbearbeitung)

## Wirkung

- Bei der **Direktsaat** führt die kleinere Anzahl an Überfahrten zu einem deutlich geringeren Treibstoffverbrauch und somit zu einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zur Bodenbearbeitung mit Pflug (Sturny 2003).  
Die Auswirkungen der Direktsaat auf die Emissionen weiterer Treibhausgase sind unklar. Im Bereich Ackerbau sind für das Treibhauspotenzial neben den CO<sub>2</sub>-Emissionen auch die N<sub>2</sub>O-Emissionen durch die N-Düngung von Bedeutung. Ob sich die N<sub>2</sub>O-Emissionen durch die Direktsaat erhöhen ist unklar (Leifeld et al. 2003). Eine Ökobilanzstudie zeigt, dass die Direktsaat im Vergleich zum Pflug insgesamt ein geringeres Treibhauspotenzial verursacht. Die Direktsaat wird als tendenziell günstiger (nicht gesichert) bewertet (Schaller 2006).
- Die Varianten der **konservierenden Bodenbearbeitung** sind sehr vielfältig. Hier kommt es auf die Anzahl der Überfahrten und den Treibstoffverbrauch an. Es ist nicht in jedem Fall eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zur Bodenbearbeitung mit Pflug zu erwarten. Die Auswirkung der konservierenden Bodenbearbeitung auf die Emissionen von Treibhausgasen ist somit unklar.

Ein Reduktionspotenzial für Treibhausgase besteht bei **Direktsaat** im Vergleich zu Pflug. Bei **konservierender Bodenbearbeitung** sind weitere Analysen nötig um das Reduktionspotenzial bewerten zu können.

Die Wirkung als C-Senke ist selbst bei dauerhafter pflugloser Bodenbearbeitung umstritten (Sturny 2003). Ein möglicher Effekt als C-Senke kann schon durch einmal pflügen nach mehreren Jahren pflugloser Bodenbearbeitung wieder rückgängig gemacht werden (Leifeld et al. 2003). Daher hat die nicht dauerhafte pfluglose Bodenbearbeitung keine Wirkung als C-Senke.

## Bewertung Expertenworkshop

- Das Reduktionspotenzial für Treibhausgase der **Direktsaat** wurde von den Experten als eher hoch bewertet, da es zu einer deutlichen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen führt.  
Die Massnahme Direktsaat ist kurzfristig und ohne Investitionen umsetzbar, falls Lohnunternehmer eingesetzt werden. Es sind keine wesentlichen Auswirkungen auf die Produktion zu erwarten. Die Massnahme kann durch den Feldkalender und durch Betriebsbesichtigungen mit Feldbegehung leicht kontrolliert werden.
- Das Reduktionspotenzial der **konservierenden Bodenbearbeitung** ist unklar.

## Bewertung in der Literatur

Siehe Anhang 7.4.4 Pfluglose Bodenbearbeitung.

## 4.4.2 Düngungsplan

### Definition

Ein parzellen- bzw. schlagspezifischer Düngungsplan ermöglicht eine detaillierte Planung der Düngung gemäss dem Düngungskonzept der GRUDAF. Hierbei werden unter anderem der Nährstoffbedarf der Kulturen und die im Boden vorhandenen Nährstoffe (aufgrund von Bodenanalysen) mit einbezogen. Eine detaillierte Beschreibung ist in GRUDAF 2009 (Flisch et al. 2009) zu finden.

### Wirkung

Durch optimierte Düngung gemäss GRUDAF werden die Erträge optimiert. Dadurch werden die Emissionen pro Produktionseinheit gesenkt.

Gleichzeitig wird eine zu hohe N-Düngung vermieden und dadurch die N-Verluste reduziert. Somit reduzieren sich die Emissionen von NO<sub>3</sub> und N<sub>2</sub>O (Richner et al. 2010).

## Bewertung Expertenworkshop

Das Reduktionspotenzial wurde von den Experten als hoch bewertet.

Der Düngungsplan ist gut umsetzbar, ist allerdings mit einem grossen Aufwand verbunden. Es ist gut kontrollierbar, ob ein Düngungsplan gemacht wird. Ob er auch umgesetzt wird, ist allerdings nicht kontrollierbar.

#### **Bewertung in der Literatur**

Siehe Anhang 7.4.5 Düngungsplan.

### **4.4.3 Bodennahe Ausbringungstechnik: Schleppschlauch**

#### **Definition**

Bei der Ausbringung mit dem Schleppschlauchverteiler wird die Gülle direkt auf den Boden ausgebracht, indem sie über Schläuche, die über den Boden geschleppt werden, geleitet wird. Die Gülle wird so direkt auf der Bodenoberfläche in Streifen abgelegt.

#### **Wirkung**

Wichtige Einflussfaktoren für die  $\text{NH}_3$ -Emissionen bei der Gülleausbringung sind die benetzte Fläche, die Kontaktdauer der Gülle mit der Atmosphäre, die Temperatur und die Zusammensetzung der Gülle. Die benetzte Fläche und die Zeit der Exposition werden unter anderem durch den Bewuchs, die Durchlässigkeit des Bodens und die Viskosität der Gülle beeinflusst.

Im Vergleich zum Breitverteiler ergibt sich bei der Ausbringung mit dem Schleppschlauchverteiler eine geringere benetzte Oberfläche. Dadurch kommt es zu verminderten  $\text{NH}_3$ -Emissionen (Döhler et al. 2002).

Gemäss Döhler et al. (2002) führt die Ausbringung mit dem Schleppschlauch bei unbewachsenem Ackerland und Grünland mit geringem Aufwuchs zu einer Reduktion der  $\text{NH}_3$ -Emissionen um ca. 10 % bei Rindergülle und ca. 30 % bei Schweinegülle. Bei bewachsenem Ackerland und Grünland führt die Ausbringung mit dem Schleppschlauch zu einer Reduktion der  $\text{NH}_3$ -Emissionen um bis zu 30 % bei Rindergülle und bis zu 50 % bei Schweinegülle. Im Modell Agrammon (Agrammon Group 2010) wird eine Reduktion der  $\text{NH}_3$ -Emissionen um ca. 30% angenommen.

Leick (2003) zeigt aber, dass die Ausbringung mit dem Schleppschlauch im Vergleich zum Prallteller nicht unter allen Bedingungen zu geringeren  $\text{NH}_3$ -Emissionen führt. In hohen Pflanzenbeständen wurden bei Ausbringung mit dem Schleppschlauch geringere  $\text{NH}_3$ -Emissionen gemessen. Die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen waren bei der Ausbringung mit dem Schleppschlauch im Vergleich zum Prallteller höher (Leick 2003).

Gemäss Langevin et al. 2010 führt der Schleppschlauchverteiler im Vergleich zum Breitverteiler zu geringeren  $\text{NH}_3$ -Emissionen, bei den  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen gibt es keine grossen Unterschiede. Eine Ökobilanz führt zu ähnlichen Werten für das Treibhauspotenzial bei Schleppschlauch und Breitverteiler, da direkte  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen bei der Ausbringung die Wirkung auf das Treibhauspotenzial dominieren.

#### **Bewertung Expertenworkshop**

Das Potenzial zur Verminderung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen wurde als umstritten bewertet. Gemäss Experten gibt es nicht genügend zuverlässige Messungen, um die hohen Reduktionswerte für  $\text{NH}_3$  von ca. 30% zu belegen. Weitere Studien sind nötig, um verlässliche Aussagen machen zu können.

Die Massnahme ist gut umsetzbar, insbesondere da die Investition in verschiedenen Kantonen gefördert wird.

#### **Bewertung in der Literatur**

Siehe Anhang 7.4.6 Schleppschlauch.

#### 4.4.4 Abnahme und Ausbringen von Gärresten aus Vergärungsanlagen

##### Definition

Gemeint ist hier die Abnahme und das Ausbringen von Gärresten aus Vergärungsanlagen (Vergärung von Reststoffen zu Biogas siehe Kapitel 4.2.1 'Produktion erneuerbarer Energien').

##### Wirkung

Durch diese Massnahme werden Vergärungsanlagen gefördert. Dadurch wird der Verbrauch fossiler Energieträger reduziert und somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen gesenkt.

Zusätzlich kann durch das Ausbringen von Gärresten Mineraldünger eingespart werden. Bei der Herstellung von Stickstoff-Mineraldüngern wird viel Energie verbraucht sowie N<sub>2</sub>O freigesetzt. Daher vermindert eine Einsparung von Stickstoff-Mineraldüngern die Emission von Treibhausgasen.

Dem gegenüber stehen:

- Emissionen während der Produktion von Biogas (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>)
- Energiebedarf für die Produktion von Biogas
- Emissionen während der Ausbringung

##### Bewertung Expertenworkshop

Das Reduktionspotenzial wurde als eher hoch bewertet.

Die Massnahme ist machbar.

#### 4.5 Weitere Bereiche

##### 4.5.1 Kompostierung von Grünabfuhr und Einsatz von Kompost

###### Definition

Bei der Kompostierung wird organisches Material unter aeroben Bedingungen abgebaut. Dabei wird der Kohlenstoff teilweise zu CO<sub>2</sub> umgewandelt und teilweise im Humus gebunden.

Der entstehende Kompost kann auf den Feldern ausgebracht werden.

