

Osterburg, Bernhard; Kätsch, Stephanie; Wolff, Anne

**Research Report**

## Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050

Thünen Report, No. 13

**Provided in Cooperation with:**

Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries

*Suggested Citation:* Osterburg, Bernhard; Kätsch, Stephanie; Wolff, Anne (2013) : Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050, Thünen Report, No. 13, ISBN 978-3-86576-112-5, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-201312-dn052919-7>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/90149>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

# Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050

Bernhard Osterburg, Stephanie Kätsch und Anne Wolff

Thünen Report 13

**Bibliografische Information:**  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

*Bibliographic information:*  
*The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at [www.dnb.de](http://www.dnb.de)*

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter [www.ti.bund.de](http://www.ti.bund.de)

*Volumes already published in this series are available on the Internet at [www.ti.bund.de](http://www.ti.bund.de)*

**Zitationsvorschlag – Suggested source citation:**  
**Osterburg B, Kätsch S, Wolff A (2013)** Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 132 p, Thünen Rep 13

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

*The respective authors are responsible for the content of their publications.*



THÜNEN

## Thünen Report 13

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
Germany

[thuenen-report@ti.bund.de](mailto:thuenen-report@ti.bund.de)  
[www.ti.bund.de](http://www.ti.bund.de)

ISSN 2196-2324  
ISBN 978-3-86576-112-5  
DOI:10.3220/REP\_13\_2013  
urn:nbn:de:gbv:253-201312-dn052919-7

# Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050

Bernhard Osterburg, Stephanie Kätsch und Anne Wolff

Thünen Report 13

## **Projektbericht für das Umweltbundesamt**

Der vorliegende Endbericht zum Sachverständigengutachten „Minderungspotential von Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft“, Förderkennzeichen 363 01 428 wurde vom Umweltbundesamt beauftragt und finanziert.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren. In der Studie vertretene Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Auftraggebers übereinstimmen.

Bernhard Osterburg, Stephanie Kätsch und Anne Wolff sind wissenschaftliche Mitarbeiter/innen am

Thünen-Institut für Ländliche Räume  
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei  
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

Kontakt: Bernhard Osterburg  
Tel.: +49 +531 596-5211  
Fax: +49 +531 596-5599  
E-mail: [bernhard.osterburg@ti.bund.de](mailto:bernhard.osterburg@ti.bund.de)

### **Thünen Report 13**

Braunschweig im November 2013

## Summary

According to the targets of the federal government, German greenhouse gas (GHG) emissions should be reduced by about 80-90 % below 1990 levels by 2050 (BMW and BMU, 2010). In the project “Treibhausgasneutrales Deutschland 2050” (Greenhouse gas neutral Germany 2050) of the Federal Environmental Agency (UBA), scenario analyses for all GHG source categories in Germany were conducted to illustrate how these reduction targets can be achieved. The present report, which was prepared by the Thünen Institute of Rural Studies on behalf of the Federal Environmental Agency, focuses on the Source Category 4 “Agriculture”.

In 2010 German agricultural production and related agricultural land use were responsible for about 105 Mt CO<sub>2-eq.</sub><sup>1</sup> of the GHG emissions that are reported in the IPCC Source Categories 4 “Agriculture” and 5 “LULUCF” (land use, land use change and forestry). Their joint emissions equal about 11 % of total German emissions. The emissions of Source Category “Agriculture” add up to 67.5 Mt CO<sub>2-eq.</sub> and are mainly composed of methane emissions from enteric fermentation and manure management, as well as nitrous oxide emissions from manure, fertilization and agricultural soils. Emissions of about 37 Mt CO<sub>2-eq.</sub> result from a loss of soil organic carbon due to agricultural usage of peat lands and ploughing up of grasslands.

In order to reach the emission target mentioned above, emissions of the Source Category “Agriculture” in 2010 shall be reduced by almost 50 % to 35 Mt CO<sub>2-eq.</sub> in 2050. This study investigates the technical mitigation potential of different measures and develops two scenarios that illustrate how the emission reduction target can be reached by 2050 using different approaches. Emissions of Source Category 5 “LULUCF” shall be reduced to zero in 2050. Because of the large share of these emissions caused by agricultural land use, this source category is considered as well.

The analysis is based on available research results of the Thünen-Institute relating to analyses of the agricultural sector and agricultural trade as well as national emission reporting. Further, existing literature and results from similar studies as well as statistical data are analyzed. In addition different experts are consulted.

Chapter 2 gives an overview on the German agricultural sector and its contribution to the supply of food and raw materials for Germany and other countries. The whole agricultural sector is described physically as well as economically. This way, starting points for mitigation options can be identified more easily. The sectoral description is complemented by a detailed analysis of the upstream processes also in relation to imports and exports (main focus: fertilizers and animal feed). Furthermore, processing, trade and transport as well as consumption of food are described

---

<sup>1</sup> Carbon dioxide equivalents, calculated according to the global warming potential GWP100 of the different greenhouse gases: CO<sub>2</sub>=1, CH<sub>4</sub>=21, N<sub>2</sub>O=310

with regard to physical amounts, energy consumption and waste generation. The analysis of the German food sector is based on supply balances of the most important agricultural commodities.

Due to favorable site conditions, German agriculture is very productive and generates high yields. Cereals, especially wheat, dominate crop production. Potato and rape seed production also play an important role in comparison to European and global production. Two-thirds of added value in Germany is created by animal husbandry. Animal products are important export goods, because their degree of self-sufficiency mostly exceeds 100 %. The significance of animal production is also reflected in the fact that meat consumption in Germany is much higher than recommended by nutrition science.

Chapter 3 focuses on greenhouse gas emissions of the Source Categories 4 “Agriculture” and 5 “Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF)” in 2010. Additionally, emissions of the up- and downstream sectors are presented. Between 1990 and 2010 methane and nitrous oxide emissions from the Source Group “Agriculture” decreased by 15.8 Mt CO<sub>2</sub>-eq. (-19 %). This emission reduction mainly results from a decline in livestock numbers and reduced mineral nitrogen fertilizer use.

Emissions that are reported in Source Category “LULUCF”, mainly CO<sub>2</sub> emissions, essentially relate to carbon source and sink dynamics. Especially emissions from land use and land use changes on organic soils (peat lands) play an important role. Agricultural use of peat lands for crop production or as grassland was responsible for about 36.3 Mt CO<sub>2</sub>-eq. In addition, nitrous oxide emissions that result from decomposition of peat land soils due to agricultural use amount to 4.8 Mt CO<sub>2</sub>-eq. and are reported in Source Category 4 “Agriculture”.

The amount of GHG emissions from up- and downstream sectors of agriculture cannot be derived from national GHG reporting, because it is based on source categories. Other statistics and results from life cycle assessments (LCA) in literature are used instead. According to these estimations, direct energy consumption in the agricultural sector as well as the provision of farm inputs produced by upstream sectors emitted about 28 Mt CO<sub>2</sub>-eq. Fertilizer production alone was responsible for 10 Mt CO<sub>2</sub>-eq. Especially the energy intensive production of nitrogen fertilizers causes high amounts of emissions. Direct energy consumption and provision of electricity generate 9.5 Mt CO<sub>2</sub>-eq. Animal feed is another important upstream product. Emissions related to feedstuff produced in Germany are, however, already considered in Source Category 4 and thus excluded in further analysis. Emissions of imported oil seeds and cakes are calculated using LCA values for soy beans and oil cake. About 3.8 Mt CO<sub>2</sub>-eq. result from using soy products as animal feed. If emissions from land use changes in exporting countries would be included, product related emissions would be even higher.

Emissions from human nutrition are estimated to be about 16 to 22 % of total German emissions (Grünberg et al., 2010). The production and provision of food causes about 45 to 75 % of these emissions. Energy consumption of households for storage and preparation as well as heating of

kitchens has a share of about 20-40 %. Food processing and trading are estimated to be responsible for only 4 to 14 %.

The largest share of GHG emissions in the downstream food sector, which amounts to about 9.3 Mt CO<sub>2-eq.</sub>, is emitted due to food and feed processing. Food retail, catering and wholesale are responsible for 3.3 Mt CO<sub>2-eq.</sub>, 1.9 Mt CO<sub>2-eq.</sub> and 0.9 Mt CO<sub>2-eq.</sub> respectively. Transport of agricultural and food products as well as fertilizers causes GHG emissions adding up to 8.9 Mt CO<sub>2-eq.</sub>. A total of 81 % of statistically recorded, domestic transport performance is realised by trucks, 11 % via inland waterways and 8 % via railroad.

Chapter 4 describes mitigation measures with regard to mitigation potential, feasibility, costs and side effects. Important measures are “Improving N-Efficiency of fertilization and reduction of excess nitrogen”, “Using manure in biogas production”, “Increased milk production per cow and reduction of replacement rates” and “Organic farming as GHG mitigation option”. A decrease in agricultural production also leads to reductions in direct GHG emissions. However, without adaptation of the use of agricultural products in Germany (*e.g.*, less consumption of animal products) this would result in increased imports from other countries. This could lead to negative effects on global GHG emissions.

In Chapter 5 the scenario analyses are presented. It is shown how the reduction target of 35 Mt CO<sub>2-eq.</sub> in Source Category “Agriculture” can be achieved by 2050 using the measures described in Chapter 4. Interdependencies with other source categories are considered. Emissions reported in source category “LULUCF” shall be reduced to be zero. It is estimated that by 2050 nearly 1.5 million ha of land will be lost for agricultural production due to peat land restoration and increased area for traffic and settlements. This loss of agriculturally used land is a significant intervention affecting the production basis of the German farm sector. As it would be impossible to restore all peat lands, and because liming of agricultural soils is still necessary in order to maintain soil fertility, there will still be emissions in 2050 amounting to more than 5 Mt CO<sub>2-eq.</sub> that belong to Source Category “LULUCF”.

The scenario analyses are focused on direct methane and nitrous oxide emissions of the agricultural sector. The first scenario (KONV) extrapolates the current *status quo*, whereas the second scenario (ÖKO-20 %) illustrates a share of 20 % organic farming of total agricultural area. In both scenarios it is necessary to reduce livestock numbers in order to reach the reduction target.

When looking at the use of products, food consumption, food loss and spoilage as well as energetic and material usage of agricultural raw material and residual products can be distinguished. The assumptions regarding the use of primary products are the same for both scenarios except for animal feed consumption, which depends on the structure of agricultural production and is thus determined by the specific scenario. According to the specifications of the Federal Environment Agency, consumption of meat and food losses and spoilage will be decreased drastically. Agricultural biomass will not be used for energetic purposes anymore, whereas the material use will stay at present levels.



In both scenarios the reduction target of 35 Mt CO<sub>2-eq.</sub> is achieved. As the direct emissions do not differ, the scenarios are evaluated according to resource claims and emissions in other countries. On the one hand this allows for an assessment of the German agricultural production and its contribution to supply the German population. On the other hand it can be evaluated whether unwanted shifts in global land use, agricultural production and food supply (leakage effects) might occur.

The scenarios are evaluated according to cumulated GHG emissions, energy consumption and area demands including those from upstream products and imports. Because exports contribute to a reduction of resource claims and emission outside of Germany, cumulated emissions and resource demands of exported, agricultural goods are subtracted.

Despite the considerable reduction of the agricultural area due to peat land restoration and increased areas for traffic and settlements, scenario KONV indicates that the quantity of agricultural production can be maintained because of – carefully estimated- yield increments. The implementation of mitigation measures such as increasing nitrogen efficiency and using manure for biogas production (including gas tight storage of fermentation residues) reduces GHG emissions to about 45 Mt CO<sub>2-eq.</sub>. A decrease in replacement rates in the dairy sector has only little influence on sectoral emissions.

Further reduction is only possible if production amounts are diminished. In this case the focus lies on ruminants, because of their high GHG emission per head and per unit of product. Reducing the ruminant livestock herd, however, conflicts with grassland conservation and management. The resulting reduction of emissions is not equivalent to the livestock reduction, because declining amounts of manure are substituted by more mineral fertilizer or legume cultivation, and the areas used for forage production remains cultivated for other crops. These feedbacks reduce the effects of livestock reduction on GHG mitigation.

The combination of conventional agriculture and organic farming as simulated in scenario ÖKO-20 % affects the balances of cumulated GHG emissions, energy and area demands even more positively. The restrictions on agricultural production are smaller due to synergies between both farming systems. At the same time sectoral mineral N-fertilizer and pesticide application are reduced in comparison to scenario KONV. Especially grasslands receive less mineral fertilizer, because a relevant part of it is used for N-fixation through legumes in organic farming. This reduces nitrous oxide emissions, and less arable land is needed for legume cultivation. The amount of imported protein feed in cattle farming can be reduced as well.

Throughout the project the development of a third scenario that involves an expansion of organic farming to 100 % of the agricultural area was discussed intensively. The realization of this scenario requires vast assumptions that are highly disputable. That is why a quantitative description and assessment of this scenario was avoided. Organic farming would lose its economic basis, because the increased supply would exceed the demand for high priced organic products. Transferring today's farming conditions and yields of organic farming to the entire agricultural sector is not

feasible, especially because mainly cattle farms convert to organic farming. About half the area under organic cultivation comprises grasslands and more than one-third of the arable land is used for forage production. The forage area not only supplies cattle feeding, but nitrogen is also fixed biologically through clover and other legumes. Because the use of mineral fertilizers is prohibited, organic farming depends on other nitrogen sources. The expansion of forage production on arable land would limit the cultivation of other crops. Further, production quantities are reduced because of the lower yields compared to conventional farming. This could lead to leakage effects, if production in other countries were to increase. The evaluation of a 100 % organic farming scenario depends not only on the underlying assumptions, but also on the point of view and the chosen system boundaries.



## Zusammenfassung

Nach den Zielsetzungen der Bundesregierung sollen die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 1990 um 80 bis 95 % verringert werden (BMW<sub>I</sub> und BMU, 2010). Im Projekt „Treibhausgasneutrales Deutschland 2050“ des Umweltbundesamtes werden für alle Treibhausgas-(THG)-Quellen in Deutschland Szenarien erarbeitet, mit denen aufgezeigt werden kann, durch welche Maßnahmen im Jahr 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen in der genannten Größenordnung erreicht werden kann. Der vorliegende Bericht, der im Rahmen eines Projekts im Auftrag des Umweltbundesamtes am Johann Heinrich von Thünen-Institut erstellt wurde, beinhaltet die Analysen zur Quellgruppe Landwirtschaft.

In der nach Definition des IPCC abgegrenzten Quellgruppe 4 „Landwirtschaft“ und der Quellgruppe 5 „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (land use, land use change and forestry, LULUCF) entstanden im Jahr 2010 durch Agrarproduktion und landwirtschaftliche Flächennutzung direkte THG-Emissionen in Höhe von ca. 105 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.<sup>2</sup>, dies entspricht 11 % der gesamten THG-Emissionen in Deutschland. In der Quellgruppe „Landwirtschaft“ handelte es sich um Methan aus Verdauungsprozessen und aus dem Wirtschaftsdüngermanagement sowie um Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdünger, Düngung und landwirtschaftlich genutzten Böden in Höhe von insgesamt 67,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und in der Quellgruppe LULUC um CO<sub>2</sub>-Emission aus dem Humusabbau durch landwirtschaftliche Nutzung von Moorböden und Grünlandumbruch in Höhe von gut 37 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Im Rahmen des Projekts „Treibhausgasneutrales Deutschland 2050“ soll in der Quellgruppe Landwirtschaft ein Zielwert von jährlich 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. für Deutschland erreicht werden, was gegenüber dem Jahr 2010 einer Reduktion der landwirtschaftlichen Emissionen um knapp 50 % entspricht. Für die Quellgruppe Landwirtschaft sollen daher die technischen Minderungspotenziale von Maßnahmen untersucht werden, mit deren Hilfe dieses Ziel erreicht werden kann. Darauf aufbauend werden Szenarien für das Jahr 2050 entwickelt, um aufzuzeigen, wie der definierte Zielwert auf unterschiedlichen Wegen erreicht werden kann. Die Emissionen aus der Quellgruppe LULUCF sollen im Jahr 2050 auf Null gesenkt werden. Aufgrund der hohen Bedeutung der Landwirtschaft als Verursacher dieser Emissionen ist diese Quellgruppe mit zu betrachten.

Bei der Bearbeitung der im Folgenden näher beschriebenen Kapitel wird auf Vorarbeiten am Thünen-Institut im Bereich der Agrarsektor- und Agrarhandelsanalyse sowie der Emissionsberichterstattung aufgebaut. Als weitere Methoden werden Literaturrecherchen, Auswertungen von Forschungsergebnissen aus Projekten mit verwandten Fragestellungen, Analyse statistischer Daten und Expertenbefragungen eingesetzt.

---

<sup>2</sup> Kohlendioxid-Äquivalente, berechnet nach dem Globalen Erwärmungspotenzial der verschiedenen Treibhausgase mit CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> (Methan) = 21 und N<sub>2</sub>O (Lachgas) = 310.

In Kapitel 2 wird ein Überblick über den deutschen Agrarsektor und seinen Beitrag zur Nahrungsmittel- und Rohstoffversorgung für das In- und Ausland gegeben. Der deutsche Agrarsektor wird physisch und ökonomisch vollständig beschrieben. Dies dient auch dazu, Ansatzstellen für THG-Minderungsmaßnahmen zu identifizieren. Die Sektorbeschreibung wird durch eine möglichst detaillierte Analyse des Vorleistungseinsatzes in der Landwirtschaft ergänzt, u. a. bezüglich der Bedeutung von Importen (Schwerpunkt Dünge- und Futtermittel). Die Verarbeitung, Handel und Transport sowie der Konsum von Nahrungsmitteln wird bezüglich der Mengen, des Energieverbrauchs und der Entstehung von Abfällen betrachtet. Die Untersuchung des deutschen Ernährungssektors baut auf Versorgungsbilanzen für die wichtigsten Agrarprodukte auf.

Die Landwirtschaft in Deutschland zeichnet sich aufgrund guter Standortbedingungen durch eine hohe Produktivität und hohe Erträge aus. In der Pflanzenproduktion spielen neben dem Anbau von Getreide, insbesondere von Weizen, auch die Kartoffel- und die Rapsproduktion eine im EU- und weltweiten Vergleich wichtige Rolle. Die Tierproduktion ist ebenso ein wichtiger Bestandteil der deutschen Landwirtschaft, auf sie entfallen rund 2/3 der Wertschöpfung der gesamten landwirtschaftlichen Produktion. Tierische Nahrungsmittel haben zumeist einen Selbstversorgungsgrad von über 100 % und sind somit wichtige Exportprodukte. Die Bedeutung der Tierproduktion spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass der Fleischverzehr in Deutschland deutlich höher ist als ernährungswissenschaftlich empfohlen wird.