###### Wirkung

Die Kompostierung von Grünabfuhr und das Ausbringen von Kompost soll das Treibhauspotenzial durch folgende Faktoren vermindern (im Vergleich zu Verbrennung der Grünabfuhr in der Kehrichtverbrennungsanlage):

- Erhöhung des Humusgehalts durch Kompost: der Boden kann so zu einer C-Senke werden. Das Potenzial für die C-Sequestrierung in Schweizer Böden ist allerdings unklar.
- Einsparung von Mineraldünger durch das Ausbringen von Kompost: bei der Herstellung von Stickstoff-Mineraldüngern wird viel Energie verbraucht sowie N<sub>2</sub>O freigesetzt. Daher vermindert eine Einsparung von Stickstoff-Mineraldüngern die Emission von Treibhausgasen. Das Potenzial hier ist aber unklar, da Kompost langsamwirkend ist und N-Mineraldünger in der Regel als schnellwirkender Dünger eingesetzt wird.

Andererseits werden während der Kompostierung Emissionen von Treibhausgasen verursacht:

- Während der Kompostierung wird CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> freigesetzt.
- Der Betrieb der Anlage und der Transport brauchen Energie und verursachen somit CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Eine Ökobilanzstudie zeigt, dass die Kompostierung im Vergleich zur Verbrennung in der Kehrichtverbrennungsanlage je nach Art der Kompostierung und nach betrachtetem Zeithorizont teilweise besser, aber teilweise auch schlechter abschneidet (Edelmann und Schleiss 2001).

### **Bewertung Expertenworkshop**

Das Reduktionspotenzial wird als eher hoch bewertet.

Eventuell ist der Energieverbrauch beim Transport (separate Abfuhr nötig) zu hoch und reduziert das Potenzial erheblich. Es ist daher eine Berechnung nötig um die verschiedenen Effekte miteinander zu vergleichen.

Der Investitionsbedarf wird als hoch bewertet.

Die Massnahme ist gut kontrollierbar, als Messgrösse könnte die Menge Kompost verwendet werden.

### **Bewertung in der Literatur**

Siehe Anhang 7.4.7 Kompostierung von Grünabfuhr und Einsatz von Kompost.

## **4.5.2 Produktion von Holz (Wald)**

### **Definition**

Bewirtschaftung von Wald und Produktion von Holz.

### **Wirkung**

Unbewirtschafteter Wald ist eine C-Senke, bei nachhaltiger Nutzung ist die C-Bilanz des Waldes im Gleichgewicht.

Die Nutzung des Waldes kann dazu beitragen die Treibhausgasemissionen zu reduzieren:

- Das Holz kann verwendet werden, um fossile Energieträger zu ersetzen. Die Produktion von Holz kann somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus nicht-erneuerbaren Quellen senken.
- Wird das Holz als Bauholz verwendet ist es eine längerfristige C-Senke.

Andererseits verursacht die Nutzung des Waldes Emissionen (Energieverbrauch).

Um die verschiedenen Effekte gegeneinander abzuwägen und eine sinnvolle Nutzungsintensität zu finden sind weitere Recherchen nötig.

### **Bewertung Expertenworkshop**

Das Reduktionspotenzial wird von den Experten als umstritten bewertet.

Unbewirtschafteter Wald ist eine C-Senke, bei intensiver Nutzung kann er zu einer C-Quelle werden. Eine standortangepasste, nachhaltige Nutzung ist anzustreben.

Die Massnahme ist machbar, wenn Preis und Absatz stimmen.

## **5. Schlussfolgerungen und Ausblick**

### **5.1 Synthese aus der Analyse**

Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Bewertung des Reduktionspotenzials der Massnahmen, wie sie sich aus dem Expertenworkshop ergeben hat. Allerdings arbeiteten die Experten in drei Gruppen. Dementsprechend sind die Ergebnisse der einzelnen Gruppen in verschiedenen Farben dargestellt. Die Ergebnisse innerhalb der Gruppen sind gut miteinander vergleichbar, während die Ergebnisse über die Gruppen hinweg nur bedingt vergleichbar sind.

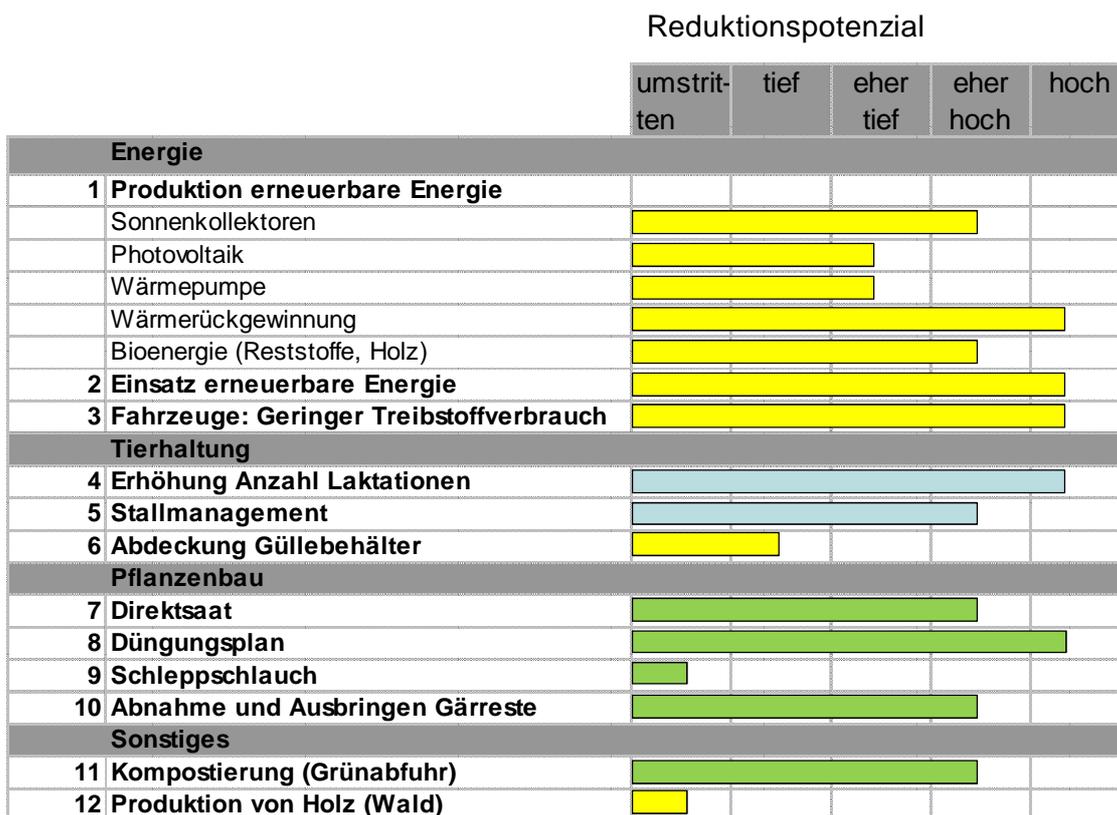


Abbildung 3: Bewertung der ausgewählten Massnahmen gemäss Expertenworkshop. Die Balken zeigen die Bewertung des Reduktionspotenzials der Massnahmen durch die Experten.

Gelb: Gruppe Energie-Gebäude-Hofdünger; blau: Gruppe Tierproduktion; grün: Gruppe Pflanzenbau.

Die Literaturrecherche bestätigte diese Bewertung für die meisten Massnahmen. Allerdings gilt für folgende Massnahmen festzuhalten:

- 'Stallmanagement (5)': Es gibt Hinweise für ein Reduktionspotenzial, es besteht allerdings noch erheblicher Forschungsbedarf. Die Schwankungen der wenigen Messungen der klimarelevanten Emissionen aus verschiedenen Haltungssystemen sind beachtlich. Zudem ist die Datenlage zu den Emissionsmessungen dünn. Es fehlen Untersuchungen mit einem Systemansatz, bei denen die verschiedenen Massnahmen und ihre Wirkung auf die klimarelevanten Gase einander gegenüber gestellt werden. Entsprechend erschwert dies die Beurteilung möglicher Trade-offs einer Massnahme zwischen einzelnen Treibhausgasen. Aus diesen Gründen kann das Reduktionspotenzial der vorgestellten Massnahmen zurzeit nicht bewertet werden.
- 'Schleppschauch' (9): Das Ausmass des Reduktionspotenzials wurde von den Experten als umstritten bewertet – einige von ihnen zweifeln sogar an der Wirksamkeit der Massnahme überhaupt. In der Literatur wird allerdings von den meisten Quellen ein Reduktionspotenzial für NH<sub>3</sub> beschrieben. Insgesamt wird daraus gefolgert, dass ein Reduktionspotenzial wahrscheinlich vorhanden ist, allerdings nicht so hoch wie von manchen propagiert. Zudem gilt zu beachten, dass im Gesamtkontext der Düngung die erwartete positive Wirkung des Schleppschauchs auf die Treibhausgase (Ammoniak ist eine Vorläufersubstanz) von den direkten Lachgasemissionen dominiert werden kann.
- 'Produktion von Holz (Wald)' (12): Die Bewertung des Reduktionspotenzials ist umstritten, da sie vom Standpunkt abhängig ist. Wird der Wald als C-Senke angeschaut, ist eine Nichtnutzung des Waldes einer nachhaltigen Bewirtschaftung vorzuziehen. Hingegen besitzt eine nachhaltige Bewirtschaftung ein Substitutionspotenzial für fossile Energieträger, welches ihr angerechnet werden soll. Die Bilanz ist von der Nutzungsintensität abhängig. Einerseits von der Nutzungsintensität, die bei einer nachhaltigen Bewirtschaftung effektiv praktiziert wird, andererseits auch von der Nutzungsintensität die als Referenz bei einer nicht nachhaltigen Bewirtschaftung gilt (Nichtnutzung

oder im Gegenteil Übernutzung). Daher sind Berechnungen nötig, um die geeignete zu empfehlende Nutzungsintensität zu finden.