In Kapitel 3 werden die THG-Emissionen der Quellgruppe 4 „Landwirtschaft“ sowie die durch die landwirtschaftliche Flächennutzung verursachten Emissionen in der Quellgruppe 5 „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)“ für das Jahr 2010 dargestellt. Ergänzend werden Emissionsdaten für die vor- und nachgelagerten Sektoren der Landwirtschaft zusammengetragen. Zwischen 1990 und 2010 haben sich die THG-Emissionen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O in der Quellgruppe Landwirtschaft um 15,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. reduziert (-19 %). Die Emissionsrückgänge sind vor allem auf die Verminderung der Tierbestände und der N-Mineraldüngung zurückzuführen.

In der Quellgruppe LULUCF werden in erster Linie Emissionen berichtet, die aus dem Auf- und Abbau von Kohlenstoffspeichern entstehen. Fast die gesamten Emissionen in dieser Quellgruppe fallen als CO<sub>2</sub> an. Eine große Bedeutung haben Emissionen, die aufgrund von Landnutzung und Landnutzungsänderung auf organischen Böden (Moorböden) entstehen. Die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren als Acker- und Grünland verursachte im Jahr 2010 Emissionen in Höhe von 36,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Weiterhin werden in der Quellgruppe 4 „Landwirtschaft“ N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Zersetzung landwirtschaftlich genutzter Moore in Höhe von 4,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. berichtet.

Die Höhe der THG-Emissionen aus den vor- und nachgelagerten Bereichen der Landwirtschaft können nicht aus der auf Quellgruppen bezogenen THG-Emissionsberichterstattung abgeleitet werden. Diese Emissionen werden deshalb anhand anderer Statistiken sowie von in der Literatur dokumentierten Ökobilanzen abgeschätzt. Für die Bereitstellung der Vorleistungen des Agrarsektors sowie durch den direkten Energieverbrauch werden nach diesen Schätzungen knapp 28 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. emittiert. Knapp 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. sind auf die Düngemittelproduktion zurückzu-

führen. Besonders die energieintensive Herstellung von Stickstoffdüngern verursacht hohe Emissionen. Auf den direkten Energieverbrauch im Agrarsektor einschließlich der Bereitstellung von Strom sind Emissionen in Höhe von ca. 9,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zurückzuführen. Eine weitere, wichtige Vorleistung sind die Futtermittel. Inländisch erzeugte Futtermittel wurden bei der Betrachtung ausgeklammert, da die bei ihrer Produktion verursachten Emissionen bereits in der Quellgruppe 4 erfasst sind. Die Importe von Ölsaaten werden anhand von Ökobilanzwerten für Sojabohnen und Sojaschrot berücksichtigt. Insgesamt gehen in Deutschland ohne Anrechnung von THG-Emissionen aus Landnutzungsänderungen ca. 3,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf die Verwendung von Sojakuhen als Futtermittel zurück. Emissionen aus Landnutzungsänderungen in den Exportländern sind dabei noch nicht berücksichtigt. Diese können die produktbezogenen Emissionen je nach Art der Zuschreibung massiv erhöhen.

Der Anteil der Treibhausgasemissionen, die in Deutschland durch die menschliche Ernährung verursacht werden, wird auf 16 bis 22 % der gesamten Emissionen geschätzt (GRÜNBERG et al., 2010). Die Lebensmittelproduktion und -bereitstellung verursacht den größten Anteil dieser Emissionen (45 bis 75 %), gefolgt vom Energieverbrauch der Haushalte für die Lagerung und Zubereitung von Nahrungsmitteln sowie der Raumwärme (20 bis 40 %). Auf Verarbeitung und Handel mit Nahrungsmitteln entfällt diesen Schätzungen zufolge nur ein Anteil von 4 bis 14 %.

Im nachgelagerten Ernährungssektor verursacht das produzierende Ernährungsgewerbe mit 9,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. den größten Anteil der THG-Emissionen, gefolgt vom Lebensmitteleinzelhandel mit 3,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., der Gastronomie (1,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) und dem Nahrungsmittelgroßhandel (0,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.). Der Transport von Agrar- und Ernährungsgütern sowie Düngemitteln in Deutschland emittiert ca. 8,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.. Der größte Anteil der statistisch erfassten, inländischen Beförderungsleistung von agrarrelevanten Gütern wird mit einem Anteil von 81 % durch den Straßenverkehr erbracht. 11 % des Transports entfallen auf Binnenschiffe und 8 % auf die Beförderung mit der Bahn.

In Kapitel 4 des vorliegenden Berichts werden Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft in Hinblick auf Minderungspotenziale, Umsetzbarkeit, Kosten und Wirkungen auf andere Bereiche beschrieben und bewertet. Bedeutende Maßnahmen im Agrarbereich sind die „Verbesserung der N-Produktivität der Düngung und Reduzierung von N-Überschüssen“, „Wirtschaftsdünger für die Biogasproduktion“, „Steigerung der Milchleistung und Verringerung der Umtriebsraten in der Milchkuhherde“ und „Ökologischer Landbau als THG-Minderungsmaßnahme“. Weiterhin können direkte THG-Emissionen selbstverständlich auch durch eine Reduktion des landwirtschaftlichen Produktionsumfanges erreicht werden. Ohne entsprechende Anpassungen der Güterverwendung, etwa durch einen reduzierten Konsum tierischer Lebensmittel, führt eine Einschränkung der inländischen Produktion jedoch lediglich zu einer Verlagerung der Produktion ins Ausland. Der Effekt auf die globalen THG-Emissionen kann dann sogar negativ ausfallen.

In Kapitel 5 wird auf Grundlage von zwei Szenarien analysiert, wie das Reduktionsziel in der Quellgruppe Landwirtschaft von 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. durch Umsetzung technischer THG-

Minderungspotenziale erreicht werden kann. Dabei werden auch die Wechselwirkungen mit den Emissionen in anderen Quellgruppen berücksichtigt. In der Quellgruppe LULUCF sollen im Jahr 2050 keine Emissionen entstehen. Es wird angenommen, dass bis zum Jahr 2050 fast 1,5 Mio. Hektar Fläche aufgrund von Moorrestaurierung und neuer Verkehrs- und Siedlungsflächen für die landwirtschaftliche Produktion verloren gehen. Dieser Verlust von Landwirtschaftsfläche bedeutet einen erheblichen Eingriff in die Produktionsgrundlagen des deutschen Agrarsektors. Da nicht alle Moorflächen vollständig restauriert werden können und die Kalkung landwirtschaftlicher Böden zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit notwendig ist, werden in der Quellgruppe LULUCF auch im Jahr 2050 noch Emissionen von über 5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auftreten.

Im Mittelpunkt der Szenarioanalysen steht der deutsche Agrarsektor mit seinen direkten CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen in Quellgruppe 4. Während das erste Szenario (KONV) auf der Fortschreibung des Status Quo aufbaut, wird im zweiten Szenario (ÖKO-20 %) ein Szenario mit 20 % Ökolandbau an der Landwirtschaftsfläche untersucht. Zur Erreichung des THG-Minderungsziels ist in beiden Szenarien ein Abbau der Tierbestände erforderlich.

Auf der Verwendungsseite sind der Nahrungsverbrauch, der Lebensmittelverderb sowie die stoffliche und energetische Nutzung von Agrarrohstoffen und Reststoffen zu betrachten. Für die Bewertung der Szenarien werden einheitliche Annahmen zur Verwendung festgelegt. Der ebenfalls zur Verwendung gehörende Futtermittelseinsatz ist dabei eine Ausnahme, denn er wird durch die Struktur der Produktion im Agrarsektor bestimmt und wird folglich szenariospezifisch abgebildet. Nach den Vorgaben des UBA wird für das Jahr 2050 von einem drastisch reduzierten Fleischkonsum und einem deutlich verringerten Lebensmittelverderb ausgegangen. Es findet keine energetische Nutzung von landwirtschaftlicher Anbaubiomasse mehr statt, während die stoffliche Nutzung landwirtschaftlicher Rohstoffe auf dem heutigen Niveau bestehen bleibt.

In beiden Szenarien wird die maximale THG-Emission in der Quellgruppe Landwirtschaft in Höhe von 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. eingehalten. Da sich die beiden Szenarien in Bezug auf die Höhe der direkten Emissionen nicht unterscheiden, werden Ressourcenansprüche und Emissionen außerhalb des deutschen Agrarsektors in die Bewertung der Szenarien einbezogen. Dadurch soll die Produktions- und Versorgungsleistung der deutschen Landwirtschaft beurteilt und gleichzeitig aufgezeigt werden, ob es zu unerwünschten Verlagerungs- und Verdrängungseffekten in der weltweiten Flächennutzung, Agrarproduktion und Nahrungsmittelversorgung kommt (sogenannte „leakage“-Effekte).

Für die Szenarienbewertung werden die kumulierten THG-Emissionen, Energie- und Flächenansprüche der inländischen Agrarproduktion betrachtet, einschließlich der Vorleistungen für die landwirtschaftliche Produktion aus vorgelagerten Sektoren und durch Importe aus dem Ausland. Die mit Agrargüterexporten aus der deutschen Landwirtschaft ins Ausland verbundenen, kumulierten Emissionen und Ressourcenansprüche werden dagegen in Abzug gebracht, da Agrarexporte zur Vermeidung von Ressourcenansprüchen und Emissionen außerhalb Deutschlands beitragen.

Die Szenarioanalysen zeigen, dass bei Fortschreibung des Status Quo (Szenario KONV) und trotz umfangreicher Flächenentzüge für Moorrestaurierung und neuer Verkehrs- und Siedlungsflächen die Produktionsmengen im deutschen Agrarsektor durch die – vorsichtig geschätzten – Ertragsfortschritte näherungsweise aufrecht erhalten werden können. Durch Klimaschutzmaßnahmen ohne Produktionseinschränkungen ist eine Minderung bis zu einer THG-Emission von ca. 45 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. möglich. Wichtige Maßnahmen sind dabei die konsequente Steigerung der N-Ausnutzung und Verwendung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen mit gasdichter Lagerung der Gärreste. Die Verringerung der Umtriebszeiten in der Milchviehhaltung hat dagegen nur begrenzte Wirkung auf die sektoralen THG-Emissionen.

Weitere THG-Minderungen können nur unter Einschränkung der Produktionsmengen erzielt werden. Bei den Einschränkungen der Produktionskapazitäten stehen die Wiederkäuer aufgrund ihrer hohen THG-Emissionen pro Kopf und pro Produkteinheit im Mittelpunkt. Eine starke Einschränkung des Wiederkäuerbestands steht aber im Konflikt mit dem Ziel der Grünlanderhaltung und -pflege. Eine Abstockung des Tierbestandes führt nicht zu einer vollständigen Emissionsminderung in Höhe der mit der Tierhaltung verbundenen THG-Emissionen. Vielmehr kommt es bei verringerter Nährstoffzufuhr über Wirtschaftsdünger zu einer Substitution durch Mineraldünger oder legume N-Bindung, und die nicht mehr als Futterfläche benötigten Flächen werden weiterhin landwirtschaftlich genutzt. Diese Rückkopplungseffekte vermindern den Beitrag der Tierbestandsabstockung zur THG-Minderung.

Bezüglich der Bilanz der kumulierten THG-Emissionen sowie der Energie- und Flächenansprüche, einschließlich der Vorleistungen und abzüglich der Agrarexporte stellt sich das Szenario mit 20 % ökologischem Landbau im Vergleich zum Szenario KONV deutlich günstigster dar. Durch die Kombination zwischen konventionellem und ökologischem Landbau kommt es offensichtlich zu Synergien, die dazu beitragen, dass die landwirtschaftliche Produktion insgesamt weniger stark eingeschränkt werden muss. Gleichzeitig sind der sektorale N-Mineraldünger- und der Pflanzenschutzinsatz gegenüber dem Szenario mit konventionellem Landbau verringert. Diese Synergie ist vor allem mit der Nutzung des Grünlands als Fläche für die im ökologischen Landbau benötigte legume N-Bindung zu erklären. Auf einem relevanten Teil der Grünlandfläche wird dadurch kein N-Mineraldünger eingesetzt, was die N<sub>2</sub>O-Emissionen senkt und Voraussetzung für eine verstärkte N-Bindung durch Klee ist. Der so gebundene Stickstoff kann im ökologischen Ackerbau eingesetzt werden, so dass weniger Ackerflächen für die N-Bindung durch Klee gras oder andere Leguminosen reserviert werden müssen. Gleichzeitig kann dadurch der Bedarf an importierten Eiweißfuttermitteln in der Rinderhaltung reduziert werden.

Die Darstellung eines dritten Szenarios mit einer Ausdehnung des Ökolandbaus auf 100 % der Landwirtschaftsfläche wurde im Projekt intensiv diskutiert. Die Konstruktion eines solchen Szenarios macht sehr weitgehende und daher angreifbare Annahmen erforderlich, weshalb auf eine quantitative Darstellung und Bewertung verzichtet wird. In einem solchen Szenario würde der Ökolandbau zudem seine ökonomische Basis verlieren, da eine so starke Erhöhung des Angebots ökologisch erzeugter Produkte die mit höheren Preisen verbundene Nachfrage deutlich übersteigen würde.



Eine einfache Übertragung der heute beobachteten Anbauverhältnisse und Erträge im ökologischen Landbau auf die gesamte Landwirtschaft ist unter anderem deshalb nicht möglich, weil vor allem Rinder haltende Betriebe auf ökologischen Landbau umstellen. Etwa die Hälfte der in Deutschland ökologisch bewirtschafteten Fläche ist Grünland, und zusätzlich wird mehr als ein Drittel der Ackerfläche für die Produktion von Grünfutter eingesetzt. Diese Flächen dienen nicht nur der Rinderfütterung, sondern gleichzeitig der Bindung von Luftstickstoff durch Klee und andere Leguminosen. Da kein Stickstoff-Mineraldünger eingesetzt werden darf, ist der Ökolandbau auf diese Stickstoffzufuhr angewiesen. Eine Ausdehnung der Grünfutterproduktion auf der Ackerfläche hätte die Einschränkung anderer Ackerfrüchte zur Folge. Hinzu kommen die im ökologischen Ackerbau im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft geringeren Flächenerträge. Dadurch würde die Produktions- und Versorgungsleistung der deutschen Landwirtschaft stark verringert. Dies ist auch aus Sicht des Klimaschutzes kritisch zu sehen, da es zu „leakage“-Effekten kommen kann (z. B. mehr Produktion im Ausland). Die Beurteilung eines Szenarios mit 100 % Ökolandbau hängt somit nicht nur von den Annahmen, sondern auch von der Betrachtungsweise und den zugrunde gelegten Systemgrenzen ab.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Summary</b>	<b>i</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>vii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise	3
1.3.1 Arbeitspaket 1: Darstellung der gegenwärtigen deutschen landwirtschaftlichen Produktion im internationalen Kontext des Agrar-/ Ernährungssektors	3
1.3.2 Arbeitspaket 2: Ursachen der THG-Emissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft und Minderungsstrategien	4
1.3.3 Arbeitspaket 3: Modellierung von zwei Szenarien für die Quellgruppe Landwirtschaft im Jahr 2050	4
<b>2 Darstellung der gegenwärtigen deutschen landwirtschaftlichen Produktion im internationalen Kontext des Agrar- und Ernährungssektors</b>	<b>7</b>
2.1 Der deutsche Agrarsektor im internationalen Kontext	7
2.2 Verwendung von Agrarprodukten für die menschliche Ernährung in Deutschland	9
2.3 Stoffliche und energetische Nutzung von Agrarprodukten in Deutschland	10
2.3.1 Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen aus landwirtschaftlicher Erzeugung für die energetische Nutzung	10
2.3.2 Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen aus landwirtschaftlicher Erzeugung für die stoffliche Nutzung	12
2.4 Versorgungsbilanzen	14
<b>3 Treibhausgasemissionen aus der deutschen Landwirtschaft</b>	<b>17</b>
3.1 Emissionen aus der Quellgruppe 4 Landwirtschaft	17
3.2 Emissionen aus der Quellgruppe 5 Landnutzung / Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft	19
3.3 Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in den der Landwirtschaft vor- und nachgelagerten Sektoren	23

3.3.1	Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen im vorgelagerten Bereich	23
3.3.2	Exkurs: Virtueller Landhandel	28
3.3.3	Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen im nachgelagerten Bereich	30
3.3.4	Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen beim Transport landwirtschaftlicher Güter und Nahrungsmittel	32
3.4	Gesamtübersicht zu den Treibhausgasemissionen des Agrarsektors und der vor- und nachgelagerten Bereiche	35
<b>4</b>	<b>THG-Minderungsmaßnahmen in der deutschen Landwirtschaft</b>	<b>37</b>
4.1	Verbesserung der N-Produktivität der Düngung und Reduzierung von N-Überschüssen	37
4.2	Wirtschaftsdünger für die Biogasproduktion	39
4.3	Steigerung der Milchleistung und Verringerung der Umtriebsraten in der Milchkuhherde	41
4.4	Ökologischer Landbau als THG-Minderungsmaßnahme	42
4.5	Weitere THG-Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft	46
<b>5</b>	<b>Darstellung von THG-Minderungsszenarien für das Jahr 2050</b>	<b>47</b>
5.1	Beschreibung der Szenarien und zugrunde liegender Annahmen	49
5.1.1	Szenario 1: Fortschreibung des Status Quo plus Klimaschutz	52
5.1.2	Szenario 2: Ausdehnung des ökologischen Landbaus auf 20 % der Landwirtschaftsfläche	53
5.1.3	Überlegungen zu den Wirkungen einer vollständigen Umstellung auf ökologischen Landbau	56
5.2	Ergebnisse	57
5.2.1	THG-Minderungen in der Quellgruppe 4 Landwirtschaft	57
5.2.2	Produktionsumfänge und -mengen	59
5.2.3	Inländische Verwendung der Agrarprodukte und Versorgungsbilanzen	61
5.2.4	Bilanzierung der THG-Emissionen, der Energie- und Flächenansprüche	64
5.3	Fazit zu den Szenarioanalysen	72
<b>6</b>	<b>Diskussion und Schlussfolgerungen</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>79</b>

<b>Anhang 1: Strukturen und Erträge im Ökologischen Landbau</b>	<b>89</b>
Literatur – Anhang 1	94
<b>Anhang 2: Klimaschonende Ernährung und Verzehrempfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE)</b>	<b>97</b>
Literatur – Anhang 2	100
<b>Anhang 3 Reduzierung von Lebensmittelabfällen</b>	<b>103</b>
Literatur – Anhang 3	108

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung A1-1:	Trends der Anteile des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Nutzfläche und am Gesamtumsatz des produzierenden Ernährungsgewerbes	93
Abbildung A3-1:	Anteil wichtiger Lebensmittelgruppen an vermeidbaren und teilweise vermeidbaren Abfällen	105

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Flächen, Produktionsumfänge und Erträge wichtiger landwirtschaftlicher Produkte in Deutschland, der EU und der Welt	8
Tabelle 2.2:	Produktions-, Im- und Exportmengen sowie energetische Verwendung von Pflanzenölen in Deutschland 2007	11
Tabelle 2.3:	Rohstoffmengen zur Ethanolproduktion und produzierte Ethanolmengen in Deutschland im Jahr 2007	12
Tabelle 2.4:	Flächennutzung für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (ohne Holz) im Jahr 2007, aufgeteilt nach Industrie- und Energiepflanzenanbau	13
Tabelle 2.5:	Stoffliche Verwendung von Biomasse aus nachwachsenden Rohstoffen (ohne Holz) in den jeweiligen Anwendungsbereichen im Jahr 2007	14
Tabelle 2.6:	Versorgungsbilanz für Agrargüter im Jahr 2007 (3-Jahresmittel)	15
Tabelle 3.1:	THG-Emissionen in der Quellgruppe 4 Landwirtschaft im Jahr 2010 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	18
Tabelle 3.2:	Entwicklung der THG-Emissionen in der Quellgruppe 4 Landwirtschaft zwischen 1990 und 2010 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	19
Tabelle 3.3:	THG-Emissionen in der Quellgruppe 5 Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft im Jahr 2010 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	21
Tabelle 3.4:	Entwicklung der THG-Emissionen in der Quellgruppe 5 LULUCF zwischen 1990 und 2010 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	22
Tabelle 3.5:	Kumulierter Primärenergieaufwand und kumulierte THG-Emissionen aus der Bereitstellung von Vorleitungen für die Landwirtschaft (Dreijahresmittel 2006-2008)	26
Tabelle 3.6:	Virtueller Landhandel Deutschlands im Mittel der Jahre 2008-2010	29
Tabelle 3.7:	Energieverbrauch und THG-Emissionen des nachgelagerten Ernährungssektors (Dreijahresmittel 2006-2008)	30
Tabelle 3.8:	Energieverbrauch und THG-Emissionen des produzierenden Ernährungsgewerbes (Dreijahresmittel 2006-2008)	32
Tabelle 3.9:	Beförderungsleistung, Primärenergieverbrauch und Emissionen beim Transport in Deutschland aufgeteilt nach Verkehrsträgern	34
Tabelle 3.10:	Zusammenfassung der THG-Emissionen des Agrarsektors und seiner vor- und nachgelagerten Bereiche (Mittelwerte der Jahre 2006-2008)	35

Tabelle 5.1:	Annahmen zu Erträgen und Leistungen (in t je Hektar bzw. Stallplatz) sowie Annahmen zur Beschreibung des ökologischen Landbaus	54
Tabelle 5.2:	Maßnahmen zur THG-Minderung in der Quellgruppe 4 Landwirtschaft in den Szenarien für das Jahr 2050	58
Tabelle 5.3:	THG-Emissionen und N-Überschüsse im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050	59
Tabelle 5.4:	Flächennutzung und Tierhaltung im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050	60
Tabelle 5.5:	Produktionsmengen im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050	61
Tabelle 5.6:	Annahmen zum inländischen Nahrungsverbrauch im Jahr 2050	62
Tabelle 5.7:	Versorgungsbilanzen für die Szenarien im Jahr 2050	63
Tabelle 5.8:	Netto-Im- und -Export in den Szenarien im Jahr 2050	64
Tabelle 5.9:	Schätzwerte für die kumulierten produktbezogene THG-Emissionen, Energie- und Flächenansprüche im Jahr 2007 und Fortschreibung für das Jahr 2050	66
Tabelle 5.10:	Vorleistungseinsatz des deutschen Agrarsektors im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050	68
Tabelle 5.11:	Außenhandels- und Gesamtbilanz der THG-Emissionen des deutschen Agrarsektors im Jahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050	69
Tabelle 5.12:	Direkte und indirekte Energieansprüche des deutschen Agrarsektors einschließlich Außenhandelsbilanz im Jahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050	71
Tabelle 5.13:	Außenhandelsbilanz des „virtuellen Landhandels“ des deutschen Agrarsektors im Jahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050	72
Tabelle A1-1:	Gegenüberstellung der Erträge von vergleichbaren ökologisch und konventionell bewirtschafteten Betrieben des deutschen Testbetriebsnetzes	90
Tabelle A1-2:	Vergleich der Flächenanteile verschiedener Kulturen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft (auf Grundlage von Daten aus dem Jahr 2010)	91
Tabelle A2-1:	Nahrungsverbrauch und –verzehr (2007) sowie Verzehrempfehlungen der DGE und des Vegetarierbund Deutschland (VEBU)	98
Tabelle A3-1:	Lebensmittelabfälle in Deutschland nach Stufen der Wertschöpfungskette	104
Tabelle A3-2:	Lebensmittelabfälle nach Produktgruppen aus Haushalten	107

## Abkürzungsverzeichnis

AMI	Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, Bonn
BHKW	Blockheizkraftwerken
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BÖLW	Bund ökologische Lebensmittelwirtschaft
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO <sub>2</sub> -Äq.	CO <sub>2</sub> -Äquivalent (Globales Erwärmungspotenzial, mit CO <sub>2</sub> = 1, CH <sub>4</sub> = 21, N <sub>2</sub> O = 310)
DGE	Deutschen Gesellschaft für Ernährung
EEA	Europäische Umweltagentur
EEG	Erneuerbare Energien-Gesetz
EU	Europäische Union
FAO	Food and Agriculture Organisation (der Vereinten Nationen)
FAPRI	Food and Agricultural Policy Research Institute
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GVE	Großvieheinheiten
H. v.	Herstellung von
Ha	Hektar
Hrsg.	Herausgeber
HTC	Hydrothermale Carbonisierung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K	Kalium
kg	Kilogramm
LCA	Life Cycle Assessment
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
LF	landwirtschaftlich genutzte Fläche
LKW	Lastkraftwagen
LR	Institut für Ländliche Räume des Thünen-Instituts
LULUCF	Quellgruppe 5 „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (land use, land use change and forestry)
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
Mio.	Million
MRI	Max Rubner Institut
N	Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid (Lachgas)
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NIR	Nationaler Inventarbericht
NRW	Nordrhein-Westfalen
NST	Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik (NST = Nomenclature uniforme de marchandises pour les statistiques de transport)
NVS	Nationale Verzehrsstudie
P	Phosphor
ProBas	Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente
RAUMIS	Regional differenziertes Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland
t	Tonne
tkm	Tonnenkilometer
THG	Treibhausgas(e)
TWh	Terawattstunden
UBA	Umweltbundesamt
VEBU	Vegetarierbund Deutschland
vTI	Thünen-Institut
WWF	World Wide Fund For Nature





## 1 Einleitung

Die Treibhausgasemissionen in Deutschland sollen nach den Zielsetzungen der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 1990 um 80 bis 95 % verringert werden (BMWi und BMU, 2010). Im Projekt „Treibhausgasneutrales Deutschland 2050“ des Umweltbundesamtes werden für alle Treibhausgas-(THG)-Quellen in Deutschland Szenarien erarbeitet, mit denen aufgezeigt werden kann, durch welche Maßnahmen im Jahr 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen in der genannten Größenordnung erreicht werden kann. Der vorliegende Bericht, der auf einem Sachverständigengutachten beruht, das vom Umweltbundesamt beauftragt und am Johann Heinrich von Thünen-Institut erstellt wurde, beinhaltet die Analysen zur Quellgruppe Landwirtschaft.

### 1.1 Problemstellung

In der nach Definition des IPCC abgegrenzten Quellgruppe 4 „Landwirtschaft“ und der Quellgruppe 5 „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (land use, land use change and forestry, LULUCF) entstanden im Jahr 2010 durch Agrarproduktion und landwirtschaftliche Flächennutzung direkte THG-Emissionen in Höhe von ca. 105 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.<sup>3</sup>, dies entspricht 11 % der gesamten THG-Emissionen in Deutschland. In der Quellgruppe „Landwirtschaft“ handelte es sich um Methan aus Verdauungsprozessen und aus dem Wirtschaftsdüngermanagement sowie um Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdünger, Düngung und landwirtschaftlich genutzten Böden in Höhe von insgesamt 67,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. CO<sub>2</sub>-Emission aus dem Humusabbau durch landwirtschaftliche Nutzung von Moorböden und Grünlandumbruch verursachen in der Quellgruppe LULUC Emissionen in Höhe von insgesamt gut 37 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Weitere direkte Emissionen stammen aus dem landwirtschaftlichen Energieverbrauch, diese werden aber in der Quellgruppe 1 „Energie“ verbucht. Hinzu kommen indirekte Emissionen aus der Bereitstellung außerlandwirtschaftlicher Vorleistungen wie Mineraldünger, Gebäude, Anlagen, Maschinen und Strom, sowie importierte Futtermittel.

Durch die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien und Maßnahmen zur Energieeinsparung werden die THG-Emissionen in anderen Sektoren künftig stark gesenkt. Die nicht auf den Energieverbrauch zurückgehenden, direkten Emissionen aus der Landwirtschaft und der landwirtschaftlichen Flächennutzung werden von dieser Entwicklung nicht erfasst und müssen durch andere, zusätzliche Maßnahmen reduziert werden. Da sich die THG-Emissionen aus landwirtschaftlichen Produktionsprozessen nicht vollständig vermeiden lassen, wird der Anteil der Landwirtschaft an den gesamten THG-Emissionen in Deutschland voraussichtlich auch bei Umsetzung zusätzlicher Klimaschutzmaßnahmen künftig steigen.

---

<sup>3</sup> Kohlendioxid-Äquivalente, berechnet nach dem Globalen Erwärmungspotenzial der verschiedenen Treibhausgase mit CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> (Methan) = 21 und N<sub>2</sub>O (Lachgas) = 310.

Während für den Umbau der Energieversorgung in Deutschland mit dem Ziel einer weitgehenden Minderung von Treibhausgasemissionen verschiedene, umfassende Szenarioanalysen für das Jahr 2050 vorliegen (vgl. z. B. UBA (Hrsg.), 2010; BARZANTNY et al., 2009; NITSCH und WENZEL, 2009; ÖKOINSTITUT E.V. und PROGNOSES, 2009), gibt es für den deutschen Agrarsektor bisher kaum vergleichbare, langfristig ausgerichtete Analysen. Einzig die Studie von ÖKOINSTITUT E.V. und PROGNOSES (2009) enthält einen stärker ausgearbeiteten Teil zu Landwirtschaft und Flächennutzung, auf dem aufgebaut werden kann.

## 1.2 Zielsetzung

Im Rahmen des Projekts „Treibhausgasneutrales Deutschland 2050“ soll in der Quellgruppe Landwirtschaft ein Zielwert von jährlich 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. für Deutschland erreicht werden, was gegenüber dem Jahr 2010 einer Reduktion der landwirtschaftlichen Emissionen um knapp 50 % entspricht. Auf Emissionen der Quellgruppe Landwirtschaft werden im Jahr 2050 etwa die Hälfte der verbleibenden Gesamtemissionen entfallen. Weitere Vorgaben sind, dass Anbaubiomasse nicht mehr für energetische Zwecke genutzt wird, sondern auf dem heutigen Produktionsniveau der stofflichen Nutzung in 2050 erzeugt wird. Die Emissionen aus der Quellgruppe LULUCF sollen im Jahr 2050 auf Null gesenkt werden. Aufgrund der hohen Bedeutung der Landwirtschaft als Verursacher dieser Emissionen ist diese Quellgruppe mit zu betrachten.

Im vorliegenden Vorhaben sollen technische Minderungspotenziale für die Quellgruppe Landwirtschaft untersucht werden, mit deren Hilfe dieses Ziel erreicht werden kann. Darauf aufbauend werden Szenarien für das Jahr 2050 entwickelt, um aufzuzeigen, wie der definierte Zielwert auf unterschiedlichen Wegen erreicht werden kann. Eine ökonomisch optimierte Modellierung, Vorschläge für umweltpolitische Instrumente zur Umsetzung der Maßnahmen sowie eine Darstellung des Transformationspfades für die Landwirtschaft bis 2050 sind nicht Teil des Vorhabens.

Eine Umstellung der deutschen Agrarproduktion im Rahmen einer Klimaschutzstrategie ist aufgrund der Veränderung des Vorleistungseinsatzes, der Flächennutzung und der Bereitstellung von Nahrungsmitteln mit komplexen Wechselwirkungen auf nationaler und internationaler Ebene verbunden, die bei der Bewertung von Klimaschutzszenarien zu berücksichtigen sind. Dabei sind die Wechselwirkungen mit THG-Emissionen anderer Quellgruppen (z. B. Energie) ebenso zu betrachten wie die Flächeninanspruchnahme und der Energie- und Ressourcenverbrauch der Landwirtschaft. Bei der Auswahl und Bewertung von THG-Minderungsmaßnahmen im Agrar- und Ernährungssektor sind mögliche Synergien und Konflikte zu anderen Politikzielen zu berücksichtigen. Zu nennen sind Gewässer-, Boden-, Biodiversitäts-, Natur- und Landschaftsschutz, Tierschutz und Tiergesundheit, gesunde Ernährung und Kostenreduktionen im Gesundheitswesen, vertretbare Kosten für die Ernährung, Ernährungssicherung sowie Anpassung an den Klimawandel im Bereich der Landwirtschaft.

## 1.3 Vorgehensweise

Bei der Bearbeitung der im Folgenden näher beschriebenen Arbeitspakete wird auf Vorarbeiten am Thünen-Institut im Bereich der Agrarsektor- und Agrarhandelsanalyse sowie der Emissionsberichterstattung aufgebaut. Als weitere Methoden werden Literaturrecherchen, Auswertungen von Forschungsergebnissen aus Projekten mit verwandten Fragestellungen, Analyse statistischer Daten und Expertenbefragungen eingesetzt.

### 1.3.1 Arbeitspaket 1: Darstellung der gegenwärtigen deutschen landwirtschaftlichen Produktion im internationalen Kontext des Agrar-/Ernährungssektors

In Kapitel 2 wird ein Überblick über den deutschen Agrarsektor und seinen Beitrag zur Nahrungsmittel- und Rohstoffversorgung für das In- und Ausland gegeben. Die Beschreibung des Agrarsektors dient auch dazu, Ansatzstellen für THG-Minderungsmaßnahmen zu identifizieren. Die Zusammenstellung erfolgt auf Basis sektoraler Daten aus dem agrarökonomischen Agrarsektormodell RAUMIS und aus den Arbeiten des Thünen-Instituts zum Berichtsmodul „Landwirtschaft und Umwelt“ der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) des Statistischen Bundesamts. In beiden Ansätzen wird der deutsche Agrarsektor physisch und ökonomisch vollständig beschrieben. RAUMIS ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der Produktion, des Vorleistungseinsatzes einschließlich intralandschaftlicher Verwendungen (Jungtiere, Futtermittel, wirtschaftseigene Düngemittel) und der Wertschöpfung. Der auf Daten des Modells RAUMIS aufbauende UGR-Ansatz beinhaltet eine Input-Output-Analyse zur Ermittlung der direkten und indirekten Ressourcenansprüche und Emissionsbelastungen der landwirtschaftlichen Produktionsaktivitäten und Endprodukte. Diese Sektorbeschreibung wird durch eine möglichst detaillierte Analyse des Vorleistungseinsatzes in der Landwirtschaft ergänzt, u. a. bezüglich der Bedeutung von Importen (Schwerpunkt Dünge- und Futtermittel).

Die Betrachtung des deutschen Ernährungssektors baut auf Versorgungsbilanzen für die wichtigsten Agrarprodukte auf. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, welcher Anteil der deutschen Agrarproduktion zur Versorgung im Inland verwendet wird, welcher Anteil exportiert wird und welche Bedeutung importierte Nahrungs- und Futtermittel haben. Die Verarbeitung, Handel und Transport sowie der Verbrauch von Nahrungsmitteln wird bezüglich der Mengen, des Energieverbrauchs und der Entstehung von Abfällen betrachtet. Dies erfolgt auf Basis einer Literaturanalyse und statistischer Daten.

### 1.3.2 Arbeitspaket 2: Ursachen der THG-Emissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft und Minderungsstrategien

Auf Basis des Nationalen Inventarberichts 2012 für das Jahr 2010 (UMWELTBUNDESAMT, 2012) werden in Kapitel 3 die THG-Quellen aus der deutschen Landwirtschaft beschrieben, und zwar für die Quellgruppen Landwirtschaft und landwirtschaftliche Landnutzung / Landnutzungsänderung (LULUC). Ergänzend werden Emissionen in anderen Quellgruppen und außerhalb von Deutschland betrachtet, die in den vorgelagerten Sektoren der Landwirtschaft durch die Bereitstellung von landwirtschaftlichen Vorleistungen entstehen. Entsprechend werden die nachgelagerten Sektoren Lebensmittelverarbeitung, Handel, Transport und die Abfallwirtschaft behandelt. Die Emissionen aus den vor- und nachgelagerten Sektoren werden in den Quellgruppen 1 „Energie“, 2 „Industrieprozesse“ sowie 6 „Abfall“ berichtet. Das Thema Abfälle wird in Bezug auf den Nahrungsmittelverderb betrachtet. Auswirkungen von Nahrungsmittelabfällen auf die Emissionen in der Quellgruppe 6 werden in diesem Bericht nicht untersucht. Die durch die Vorleistungsbereitstellung und den nachgelagerten Ernährungssektor verursachten THG-Emissionen sind in den meisten Fällen nicht einzeln im Inventarbericht ausgewiesen, zudem spielen bei den Vorleistungen Importe eine wichtige Rolle. Deshalb werden ergänzend Werte aus der Literatur und anderen Datenquellen herangezogen.

Aufbauend auf die Analyse der THG-Emissionen werden in Kapitel 4 THG-Minderungsmaßnahmen für die beiden Quellgruppen Landwirtschaft und LULUC in Hinblick auf Minderungspotenziale, Umsetzbarkeit, Kosten und Wirkungen auf andere Bereiche beschrieben und bewertet. Besondere Beachtung verdient dabei die Frage, ob es bei Umsetzung der Maßnahmen zu unerwünschten Erhöhungen der THG-Emissionen kommen kann, z. B. in anderen Sektoren oder außerhalb von Deutschland. Weiterhin sind Wirkungen auf andere politische Ziele zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 1.2).

Außerhalb der im Mittelpunkt stehenden Quellgruppen werden die Zusammensetzung des Nahrungsmittelkonsums und Möglichkeiten zur Vermeidung von Abfällen in Hinblick auf künftige Anpassungsmöglichkeiten und die Wirkungen auf THG-Emissionen im Agrar- und Ernährungssektor analysiert. Weitere Maßnahmen im Ernährungssektor mit Auswirkungen in den Bereichen verarbeitendes Gewerbe, Transport, Haushalte und Abfallwirtschaft, wie z. B. Energieeinsparung, sind nicht Gegenstand dieses Berichts.