Für diese drei Massnahmen gibt es zusammenfassend zahlreiche Hinweise auf ein Reduktionspotenzial, es sind allerdings weitere Analysen nötig, um dieses zu bestätigen und Angaben für eine genaue Gestaltung der Massnahmen zu bekommen. Demzufolge werden diese drei Massnahmen nicht für eine sofortige Umsetzung in der ersten Phase empfohlen, sie sollten aber in späteren Projektphasen weiter berücksichtigt werden.

Bei der 'Kompostierung (Grünabfuhr)' (11) wurde das Reduktionspotenzial von den Experten als eher hoch bewertet, Dieses Urteil wurde von der Literaturanalyse bestritten. Daher muss die Massnahme zurückgestellt werden.

## 5.2 Empfehlungen

Abbildung 4 zeigt die Empfehlungen für die Umsetzung in einen Massnahmenkatalog für die Praxis:

- Grün: Empfohlen für die sofortige Aufnahme in einen Massnahmenkatalog
- Gelb: Vorerst zurückstellen. Zwar ist ein Reduktionspotenzial wahrscheinlich, weitere Untersuchungen sind aber aus unserer Sicht erforderlich, um es zu belegen und die notwendigen Hinweise für die genaue Gestaltung zu erhalten.
- Rot: Zurückstellen, die positive Wirkung ist umstritten.

Energie	
1	<b>Produktion erneuerbare Energie</b>
	Sonnenkollektoren
	Photovoltaik
	Wärmepumpe
	Wärmerückgewinnung
	Bioenergie (Reststoffe, Holz)
2	<b>Einsatz erneuerbare Energie</b>
3	<b>Fahrzeuge: Geringer Treibstoffverbrauch</b>
Tierhaltung	
4	<b>Erhöhung Anzahl Laktationen</b>
5	<b>Stallmanagement</b>
6	<b>Abdeckung Güllebehälter</b>
Pflanzenbau	
7	<b>Direktsaat</b>
8	<b>Düngungsplan</b>
9	<b>Schleppschlauch</b>
10	<b>Abnahme und Ausbringen Gärreste</b>
Sonstiges	
11	<b>Kompostierung (Grünabfuhr)</b>
12	<b>Produktion von Holz (Wald)</b>

Abbildung 4: Liste der empfohlenen Massnahmen.

Grün: Empfohlen für die Umsetzung in einen Massnahmenkatalog.

Gelb: Vorerst zurückstellen, positive Wirkung wahrscheinlich, weitere Untersuchungen sind nötig.

Rot: Zurückstellen, Wirkung unklar, weitere Untersuchungen sind nötig.

### 5.3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Als Ergebnis dieser Projektphase werden acht Massnahmen empfohlen, die sich nach heutigem Kenntnisstand für die Aufnahme in einen Massnahmenkatalog durch IP-SUISSE eignen. Es sind:

- Produktion erneuerbarer Energien
- Einsatz erneuerbarer Energien
- Fahrzeuge: Geringer Treibstoffverbrauch
- Erhöhung der Anzahl Laktationen bei Milchkühen
- Abdeckung des Güllebehälters
- Direktsaat
- Düngungsplan
- Abnahme und Ausbringen von Gärresten aus Vergärungsanlagen

Damit ist die Umsetzung in einen Massnahmenkatalog möglich. Allerdings erfolgte die Auswahl aufgrund des heutigen Kenntnisstandes, auf der Basis von Expertenwissen und ergänzt durch Literatur. Eine vollständige wissenschaftliche Analyse erfordert eine Überprüfung der effektiven Wirkung auf das Treibhausgaspotenzial. Dies muss durch eine Quantifizierung und eine Evaluation unter praxisrelevanten Rahmenbedingungen erfolgen.

Aus diesen Gründen wird der Beginn der Projektphase 2 empfohlen. In dieser wird ein Detailkonzept für die Überprüfung und Quantifizierung der Massnahmen ausgearbeitet. Im Wesentlichen werden drei Ziele verfolgt:

- Evaluation auf Prozessebene: Quantifizierung der Wirkungen der ausgewählten Massnahmen (inklusive der drei zurückgestellten) und deren Einbettung in einem Bewertungssystem (theoretische Evaluation).
- Evaluation auf Betriebsebene: Erfolgskontrolle der ausgewählten Reduktionsmassnahmen auf Stufe Betrieb. Für die Evaluation wird eine Berechnung des Treibhauspotenzials der Betriebe auf einem Betriebsnetz der IP-SUISSE vor sowie nach Einführung der Reduktionsmassnahmen durchgeführt.
- Synthese der theoretischen und praxisbezogenen Evaluation.

## 6. Literatur

Agrammon Group 2010. **Technische Parameter Modell Agrammon**. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, 18 S. Abgefragt am 6.04.2011 unter:

[http://www.agrammon.ch/assets/Downloads/Technische\\_Parameter\\_Modell\\_Agrammon\\_20100705.pdf](http://www.agrammon.ch/assets/Downloads/Technische_Parameter_Modell_Agrammon_20100705.pdf).

Anken, T., Stamp, P., Richner, W. und Walther, U. 2004. **Pflanzenentwicklung, Stickstoffdynamik und Nitratauswaschung gepflügter und direktgesäter Parzellen**. FAT Schriftenreihe Nr. 63, Agroscope FAT Tänikon, 101 S.

BAFU & BLW 2011. **Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft**. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1101: 122 S.

Berry N. R., Zeyer K., Emmenegger L. & Keck M. 2005. **Emissionen von Staub (PM10) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung**. Agroscope FAT Tänikon: 108 S. Abgefragt am 21.04.2011 unter: <http://www.agroscope.admin.ch/bau-tier-arbeit/00989/index.html?lang=de>.

BLW 2003. **Agrarbericht 2003**, Bundesamts für Landwirtschaft, Bern. 288 S.

Dalgaard T., Olesen J.E., Petersen, S.O., Petersen, B.M., Jorgensen U., Kristensen T., Hutching N.J., Gyldenkaerne S., Jermansen J.E., 2011, **Developments in greenhouse gas emissions and net energy use in Danish agriculture – How to achieve substantial CO<sub>2</sub> reductions?**, Environmental Pollution, doi:10.1016/j.envpol.2011.02.024

Döhler H., Dämmgen U., Eurich-Menden B., Osterburg B., Lüttich M., Berg W., Bergschmidt A., Brunsch R. 2002. **BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahre 2010**, Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin, 192 S.

Edelmann W., Schleiss K., 2001, **Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe**.

Flachowsky G. & Brade W. 2007. **Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern**. Züchtungskunde, 79, (6) S. 417 – 465.

Flisch R., Sinaj S., Charles R., Richner W., 2009, **Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF)**. Agrarforschung, 16, (2), 100 S.

Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Fahey D.W., Haywood J., Lean J., Lowe D.C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M., Van Dorland R., 2007: **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Gallmann E. 2003. **Vergleich von zwei Haltungssystemen für Mastschweine mit unterschiedlichen Lüftungsprinzipien – Stallklima und Emission**. VDI-MEG Schrift 404. Dissertation, Universität Hohenheim.

IPCC 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Abgefragt am 08.05.2011 unter <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

Keck, M., van Caenegem, L., Ammann, H. und Kaufmann, R. 2002. **Emissionsschutzmassnahmen bei Güllenteichen: Technische Machbarkeit und wirtschaftliche Konsequenzen**, Agroscope FAT Tänikon, 34 S.

KTBL2005. **Faustzahlen für die Landwirtschaft**, 13. Auflage, Darmstadt, 1095 S.

Langevin B., Basset-Mens c., Lardon L. 2010. **Inclusion of the variability of diffuse pollutions in LCA for agriculture: the case of slurry application techniques.** Journal of Cleaner Production, 18, p. 747-755.

Leick B. 2003. **Emission von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen.** Dissertation, Institut für Pflanzenernährung, Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim. 157 S.

Leifeld, L., Bassin, S. and Fuhrer, J. 2003. **Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland.** Schriftenreihe der FAL 44. Swiss Federal Research Station for Agroecology and Agriculture, FAL Reckenholz, Zurich, 120 S.

Monteny G.J., Bannink A. & Chadwick D. 2006. **Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry.** Agriculture, Ecosystems and Environment: 112, 163-170.

O'Mara F 2004. **Greenhouse gas production from dairying: Reducing methane production.** Advances in Dairy Technology, 16, 295-309.

Peter, S., Weber, M., Lehmann, B., Hediger, W. 2009. **“THG 2020” – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz.** Schriftenreihe 2009/1, Gruppe Agrar- Lebensmittel- und Umweltökonomie, Institut für Umweltentscheidungen, ETH Zürich, 122 S.

Richner W., Flisch R., Sinaj, S., Charles R., 2010, **Ableitung der Stickstoffdüngung von Ackerkulturen.** Agrarforschung Schweiz 1 (1-12): 410-415

Schaller, B., Nemecek, T., Streit, B. und Zihlmann, U. 2006. **Vergleichsökobilanz bei Direktsaat und Pflug.** Agrarforschung 13 (11-12): 482-487

Schrade S. 2009. **Ammoniak- und PM10-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Ratio-Methode.** Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel: 131 S.

Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O., 2007: **Agriculture.** In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Sturny, W.G., Chervet, A., Maurer-Troxler, C., Ramseier, L., Müller, M., Schafflützel, R., Richner, W., Streit, B., Weisskopf, P. und Zihlmann, U. 2007. **Direktsaat und Pflug im Systemvergleich – eine Synthese.** Agrarforschung 14 (8): 350-357

Swiss Greenhouse Gas Inventories, 2010. Annual submissions under the UNFCCC on GHG emissions and removals in Switzerland. **Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2008**, Submission of 15 April 2010. Abgefragt am 29.03.2011 unter:

<http://www.bafu.admin.ch/climatereporting/00545/11269/index.html?lang=en>

Van Caenegem L., 2008, **Zeltdachlüftung vermindert Emissionswirkung bei Güllebehältern.** Agrarforschung. 15, (3), 150-155.

Van Caenegem, L., Dux, D., Steiner, B. 2005. **Abdeckung für Güllesilos – Technische und finanzielle Hinweise.** FAT-Berichte Nr. 631, Agroscope FAT Tänikon, 16 S.

Zähner M. 2005. **EMIBAU: Vorsorgliche Emissionsminderungsmassnahmen bei Bauinvestitionen in der Landwirtschaft.** Schlussbericht. Agroscope FAT Tänikon: 42 S. Abgefragt am 20.04.2011 unter: <http://www.agroscope.admin.ch/bau-tier-arbeit/00989/index.html?lang=de>.

## 7. Anhang

### 7.1 Bewertungsraster

Es wurde ein Bewertungsraster erstellt, das alle wichtigen Aspekte für die Bewertung der Massnahmen umfasst. Für die Grobanalyse (Negativauswahl) und für den Expertenworkshop wurden jeweils Auszüge aus dem Bewertungsraster verwendet.

Das Bewertungsraster ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Bewertungsraster zur Bewertung der Massnahmen. Für die Grobanalyse (GA) und für den Expertenworkshop (EW) wurden jeweils Auszüge aus dem Bewertungsraster verwendet. Diese sind in den letzten zwei Spalten gekennzeichnet. Grobanalyse (GA): rot, Expertenworkshop (EW): grün.

<b>Bereich</b>	<b>Bewertung</b>	<b>GA</b>	<b>EW</b>
<b>Konfliktpotenzial mit anderen Schlüsselbereichen</b>			
Zielkonflikt mit anderen Schlüsselbereichen des IP-SUISSE Labels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Swissness</i></li> <li>• <i>Tierwohl</i></li> <li>• <i>Biodiversität</i></li> <li>• <i>Soziales&amp;Fairness</i></li> </ul>		
Begründung Konfliktpotenzial (falls nötig)	<i>[Text]</i>		
<b>Akzeptanz</b>			
Akzeptanz, Zielkonflikt mit Politik, Umweltverbänden, Tierschutz, Konsumentenschutz, Landwirte	<i>[Text]</i>		
<b>Kontrolle</b>			
Kontrollierbarkeit / Überprüfbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>gut</i></li> <li>• <i>mittel</i></li> <li>• <i>schlecht</i></li> </ul>		
<b>Umsetzbarkeit / Machbarkeit</b>			
Technische Machbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ja</i></li> <li>• <i>nein</i></li> <li>• <i>Bemerkung</i></li> </ul>		
Machbarkeit			
- Zeitrahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>sofort</i></li> <li>• <i>kurzfristig</i></li> <li>• <i>mittelfristig</i></li> <li>• <i>langfristig</i></li> </ul>		
- Investitionsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>keiner</i></li> <li>• <i>tief</i></li> <li>• <i>mittel</i></li> <li>• <i>hoch</i></li> </ul>		
Datenbedarf beim Landwirt	<i>[Text]</i>		
<b>Reduktionspotenzial</b>			
Potenzial			
- Effekt pro Fläche (ha)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>positiv</i></li> <li>• <i>negativ</i></li> <li>• <i>unbestimmt / variabel</i></li> </ul>		
- Effekt pro Produktionseinheit (kg)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>positiv</i></li> </ul>		

Qualitative Evaluation von Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen von Landwirtschaftsbetrieben

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>negativ</i></li> <li>• <i>unbestimmt / variabel</i></li> </ul>		
Auswirkungen auf die Produktion	[Text]		
Bewertung Potenzial → Qualitative Bewertung des Potenzials. → Bewertung pro Produktionseinheit oder pro Betrieb (bei gleichem Output)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>hoch</i></li> <li>• <i>eher hoch</i></li> <li>• <i>eher tief</i></li> <li>• <i>tief</i></li> </ul>		
<b>Wissenschaftlichkeit / Literatur</b>			
Wissenschaftlichkeit / Zuverlässigkeit der Aussage			
- Wissenschaftliche Abstützung (CH) → wie gut untersucht? Anzahl Studien?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>hoch</i></li> <li>• <i>eher hoch</i></li> <li>• <i>eher tief</i></li> <li>• <i>tief</i></li> </ul>		
- Übereinstimmung der Aussagen in der Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>hoch</i></li> <li>• <i>eher hoch</i></li> <li>• <i>eher tief</i></li> <li>• <i>tief</i></li> </ul>		
Literaturangaben	[Text]		
<b>Relevanz / Zahl der betroffenen Betriebe</b>			
Zahl der Betriebe			
Prozent der Betriebe			
<b>Umsetzbarkeit in einen Massnahmenkatalog (Ideen)</b>			
Messgrösse	[Text]		
Kontrollierbarkeit	[Text]		
<b>Sonstiges</b>			
Bemerkungen	[Text]		

Tabelle 5: Bewertungsraster Grobanalyse

<b>Bereich</b>	<b>Bewertung</b>
<b>Konfliktpotenzial mit anderen Schlüsselbereichen</b>	
Zielkonflikt mit anderen Schlüsselbereichen des IP-SUISSE Labels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Swissness</i></li> <li>• <i>Tierwohl</i></li> <li>• <i>Biodiversität</i></li> <li>• <i>Soziales&amp;Fairness</i></li> </ul>
Begründung Konfliktpotenzial (falls nötig)	[Text]
<b>Akzeptanz</b>	
Akzeptanz, Zielkonflikt mit Politik, Umweltverbänden, Tierschutz, Konsumentenschutz, Landwirte	[Text]
<b>Kontrolle</b>	
Kontrollierbarkeit / Überprüfbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>gut</i></li> <li>• <i>mittel</i></li> <li>• <i>schlecht</i></li> </ul>
<b>Umsetzbarkeit / Machbarkeit</b>	
Technische Machbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ja</i></li> <li>• <i>nein</i></li> <li>• <i>Bemerkung</i></li> </ul>
Datenbedarf beim Landwirt	[Text]

Tabelle 6: Bewertungsraster Expertenworkshop, Positivauswahl

<b>Bereich</b>	<b>Bewertung</b>
<b>Reduktionspotenzial</b>	
Potenzial	
- Effekt pro Fläche (ha)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>positiv</i></li> <li>• <i>negativ</i></li> <li>• <i>unbestimmt / variabel</i></li> </ul>
- Effekt pro Produktionseinheit (kg)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>positiv</i></li> <li>• <i>negativ</i></li> <li>• <i>unbestimmt / variabel</i></li> </ul>
Auswirkungen auf die Produktion	[Text]
Bewertung Potenzial →Qualitative Bewertung des Potenzials. →Bewertung pro Produktionseinheit oder pro Betrieb (bei gleichem Output)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>hoch</i></li> <li>• <i>eher hoch</i></li> <li>• <i>eher tief</i></li> <li>• <i>tief</i></li> </ul>
<b>Wissenschaftlichkeit / Literatur</b>	
Wissenschaftlichkeit / Zuverlässigkeit der Aussage	
- Wissenschaftliche Abstützung (CH) → wie gut untersucht? Anzahl Studien?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>hoch</i></li> <li>• <i>eher hoch</i></li> <li>• <i>eher tief</i></li> <li>• <i>tief</i></li> </ul>
- Übereinstimmung der Aussagen in der Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>hoch</i></li> <li>• <i>eher hoch</i></li> <li>• <i>eher tief</i></li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>tief</i></li> </ul>
Literaturangaben	<i>[Text]</i>
<b>Umsetzbarkeit / Machbarkeit</b>	
Technische Machbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ja</i></li> <li>• <i>nein</i></li> <li>• <i>Bemerkung</i></li> </ul>
Machbarkeit	
- Zeitrahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>sofort</i></li> <li>• <i>kurzfristig</i></li> <li>• <i>mittelfristig</i></li> <li>• <i>langfristig</i></li> </ul>
- Investitionsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>keiner</i></li> <li>• <i>tief</i></li> <li>• <i>mittel</i></li> <li>• <i>hoch</i></li> </ul>
<b>Umsetzbarkeit in einen Massnahmenkatalog (Ideen)</b>	
Messgrösse	<i>[Text]</i>
Kontrollierbarkeit	<i>[Text]</i>
<b>Sonstiges</b>	
Bemerkungen	<i>[Text]</i>

## 7.2 Expertenworkshop

### 7.2.1 Gruppeneinteilung: Experten und Massnahmen

#### **Gruppe Energie-Gebäude-Hofdünger**

Moderation: Gérard Gaillard (ART Reckenholz)