### 1.3.3 Arbeitspaket 3: Modellierung von zwei Szenarien für die Quellgruppe Landwirtschaft im Jahr 2050

Zur Abschätzung, wie das Reduktionsziel in der Quellgruppe Landwirtschaft von 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erreicht werden kann, werden Szenarien definiert und hinsichtlich ihrer technischen THG-Minderungspotenziale berechnet. Dabei sind auch die Wechselwirkungen mit den Emissionen in anderen Quellgruppen zu berücksichtigen. In der Quellgruppe Landnutzung, Landnutzungsände-

rung und Forstwirtschaft sollen im Jahr 2050 keine Emissionen entstehen. Während das erste Szenario auf der Fortschreibung des Status Quo aufbauen soll, wird im zweiten Szenario eine Umstellung auf den ökologischen Landbau auf 20 % der Landwirtschaftsfläche betrachtet. Zur Zielerreichung und zur Sicherstellung der in Abschnitt 1.2 genannten anderen Politikziele ist der Rückgang der Tierproduktion Bestandteil beider Szenarien.

Die Szenarioanalyse umfasst auch die Auswirkungen auf andere Bereiche, darunter die Flächen- nutzung, den Vorleistungseinsatz, die Versorgungsbilanzen und den Konsum von Nahrungsmit- teln, und Wirkungen auf andere, politische Ziele. Für die quantitative Bewertung der Szenarien werden kumulierte THG-Emissionen, Energie- und Flächenansprüche der inländischen Agrarpro- duktion ermittelt, einschließlich der Vorleistungen für die landwirtschaftliche Produktion aus vor- gelagerten Sektoren und aus (Netto-)Importen aus dem Ausland. Die kumulierten Emissionen und Ressourcenansprüche der (Netto-)Exporte von Agrargütern werden in Abzug gebracht, da sie dazu beitragen, dass außerhalb von Deutschland weniger produktionsbedingte THG-Emissionen entstehen. „Kumuliert“ bedeutet am Beispiel der Flächenansprüche, dass nicht nur der direkte Flächenbedarf berechnet wird (z. B. für Weizen), sondern auch die Flächenansprüche zur Bereit- stellung weiterverarbeiteter Produkte (Sojaschrot) oder die Flächenansprüche zur Produktion tierischer Produkte (z. B. Milch) unter Berücksichtigung der eingesetzten Futtermittel. Szenario- annahmen und Wechselwirkungen werden mit den Arbeiten für andere Quellgruppen innerhalb des Gesamtprojekts „Treibhausgasneutrales Deutschland 2050“ abgestimmt. Abschließend wer- den die Umsetzbarkeit der Szenarien in einer offenen Marktwirtschaft und mögliche, indirekte Wirkungen auf andere Regionen der Welt diskutiert, z. B. bezüglich indirekter Landnutzungsände- rungen und der Nahrungsmittelversorgung.



## 2 Darstellung der gegenwärtigen deutschen landwirtschaftlichen Produktion im internationalen Kontext des Agrar- und Ernährungssektors

Im Folgenden wird die deutsche Agrarproduktion im internationalen Kontext des Agrar- und Ernährungssektors dargestellt. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Produktionsbedingungen und -mengen der wichtigsten Agrarprodukte in Deutschland, die im Vergleich zu der EU und der Welt abgebildet werden. Der Großteil der Agrarproduktion ist für die menschliche Ernährung bestimmt. Jedoch spielen auch die energetische und stoffliche Nutzung von Agrarprodukten eine bedeutende Rolle. Die verschiedenen Nutzungen werden einzeln dargestellt und abschließend anhand der Versorgungsbilanz für Agrarprodukte in Deutschland gegenübergestellt. Die Datenanalyse erfolgt soweit möglich auf Basis von dreijährigen Mittelwerten. Da für spätere Jahre z. T. noch keine oder nur vorläufige Daten vorliegen, wurde das Jahr 2007 als Referenzzeitpunkt gewählt (Mittelwert von 2006, 2007 und 2008).

### 2.1 Der deutsche Agrarsektor im internationalen Kontext

Die Landwirtschaft in Deutschland zeichnet sich aufgrund guter Standortbedingungen durch eine hohe Produktivität und hohe Erträge aus. Rund 50 % der deutschen Landfläche werden für die landwirtschaftliche Produktion genutzt. Die natürlichen Bedingungen sind vielfältig und bestimmen die unterschiedlichen Produktionsbedingungen sowie die Verteilung der Produktionsstandorte in Deutschland. Gute Produktionsstandorte liegen z. B. im Norddeutschen Tiefland, den Lössgebieten der Börden und einigen ackerbaulich genutzten Gäugebieten in Süddeutschland. Die klimatischen Bedingungen erlauben fast flächendeckend einen Regenfeldbau, die gemäßigte Klimazone mit starken saisonalen Temperaturschwankungen beschränkt die Produktion jedoch. In der Ackernutzung spielt der Getreideanbau die wichtigste Rolle. Die Tierproduktion ist von hoher Bedeutung für die deutsche Landwirtschaft und beläuft sich auf etwa 2/3 der Wertschöpfung der gesamten landwirtschaftlichen Produktion. In der Rinderhaltung gingen die seit etwa 20 Jahren kontinuierlich sinkenden Tierzahlen mit steigender Produktivität einher, z. B. zunehmender Milchleistung je Kuh und Jahr (HUBER, 2000).

Weizen ist das wichtigste Exportprodukt Deutschlands, gefolgt von Schweinefleisch, Milch und sonstigen Getreidearten. Wichtige Importprodukte sind Soja, Kakao, Kaffee, Palmöl und sonstige Ölsaaten (VON WITZKE et al., 2011). Diese Kulturen wachsen vorwiegend in tropischen und subtropischen Klimazonen. EU-weit sind die gleichen Import- und Exportprodukte von Bedeutung. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die Agrarproduktion in Deutschland, der EU und der Welt. Die Flächen- und Produktionsumfänge wichtiger Agrarprodukte in Deutschland sind dargestellt und werden mit der EU und der restlichen Welt verglichen.



**Tabelle 2.1:** Flächen, Produktionsumfänge und Erträge wichtiger landwirtschaftlicher Produkte in Deutschland, der EU und der Welt

2007 (3-Jahresmittel)			Deutsch-land	EU	Welt	Anteil Deutschland	
						an EU	an Welt
Bevölkerung	Einwohner	in 1.000	82.509	495.064	6.661.733	17%	1%
Landfläche	Fläche	1.000 ha	34.867	418.122	13.004.612	8%	0%
Landwirtschaftliche Fläche	Fläche	1.000 ha	16.939	189.414	4.898.507	9%	0%
Öko Landbau	Fläche	1.000 ha	800	6.111	30.713	13%	3%
Ackerfläche	Fläche	1.000 ha	11.892	109.000	1.376.535	11%	1%
Dauerkulturen	Fläche	1.000 ha	199	12.206	148.138	2%	0%
Dauergrünland und -weide	Fläche	1.000 ha	4.849	68.208	3.373.834	7%	0%
Getreide insg.	Flächen	1.000 ha	6.771	58.397	695.782	12%	1%
	Produktion	1.000 t	44.737	282.576	2.372.007	16%	2%
	Ertrag	dt/ha	66	48	34	137%	194%
Weizen	Flächen	1.000 ha	3.107	25.417	217.110	12%	1%
	Produktion	1.000 t	23.082	132.447	632.907	17%	4%
	Ertrag	dt/ha	74	52	29	143%	255%
Kartoffeln	Flächen	1.000 ha	270	2.209	18.417	12%	1%
	Produktion	1.000 t	11.014	60.772	318.618	18%	3%
	Ertrag	dt/ha	409	275	173	148%	236%
Raps	Flächen	1.000 ha	1.449	6.021	29.299	24%	5%
	Produktion	1.000 t	5.271	17.821	52.395	30%	10%
	Ertrag	dt/ha	36	30	18	123%	204%
Hülsenfrüchte	Flächen	1.000 ha	112	1.373	73.122	8%	0%
	Produktion	1.000 t	320	3.323	61.387	10%	1%
	Ertrag	dt/ha	28	24	8	116%	338%
Gemüse	Flächen	1.000 ha	114	2.533	52.500	5%	0%
	Produktion	1.000 t	3.535	65.217	960.427	5%	0%
	Ertrag	dt/ha	310	258	183	120%	169%
Obst	Flächen	1.000 ha	175	6.243	54.230	3%	0%
	Produktion	1.000 t	2.806	62.136	566.197	5%	0%
	Ertrag	dt/ha	161	100	104	161%	154%
Nutztiere insg.		1.000 Tiere	168.342	1.763.584	24.043.989	10%	1%
	Bestand	1.000 GVE	17.056	129.374	1.975.348	13%	1%
Vieh-dichte		GVE/ha LF	1	1	0	147%	250%
Fleisch insg.	Produktion	1.000 t	7.387	43.269	273.972	17%	3%
Schweine		1.000 Tiere	26.778	159.476	925.952	17%	3%
	Bestand	1.000 GVE	3.481	20.732	120.374	17%	3%
	Produktion	1.000 t	4.923	22.381	101.601	22%	5%
	Ertrag	kg/Tier	93	88	79	107%	117%
Rinder	Bestand	1.000 Tiere	12.801	90.970	1.579.743	14%	1%
	Produktion	1.000 t	1.193	8.113	65.276	15%	2%
	Ertrag	kg/Tier	316	279	205	113%	154%
Geflügel		1.000 Tiere	126.071	1.392.105	19.568.725	9%	1%
	Bestand	1.000 GVE	504	5.568	78.275	9%	1%
	Produktion	1.000 t	1.130	10.806	87.810	10%	1%
	Ertrag	kg/Tier	2	2	2	98%	106%
Milch	Produktion	1.000 t	28.386	153.339	681.216	19%	4%
	Ertrag	kg/Tier	6.877	6.034	2.302	114%	299%

Quelle: FAO (2012b).

In der Pflanzenproduktion spielen neben dem Anbau von Getreide, insbesondere von Weizen, auch die Kartoffel- und die Rapsproduktion eine im EU- und weltweiten Vergleich wichtige Rolle. Der Anteil der Rapsproduktion an der EU- und Weltproduktion ist dabei besonders bedeutend. Bei hohen Erträgen macht die Produktion 30 % der Rapserzeugung in der EU und 10 % der am Weltmarkt gehandelten Menge aus. Dieser hohe Anteil steht in Zusammenhang mit den hohen Ertragszuwächsen in den letzten zwei Jahrzehnten und mit der Erhöhung der Nachfrage nach Rapsöl durch die Biodieselproduktion. Die deutsche Gemüse- und Obstproduktion beträgt jeweils 5 % der EU Erzeugung. Dies ist auf die Begrenzung der Produktion durch klimatische Bedingungen zurückzuführen. Südeuropäische Länder wie Spanien und Italien besitzen bessere Standortbedingungen und können zudem eine höhere Vielfalt an Obst- und Gemüsesorten produzieren. Die Erträge von pflanzlichen Erzeugnissen liegen über dem Durchschnitt der EU und der restlichen Welt. Auch die Erträge tierischer Produkte liegen über dem EU- und Weltniveau, mit Ausnahme von Geflügelfleisch, das ungefähr auf dem der EU und der Welt liegt. Die Tierbesatzdichte von Nutztieren ist mit 1,0 Großvieheinheiten (GVE) pro ha landwirtschaftliche Fläche (LF) höher als in der EU (0,7 GVE/ha LF) und der Welt (0,4 GVE/ha LF). Die Milchleistung liegt in Deutschland dreimal höher als der weltweite Durchschnitt.

## 2.2 Verwendung von Agrarprodukten für die menschliche Ernährung in Deutschland

Der Großteil der produzierten Agrarprodukte ist für die menschliche Ernährung bestimmt. Um eine vielseitige und ausgewogene Ernährung der Bevölkerung zu gewährleisten, sind neben im Inland erzeugten Produkten auch Importe aus dem Ausland von Bedeutung (vgl. Kapitel 2.4).

Das Ernährungsverhalten der Bevölkerung in Deutschland wird durch viele Faktoren bestimmt. Die zunehmende Nahrungsvielfalt, veränderte und vielfältige Lebensstile und gesellschaftliche Strukturen sowie der vermehrte Verzehr von Fertigprodukten und Außer-Haus-Verpflegung haben die Nahrungszusammensetzung verändert (MEYER und SAUTER, 2002).

Der pro-Kopf-Verbrauch der verschiedenen Nahrungsmittel gibt Auskunft über die Ernährungsgewohnheiten und Trends in Deutschland. Seit 1950 ist besonders der starke Rückgang des Kartoffelkonsums von 186 kg in 1950 auf 57,8 kg im Jahr 2010 auffallend, während Getreideerzeugnisse nach einem starken Einbruch wieder an Bedeutung gewinnen. Der Obst- und Gemüseverbrauch ist seit 1950 mit starken Schwankungen insgesamt gewachsen, erreicht jedoch im Falle von Gemüse noch immer nicht die Empfehlungen der DGE. Der Fleischkonsum hat sich seit 1950 ungefähr verdoppelt, wobei Schweinefleisch stark an Bedeutung gewonnen hat. Auch die vermehrte Nachfrage nach Geflügelfleisch scheint sich weiter fortzusetzen und nähert sich 20 kg pro Kopf. In den letzten Jahren ist der Konsum von Fleisch weniger stark gewachsen und nahezu stagnierend. Der Verbrauch von Frischmilcherzeugnissen geht zurück, jedoch werden vermehrt verarbeitete Milchprodukte wie Käse, Joghurt und Sahneprodukte konsumiert. Darüber hinaus bleibt zu erwähnen, dass der Verbrauch von Hülsenfrüchten, der bereits im Jahr 1950 mit 1,7 kg

pro Kopf und Jahr auf niedrigem Niveau lag, weiter zurückgeht. Im Jahr 2010 wurden nur noch 0,5 kg/Kopf nachgefragt (BMELV, 2011).

Der Verbrauch von Nahrungsmitteln besagt, welche Menge für den menschlichen Verzehr zur Verfügung steht. Der tatsächliche Verzehr liegt jedoch deutlich darunter, da Abfälle und Verluste, die durch die Verarbeitung, Lagerung und Zubereitung entstehen, sowie die industrielle Verwendung nicht mehr berücksichtigt werden. Insbesondere bei leicht verderblichen Produkten wie Fleisch- und Wurstwaren, Backwaren, Milchprodukten, frischem Obst und Gemüse treten große Unterschiede zwischen Nahrungsmittelverbrauch und –verzehr auf, da diese Produkte durch eingeschränkte Lagerfähigkeit größere Verlustraten aufweisen (siehe Anhang 3 zu Lebensmittelabfällen).

Der derzeitige, durchschnittliche Verzehr der deutschen Bevölkerung weicht bei einigen Lebensmittelgruppen stark von der ernährungswissenschaftlichen Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) ab (siehe Anhang 2 zu Ernährung). Diese empfiehlt einen hohen Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln mit geringem Verarbeitungsgrad, eine hohe Zufuhr von Ballaststoffen aus Getreideprodukten, insbesondere aus Vollkornprodukten, und sekundären Pflanzenstoffen. Die DGE strebt mit ihren Empfehlungen eine ausgewogene und gesunde Ernährungsweise der Bevölkerung an.

## **2.3 Stoffliche und energetische Nutzung von Agrarprodukten in Deutschland**

### **2.3.1 Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen aus landwirtschaftlicher Erzeugung für die energetische Nutzung**

Neben der Nahrungsproduktion stellt der Agrarsektor auch Rohstoffe für die energetische Nutzung zur Verfügung. Da wegen der Endlichkeit fossiler Energieträger und der zunächst angenommenen klimafreundlicheren Bereitstellung im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen werden Biokraftstoffe politisch gefördert. Die EU plant bis 2020 10 % der im Verkehrsbereich benötigten Energie durch erneuerbare Energien zu decken. Hierbei kommen unter anderem Biokraftstoffen in Betracht. Dazu zählen vor allem Biodiesel, Pflanzenöle und Bioethanol. Biogas aus landwirtschaftlich erzeugten Gärsubstraten sowie Rest- und Abfallstoffen wird vor allem für die Stromerzeugung verwendet. Im Jahr 2007 wurden auf etwa 400.000 Hektar landwirtschaftlicher Fläche Gärsubstrate für die Biogaserzeugung angebaut (PETERS et al., 2010, vgl. Tabelle 2.4). Die Flächenansprüche der Biogasproduktion sind in den letzten Jahren weiter angestiegen. Nach Schätzungen der FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2012) lag die Anbaufläche für Gärsubstrate im Jahr 2012 bei über 950.000 Hektar.

Die für die nachfolgende, genauere Betrachtung von Biodiesel, reinen Pflanzenölkraftstoffen und Ethanol verwendeten Daten entstammen einer Stoffstromanalyse des deutschen Biokraftsektors

für das Jahr 2007 (STROHM, 2010). Bis zum Jahr 2010 hat der Biokraftstoffverbrauch in Deutschland aufgrund Veränderungen der Förderpolitik gegenüber 2007 um 25 % abgenommen, wobei der Biodiesel- und Pflanzenölverbrauch zurückgegangen ist und der Ethanolverbrauch zugenommen hat (BMU, 2011).

### Biodiesel und pflanzliche Öle

Im Jahr 2007 wurden in Deutschland 5,37 Mio. t Raps und Sonnenblumen produziert. Zusätzlich wurden 6,75 Mio. t Ölfrüchte importiert (v. a. Raps und Soja) und 0,63 Mio. t exportiert. Insgesamt wurden daraus 3,75 Mio. t Pflanzenöl produziert. 2,96 Mio. t davon waren Rapsöl (siehe Tabelle 2.2). Darüber hinaus wurden 4,6 Mio. t Pflanzenöl importiert und 1,4 Mio. t Pflanzenöl exportiert. Hierbei spielten vor allem Palm- und Rapsöl eine große Rolle. Den größten Anteil an der Inlandsverwendung hatte hier ebenfalls das Rapsöl (3,1 Mio. t). Fast 2/3 wurden dabei für die Biodieselerzeugung genutzt. Leider sind die Daten für die Pflanzenölstatistiken lückenhaft (STROHM, 2010), und Angaben zu Im- und Exporten von Ölsaaten, Pflanzenölen, Ölkuchen und –schroten sind teilweise schwierig nachzuvollziehen.

Die Pflanzenöle können entweder zur Biodieselherstellung direkt als Pflanzenkraftstoff genutzt oder in Blockheizkraftwerken (BHKW) verstromt werden. Raps- und Sojaöl gehen vor allem in die Pflanzenkraftstoffproduktion, während Palmöl überwiegend für die Verstromung genutzt wird. Alle drei Arten, insbesondere aber Rapsöl, werden für die Biodieselerzeugung verwendet. Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2007 2,89 Mio. t Biodiesel produziert und 3,264 Mio. t konsumiert. Da die Biodieselströme schwer erfassbar sind, konnte aus den produzierten und konsumierten Mengen lediglich der Nettoimport (0,37 Mio. t) von Biodiesel bestimmt werden.

**Tabelle 2.2:** Produktions-, Im- und Exportmengen sowie energetische Verwendung von Pflanzenölen in Deutschland 2007

Öle <sup>1)</sup> und Fette	Produktion	Import	Export	Energetische Verwendung	Pflanzenkraftstoff	darunter	
						Biodiesel	Verstromung im BHKW
1.000 t							
Sonnenblumenöl	/	341	80	/	/	/	/
Rapsöl	2.959	1.237	363	3.079	689	2.320	70
Sojaöl	646	483	212	597	83	504	10
Palmöl	0	1.230	219	656		66	590
Palmkernöl	0	290	3	/	/	/	/
Kokosöl	0	314	22	/	/	/	/
Palm + Kokosöl	0	1.840	244	656	/	/	/
Sonstige	/	667	461	/	/	/	/
<b>Summe</b>	<b>3.605</b>	<b>4.562</b>	<b>1.360</b>	<b>4.332</b>	<b>772</b>	<b>2.890</b>	<b>670</b>

1) Angegeben in Rohöl, ohne die importierte Menge an bereits verarbeitetem Biodiesel.

/: Daten entweder nicht vorhanden oder geheim.

Quelle: STROHM (2010), eigene Darstellung.

## Ethanolproduktion

Im Jahr 2007 wurden in Deutschland 0,46 Mio. t Ethanol als Kraftstoff verwendet. Davon stammten 0,31 Mio. t aus eigener Produktion, während 0,15 Mio. t über Nettoimporte gedeckt wurden. Tabelle 2.3 beschreibt die Menge an Rohstoffen, die für die Ethanolproduktion verwendet wurden und die daraus produzierte Menge Ethanol. Den größten Anteil an der Ethanolproduktion hat Weizen mit 57 % an der Gesamtmenge. 0,6 Mio. t Weizen wurden verwendet, um 0,18 Mio. t Ethanol zu erzeugen. 13 % der Gesamtmethanolmenge wurde aus Roggen erzeugt, Hafer/Gerste und Melasse und Rübenstoffe tragen mit jeweils rund 7 % zur Ethanolproduktion bei.

**Tabelle 2.3:** Rohstoffmengen zur Ethanolproduktion und produzierte Ethanolmengen in Deutschland im Jahr 2007

Ethanolproduktion	Inlandsverwendung	Ethanolmengen	
	1.000 t	1.000 t	%
Weizen	603	179	57
Roggen	186	56	13
Hafer/Gerste	89,0	26,3	6,7
Mais	10,0	2,89	0,8
Triticale	42,4	13,5	3,7
Andere nichtmehlige Stoffe	42,0	12,6	3,6
Melasse/Rübenstoffe	77,4	23,6	7,0
<b>Summe</b>		<b>314</b>	<b>100</b>

Quelle: STROHM (2010).

## 2.3.2 Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen aus landwirtschaftlicher Erzeugung für die stoffliche Nutzung

Neben der energetischen Nutzung wird Biomasse aus nachwachsenden Rohstoffen auch zur stofflichen Nutzung verwendet. Dieser Bereich spielt jedoch oft eine untergeordnete Rolle, da sein Wachstum im Vergleich zum Biomasseenergiesektor eher gering ist. Die Daten dieses Kapitels stammen aus PETERS et al. (2010).

In Tabelle 2.4 wird ersichtlich, dass der Energiepflanzenanbau ca. 87 % der Fläche ausmacht, während die stoffliche Nutzung auf nur 13 % der Gesamtanbaufläche für nachwachsende Rohstoffe stattfindet. Beim Industripflanzenanbau wird ein Großteil der Fläche für die Gewinnung von Industriestärke, -zucker und Rapsöl genutzt. Stärke wird in Deutschland vor allem aus Mais, Weizen und Kartoffeln gewonnen (PETERS et al., 2010). Zucker hingegen fast ausschließlich aus Zuckerrüben. Neben Raps werden auch Sonnenblumen und Lein für die technische Ölgewinnung genutzt. Faser-, Heil- und Färberpflanzen nehmen eher eine untergeordnete Stellung bei der Flächennutzung ein.

**Tabelle 2.4:** Flächennutzung für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (ohne Holz) im Jahr 2007, aufgeteilt nach Industrie- und Energiepflanzenanbau

Rohstoff	Fläche	
	1.000 ha	%
<b>Stoffliche Verwendung</b>		
Industriestärke	128	6,3
Industriezucker	22	1,1
technisches Rapsöl	100	4,9
technisches Sonnenblumenöl	8,5	0,4
technisches Leinöl	3,1	0,2
Faserpflanzen	2,0	0,1
Heil- und Färberpflanzen	10,0	0,5
Industriepflanzenanbau insgesamt	274	13,4
<b>Energetische Verwendung</b>		
Raps und Biodiesel/Pflanzenöl	1.120	54,8
Zucker und Stärke für Bioethanol	250	12,2
Pflanzen für Biogas	400	19,6
Sonstige	1,0	0,05
Energiepflanzen insgesamt	1.771	86,6
<b>Gesamt</b>	<b>2.045</b>	

Quelle: PETERS et al. (2010), eigene Darstellung.

Tabelle 2.5 beschreibt die Verwendungsmengen von Rohstoffen aus Biomasse in den jeweiligen stofflichen Anwendungsbereichen. In 2007 wurden 1,5 Mio. t Fette und Öle verwendet und zwar ausschließlich in der chemischen Industrie. Kohlenhydrate in Form von Stärke wurden vor allem zur Herstellung von Papier- und Wellpappenstärke verwendet (626.000 t). Aber auch in der chemischen Industrie wird Stärke unter anderem zur Bioethanolproduktion eingesetzt. Zucker hingegen wurde wiederum ausschließlich in der chemischen Industrie verwendet. 2007 wurden 48.000 t zur Fermentation, 11.000 t in der Kosmetik und Pharmaziebranche und 3.000 t in der Bauchemie und der Produktion von Tensiden genutzt. 40.000 t Zucker wurden für die Gewinnung von Bioethanol zur technischen Nutzung verwendet.

Naturfasern waren vor allem im Automobilbereich, im Textilbereich und zur Produktion von Spezialpapier nötig. Baumwolle hat hierbei mit 71 % den größten Anteil. Von den in Deutschland angebauten Naturfasern spielen vor allem Hanf und Flachs eine Rolle (PETERS et al., 2010). Proteinpflanzen wie Ackerbohne, Eiweißerbse und Lupine hingegen sind für die stoffliche Nutzung von geringer Bedeutung. Proteine, die in der Industrie verwendet werden, fallen hauptsächlich als Koppelprodukte bei der Ölsaatenverarbeitung und der Weizenstärkegewinnung an. Weitere nachwachsende Rohstoffe, die in der Tabelle unter „Sonstige“ zusammengefasst werden, sind z. B. Naturkautschuk, Pflanzenwachse, Gerbstoffe und Harze sowie Glycerin, Kork und Arzneipflanzen (PETERS et al., 2010).

**Tabelle 2.5:** Stoffliche Verwendung von Biomasse aus nachwachsenden Rohstoffen (ohne Holz) in den jeweiligen Anwendungsbereichen im Jahr 2007

Rohstoffgruppe <sup>1)</sup>	Rohstoff	Anwendungsbereich	Stoffliche	<i>davon</i>
			Verwendung	in chemischer Industrie
			1.000 t	1.000 t
<b>Fette und Öle</b>	<b>Fette und Öle</b>		<b>1.450</b>	<b>1.450</b>
<b>Kohlenhydrate</b>	Stärke		934	308
	<i>davon</i>	Papier- und Wellpappestärke	626	0
		Chemie & Fermentation	187	187
		Technisches Bioethanol	121	121
	Zucker		<b>102</b>	<b>102</b>
	<i>davon</i>	Fermentation	48	48
		Pharma & Kosmetik	11	11
		Bauchemie & Tenside	3	3
		Technisches Bioethanol	40	40
	<b>Chemiezellstoff</b>		<b>312</b>	<b>312</b>
	Naturfasern		160	0
	<i>davon</i>	Automobilbereich	64	0
		Textilbereich	38	0
		Spezialpapiere	35	0
		Sonstige	22	0
<b>Sonstige</b>	<b>Sonstige</b>		<b>620</b>	<b>573</b>
	<b>Proteine</b>		<b>53</b>	<b>32</b>
<b>Insgesamt</b>			<b>3.631</b>	<b>2.777</b>

1) Ohne Holz.

Quelle: PETERS et al. (2010) eigene Darstellung.

Ein weiterer, wichtiger nachwachsender Rohstoff ist Holz, der im Gegensatz zu den anderen Rohstoffen zum größeren Teil im stofflichen Bereich Verwendung findet. Das Holz stammt aus der deutschen Forstwirtschaft sowie aus Importen. Die Holzerzeugung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Form von Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit Pappeln, Weiden oder anderen, schnell wachsenden Gehölzen spielt in Deutschland bisher keine Rolle. Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2007 128,1 Mio. m<sup>3</sup> Holz verbraucht. Davon wurden 73,8 Mio. m<sup>3</sup> stofflich und 54,3 Mio. m<sup>3</sup> energetisch genutzt. Ein Großteil des stofflich genutzten Holzes wird in der Sägeindustrie und der Holzwerkstoffindustrie verwendet. Als drittgrößter Abnehmer folgt die Papier- und Zellstoffindustrie, die in 2007 10,6 Mio. m<sup>3</sup> Holz verbraucht hat (PETERS et al., 2010).

## 2.4 Versorgungsbilanzen

Zur Beschreibung des Agrarsektors und als Vorbereitung für die Szenarioerstellung werden Versorgungsbilanzen für die wichtigsten Produkte des Agrarsektors aufgestellt. Die Daten stammen

aus dem Statistischen Jahrbuch für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten (BMELV 2010, sowie andere Jahrgänge). Bezüglich der Nutzung nachwachsender Rohstoffe wird darüber hinaus auf die in Kapitel 2.3 vorgestellten Daten zurückgegriffen. Eine Betrachtung der Vorleistungen des landwirtschaftlichen Sektors erfolgt in Kapitel 3.3.

In Tabelle 2.6 wird für das Jahr 2007 neben den Produktionsumfängen auch die Verwendung dargestellt, differenziert nach menschlicher Ernährung, Futtermitteln sowie stofflicher und energetischer Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Aus den in der Tabelle enthaltenen Zahlen werden auch die Netto-Im- und Exporte und die Selbstversorgungsgrade abgeleitet. Dabei werden Netto-Exporte als positive Werte ausgewiesen, Netto-Importe als negative Werte. Die Ausweisung der Netto-Handelsströme für die abgebildeten Produkte und Produktgruppen dient der Vereinfachung, da die tatsächlichen Brutto-Im- und Exportflüsse eine Bewertung der Ergebnisse erschweren.

**Tabelle 2.6:** Versorgungsbilanz für Agrargüter im Jahr 2007 (3-Jahresmittel)

	Produktion	Nahrungs- verbrauch	Futter- mittel	Nachwachsende Rohstoffe stofflich	energetisch	Netto-Import (-) bzw. -Export (+)	Selbstver- sorgungsgrad
	Mio. t						%
Getreide insgesamt	45,0	9,3	25,4	3,1	1,2	6,0	115
Weizen	23,0	6,8	10,3	0,7	0,6	4,7	126
Roggen	3,0	0,9	1,4	0,0	0,3	0,4	117
Gerste	11,4	0,0	6,9	2,1	0,1	2,2	124
Anderes Getreide	7,6	1,7	6,8	0,3	0,2	-1,4	84
Hülsenfrüchte	0,3	0,0	0,3	k. A.	k. A.	0,0	102
Raps, andere Ölsaaten	5,3	0,1	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Pflanzenöle, Margarine	2,3	1,4	0,0	1,5	4,3	-4,9	32
Ölkuchen	3,0	n. a.	7,9	k. A.	k. A.	-4,8	39
Energiereiche Futtermittel	3,3	n. a.	3,1	n. a.	n. a.	0,2	107
Sonstige Futtermittel	2,5	n. a.	3,7	n. a.	n. a.	-1,2	67
Kartoffeln	11,0	4,9	0,7	1,5	k. A.	3,9	154
Zuckerrüben	23,3	18,2	n. a.	0,6	k. A.	4,5	124
Gemüse	3,2	7,4	n. a.	n. a.	n. a.	-4,2	43
Obst	1,3	10,3	n. a.	n. a.	n. a.	-9,0	13
Weinmost	0,8	k. A.	n. a.	n. a.	n. a.	k. A.	k. A.
Milch	28,1	23,5	k. A.	n. a.	n. a.	4,6	120
Fleisch insgesamt	6,4	7,3	n. a.	n. a.	n. a.	-0,9	87
Rindfleisch	1,1	1,0	n. a.	n. a.	n. a.	0,1	111
Schweinefleisch	4,0	4,5	n. a.	n. a.	n. a.	-0,4	90
Schafffleisch	0,0	0,1	n. a.	n. a.	n. a.	0,0	48
Geflügelfleisch	1,0	1,5	n. a.	n. a.	n. a.	-0,5	65
Eier	0,8	0,8	n. a.	n. a.	n. a.	0,0	100

Quelle: BMELV (2010), PETERS et al. (2010), STROHM (2010).



Der Anteil der Versorgung aus inländischer Erzeugung an der gesamten inländischen Verwendung wird durch den Selbstversorgungsgrad gemessen. Dabei wird die Inlandserzeugung für bestimmte Produkte ins Verhältnis zur Verbrauchsmenge gesetzt. Der Selbstversorgungsgrad gibt somit auch Auskunft über den Importanteil. In Deutschland liegt der Selbstversorgungsgrad für tierische Produkte höher als für pflanzliche. Bei den meisten tierischen Nahrungsmitteln liegt derzeit, mit Ausnahme von Geflügelfleisch und Butter, eine Selbstversorgung vor (BMELV, 2010). Die Produktion von Schweinefleisch wurde seit 2007 weiter ausgedehnt, so dass mittlerweile ein Selbstversorgungsgrad von über 100 % erreicht wurde. Bei den Eiweißfuttermitteln für die Tierproduktion besteht jedoch eine hohe Importabhängigkeit.

Ölsaaten, Fisch sowie Obst und Gemüse weisen einen niedrigen Selbstversorgungsgrad unter 50 % auf, so dass die Nachfrage zum Großteil durch Importe gedeckt wird. Kartoffeln haben den höchsten Selbstversorgungsgrad mit ca. 150 %, gefolgt von Zucker und Weizen mit über 120 %.

### 3 Treibhausgasemissionen aus der deutschen Landwirtschaft

In diesem Kapitel werden die THG-Emissionen der Quellgruppe 4 Landwirtschaft sowie die durch die landwirtschaftliche Flächennutzung verursachten Emissionen in der Quellgruppe 5 LULUCF für das Jahr 2010 dargestellt. Grundlage bildet der Nationale Inventarbericht für das Jahr 2010 (UBA, 2012c). Weitere Inventardaten werden aus der Publikation der Europäischen Umweltagentur (EEA, 2012) und des Thünen-Institut (HAENEL et al., 2012) entnommen. Alle Angaben erfolgen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (vgl. Fußnote in Kapitel 1.1) und für einzelne Berichtsjahre. Ergänzend werden Emissionsdaten und der Energieverbrauch für die vor- und nachgelagerten Sektoren der Landwirtschaft zusammengetragen. In einem Exkurs über den „virtuellen Landhandel“ werden die durch den Handel mit Agrargütern entstehenden Flächenansprüche außerhalb Deutschlands betrachtet. Bezüglich der THG-Emissionen wird soweit wie möglich auf die Emissionsberichterstattung zurückgegriffen. Eine Zuordnung zum Agrar- und Ernährungssektor wird dadurch erschwert, dass für einige Sektoren nur aggregierte Daten vorliegen, die nicht ausreichend differenziert sind. In diesen Fällen müssen andere Datenquellen oder Schätzungen herangezogen werden. Das gleiche gilt für Angaben über Emissionen im Ausland, die bei der Bereitstellung importierter landwirtschaftlicher Vorleistungen entstehen.

#### 3.1 Emissionen aus der Quellgruppe 4 Landwirtschaft

In der Quellgruppe Landwirtschaft entstehen Emissionen in den folgenden Teil-Quellgruppen:

- A. Fermentation: verdauungsbedingte CH<sub>4</sub>-Emissionen, die vor allem bei der Haltung von Wiederkäuern entstehen (Rinder, Schafe, Ziegen),
- B. Düngewirtschaft: CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung,
- D. Landwirtschaftliche Böden: N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Düngung, aus der Umsetzung von Ernterückständen, aus gasförmigen N-Verlusten sowie N-Austrägen ins Grund- und Oberflächenwasser. Hinzu kommen N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Mineralisierung von Moorböden.

In der Quellgruppe entstanden im Jahr 2010 THG-Emissionen in Höhe von insgesamt ca. 67,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (vgl. Tabelle 3.1). Davon stammten 29,9 % als CH<sub>4</sub> aus der Verdauung (20,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.), 8,2 % als CH<sub>4</sub> sowie 3,3 % als N<sub>2</sub>O aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (zusammen 7,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) und 58,5 % als N<sub>2</sub>O aus dem N-Eintrag in Böden (39,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.). Bei den CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Verdauung dominiert die Rinderhaltung mit einem Anteil von 95 %, ebenso im Wirtschaftsdüngermanagement mit 74 % der THG-Emissionen.

Die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden stammen zu 40 % aus der Düngung (inkl. Weidehaltung und legumer N-Bindung, zusammen 15,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.), zu 14 % aus der Umsetzung von Ernterückständen (5,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.), und zu 34 % aus indirekten Emissionen aufgrund von N-Verlusten in Luft und Wasser. N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Mineralisierung von Moorböden betragen weitere 12 % bzw. 4,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq..