Teilnehmer:

- Althaus Peter (IP-SUISSE)
- Brang Peter (WSL Birmensdorf)
- Dubois David (ART Reckenholz)
- Hersener Jean-Louis (Ingenieurbüro HERSENER)
- Kamm Martin (IP-SUISSE)
- van Caenegem Ludo (ART Tänikon)

#### **Gruppe Tierproduktion**

Moderation: Daniel Baumgartner (ART Reckenholz)

TeilnehmerInnen:

- Bracher Annelies (ALP Posieux)
- Bretscher Daniel (ART Reckenholz)
- Cutullic Erwan (SHL Zollikofen)
- Flury Christian (ART Tänikon)
- Huguenin Olivier (ART Reckenholz)
- Müller Georges (ArGe Natur und Landschaft)
- Schlegel Patrick (ALP Posieux)
- Stalder Andreas (IP-SUISSE)
- Weber Rudolf (IP-SUISSE)

#### **Gruppe Pflanzenproduktion**

Moderation: Johanna Mieleitner (ART Reckenholz)

Teilnehmer:

- Charles Raphaël (ACW Changins)
- Flisch René (ART Reckenholz)
- Hayer Frank (ART Reckenholz)
- Oberholzer Hansruedi (ART Reckenholz)
- Rothen Fritz (IP-SUISSE)
- Ryser Stefan (IP-SUISSE)
- Winzeler Michael (ART Reckenholz)

Tabelle 7 zeigt die am Workshop diskutierten Massnahmen und die Zuteilung zu den Expertengruppen.

Tabelle 7: Am Expertenworkshop diskutierte Massnahmen und Gruppenzuteilung. Quellen der Massnahmenliste siehe Anhang 7.3.

<b>Massnahme</b>	<b>Expertengruppe</b>
<b>Produktion von erneuerbaren Energien</b>	
Installation von Sonnenkollektoren (Warmwasser, Heubelüftung, ...)	Energie-Gebäude-Hofdünger
Installation von Solarpanels (Photovoltaik)	Energie-Gebäude-Hofdünger
Wärmepumpe (Luft oder Erdwärme)	Energie-Gebäude-Hofdünger
Wärmerückgewinnung z.B. Wärme aus Abluft von Gebäude/Stall	Energie-Gebäude-Hofdünger
Wärme-, Strom- und Treibstoffherzeugung aus Bioenergie auf Basis von Reststoffen und Abfällen oder Holz Z.B. Biogasanlage (Anaerobe Vergärung Hofdünger), Biomassekraftwerk; Holzschnitzelheizung.	Energie-Gebäude-Hofdünger
<b>Einsatz/Verbrauch von erneuerbaren Energien</b>	
Einsatz von Wärme oder Strom aus erneuerbarer Energie	Energie-Gebäude-Hofdünger
Energieversorgung: Ökostrom	Energie-Gebäude-Hofdünger
<b>Energieverbrauch verringern</b>	
Maschinen: Bessere Auslastung (Überbetrieblicher Einsatz, Lohnarbeit)	Energie-Gebäude-Hofdünger
Fahrzeuge: Geringerer Verbrauch von Treibstoffen (z.B. neuer Traktor mit geringerem Treibstoffverbrauch)	Energie-Gebäude-Hofdünger
Isolation von Gebäuden (inkl. Gewächshäuser) (bei beheizten Gebäuden)	Energie-Gebäude-Hofdünger
Gebäude/ Gewächshäuser: Minimalstall; Folientunnel, Holzbau von Gebäuden	Energie-Gebäude-Hofdünger
<b>Tierhaltung</b>	
<b>Verbesserte Leistung, Intensivierung</b>	
Hohe Produktivität (Intensivmast, Rasse)	Tierproduktion
Erhöhung Lebensleistung (Anzahl Laktationen) der Milchkühe	Tierproduktion
<b>Art der Haltung (Stall)</b>	
Tiere auf Tiefstreu	Tierproduktion
Stallmanagement (Oberflächen, Hygiene, Temperatur, Einstreu)	Tierproduktion
Luftfilter bei Geflügelmast, Schweinemast	Tierproduktion
<b>Fütterung:</b>	
<b>Futterzusätze</b>	
Pflanzliche Extrakte als Futterzusatz: Tannine, (Saponine)	Tierproduktion
<b>Futterzusammensetzung</b>	
Fettzugabe zur Fütterung	Tierproduktion
Phasenfütterung	Tierproduktion
Weniger Kraftfutter (weniger Energieverbrauch bei der Herstellung) bei Raufutterverzehrnern.	Tierproduktion
<b>Futterproduktion - Weniger Konservierung / Konservierungstechnik</b>	
Höherer Weideanteil	Tierproduktion
Eingrasen	Tierproduktion
Bodenheu / Bodentrocknung	Tierproduktion
Grassilage für Winterfütterung (statt Heubelüftung)	Tierproduktion
<b>Hofdüngerbewirtschaftung - Lagerung und Behandlung</b>	
<b>Lagerung Hofdünger</b>	
Abdecken der Güllengrube	Energie-Gebäude-Hofdünger
Belüftung von Gülle	Energie-Gebäude-Hofdünger
<b>Güllezusätze</b>	
Inhibitoren der Nitrifikation	Energie-Gebäude-Hofdünger
Milchsäure	Energie-Gebäude-Hofdünger

Qualitative Evaluation von Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen von Landwirtschaftsbetrieben

Gips	Energie-Gebäude-Hofdünger
<b>Anbautechnik:</b>	
<b>Bodenbearbeitung</b>	
Pfluglose Bestellung des Ackers, Mulchsaat, Direktsaat	Pflanzenproduktion
Gründüngung, Zwischenfutter, Zwischenfrucht, Leguminosen als Gründüngung.	Pflanzenproduktion
<b>Optimierung von Fruchtfolge und Sorten / Anbausystem</b>	
Intensivierung, Steigerung der Erträge (Sorten, Fruchtfolge, Nährstoffdefizite ausgleichen)	Pflanzenproduktion
Agroforstwirtschaft	Pflanzenproduktion
<b>Düngung</b>	
Hofdünger: bodennahe Ausbringungstechnik: z.B. Einsatz von Schleppschlauch, Injektion	Pflanzenproduktion
Hofdünger: Zeitpunkt der Ausbringung (Jahresverlauf)	Pflanzenproduktion
Mineraldünger (besonders N-Einsatz) reduzieren resp. optimieren	Pflanzenproduktion
Düngung: precision farming (in Abhängigkeit der Bodenversorgung und Pflanzenbedürfnisse)	Pflanzenproduktion
Abnahme und Ausbringen von Gärresten aus Vergärungsanlagen (z.B. Biogas, Kompogas (Grünabfuhr Siedlungen))	Pflanzenproduktion
<b>Transportenergie:</b>	
Produktion von betriebseigenem Futter (Raufutter, Kraffutter)	Tierproduktion
Herkunft Futter: Schweiz	Tierproduktion
Herkunft des organischen Düngers: Selbst produziert, bzw. Schweiz	Tierproduktion
<b>C-Sequestrierung</b>	
Kompostierung von Grünabfuhr und Einsatz Kompost.	Pflanzenproduktion
<b>Waldbewirtschaftung</b>	
Produktion von Holz (Waldbewirtschaftung)	Energie-Gebäude-Hofdünger

### 7.3 Bewertung der Massnahmen

Quellen: Die Liste der Massnahme wurde basierend auf Expertenwissen und Literatur (Smith et al. 2007, Peter et al. 2009, Dalgaard 2011) zusammengestellt.

<b>Massnahmen zur Reduktion von Treibhausgasen:</b>	<b>Bewertung</b>
<b>Produktion von erneuerbaren Energien</b>	
Installation von Sonnenkollektoren (Warmwasser, Heubelüftung, ...)	Siehe Kapitel 4
Installation von Solarpanels (Photovoltaik)	Siehe Kapitel 4
Wärmepumpe (Luft oder Erdwärme)	Siehe Kapitel 4
Wärmerückgewinnung z.B. Wärme aus Abluft von Gebäude/Stall + Milchkühltanks	Siehe Kapitel 4
Wärme-, Strom- und Treibstoffherzeugung aus Bioenergie auf Basis von Reststoffen und Abfällen oder Holz Z.B. Biogasanlage (Anaerobe Vergärung Hofdünger), Biomassekraftwerk; Holzschnitzelheizung.	Siehe Kapitel 4
Biomassepflanzung: -Kurzumtrieb (5 - 10 Jahre) -Chinaschilf/Hanf -Gras für Energiezwecke	Ausgeschlossen nach Expertenworkshop: Wird nicht weiterverfolgt: Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion
Energieholzproduktion auf LN (z.B. Salix)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Zielkonflikt mit Politik: Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion
Anbau von Feldfrüchten zur Produktion von Biokraftstoffen (Raps --> RME; Mais --> Ethanol)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Zielkonflikt mit Politik: Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion
<b>Einsatz erneuerbarer Energien</b>	
Einsatz von Wärme oder Strom aus erneuerbarer Energie	Siehe Kapitel 4
Energieversorgung: Ökostrom	Siehe Kapitel 4
Einsatz von Biokraftstoffen aus Feldfrüchten	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Zielkonflikt mit Politik: Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion
<b>Energieverbrauch verringern</b>	
Maschinen: Bessere Ausstattung + angepasste Mechanisierung (Überbetrieblicher Einsatz, Lohnarbeit)	Zurückgestellt nach Grobanalyse und Expertenworkshop: Aufwändig zu überprüfen.
Fahrzeuge: Geringerer Verbrauch von Treibstoffen (z.B. neuer Traktor mit geringerem Treibstoffverbrauch)	Siehe Kapitel 4
Isolation von Gebäuden (inkl. Gewächshäuser) (bei beheizten Gebäuden) + Lüftungstechnik	Ausgeschlossen nach Expertenworkshop: Bei bestehenden Gebäuden schwierig zu definieren (Vergleichsbasis), bei neuen Gebäuden ohnehin von Gesetzgebung verlangt.
Gebäude/ Gewächshäuser: Minimalstall; Folientunnel, Holzbau von Gebäuden	Ausgeschlossen bei Grobanalyse und Expertenworkshop: Schwierig zu erheben, Vergleichsbasis fehlt.
<b>Tierhaltung</b>	
<b>Verbesserte Leistung, Intensivierung</b>	
Hohe Produktivität/Effizienzsteigerung (Intensivmast, Rasse) (Smith et al. 2007)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse und Expertenworkshop: Problem Bezugssystem. Effizienz ist in der Schweiz schon gut.
Erhöhung Lebensleistung (Anzahl Laktationen) der Milchkühe	Siehe Kapitel 4