**Tabelle 3.1:** THG-Emissionen in der Quellgruppe 4 Landwirtschaft im Jahr 2010 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

	4.A. Verdauung	4.B. Wirtschaftsdünger- management		4.D. Böden	<b>Summe</b>
	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	
in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.					
Rinder	19,19	3,51	1,67		<b>24,37</b>
<i>davon</i>					
Milchkühe	10,90	2,32	0,84		<b>14,06</b>
Andere Rinder	8,29	1,19	0,84		<b>10,32</b>
Büffel	0,00	0,00	0,00		
Schafe	0,35	0,01	0,02		<b>0,38</b>
Ziegen	0,02	0,00	0,00		<b>0,02</b>
Pferde	0,16	0,03	0,06		<b>0,25</b>
Esel/Maultiere	0,00	0,00	0,00		
Schweine	0,55	1,93	0,46		<b>2,95</b>
Geflügel		0,09	0,05		<b>0,14</b>
<i>davon</i>					
Güllesysteme			1,32		<b>1,32</b>
Festmistssysteme			0,95		<b>0,95</b>
Direkte N <sub>2</sub> O-Emissionen				24,76	<b>24,76</b>
<i>davon</i>					
aus Anwendung von Mineraldüngern				9,13	<b>9,13</b>
aus Anwendung von Wirtschaftsdüngern				4,68	<b>4,68</b>
aus Leguminosenanbau				0,47	<b>0,47</b>
aus Ernterückständen				5,51	<b>5,51</b>
aus bewirtschafteten organischen Böden				4,79	<b>4,79</b>
aus der Ausbringung von Klärschlämmen				0,17	<b>0,17</b>
Direkte N <sub>2</sub> O-Emissionen beim Weidegang				1,33	<b>1,33</b>
Indirekte N <sub>2</sub> O-Emissionen				13,27	<b>13,27</b>
<i>davon</i>					
als Folge von Depositionen von reaktivem N				2,21	<b>2,21</b>
als Folge von ausgewaschenem und abgeflossenen N				11,05	<b>11,05</b>
<b>Summe</b>	<b>20,28</b>	<b>5,57</b>	<b>2,27</b>	<b>39,36</b>	<b>67,48</b>

Quelle: HAENEL et al. (2012), UBA (2011), UBA (2012b).

Zwischen 1990 und 2010 haben sich die THG-Emissionen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O in der Quellgruppe Landwirtschaft um 15,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. reduziert (-19 %), bezogen auf das Jahr 2005 haben die THG-Emissionen bis 2010 um 2,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. abgenommen (-3,4 %). Die Entwicklung der Emissionen seit 1990 ist in Tabelle 3.2 wiedergegeben. Die Emissionsrückgänge können in erster Linie auf die Verringerung der Tierbestände und der N-Mineraldüngung zurückgeführt werden. Der Rückgang der THG-Emissionen fiel zwischen 1990 und 1992 infolge des Strukturbruchs in den östlichen Bundesländern nach 1990 besonders hoch aus, die jährlichen Rückgänge erreichten zwischen 1990 und 1992 3,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Nach 1992 bis 2010 lagen die Rückgänge pro Jahr dagegen nur noch bei durchschnittlich 0,36 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Auch nach dem starken Abbau der Tierbestände Anfang der 90er Jahre sind die Rinderbestände aufgrund steigender Milchleistung pro Kuh und der Mengenbegrenzung der Milchproduktionsmenge durch die Quotenregelung kontinuierlich weiter zurückgegangen.

Gegenläufig ist die Entwicklung der Geflügelbestände, die seit 1990 um 13 % gestiegen sind. Der Beitrag dieser Tierkategorie zu den landwirtschaftlichen Emissionen ist allerdings relativ gering (2 % der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Wirtschaftsdüngermanagement).

**Tabelle 3.2:** Entwicklung der THG-Emissionen in der Quellgruppe 4 Landwirtschaft zwischen 1990 und 2010 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

	1990	1995	2000	2005	2010
	in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.				
4. Landwirtschaft	83,21	73,14	73,86	69,85	67,48
A. Fermentation (CH <sub>4</sub> )	26,67	23,37	21,97	20,48	20,28
B. Düngewirtschaft (CH <sub>4</sub> )	6,32	5,83	5,73	5,62	5,57
B. Düngewirtschaft (N <sub>2</sub> O)	2,57	2,35	2,27	2,25	2,27
D. Landwirtschaftliche Böden (N <sub>2</sub> O)	47,64	41,60	43,89	41,50	39,36
	Änderung in Prozent gegenüber 1990				
4. Landwirtschaft		-12	-11	-16	-19
A. Fermentation (CH <sub>4</sub> )		-12	-18	-23	-24
B. Düngewirtschaft (CH <sub>4</sub> )		-8	-9	-11	-12
B. Düngewirtschaft (N <sub>2</sub> O)		-9	-12	-13	-12
D. Landwirtschaftliche Böden (N <sub>2</sub> O)		-13	-8	-13	-17

Quelle: UBA (2011).

Nicht zur Quellgruppe Landwirtschaft gezählt werden direkte Emissionen aus dem landwirtschaftlichen Energieverbrauch (Verbrennung von Treib- und Heizstoffen), die in der Quellgruppe 1 „Energie“ berichtet werden. Im Jahr 2010 wurden für die Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei zusammen 6,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. an direkten Emissionen aus dem Energieverbrauch berechnet.

### 3.2 Emissionen aus der Quellgruppe 5 Landnutzung / Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft

In dieser Quellgruppe werden in erster Linie Emissionen berichtet, die aus dem Auf- und Abbau von Kohlenstoffspeichern entstehen. Die Veränderung dieser Kohlenstoffspeicher erfolgt sowohl unter gleich bleibender Landnutzung, z. B. aufgrund der Torfzersetzung bei landwirtschaftlicher Nutzung von Moorböden, als auch durch Landnutzungsänderung, beispielsweise durch Umwandlung von Grünland in Ackerland. Mit der Zunahme der Kohlenstoffspeicher wird Kohlenstoff eingebunden und damit CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen. Diese Erhöhung der Kohlenstoffspeicher wird in der Emissionsberichterstattung mit negativen Werten dargestellt. Quellen von THG-Emissionen ergeben sich durch eine Abnahme der Kohlenstoffspeicher und werden mit positiven Werten beschrieben.

Die Quellgruppe wird wie folgt in Landnutzungskategorien untergliedert: A. Wälder, B. Ackerland, C. Grünland, D. Feuchtgebiete, E. Siedlungen, F. Sonstiges Land und G. Andere. Unter die Kategorie F. fallen nur Flächen ohne Bewirtschaftung, auf denen keine zu berichtenden Emissionen auftreten, z. B. Fels-, Sand- oder Eisflächen. In der Kategorie B. werden auch die N<sub>2</sub>O-Emissionen berichtet, die bei Landnutzungsänderungen zu Ackerland entstehen. CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Kalkung von Wäldern werden unter der Kategorie G ausgewiesen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen und Senken aufgrund von Landnutzungsänderungen werden in der Emissionsberichterstattung in Änderungsraten über 20 Jahre berechnet, um den langfristigen Auf- und Abbau von Kohlenstoffsinken abzubilden. Es wird also aus Gründen der Vereinfachung davon ausgegangen, dass 20 Jahre nach einer Landnutzungsänderung ein neuer Gleichgewichtszustand erreicht ist.

In Tabelle 3.3 werden die Emissionen in der Quellgruppe 5 LULUCF für das Jahr 2010 dargestellt. Fast die gesamten Emissionen in dieser Quellgruppe fallen als CO<sub>2</sub> an. Die Tabelle enthält alle Flächennutzungskategorien der Emissionsberichterstattung. Dabei wird nach unveränderter Landnutzung (z. B. Wald bleibt Wald), Landnutzungsänderung (z. B. Umwandlung anderer Landnutzungen zu Wald) und sonstigen Emissionen differenziert. Wegen ihrer hohen Bedeutung werden die aufgrund von Landnutzung und Landnutzungsänderung auf organischen Böden (Moorböden) entstehenden Emissionen separat ausgewiesen. Insgesamt wurden in der Quellgruppe LULUCF im Jahr 2010 17,3 Mio. t CO<sub>2</sub> freigesetzt. Dabei kompensiert die Kohlenstofffestlegung im bestehenden Wald und durch Waldetablierung in Höhe von zusammen 25 Mio. t CO<sub>2</sub> einen erheblichen Teil der Emissionen aus den anderen Landnutzungskategorien. Derzeit noch nicht in den Emissionsinventaren berücksichtigt ist die Kohlenstoff-Senkenwirkung der Mineralböden unter Wald.

### **B. Ackerland**

Die Emissionen aus der Landnutzungskategorie B. Ackerland betragen im Jahr 2010 insgesamt ca. 28,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., wobei mit 25,1 Mio. t CO<sub>2</sub> der größte Teil aus ackerbaulich genutzten Mooren stammt. 23,4 Mio. t CO<sub>2</sub> emittierten im Jahr 2010 aus der fortlaufenden Ackernutzung auf Moorböden, 1,7 Mio. t CO<sub>2</sub> wurden nach Umwandlung von anderen Flächennutzungen auf Moorböden in Ackerland freigesetzt. Von der Umwandlung betroffen ist vor allem Grünland. Durch die laufende Ackernutzung auf Mineralböden entstehen der Emissionsberichterstattung zufolge keine Emissionen. Durch Landnutzungsänderungen wurden im Jahr 2010 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Mineralböden nach Umwandlung anderer Flächennutzungen in Ackerland freigesetzt, fast ausnahmslos nach Umwandlung von Grünland in Ackerland auf Mineralböden. Aufgrund der Kalkung landwirtschaftlicher Flächen wurden 1,6 Mio. t CO<sub>2</sub> freigesetzt (in Tabelle 3.3 unter „sonstige“); hinzu kommt die N<sub>2</sub>O-Freisetzung durch Humusverluste aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung zu Acker, die im Jahr 2010 bei 0,19 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. lag.

### **C. Grünland**

Aus der Landnutzungskategorie C. Grünland wurden im Jahr 2010 Emissionen in Höhe von 9 Mio. t CO<sub>2</sub> freigesetzt. Emissionen aus der Grünlandnutzung auf Moorböden lagen bei 11,2 Mio. t CO<sub>2</sub>. Diesen Emissionen stand 2010 die Erhöhung von Kohlenstoffspeichern in Höhe

von 2,2 Mio. t CO<sub>2</sub> gegenüber. Diese entstand vor allem durch Gehölzaufwuchs auf brachgefallenem Ackerland und auf Grünlandflächen.

Die landwirtschaftliche Nutzung von Moorböden als Acker- und Grünland verursachte im Jahr 2010 Emissionen in Höhe von 36,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., hinzu kommen N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Torfzersetzung in Höhe von 4,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., die in der Quellgruppe 4 berichtet werden (vgl. Tabelle 3-1). Insgesamt emittierten 2010 41,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. aus der landwirtschaftlichen Moornutzung, dies entspricht 4,3 % der gesamten deutschen THG-Emissionen einschließlich der Quellgruppe LULUCF.

#### D. Feuchtgebiete

Die Emissionen aus der Kategorie D. Feuchtgebiete lagen im Jahr 2010 bei 2,2 Mio. t CO<sub>2</sub>, davon stammten 2 Mio. t CO<sub>2</sub> aus dem industriellen Torfabbau. Treibhausgasemissionen aus natürlichen oder restaurierten Mooren sind derzeit aufgrund fehlender Methodik noch nicht berücksichtigt.

#### E. Siedlungen

In der Kategorie E. Siedlungen emittierten im Jahr 2010 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub>, darunter 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub> aus organischen und 0,58 Mio. t CO<sub>2</sub> aus mineralischen Böden. Dem stand eine Einbindung von 0,57 Mio. t CO<sub>2</sub> in lebende Biomasse von Gehölzen gegenüber. Nur etwa 0,54 Mio. t CO<sub>2</sub> emittierten im Jahr 2010 aufgrund von Landnutzungsänderungen, vor allem aus der Umwandlung von Grünland. Bei der Umwandlung von Ackerland in Siedlungsfläche wird der Emissionsberichterstattung zufolge dagegen Kohlenstoff festgelegt.

**Tabelle 3.3:** THG-Emissionen in der Quellgruppe 5 Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft im Jahr 2010 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

	Unveränderte Nutzung	Nutzungs- änderung	Sonstige <sup>1)</sup>	darunter Auf organischen Böden	Summe
in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.					
A. Wald	-19,59	-5,47	0,07	0,61	<b>-24,99</b>
B. Ackerland	23,38	3,25	1,82	25,10	<b>28,46</b>
C. Grünland	10,71	-1,66		11,20	<b>9,05</b>
D. Feuchtgebiete	2,01	0,15		2,01	<b>2,16</b>
E. Siedlungen	2,02	0,53		2,50	<b>2,55</b>
G. Sonstige			0,06		<b>0,06</b>
<b>Summe</b>	<b>18,53</b>	<b>-3,19</b>	<b>1,95</b>	<b>41,42</b>	<b>17,28</b>

1) Als sonstige Emissionen sind ausgewiesen: unter A. Wald CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Waldbrand; unter B. Ackerland CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Kalkung von Ackerböden und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Landnutzungsänderungen zu Ackerland auf Mineralböden; unter G. Sonstige CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Kalkung von Wäldern

Quelle: HAENEL et. al. (2012), UBA (2011), UBA (2012b).

In der Zeit zwischen 1990 und 2010 hat sich die Quellgruppe 5 LULUCF von einer Kohlenstoffsенке zu einer THG-Quelle entwickelt. Der Aufbau von Kohlenstoffspeichern im Wald hat sich aufgrund der sich verändernden Altersstruktur der Wälder und der zunehmenden Beerntung hiebreifer Bestände stark verringert. Im Jahr 2010 wurden gut 48 Mio. t CO<sub>2</sub> weniger festgelegt als im Jahr 1990. Die hohe Kohlenstoffspeicherung noch in den 90er Jahren ist auf den Wiederaufbau der Wälder nach einer starken Übernutzung in den 1940er und 1950er Jahren zurückzuführen. Die Emissionen in den anderen Landnutzungskategorien haben sich zusammen bis zum Jahr 2010 nur um 3,37 Mio. t CO<sub>2</sub> verringert und werden nicht mehr vollständig durch den Aufbau von Kohlenstoffspeichern im Wald kompensiert.

Die Emissionen aus dem Ackerland haben sich im Jahr 2010 gegenüber dem Jahr 1990 um 0,49 Mio. t CO<sub>2</sub> oder 2 % verringert. Dabei stand den zunehmenden Emissionen aus der ackerbau-lichen Nutzung von Moorböden und aus der Kalkung ein Rückgang der Emissionen aus dem Bio-masseabbau nach Umwandlung von Wald in Ackerflächen und aus Grünlandumwandlung auf Mineralböden gegenüber. Die Emissionshöhe in der Kategorie Grünland ist im Zeitraum zwischen 1990 und 2010 um 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub> bzw. 22 % zurückgegangen. Dies ist in erster Linie auf eine ver-stärkte Akkumulation lebender und toter Biomasse durch Gehölzaufwuchs auf Grünlandflächen sowie auf einen Rückgang der Umwandlung von Wald in Grünland zurückzuführen. Gegenüber dem Jahr 1990 sind die Emissionen aus Feuchtgebieten bis zum Jahr 2010 um 4 % zurückgegan-gen, die Emissionen in der Kategorie Siedlungen um 7 %.

**Tabelle 3.4:** Entwicklung der THG-Emissionen in der Quellgruppe 5 LULUCF zwischen 1990 und 2010 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

	1990	1995	2000	2005	2010
	in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.				
5. LULUCF	-27,70	-27,20	-26,53	15,80	17,28
A. Wälder	-73,34	-73,62	-73,89	-26,47	-24,99
B. Ackerland	28,96	29,60	30,41	28,64	28,46
C. Grünland	11,56	11,48	11,39	9,11	9,05
D. Feuchtgebiete	2,25	2,42	2,64	2,44	2,16
E. Siedlungen	2,75	2,77	2,80	2,00	2,55
G. Andere	0,12	0,15	0,12	0,07	0,06
	Änderung in Prozent gegenüber 1990				
5. LULUCF		2	4	157	162
A. Wälder		0	-1	64	66
B. Ackerland		2	5	-1	-2
C. Grünland		-1	-1	-21	-22
D. Feuchtgebiete		8	17	8	-4
E. Siedlungen		1	2	-27	-7
G. Andere		25	3	-40	-50

Quelle: UBA (2011).

### 3.3 Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in den der Landwirtschaft vor- und nachgelagerten Sektoren

#### 3.3.1 Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen im vorgelagerten Bereich

Bei der Betrachtung der THG-Emissionen des Agrarsektors sollten auch die Emissionen berücksichtigt werden, die auf die Bereitstellung von Vorleistungen für die landwirtschaftliche Produktion zurückzuführen sind. Hierunter fallen z. B. die Emissionen, die bei der Herstellung von Düngern, Pestiziden und Futtermitteln entstehen. Diese Emissionen entstehen im Falle von importierten Produkten außerhalb von Deutschland. Mit Hilfe von Ökobilanzwerten für Energiebedarf und THG-Emissionen pro Gewichtseinheit einer Vorleistung konnten in Verbindung mit den in Deutschland abgesetzten Mengen kumulierte Emissions- und Energieaufwandwerte berechnet werden. Als statistische Datengrundlage für die Vorleistungsumfänge wird das dreijährige Mittel der Jahre 2006, 2007 und 2008 aus BMELV (2010) genutzt.

Bei der Ermittlung der Emissions- und Primärenergiefaktoren wurde auf folgende Literaturquellen zurückgegriffen. Faktoren für verschiedene Dünge- und Pflanzenschutzmittel wurden aus BOCKISCH et al. (2000), HÜLSBERGEN et al. (2001), LAL (2004), WILLIAMS et al. (2006), BRENTROP und KÜSTERS (2008 S. 59-61), SALING und KÖLSCH (2008, S.67) STICHNOTHE (2012) und der Gemis-Datenbank ermittelt. Ferner stand eine Literaturrecherche des Thünen-Instituts für agrarrelevante Klimaforschung über Emissionen von Stickstoff-Mineraldüngern zur Verfügung. Werte für Sojakuchen und -mehl wurden aus ERIKSSON et al. (2004), WILLIAMS et al. (2006), DALGAARD et al. (2008), HIRSCHFELD et al. (2008), FAO (2012a), FLESSA et al. (2012) und FRORIP et al. (2012) entnommen. Für einige Vorleistungen liegen keine Angaben über kumulierte Emissions- und Primärenergienmengen vor. Verbleibende Datenlücken werden durch Übernahme von Angaben für ähnliche Produkte geschlossen. Beispielsweise werden für bestimmte Stickstoffdüngemittel, für die keine Energie- und Emissionsfaktoren gefunden werden konnten, die Werte für Kalkammonsalpeter verwendet.

Die ermittelten kumulierten Primärenergie- und Treibhausgasmengen können jedoch lediglich als Näherungswerte betrachtet werden, da die verwendeten Faktoren aus unterschiedlichen Ökobilanzanalysen stammen. Diese unterscheiden sich bezüglich der Methoden, Systemgrenzen, Datengrundlagen und des zeitlichem Bezug. Zusätzlich ist oft aus den Publikationen nicht genau zu entnehmen, welche Systemgrenzen zugrunde liegen und welche Prozesse einbezogen sind. Dies ist auch eine Erklärung für die oftmals großen Schwankungsbreiten der Energie- und Emissionsfaktoren. In den meisten Fällen werden auch in den Ökobilanzen durchschnittliche Werte für bestimmte Gütergruppen verwendet. Die in diesen Bilanzen ausgewiesenen, kumulierten Emissionen der einzelnen Güter sind jedoch oft sehr unterschiedlich. Hinzu kommt, dass die verwendeten Werte aus Ökobilanzen in vielen Fällen aus älteren Publikationen stammen. Verbesserte Produktionstechniken werden in diesen Daten nicht berücksichtigt. Dies gilt vor allem für die Bereit-



stellung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Da die Primärenergie- und Emissionsfaktoren oft aus unterschiedlichen Quellen stammen, passen diese nicht immer konsistent zusammen.

Manche Vorleistungen, wie zum Beispiel Investitionen in Bauten, Maschinen und Anlagen oder Aufwendungen für Dienstleistungen, werden in der Statistik nicht in physischen Mengen erfasst, sondern in Geldwerten. Für diesen Fall wurden THG-Emissionen bzw. Energieaufwendungen pro Euro ermittelt. Dies geschieht mit Hilfe von kumulierten Treibhausgasemissionen aus den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011) und Produktionswerten der letzten Verwendung aus den Input-Output-Tabellen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2007). Sie sind ebenfalls nur Näherungswerte, mit deren Hilfe es aber möglich ist, Aussagen über die Vorleistungen zu machen, die nicht in physischen Mengeneinheiten erfasst werden. Zudem basieren die Grundlagendaten auf aktuellen, gesamtwirtschaftlichen Daten für Deutschland. Die Werte geben die durchschnittlichen kumulierten Energie- und Emissionsfaktoren je Euro Produktionswert einer (Teil-) Branche an.

Der Stromverbrauch wird aus Daten der Umweltgesamtrechnung (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011) auf Basis der Netto-Energiemengen ohne Konversions- und Leitungsverluste berechnet. Die THG-Emissionen aus der Stromproduktion im Jahr 2007 werden anhand der spezifischen THG-Emissionen des deutschen Strommix berechnet (UBA, 2012a). Alle anderen Energieträger werden auf Grundlage der Angaben des STATISTISCHEN BUNDESAMTES (2011) mit den für den Agrarsektor ausgewiesenen Primärenergiemengen und energiebedingten THG-Emissionen im Jahr 2007 angesetzt. Dabei handelt es sich um Heiz-, Brenn-, Schmier- und Treibstoffe, die zu direkten energiebedingten Emissionen im Agrarsektor führen. In den Emissionsinventaren werden diese aber nicht in der Quellgruppe 4 (Landwirtschaft) berichtet, sondern in Quellgruppe 1 (Energie).

Tabelle 3.5 stellt den kumulierten Primärenergieaufwand und die kumulierten THG-Emissionen der Vorkette der landwirtschaftlichen Produktion dar. Nach diesen Berechnungen werden für die Bereitstellung der Vorleistungen des Agrarsektors ca. 93 TWh an Primärenergie verwendet und knapp 28 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. an Treibhausgasen emittiert.

Etwas mehr als ein Viertel des kumulierten Energieaufwands und über 35 % der kumulierten THG-Emissionen aus Vorleistungen sind auf die Düngemittelproduktion zurückzuführen. Besonders die energieintensive Herstellung von Stickstoffdüngern hat sehr hohe Emissionen. Pestizide hingegen verursachen lediglich 0,22 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Weitere Vorleistungen wie Maschinen, Bauten und andere Investitionen sowie Dienstleistungen werden in Ökobilanzen oft vernachlässigt. Wie bereits erwähnt wurden die Emissionen im vorliegenden Fall auf Basis der monetären Werte berechnet. Die vorgestellten Berechnungen zeigen, dass dieser Bereich über 10 % an den Gesamtemissionen der dargestellten Vorleistungen verursacht. Auf den Verbrauch von Strom, Heiz- und Treibstoffen entfallen 34 % der Emissionen und 46 % des kumulierten Energieverbrauchs aus dem Vorleistungsbereich.

Eine weitere, wichtige Vorleistung sind die Futtermittel. Die Futtermittel, die innerhalb des deutschen Agrarsektors produziert und verwendet werden, werden jedoch von der Betrachtung in Tabelle 3.5 ausgeklammert, da ihre Emissionen bereits in den Angaben für den Agrarsektor (siehe Kapitel 3.1) sowie in den hier dargestellten Emissionen aus Vorleistungen enthalten sind. Auch energiereiche und sonstige Futtermittel, die als Nebenprodukten der Ernährungsindustrie anfallen und in erster Linie aus in Deutschland produzierten Agrarprodukten hergestellt werden, sind in Tabelle 3.5 nicht berücksichtigt. Die THG-Emissionen dieser Nebenprodukte aus deutscher Erzeugung, die in der landwirtschaftlichen Produktion entstehen, sind in den direkten Emissionen der Landwirtschaft (siehe Kapitel 3.1) und ihren Vorleistungen (siehe Tabelle 3-5) enthalten. Emissionen, die bei der Verarbeitung von Nahrungs- und Futtermitteln sowie beim Transport anfallen, werden in den Kapiteln 3.3.3 und 3.3.4 thematisiert.

Importe von Sojabohnen und Sojaschrot werden dagegen berücksichtigt. Als wichtiger Bestandteil des Kraftfutters machen sie einen Großteil der in Deutschland importierten eiweißreichen Futtermittel aus. Insgesamt importierte Deutschland im Jahr 2010 etwa 3,5 Mio. t Sojaschrot und 3,5 Mio. t Sojabohnen (FLESSA et al., 2012). Die Sojabohnen werden weiterverarbeitet zu Sojaöl und Sojaschrot. Letzteres wird in der Tierhaltung verfüttert. Als wichtiger Bestandteil des Kraftfutters stellt Soja eine wertvolle Eiweißquelle dar und wird vor allem in der Schweinemast verwendet.

Der Großteil der deutschen Sojaimporte stammt aus Südamerika. Vor allem Argentinien und Brasilien produzieren und exportieren große Mengen an Soja. Hierbei entstehen Treibhausgasemissionen, die über die kumulierten THG-Emissionen der deutschen Landwirtschaft zugerechnet werden. Verschiedenen Quellen zufolge entstehen beim Anbau von Sojabohnen Treibhausgasemissionen in Höhe von 0,39 – 1,3 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg Sojabohnen (WILLIAMS et al., 2006; LCA-FOOD DATABASE, 2003; REICHERT und REICHERT, 2011 zit. in FLESSA et al., 2012). Bei der Verarbeitung von Sojabohnen zu Sojaschrot entstehen REICHERT und REICHERT (2011) (zit. in FLESSA et al., 2012) zufolge ca. 0,1 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg Sojaschrot, und der Transport verursacht weitere 0,211 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg Sojaschrot. Die Werte können aufgrund verschiedener Faktoren variieren. Zum einen sind die Produktionssysteme und Standortfaktoren vor Ort entscheidend (z. B. unterschiedliche Anbausysteme und unterschiedliche Erträge, Intensität und Effizienz des Anbaus, Transportentfernungen), zum anderen spielen die Ansätze zur Bilanzierung eine große Rolle (Systemgrenzen der Ökobilanz, Allokationsmethode zwischen Öl und Schrot, etc.).

**Tabelle 3.5:** Kumulierter Primärenergieaufwand und kumulierte THG-Emissionen aus der Bereitstellung von Vorleistungen für die Landwirtschaft (Dreijahresmittel 2006-2008)

Vorleistungen der Landwirtschaft		Einheit	Inlands- absatz	Kumulierter Primärenergie- aufwand TWh	Kumulierte THG- Emissionen Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.
Futtermittel	Sojamehl/-kuchen <sup>1)</sup>	t	4.569.000	7,306	3,806
N-Dünger	Harnstoff	t N	332.713	6,417	0,343
	Kalkammonsalpeter	t N	725.333	8,306	5,367
	Ammoniumnitratharnstofflösung	t N	199.487	2,889	0,718
	Andere Einnährstoffdünger	t N	265.142	3,028	1,962
	NP-,NK- und NPK-Dünger	t N	156.932	2,531	1,161
P-Dünger	Superphosphate	t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	19.664	0,075	0,012
	Andere Phosphatdüngemittel	t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.192	0,022	0,004
K-Dünger	Kalidüngemittel	t K <sub>2</sub> O	238.525	0,515	0,107
Ca-Dünger <sup>2)</sup>	Kalk	t CaO	2.042.535	0,000	
	Branntkalk	t CaO	75.001	0,127	0,012
	Kohlensaurer Kalk	t CaO	1.463.298	0,691	0,288
	Hüttenkalk	t CaO	189.456	0,000	
	Andere Kalkdünger	t CaO	314.781	0,000	
<b>Summe</b>				<b>24,600</b>	<b>9,975</b>
Pestizide	Herbizide	t Wirkstoff	17.596	1,450	0,095
	Insektizide	t Wirkstoff	8.866	0,742	0,048
	Fungizide	t Wirkstoff	10.899	0,775	0,059
	Sonstige	t Wirkstoff	3.622	0,264	0,020
<b>Summe</b>			<b>t Wirkstoff</b>	<b>40.983</b>	<b>3,231</b>
Bauten <sup>3)</sup>		Mill. €	1.700	2,417	0,704
Ausrüstung	Kraftfahrzeuge	Mill. €	198	0,276	0,074
	Ackerschlepper	Mill. €	1.593	2,221	0,594
	Sonstige Landmaschinen	Mill. €	4.134	5,763	1,542
Tierarzt und Medikamente	(wie Dienstleistungen)	Mill. €	784	0,369	0,109
Instand- haltung	Maschinen und Geräte	Mill. €	1.941	0,917	0,272
	Baulichen Anlagen	Mill. €	677	0,320	0,095
Dienst- leistungen	Landwirtschaftliche Dienstleistungen	Mill. €	1.661	0,781	0,231
	Andere Güter und Dienstleistungen	Mill. €	4.946	2,328	0,688
Energie und Schmierstoffe	Strom	Mill. €	770	5,433	} 3,048 6,415
	Gas	Mill. €	493	3,954	
	Sonstige Brenn- und Treibstoffe	Mill. €	1.891	32,078	
	Sonstige	Mill. €	145	1,290	
<b>Vorleistungen insgesamt</b>				<b>93,282</b>	<b>27,774</b>

1) Landnutzungsänderungen sind nicht berücksichtigt. 2) Ohne Ca-Düngerabsatz in der Forstwirtschaft. 3) Ohne Wohnbauten sowie ohne landwirtschaftlichen Wegebau und andere staatliche Infrastrukturmaßnahmen für die Landwirtschaft.

Quellen: BMELV (2010) Tabelle 76, 83, 178, 181; (weitere Quellen s. Text), eigene Berechnungen.

In Südamerika steht die Ausweitung der Sojaproduktion im Zusammenhang mit Landnutzungsänderungen, also der Rodung von Wäldern und Savannen zur Gewinnung neuer Anbauflächen. Da diese Emissionen jedoch nicht genau quantifiziert und einzelnen Produkten zugeordnet werden können, werden sie in vielen Ökobilanzen nicht berücksichtigt. Dabei können Emissionen aus Landnutzungsänderungen mehr als 90 % der Gesamtemissionen des Sojaanbaus ausmachen (REICHERT und REICHERT, 2011 zit. nach FLESSA et al., 2012). Vor allem die Umwandlung von Regenwald zu Ackerland führt zu hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen (bis zu 13,7 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg Sojabohnen). Auch die Umwandlung von Savannen (z. B. das brasilianische Cerrado) und Grasland setzt im Boden gespeicherten Kohlenstoff in Form von THG-Emissionen in Höhe von 3,8 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg Sojabohnen frei. Neben den beschriebenen Wirkungen aus direkten Landnutzungsänderungen führt die Ausweitung des Sojaanbaus auch zu indirekten Effekten. Andere landwirtschaftliche Nutzungen werden zugunsten von Sojaanbau verdrängt, so dass es im Zuge der Anbauflächenverlagerung zu Umwandlungen von Regenwald und Savannen für die Gewinnung neuer Agrarflächen kommt.

Zur Überprüfung der möglichen Höhe der THG-Freisetzung aus direkter Landnutzungsänderung werden im Folgenden die Produktbelastungen für Soja auf gerodeter Primärwaldfläche abgeschätzt. Gerechnet wird mit Zahlen des Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI, 2011) für den Sojaertrag pro Hektar in Brasilien (2,8 t je ha und Jahr), da Brasilien derzeit für Deutschland der wichtigste Sojalieferant ist. Die THG-Freisetzung aus direkter Landnutzungsänderung wird aus der Differenz der Kohlenstoffvorräte zwischen tropischem Regenwald und Ackerland abgeleitet (BELLARBY et al., 2008, S. 20, Tabelle 5). Demnach kommt es zu einer Freisetzung von insgesamt 590 t CO<sub>2</sub>-Äq., die der landwirtschaftlichen Produktion auf diesen Flächen anzulasten sind. In der THG-Berichterstattung werden Freisetzungen aus Landnutzungsänderungen auf die folgenden 20 Jahre verteilt (UBA, 2012c). Daraus ergeben sich innerhalb der Zeitspanne von 20 Jahren nach Landnutzungsänderung 10,5 t CO<sub>2</sub>-Äq. je t Soja. Bei zwei Ernten pro Jahr mit Fruchtwechsel z. B. zwischen Soja und Mais, wie dies in Brasilien möglich ist, resultieren 5,27 t CO<sub>2</sub>-Äq. je t Soja. Im Falle einer Umwandlung von tropischen Savannen in Ackerland liegen die entsprechenden Werte bei 4,3 bzw. 2,14 t CO<sub>2</sub>-Äq. je t Soja.

Die Ausdehnung des Sojaanbaus hängt mit der weltweit ansteigenden Nachfrage zusammen. Nach Angaben von FAPRI (2011) ist die Sojanachfrage (berechnet anhand der Summe aus Soja, Sojaschrot und -öl) seit den Jahren 2000/2001 bis 2009/2010 weltweit um ca. 46 Mio. t angestiegen. Die Zunahme der Nachfrage wurde mit 37,2 Mio. t vor allem durch China verursacht, knapp 9 Mio. t Nachfragezuwachs entfallen auf andere asiatische Länder. Die EU verzeichnete in diesem Zeitraum zusammen eine Zunahme der Sojaimporte um 0,13 Mio. t. In Deutschland betrug die Zunahme der Importmenge in der gleichen Zeitspanne 0,26 Mio. t, dies ist ein Zuwachs um 7 % der Importmenge der Jahre 2000/2001. Die Sojaimporte von China haben sich im gleichen Zeitraum nahezu vervierfacht. Daraus lässt sich schließen, dass die Impulse für die Erschließung neuer Sojaanbauflächen im letzten Jahrzehnt nicht in erster Linie von Deutschland und der EU ausgegangen sind.

Da die Emissionen aus Landnutzungsänderungen nicht genau zugeordnet und quantifiziert werden können, werden sie in Tabelle 3.5 nicht mit einbezogen. Insgesamt gehen in Deutschland

ohne Anrechnung von THG-Emissionen aus Landnutzungsänderungen ca. 3,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf die Verwendung von Sojamehl und -kuchen als Futtermittel zurück. Unter der Annahme, dass die gesamte von Deutschland importierte Sojamenge von Flächen stammt, die innerhalb der letzten 20 Jahre urbar gemacht worden sind, würde sich bei 5,27 t CO<sub>2</sub>-Äq./ t Soja aus Landnutzungsänderungen eine zusätzliche THG-Emission von 24 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ergeben. Nach Ablauf von 20 Jahren sinkt dieser Betrag rechnerisch auf Null, solange es nicht zu weiteren Landnutzungsänderungen kommt.

Die potenziell sehr hohen THG-Belastungen des Futtermittelimports können durch Verpflichtungen der exportierenden Staaten zur Kontrolle von Landnutzungsänderungen vermindert werden. So haben sich die brasilianischen Sojaexporteure im Rahmen eines Soja-Moratoriums (SOY MORATORIUM, 2011) ab dem Jahr 2006 verpflichtet, kein Soja von Rodungsflächen zu vermarkten. An dem Moratorium sind auch Nichtregierungsorganisationen wie Greenpeace und der World Wide Fund for Nature (WWF) beteiligt. Das Flächennutzungsmonitoring dieser Initiative für die Bundesstaaten Mato Grosso, Pará and Rondônia ergab, dass auf 0,39 % der seit 2006 neu gerodeten Regenwaldflächen Sojaanbau stattfindet (SOY MORATORIUM, 2011). Damit werden nur 0,05 % der gesamten brasilianischen Sojaproduktion auf Flächen produziert, die seit Bestehen des Moratoriums im Jahr 2006 entwaldet wurden. Indirekte Landnutzungsänderungen und die Ausdehnung des Anbaus in Savannen sind damit aber nicht ausgeschlossen. Nach den Zahlen von BELLARBY et al. (2008) dominiert auf den Rodungsflächen im Amazonasgebiet die Nutzung als Weideland. Durch staatliche Maßnahmen ist die jährlich entwaldete Fläche in Brasilien gegenüber dem Zeitraum von 1996 bis 2005 von durchschnittlich ca. 19.500 km<sup>2</sup> p. a. auf 7.000 km<sup>2</sup> im Jahr 2009 zurückgegangen, und weitere Reduktionen werden angestrebt (CERRI et al., 2010). Bei stagnierender oder zurückgehender Sojanachfrage dürfte dadurch künftig auch die kumulierte Produktbelastung aus Landnutzungsänderungen abnehmen.

### 3.3.2 Exkurs: Virtueller Landhandel

Deutschland nimmt durch den Import von Agrarprodukten wie Soja Landflächen in den exportierenden Staaten in Anspruch. Um dies zu quantifizieren, kommt das Konzept des virtuellen Landhandels zum Einsatz. Eine entsprechende Berechnung für Deutschland haben VON WITZKE et al. (2011) vorgelegt, auf die im Folgenden aufgebaut wird. Die gesamten Warenströme des Agrarhandels werden analysiert und die Fläche, die zur Erzeugung der gehandelten Güter nötig ist, wird ermittelt. Werden Güter importiert, so wird Fläche außerhalb von Deutschland genutzt. Hierbei spricht man von einem Flächenimport. Flächen werden exportiert, wenn im Inland produzierte Agrargüter im Ausland verkauft werden. Bei der Ermittlung der Anbauflächen verschiedener Agrarerzeugnisse müssen jedoch auch Koppelprodukte berücksichtigt werden. Bei der Sojaschrotherstellung beispielsweise wird als Koppelprodukt auch Öl produziert. Das Mengenverhältnis von Öl zu Schrot muss also in die Flächenberechnung mit einfließen.