Qualitative Evaluation von Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen von Landwirtschaftsbetrieben

Erhöhung Milchleistung	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Zielkonflikt mit Wiesenmilch
Tiefe Produktionsintensität (z.B. weniger GVE pro Fläche)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Zielkonflikt mit Produktivität Selbstversorgungsgrad (Politik), führt zu Produktionsverlagerungen ins Ausland. Pro kg Produkt eventuell Verschlechterung;
<b>Art der Haltung (Stall)</b>	
Art der Stallhaltung (z.B. Anbindestall, Liegeboxenlaufstall) (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Anbindestall ist vorteilhaft: Zielkonflikt mit Tierwohl
Tiere auf Tiefstreu	Ausgeschlossen nach Expertenworkshop: Ist nur vorteilhaft, wenn mindestens ein Mal pro Monat ausgemistet wird. Das ist unrealistisch und in der Praxis nicht möglich. Daher wird die Massnahme nicht weiterverfolgt.
Stallbeschaffenheit (Oberflächen, Hygiene, Temperatur, Einstreu) (Peter et al. 2009)	Siehe Kapitel 4
Luftfilter bei Geflügelmast, Schweinemast	Ausgeschlossen bei Expertenworkshop: Ist energieintensiv und teuer
<b>Fütterung:</b>	
<b>Futterzusätze</b>	
Pflanzliche Extrakte als Futterzusatz: Tannine (Saponine) (Peter et al. 2009, Smith et al. 2007)	Ausgeschlossen nach Expertenworkshop: Praxisreife ist noch nicht gegeben.
Antikörper (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Geringe Praxisreife und Akzeptanz
Probiotica (Peter et al. 2009, Smith et al. 2007))	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Geringe Praxisreife und Akzeptanz
Methanoxidationsmittel (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Geringe Praxisreife und Akzeptanz
Halogenierte Methananaloga (direkte Inhibierung von Methan) (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Geringe Praxisreife und Akzeptanz
Ionophoren (Peter et al. 2009, Smith et al. 2007))	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Geringe Praxisreife und Akzeptanz
Zugabe von organischen Säuren (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Geringe Praxisreife und Akzeptanz
Zugabe von acetogenen Bakterien (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Geringe Praxisreife und Akzeptanz
<b>Futterzusammensetzung</b>	
Fettzugabe zur Fütterung (Peter et al. 2009)	Zurückgestellt nach Expertenworkshop: Praxisreife ist unklar.
Phasenfütterung (Peter et al. 2009)	Zurückgestellt nach Grobanalyse: Schwierig zu kontrollieren.
Proteinreiches Futter (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Konflikt mit Wiesenmilch
Mehr Krafffutter in Ration (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Konflikt mit Wiesenmilch
Weniger Krafffutter, Ausgleichsfutter (weniger Energieverbrauch bei der Herstellung) bei Raufutterverzehrn.	Zurückgestellt nach Expertenworkshop: Umsetzung ist komplex.
<b>Futterproduktion - Weniger Konservierung / Konservierungstechnik</b>	
Höherer Weideanteil	Ausgeschlossen / Zurückgestellt nach Expertenworkshop: Wirkung unklar
Eingrasen	Ausgeschlossen / Zurückgestellt nach Expertenworkshop: Wirkung unklar

Qualitative Evaluation von Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen von Landwirtschaftsbetrieben

Bodenheu / Bodentrocknung	Ausgeschlossen nach Expertenworkshop und Grobanalyse: Wirkung unklar Futterqualität schlechter.
Grassilage für Winterfütterung (statt Heubelüftung)	Ausgeschlossen / Zurückgestellt nach Expertenworkshop: Wirkung unklar
<b>Hofdüngerbewirtschaftung - Lagerung und Behandlung</b>	
<b>Lagerung Hofdünger</b>	
Abdecken der Güllengrube (unterscheiden unterirdisch/oberirdisch) (Dalgaard 2011, Peter et al. 2009, Smith et al. 2007)	Siehe Kapitel 4
Belüftung von Gülle (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen nach Expertenworkshop und Grobanalyse: Teuer Investition nötig umstritten, sogar möglicherweise negativ, Zielkonflikt CH <sub>4</sub> /NH <sub>3</sub>
Separation (Peter et al. 2009, Dalgaard 2011, Smith et al. 2007)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse und Expertenworkshop: Wirkung umstritten, möglicherweise negativ.
Wegfuhr von Gülle	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Nur bei hohen Tierdichten interessant, soll nicht belohnt werden.
<b>Güllezusätze</b>	
Inhibitoren der Nitrifikation (Peter et al. 2009, Dalgaard 2011)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse und Expertenworkshop: Wirkung umstritten, möglicherweise negativ.
Milchsäure (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse und Expertenworkshop: Wirkung umstritten, möglicherweise negativ.
Gips (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse und Expertenworkshop: Wirkung umstritten, möglicherweise negativ.
Plocher	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Methode ist nicht wissenschaftlich. Kein Hinweis auf Verminderung der Treibhausgasemissionen.
PRP	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Keine Hinweise auf Verminderung von Treibhausgasemissionen
<b>Anbautechnik:</b>	
<b>Bodenbearbeitung</b>	
Pfluglose Bestellung des Ackers, Mulchsaat, Direktsaat (Smith et al. 2007)	Bei Expertenworkshop aufgeteilt in die folgenden Massnahmen: - Pfluglos (nicht dauerhaft) - Pfluglos (dauerhaft) - Reduzierte Bodenbearbeitung
Pfluglos (nicht dauerhaft)	Siehe Kapitel 4
Pfluglos (dauerhaft)	Ausgeschlossen nach Expertenworkshop: Ist nicht realistisch.
Reduzierte Bodenbearbeitung	Zurückgestellt nach Expertenworkshop: Wirkung ist unklar.
Gründüngung, Zwischenfutter, Zwischenfrucht, Leguminosen als Gründüngung.	Bei Expertenworkshop aufgeteilt in die folgenden Massnahmen: - Gründüngung - Zwischenfutter
Gründüngung	Zurückgestellt nach Expertenworkshop: Wirkung unklar, weitere Untersuchungen nötig.

Qualitative Evaluation von Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen von Landwirtschaftsbetrieben

Zwischenfutter	Zurückgestellt nach Expertenworkshop: Wirkung unklar, weitere Untersuchungen nötig.
<b>Optimierung von Fruchtfolge und Sorten / Anbausystem</b>	
Intensivierung, Steigerung der Erträge (Sorten, Fruchtfolge, Nährstoffdefizite ausgleichen)	Bei Expertenworkshop konkretisiert: Siehe nächste Massnahme: Düngungsplan
Düngungsplan, Optimierung der Erträge	Siehe Kapitel 4
Extensivierung der Anbausysteme (weniger Einsatz von Mineraldüngern, Leguminosen, etc.)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Zielkonflikt mit Produktivität, Selbstversorgungsgrad (Politik)
Agroforstwirtschaft (Smith et al. 2007)	Zurückgestellt bei Grobanalyse: Ist nicht bedeutend, eventuell in späteren Projektphasen weiterverfolgen.
<b>Düngung</b>	
Hofdünger: bodennahe Ausbringungstechnik: z.B. Einsatz von Schleppschlauch (Injektion)	Siehe Kapitel 4
Hofdünger: Zeitpunkt der Ausbringung (Tagesverlauf)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Nicht kontrollierbar
Hofdünger: Zeitpunkt der Ausbringung (Jahresverlauf) (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Problem: hohe Investitionen für Güllelager nötig.
Hofdünger: Witterung während der Ausbringung (Peter et al. 2009)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Nicht kontrollierbar
Mineraldünger (besonders N-Einsatz) reduzieren resp. optimieren (Smith et al. 2007)	Siehe Massnahme Düngungsplan (Kapitel 4)
Düngung: precision farming (in Abhängigkeit der Bodenversorgung und Pflanzenbedürfnisse) (Smith et al. 2007)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Nicht praxisreif für die Schweiz.
Abnahme und Ausbringen von Gärresten aus Vergärungsanlagen (z.B. Biogas, Kompogas (Grünabfuhr Siedlungen))	Siehe Kapitel 4
<b>Transportenergie:</b>	
Produktion von betriebseigenem Futter (Raufutter, Kraffutter)	Zurückgestellt bei Expertenworkshop: Bei Tierproduktion sind andere Emissionen dominierend.
Herkunft Futter: Schweiz	Zurückgestellt bei Expertenworkshop: Bei Tierproduktion sind andere Emissionen dominierend.
Herkunft des organischen Düngers: Selbst produziert, bzw. Schweiz	Zurückgestellt bei Expertenworkshop: Bei Tierproduktion sind andere Emissionen dominierend.
Nachgelagerte Wirkung (spezifisch für bestimmte Produkte)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Spezifisch für bestimmte Produkte. Unbedeutend.
<b>Überbetriebliche Zusammenarbeit:</b>	
Verbund zwischen Betrieben mit niedrigem und hohem Viehbesatz	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Umsetzung ist komplex.
<b>C-Sequestrierung</b>	
Kompostierung von Grünabfuhr und Einsatz Kompost. (Kompostierung von Mist)	Siehe Kapitel 4
Anlage von Dauerwiese (auf Ackerland)	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Zielkonflikt mit Produktivität, Selbstversorgungsgrad (Politik)
<b>Waldbewirtschaftung</b>	
Produktion von Holz (Waldbewirtschaftung)	Siehe Kapitel 4

Aufforstung	Ausgeschlossen bei Grobanalyse: Zielkonflikt mit Produktivität, Selbstversorgungsgrad (Politik)
-------------	--

## 7.4 Ausgewählte Massnahmen: Bewertung in der Literatur

### 7.4.1 Erhöhung der Anzahl Laktationen

Tabelle 8: Erhöhung der Anzahl Laktationen: Bewertung in der Literatur

Flachowsky & Brade (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Einfluss der Nutzungsdauer auf die Methanemissionen wurde auf der Basis eines Modells berechnet (Dämmgen et al. 2007, zitiert in Flachowsky &amp; Brade 2007).</li> <li>• Es wurden Emissionskurven für Milchkühe mit 5'000, 7'500, 10'000 resp. 12'500 kg Jahresmilchleistung berechnet.</li> <li>• Die Abnahme der CH<sub>4</sub>-Emissionen pro kg Milch fällt pro zusätzliche Laktation geringer aus. Bei allen vier untersuchten Leistungsniveaus ist die Abnahme ab der 5. Laktation gering. Ebenso ist die Abnahme der CH<sub>4</sub>-Emissionen pro kg Milch geringer, je höher die Jahresmilchleistung ist.</li> <li>• Insgesamt ist bei der Betrachtung pro kg Milch die Jahresmilchleistung für das CH<sub>4</sub>-Emissionsniveau wichtiger als die Erhöhung der Anzahl Laktationen.</li> </ul>
O'Mara (2004): Greenhouse gas production from dairying: Reducing methane production	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Erhöhung der Anzahl Laktationen von 2.5 auf 5 führt zu einer Methanreduktion von 12.7% pro Betrieb und Jahr.</li> </ul> <p>Diese Berechnungen wurden für einen Milchviehbetrieb mit 100 Milchkühen plus den Aufzuchtieren durchgeführt. Allerdings fehlen in der Quelle detailliertere Angaben, wie zur Milchleistung und zur Fütterung der Tiere.</p>

### 7.4.2 Stallmanagement

Tabelle 9: Stallmanagement: Bewertung in der Literatur

Monteny et al. (2006): Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry	<p><b>Methanminderung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion der Gasproduktion durch starke Kühlung des Flüssigmists (&lt; 10 °C) oder bedeutende Senkung des pH-Wertes im Flüssigmist.</li> <li>• Entfernung der Emissionsquelle (Exkrememente) durch häufiges und vollständiges Reinigen der Innenraum-Flüssigmistkeller.</li> <li>• Korrektes Management der Liegeboxen und Festmisthaufen durch Minimierung der Verdichtung, häufiges Hinzufügen von Einstreu und regelmässiges Entmisten.</li> </ul> <p><b>Lachgasminderung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strohbasierete Stallssysteme (Tiefstreu) haben höhere Lachgasemissionen als Flüssigmistssysteme.</li> </ul>
Gallmann (2003): Vergleich von zwei Haltungssystemen für Mast-schweine mit unterschiedlichen	<p><b>Methanminderung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnelle Entfernung der Exkrememente aus dem Stall: Es wird weniger Inokkulum gebildet (älterer Flüssigmist).</li> </ul>

<p>Lüftungsprinzipien – Stallklima und Emission</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kühlung des Flüssigmists</li> <li>• Zusatz von organischen Säuren beim Flüssigmist</li> <li>• Belüftung des Flüssigmists, aber allenfalls Zunahme der Lachgasemission, was eine negative Wirkung auf das Treibhauspotenzial hätte.</li> </ul> <p><b>Lachgasminderung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorzug von Flüssigmistssystemen im Vergleich zu Festmist-systemen</li> <li>• Schnelle Entfernung der Exkremente aus dem Stall</li> <li>• Kühle Temperaturen</li> </ul>
<p>BAFU und BLW (2011): Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft</p>	<p><b>Ammoniakminderung bei Rindern:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion der verschmutzbaren Flächen durch Funktionsbereiche</li> <li>• Oberflächen mit raschem Abfluss von Harn kombiniert mit Einrichtungen zum raschen Abführen von Kot und Harn</li> <li>• Oberflächen für raschen Abfluss und Bodenelemente zum raschen Ableiten von Harn auf Laufhöfen</li> <li>• Niedrige Temperatur</li> <li>• Niedrige Luftgeschwindigkeit über verschmutzten Flächen</li> <li>• Beschattung und Windschutz des Auslaufs</li> <li>• Bedarfsgerechte Fütterung zur Reduktion von Proteinüberschüssen</li> </ul> <p><b>Ammoniakminderung bei Schweinen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion der verschmutzbaren Flächen durch Funktionsbereiche (getrennte Liege-, Aktivitäts-, Fress- und Kotbereiche)</li> <li>• Beschichtete Bodenoberflächen und Gefälle</li> <li>• Emissionsreduktion in Güllekanälen durch geringere Oberflächen und rasches Abführen von Gülle im Kanal</li> <li>• Niedrige Temperatur</li> <li>• Niedrige Luftgeschwindigkeit über verschmutzten Flächen</li> <li>• Beschattung und Windschutz des Auslaufs</li> <li>• Bio- und Chemowäscher bei zwangsbelüfteten Ställen</li> <li>• Phasenfütterung und N-angepasste Fütterung</li> </ul>
<p>Schrade (2009): Ammoniak- und PM10-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Ratio-Methode</p>	<p><b>Ammoniakminderungsmassnahmen bei Milchvieh in Laufställen mit freier Lüftung und Laufhof:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Achten auf Sonnenschutz in der warmen Jahreszeit durch möglichst überdachte Flächen sowie genügend grosse Vordächer.</li> <li>• Möglichst geringe Luftgeschwindigkeit über emissionsaktiven Flächen durch geeignete Ausführung oder Anordnung von Gebäuden und Abgrenzungen</li> <li>• Bei Planung, Bau und Nutzung des Stalls ist auf eine möglichst kleine verschmutzbare Fläche zu achten.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zur Emissionsminderung sollte Harn möglichst schnell mit Gefälle und Sammelrinnen abgeleitet werden.</li> <li>• Entmisten in kurzen Zeitintervallen, insbesondere in Stallbereichen mit hohem Tieraufenthalt und entsprechend grossem Kot- und Harnanfall</li> <li>• Bedarfsgerechte und ausgeglichene Fütterung.</li> </ul>
<p>Zähler (2005): EMIBAU: Vorsorgliche Emissionsminderungsmassnahmen bei Bauinvestitionen in der Landwirtschaft</p>	<p><b>Ammoniakminderungsmassnahmen bei verschiedenen Stalltypen für Milchvieh:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fütterungsmassnahmen lassen sich unabhängig vom Stalltyp umsetzen.</li> <li>• Laufflächen mit Rillenbodenelementen und optimierter Entmistungstechnik eignen sich am besten bei Ställen mit wenigen, geraden Laufgangachsen mit einer darunter liegenden Güllegrube.</li> <li>• Bei allen Stalltypen mit einem Fressplatz lassen sich Fütterungsbuchten einbauen (muss bei der Bauplanung vorgeesehen werden)</li> <li>• Bei allen offenen Stallgebäuden können als Windschutz in der unteren Wandhälfte eine Holzwand oder ein Windschutznetz eingesetzt werden. Auch angrenzende Gebäude, Sträucher und Büsche sind dienlich.</li> <li>• Um im Stall im Sommer tiefere Temperaturen zu erreichen, sind bei allen nicht wärmegeämmten Stalltypen ein wärmegeämmtes Dach und genügend grosse Wand- und Firstöffnungen einzuplanen. Eine Sprühkühlung bei heissen Temperaturen unterstützt dies zusätzlich.</li> <li>• Bei integrierten (Laufhof befindet sich zwischen Liege- und Fressbereich) und angebauten (Laufhof ist seitlich an Stall angegliedert) Laufhöfen ist ein kleinerer Anteil an nicht überdachter Fläche möglich.</li> <li>• Managementmassnahmen im Bereich des Laufhofs (zeitweise Schliessung im Sommer, gestaffelte Nutzung) sind nur bei angebautem Laufhof möglich.</li> <li>• Bei Ställen mit integriertem Laufhof und stationärer Entmistung ist eine Erhöhung der Reinigungsfrequenz möglich.</li> <li>• Bei den Stalltypen mit angebautem Laufhof ist häufiges Reinigen schwieriger zu realisieren. Der Anteil von dort anfallendem Harn und Kot ist klein, die Fläche aber gross. Zudem besteht die Gefahr, dass bei bisher vorhandener Entmistungstechnik durch häufiges Entmisten nur der Harn und Kot auf der Fläche nur verteilt und verschmiert wird, statt entfernt wird.</li> </ul>
<p>Berry et al. (2005): Emissionen von Staub (PM10) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung</p>	<p><b>Ammoniakminderung bei Schweineställen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• In den traditionellen Stallsystemen sind die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit der Zuluft signifikante Einflussfaktoren auf die NH<sub>3</sub>-Emissionen. Daher eignet sich eine Kühlung der Zuluft im Sommer (z.B. Ansaugen der Zuluft im Schatten, Erdwärmetauscher, Sprühkühlung) als Reduktionsmassnahme.</li> <li>• Beim eingestreuten Stallsystem mit Auslauf sollte die Auslauffläche im Sommerhalbjahr beschattet werden, um direk-</li> </ul>

	<p>te Sonneneinstrahlung zu vermeiden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Temperatur im Güllekanal des meist nicht überdachten Kotbereichs ist zu reduzieren.</li> </ul>
--	--

### 7.4.3 Abdecken des Güllebehälters

Tabelle 10: Abdecken des Güllebehälters: Bewertung in der Literatur

<p>Keck et al. (2002): Emissionsschutzmassnahmen bei Güllenteichen: Technische Machbarkeit und wirtschaftliche Konsequenzen</p>	<p>Reduktion der Emissionen durch Abdeckung (geschlossener Behälter oder schwimmende Abdeckung aus anorganischem Material):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NH<sub>3</sub>: 40-100%</li> <li>CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub>: 96-99%</li> </ul> <p>Bei Schwimmdecken aus organischem Material:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Minderung der NH<sub>3</sub>-Emissionen</li> <li>erhöhten Emissionen von N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub>.</li> </ul> <p>Reduktion der Emissionen durch natürliche Schwimmdecke:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NH<sub>3</sub> und CH<sub>4</sub>: 30-90%</li> <li>N<sub>2</sub>O: ca. 30%</li> </ul>
<p>Peter et al. (2009): THG 2020" – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz</p>	<p>Reduktion der Emissionen durch Abdeckung (anorganische Abdeckung oder geschlossener Behälter):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NH<sub>3</sub>: 50-90%</li> <li>CH<sub>4</sub>: 90%</li> <li>N<sub>2</sub>O: 35-90%</li> </ul> <p>Technisches Reduktionspotenzial: Prozentsatz der gesamten landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen der Schweiz: -2.3 %</p> <p>Bei der Berechnung wurde berücksichtigt, dass 2/3 der Güllelager bereits abgedeckt sind.</p>
<p>Van Caenegem et al. (2005): Abdeckung für Güllesilos – Technische und finanzielle Hinweise</p>	<p>Abdeckung: Reduktion der NH<sub>3</sub>-Emissionen im Vergleich zur offenen Lagerung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Feste Abdeckung und Zelt Dach: 70-90%</li> <li>Schwimmfolie: 70-90%</li> <li>Blähtonkugeln: 80%</li> <li>Stroh: Erhöhung der CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O Emissionen</li> <li>Natürliche Schwimmdecke: Bei guter Ausbildung der Schwimmdecke: hohe Emissionsminderung möglich Bei schwacher Ausbildung der Schwimmdecke: Emissionsminderung ist vernachlässigbar.</li> </ul>
<p>Van Caenegem (2008): Zelt Dachlüftung vermindert Emissionswirkung bei Güllebehältern</p>	<p>Aus Sicherheitsgründen nötige Lüftungsöffnungen beim Zelt Dach können das Emissionsminderungspotenzial erheblich reduzieren .</p>
<p>Agrammon Group (2010): Technische Parameter Modell Agrammon</p>	<p>Reduktion der Ammoniakemissionen durch Abdeckung der Güllegrube um 40-90%:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Feste Abdeckung: 90%</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perforierte Abdeckung: 40%</li> <li>• Folien, Folienzelt: 60%</li> <li>• Schwimmfolie: 80%</li> <li>• natürliche Schwimmschicht: 40%</li> </ul>
--	--

#### 7.4.4 Pfluglose Bodenbearbeitung

Tabelle 11: Pfluglose Bodenbearbeitung: Bewertung in der Literatur

<p>Schaller et al. (2006): Vergleichsöko-bilanz bei Direktsaat und Pflug</p>	<p>Treibhauspotenzial:  <b>Direktsaat</b> ist im Vergleich zum System Pflug sowohl pro ha Anbaufläche und Jahr als auch pro kg geerntete Trockensubstanz <b>tendenziell günstiger</b> (nicht gesichert).</p>
<p>Sturny et al. (2007): Direktsaat und Pflug im Systemvergleich – eine Synthese</p>	<p>Direktsaat im Vergleich zu Pflug:                  Direktsaat: Durch die kleinere Anzahl Überfahrten sind Treibstoffverbrauch und somit die <b>CO<sub>2</sub>-Emissionen wesentlich geringer</b>.                  Es kann <b>nicht</b> bestätigt werden, dass Böden durch Direktsaat zur <b>C-Senke</b> werden (11 Versuchsjahre).</p>
<p>Anken (2004): Pflanzenentwicklung, Stickstoffdynamik und Nitratauswaschung gepflügter und direktgesäter Parzellen.</p>	<p>Vergleich Direktsaat und Pflug:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine grossen Unterschiede beim Ertrag</li> <li>• Es gibt nur in Ausnahmefällen signifikante Interaktionen zwischen Bestell- und Düngeverfahren. Verschiedene Düngeverfahren wirken sich bei den Bestellverfahren Direktsaat und Pflug gleichförmig aus.</li> <li>• Direktsaat und Pflug wirken sich meistens nicht unterschiedlich auf die Stickstoffmineralisierung des Bodens und die Nitratauswaschung ins Grundwasser aus.</li> </ul>

#### 7.4.5 Düngungsplan

Tabelle 12: Düngungsplan: Bewertung in der Literatur

<p>Richner et al. (2010): Ableitung der Stickstoffdüngung von Ackerkulturen</p>	<p>Die optimale N-Düngung gemäss GRUDAF 2009 ist ein guter Kompromiss zwischen wirtschaftlichen Zielen (hoher Ertrag, gute Produktequalität) und ökologischen Zielen (geringe N-Verluste).</p>
---	--

#### 7.4.6 Schleppschlauch

Tabelle 13: Schleppschlauch: Bewertung in der Literatur

<p>Döhler et al. (2002): BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahre 2010</p>	<p>Schleppschlauch vermindert die NH<sub>3</sub>-Emissionen im Vergleich zum Breitverteiler:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unbewachsenes Ackerland und Grünland mit geringem Aufwuchs: ca. 10 % bei Rindergülle und ca.</li> </ul>
---	---

	<p>30 % bei Schweinegülle</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bewachsenes Ackerland und Grünland: bis zu 30 % bei Rindergülle und 50 % bei Schweinegülle</li> </ul>
Agrammon Group (2010): Technische Parameter Modell Agrammon	Schleppschlauch: Reduktion der Ammoniakemissionen um 30% im Vergleich zum Prallteller/Werfer.
Leick (2003): Emission von Ammoniak (NH <sub>3</sub> ) und Lachgas (N <sub>2</sub> O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Massnahmen	<p>Die Ausbringung mit dem Schleppschlauch im Vergleich zum Prallteller führt nicht immer zu geringeren NH<sub>3</sub>-Emissionen.</p> <p>In hohen Pflanzenbeständen wurden bei Ausbringung mit dem Schleppschlauch von geringere NH<sub>3</sub>-Emissionen gemessen.</p> <p>Die N<sub>2</sub>O Emissionen waren bei der Ausbringung mit dem Schleppschlauch im Vergleich zum Prallteller höher.</p>
Langevin et al. (2010): Inclusion of the variability of diffuse pollutions in LCA for agriculture: the case of slurry application techniques.	<p>Schleppschlauch im Vergleich zum Breitverteiler:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringere NH<sub>3</sub> Emissionen beim Schleppschlauch</li> <li>• Keine grossen Unterschiede bei den N<sub>2</sub>O-Emissionen</li> <li>• Ökobilanz Treibhauspotenzial: kein grosser Unterschied, da direkte N<sub>2</sub>O-Emissionen bei der Ausbringung beim Treibhauspotenzial dominieren.</li> </ul>

#### 7.4.7 Kompostierung von Grünabfuhr und Einsatz von Kompost

Tabelle 14: Kompostierung: Bewertung in der Literatur

Edelmann und Schleiss (2001): Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe	<p>Ökobilanz: Vergleich verschiedener Arten der Kompostierung und Kehrlichverbrennungsanlage:</p> <p>Je nach Art der Kompostierung und betrachtetem Zeithorizont verursacht die Kompostierung weniger oder mehr Treibhauspotenzial als die Kehrlichverbrennungsanlage.</p>
--	--