Deutschland exportiert beispielsweise eine Fläche von 0,46 Mio. ha aufgrund seiner Weizenexporte (siehe Tabelle 3-6). Weiterhin werden Flächen aufgrund der Milch- und Schweinefleisch-

produktion exportiert. Ansonsten importiert Deutschland Fläche. Den größten ausländischen Flächenbedarf weist mit ca. 2,6 Mio. ha der Sojaimport auf. Fast 40 % der deutschen, virtuellen Flächenimporte sind darauf zurückzuführen (VON WITZKE et al., 2011), 1,6 Mio. ha davon befinden sich allein in Brasilien. Weiterhin werden große Flächen durch den Import von Kakao (1,12 Mio. ha) und Kaffee (1,08 Mio. ha) beansprucht. Bei den Berechnungen für Soja wurde allerdings nicht berücksichtigt, dass es in Brasilien und Argentinien durchaus üblich ist, pro Jahr nacheinander zwei Kulturen auf derselben Ackerfläche zu kultivieren. Dadurch wird der Anspruch an die tatsächlich genutzte Anbaufläche deutlich verringert.

**Tabelle 3.6:** Virtueller Landhandel Deutschlands im Mittel der Jahre 2008-2010

	Mio. ha		Mio. ha		Mio. ha
Weizen	0,46	Hülsenfrüchte	-0,16	Milch	0,17
Sonstiges Getreide	0,17	Kartoffeln	0,00	Rindfleisch	-0,27
Körnermais	-0,13	Zuckerpflanzen	-0,02	Schweinefleisch	0,25
Reis	-0,09	Gemüse	-0,03	Schafffleisch	-0,15
Soja	-2,58	Obst	-0,42	Geflügelfleisch	-0,04
Palm	-0,55	Kakao	-1,12	Eier	-0,03
Raps	-0,44	Kaffee	-1,08		
Sonstige Ölsaaten	-0,51	Tee	-0,12		
		Tabak	-0,04		
		Baumwolle	-0,19		
<b>Getreide &amp; Ölsaaten</b>	<b>-3,67</b>	<b>Andere pflanzl. Produkte</b>	<b>-3,18</b>	<b>Tierische Produkte</b>	<b>-0,07</b>

Quelle: VON WITZKE et al. (2011).

Aufgrund der hohen Treibhausgasemissionen und der Landflächen, die im Ausland in Anspruch genommen werden, wird als Maßnahme zur Reduzierung von THG-Emissionen die Verringerung der Sojaimporte diskutiert (FLESSA et al., 2012). Dies wäre zum einem möglich, wenn die Tierhaltung in Deutschland zurückgehen und damit der Bedarf an Futtermitteln sinken würde. Zum anderen wird überlegt, Soja durch andere eiweißhaltige Futtermittel zu ersetzen. Körnerleguminosen spielen hierbei eine besondere Rolle.

Da auch der Anbau von heimischen Leguminosen Nachteile aufweist, wie zum Beispiel indirekte Landnutzungsänderungen in Deutschland und die Verdrängung anderer Kulturen, muss zwischen den einzelnen Möglichkeiten differenziert werden. Wird Soja im Ausland nachhaltig ohne Umwandlung von Regenwald und anderen Naturgebieten produziert, kann die Klimabilanz trotz des weiten Transportweges besser sein, als die der weniger effizienten, heimischen Leguminosenproduktion. Andererseits könnte ein vermehrter Anbau von Leguminosen in Deutschland den Bedarf von N-Düngern verringern (FLESSA et al., 2012).

### 3.3.3 Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen im nachgelagerten Bereich

Im Folgenden werden der Primärenergieverbrauch und die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Ernährungssektors analysiert. Der Anteil der Emissionen, die in Deutschland durch die menschliche Ernährung verursacht werden, wird auf 16 bis 22 % der gesamten Emissionen geschätzt (GRÜNBERG et al., 2010). Aufgrund vielfältiger Analysemethoden, Datengrundlagen, Systemgrenzen, Detaillierung und zeitlicher Bezüge variieren die Ergebnisse vieler Studien innerhalb einer großen Bandbreite (u. a. WIEGMANN et al., 2005; TAYLOR, 2000). Die Lebensmittelproduktion und -bereitstellung, insbesondere von tierischen Produkten, verursacht den größten Anteil der Treibhausgasemissionen (45 bis 75 %), gefolgt vom Energieverbrauch der Haushalte für die Lagerung und Zubereitung von Nahrungsmitteln sowie der Raumwärme (20 bis 40 %). Auf Verarbeitung und Handel mit Nahrungsmitteln entfällt Schätzungen zufolge nur ein Anteil von 4 bis 14 %. Einsparungen von Treibhausgasemissionen können in diesem Bereich durch eine energieeffizientere Produktion, Lagerung und Distribution von Nahrungsmitteln und der Reduktion von Verpackungsmaterialien erreicht werden (OSTERBURG et al., 2009).

Tabelle 3.7 gibt eine Übersicht über den Energieverbrauch, die Treibhausgasemissionen und die wirtschaftliche Bedeutung der Ernährungsindustrie, des Groß- und Einzelhandels sowie der Gastronomie. Die Emissionen und der Energieaufwand werden in Bezug zum Umsatz gesetzt, um eine Bewertung der einzelnen Bereiche zu ermöglichen.

**Tabelle 3.7:** Energieverbrauch und THG-Emissionen des nachgelagerten Ernährungssektors (Dreijahresmittel 2006-2008)

Wirtschaftszweig	Umsatz	Energie- verbrauch	CO <sub>2</sub> - Emissionen	Energie- verbrauch pro € Umsatz	CO <sub>2</sub> - Emissionen pro € Umsatz
	Mrd. €	TWh	Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	MWh/1.000 €	kg CO <sub>2</sub> -Äq./1.000 €
Produzierendes Ernährungsgewerbe	157,8	61,1	9,25	0,39	59
<i>davon</i>					
H. v. Nahrungs- und Futtermitteln	138,0	52,8	8,03	0,38	58
Getränkeherstellung	19,8	8,3	1,22	0,42	61
Großhandel mit Nahrungsmitteln, Getränken und Tabakwaren	136,7	5,3	0,86	0,04	6
Einzelhandel mit Nahrungsmitteln, Getränken und Tabakwaren	146,7	23,7	3,29	0,16	22
Gastronomie	32,5	18,7	1,91	0,39	59
<b>Summe/Durchschnitt</b>	<b>473,7</b>	<b>108,8</b>	<b>15,31</b>	<b>0,22</b>	<b>32</b>

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis von BMELV 2010), STATISTISCHES BUNDESAMT (2011).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des produzierenden Ernährungsgewerbes wurden basierend auf den Emissionsfaktoren aus dem NIR (UBA, 2012b) und den Energiedaten aus dem Statischen Jahrbuch (BMELV, 2010) berechnet. Für die Sektoren des Groß- und Einzelhandels sowie des Gastgewerbes liegen Daten für den gesamten Energieverbrauch, die CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie den Umsatz vor (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011; BMELV, 2010). Auf Grundlage dieser Daten wurden anhand des Anteils des Umsatzes für den Bereich Nahrungsmittel und Getränke im Groß- und Einzelhandel sowie der Gastronomie am Umsatz des Gastgewerbes die Anteile am Energieverbrauch und an den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet. Diese Zahlen sind als Näherung an den tatsächlichen Anteil der Emissionen des nachgelagerten Ernährungssektors zu verstehen, eine genauere Aussage ist auf der vorhandenen Datenbasis nicht möglich.

Wie zuvor erwähnt, werden die Emissionen und der Energieverbrauchs in Relation zu den Umsatzzahlen der einzelnen Sektoren gesetzt um eine Bewertung zu ermöglichen. Der Großhandel trägt deutlich weniger zu den THG-Emissionen und dem Energieverbrauch bei als die anderen Sektoren, was sich in niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen und geringem Energieverbrauch pro Euro Umsatz ausdrückt. Der Einzelhandel mit Nahrungsmitteln und Getränken ist mit mehr als einem Drittel des gesamten Umsatzes des Einzelhandels ein wichtiger Wirtschaftsbereich in Deutschland. Auch im Einzelhandel liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Euro Umsatz mit 22 kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro 1.000 Euro niedriger als im produzierenden Ernährungsgewerbe und der Gastronomie mit jeweils rund 60 kg CO<sub>2</sub>-Äq./1.000 Euro. Für die Nahrungsmittelverarbeitung und -zubereitung ist ein hoher Energieaufwand notwendig, der in größerem Umfang zu den THG-Emissionen der nachgelagerten Bereiche der Landwirtschaft beiträgt als Transport, Lagerung und Handel. Für einzelne Produkte, die z. B. eine Kühlung erfordern, können aber auch in diesen Bereichen erhebliche THG-Emissionen entstehen.

Im Folgenden werden der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen der verarbeitenden Ernährungsindustrie näher betrachtet, da diese den größten Anteil der Emissionen im nachgelagerten Ernährungsbereich verursachen. Tabelle 3.8 bildet den Energieverbrauch und die THG-Emissionen der wichtigsten Betriebszweige des produzierenden Ernährungsgewerbes ab.



**Tabelle 3.8:** Energieverbrauch und THG-Emissionen des produzierenden Ernährungsgewerbes (Dreijahresmittel 2006-2008)

Wirtschaftszweig	Umsatz	Energie- verbrauch	CO <sub>2</sub> - Emissionen	Energieverbrauch pro € Umsatz	CO <sub>2</sub> -Emissionen pro € Umsatz
	Mrd. €	TWh	Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	MWh/1.000 €	kg CO <sub>2</sub> -Äq./1.000 €
H. v. Nahrungs- und Futtermitteln	138,0	52,8	8,03	0,38	58
Schlachten und Fleischverarbeitung	34,4	7,0	0,78	0,20	23
Fischverarbeitung	2,3	0,4	0,04	0,18	18
Obst- und Gemüseverarbeitung	8,9	4,4	0,64	0,49	72
Verarbeitung von Kartoffeln	1,2	2,0	0,29	1,61	236
H. v. pflanzlichen u. tierischen Ölen u. Fetten	6,6	3,7	0,63	0,56	96
Milchverarbeitung	25,2	7,9	1,07	0,31	42
Mahl- und Schälmaschinen sowie H. v. Stärke und Stärkeerzeugnissen	5,8	4,6	0,6	0,8	102
H. v. Futtermitteln	8,3	1,7	0,20	0,20	24
H. v. Back- und Teigwaren	18,5	6,3	0,84	0,34	45
H. v. sonstigen Nahrungsmitteln	28,0	15,8	3,13	0,56	112
<i>davon</i> Zuckerindustrie	2,7	7,1	1,84	2,65	683
Getränkeherstellung	19,8	8,3	1,22	0,42	61
<b>Produzierendes Ernährungsgewerbe</b>	<b>157,8</b>	<b>61,1</b>	<b>9,25</b>	<b>0,39</b>	<b>59</b>

H. v. = Herstellung von

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis von BMELV (2010), UBA (2012c).

Die Verarbeitung von tierischen Lebensmitteln zur Herstellung von Fleisch- und Milchprodukten ist mit einem hohen Energieverbrauch verbunden und verursacht knapp ein Viertel der Treibhausgasemissionen der Nahrungs- und Futtermittelherstellung. Auch die Produktion von Getränken und sonstigen Nahrungsmitteln hat einen hohen Energieverbrauch, insbesondere die Zuckerindustrie. Dies trifft ebenso auf die Herstellung von Getreideprodukten und Back- und Teigwaren zu. Die Produktion tierischer Nahrungsmittel gehört zu den umsatzstärksten Bereichen der Lebensmittelverarbeitung. Somit liegen die THG-Emissionen pro Euro Umsatz niedriger als in anderen Produktparten wie beispielsweise der Verarbeitung von Zucker und Kartoffeln. Die Verarbeitung von Produkten mit geringerem monetärem Wert weist hingegen hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Euro Umsatz auf.

### 3.3.4 Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen beim Transport landwirtschaftlicher Güter und Nahrungsmittel

Neben der Produktion ist auch der Transport von Gütern mit Treibhausgasemissionen verbunden, die bei einer Gesamtbetrachtung berücksichtigt werden müssen. Das Transportmittel hat hierbei großen Einfluss auf die Emissionsentstehung. Deshalb wird bei der Betrachtung des Transports landwirtschaftlicher Güter nach Transportmitteln differenziert. Im Folgenden wird der inländi-

sche Transport von Agrar- und Ernährungsgütern und Düngemitteln betrachtet. Hierbei wird zwischen Transport über Straßenverkehr, Eisenbahn und Binnenschifffahrt unterschieden. See- und Luftverkehr werden nicht berücksichtigt, da sie für inländische Transporte keine Relevanz haben. Als Datengrundlage werden die Angaben zur Beförderungsleistung (in tkm) des Statistischen Bundesamtes genutzt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2012). Hierauf aufbauend werden Emissionsentstehung und Energieverbrauch berechnet. Die dafür benötigten Faktoren stammen aus den Datenbanken GEMIS (2012) und PROBAS (2012) sowie aus Angaben von HAVERS (2008) und LANSCHKE et al. (2007).

Insgesamt wurde im Durchschnitt der Jahre 2006-2008 in Deutschland eine Beförderungsleistung von 515.007 Mio. Tonnenkilometern (tkm) erreicht, die insgesamt zu ca. 37 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. an Emissionen führte. Tabelle 3.9 zeigt deutlich, dass der größte Anteil der Beförderungsleistung durch den Straßenverkehr erbracht wird (66 %). Betrachtet man lediglich die agrarrelevanten Güter, liegt der Anteil sogar bei 81 %. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass aufgrund der Datenlage lediglich die Transportleistung deutscher LKW, sowohl in Deutschland als auch im Ausland, angegeben werden kann (Inländerkonzept). Die Verkehrsleistung ausländischer LKW in Deutschland wird in dieser Statistik nicht berücksichtigt.

11 % des inländischen Transports entfallen auf Binnenschiffe und 8 % auf die Beförderung mit der Bahn. Insgesamt werden beim Transport von Agrar- und Ernährungsgütern sowie Düngemitteln in Deutschland ca. 8,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. emittiert. Die Höhe der Emissionen hängt zum einen von der Transportleistung und zum anderen vom Transportmittel ab. LKWs sind beispielsweise aufgrund ihres hohen Emissionsfaktors und der hohen Transportleistung für 93 % der Emissionen verantwortlich. Würde also der Anteil der über LKWs transportierten Güter zurückgehen und stattdessen mehr mit der Bahn oder Binnenschiffen transportiert werden, könnten die Treibhausgasemissionen weiter verringert werden.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse im Gesamtkontext dieses Berichts muss darauf hingewiesen werden, dass die in den vorherigen Kapiteln genutzten Faktoren zur Berechnung der kumulierten Emissionen im Vorleistungsbereich bereits Transportemissionen berücksichtigen. Dies ist zum Beispiel beim Dünger der Fall. Die Transportemissionen sind dabei meist nicht gesondert ausgewiesen, eine Korrektur der kumulierten Emissionswerte ist deshalb in der Regel nicht möglich. Deshalb kommt es zu einer Doppelzählung, wenn die kumulierten Emissionen für landwirtschaftliche Vorleistungen und die Emissionen des Transports zusammengefasst werden.

**Tabelle 3.9:** Beförderungsleistung, Primärenergieverbrauch und Emissionen beim Transport in Deutschland aufgeteilt nach Verkehrsträgern

Transportmittel	Güterkategorien nach NST/R	Beförderungsleistung	Primärenergieverbrauch	THG-Emissionen
		Mio. tkm <sup>1)</sup>	TWh	Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.
<b>Eisenbahn</b>	<b>Transport agrarrelevanter Güter</b>	<b>8.979</b>	<b>1,05</b>	<b>0,27</b>
	Land-, forstwirtschaftliche und verwandte Erzeugnisse	5.264	0,61	0,16
	Andere Nahrungs- und Futtermittel	1.574	0,18	0,05
	Dünger	2.141	0,25	0,06
	<b>Gesamter Gütertransport</b>	<b>112.425</b>	<b>13,12</b>	<b>3,35</b>
<b>Binnenschiff</b>	<b>Transport agrarrelevanter Güter</b>	<b>12.753</b>	<b>1,68</b>	<b>0,48</b>
	Land-, forstwirtschaftliche und verwandte Erzeugnisse	4.893	0,64	0,18
	Andere Nahrungs- und Futtermittel	5.462	0,72	0,21
	Dünger	2.398	0,32	0,09
	<b>Gesamter Gütertransport</b>	<b>64.250</b>	<b>8,45</b>	<b>2,43</b>
<b>LKW<sup>2)</sup></b>	<b>Transport agrarrelevanter Güter</b>	<b>90.362</b>	<b>33,89</b>	<b>8,31</b>
	Land-, forstwirtschaftliche und verwandte Erzeugnisse	26.350	9,88	2,42
	Andere Nahrungs- und Futtermittel	61.947	23,23	5,70
	Dünger	2.064	0,77	0,19
	<b>Gesamter Gütertransport</b>	<b>338.332</b>	<b>126,87</b>	<b>31,13</b>
<b>Gesamt</b>	<b>Transport agrarrelevanter Güter</b>	<b>112.094</b>	<b>36,61</b>	<b>9,06</b>
	<b>Gesamter Gütertransport</b>	<b>515.007</b>	<b>148,44</b>	<b>36,91</b>

1) Mittelwerte der Jahre 2006-2008, Werte von 2008 zum Teil noch vorläufig.

2) Bei der Zusammenstellung des LKW-Transports wurde das Inländerkonzept zugrunde gelegt.

Quelle: STATISTISCHES BUNDESAMT (2012); GEMIS (2012); PROBAS (2012); HAVERS (2008); LANSCHÉ et al. (2007)

Weitere Emissionen fallen durch den Transport von Im- und Exportgütern an. Die Quantifizierung erweist sich hierbei jedoch als schwierig, da kaum Daten über Transportleistungen aufgedgliedert nach Verkehrsträgern und Gütern zur Verfügung stehen. Zusätzlich werden hierbei oftmals nicht alle Im- und Exporte berücksichtigt, sondern nur solche, die von inländischen Verkehrsträgern (auch im Ausland) durchgeführt werden. Dies ist schwer vereinbar mit dem Territorialkonzept, bei dem nur Transportleistungen (auch ausländischer Akteure), die im Inland stattfinden, berücksichtigt werden. Auch wenn keine genauen Zahlen ermittelt werden konnten, ist angesichts hoher Im- und Exportmengen und der teilweise sehr großen Entfernung zu potenziellen Handelspartnern mit erheblichen THG-Emissionen zu rechnen. Allerdings muss beachtet werden, dass ein Großteil der Waren über Containerschiffe transportiert wird. Diese weisen einen sehr geringen Emissionsfaktor von ca. 0,009 kg CO<sub>2</sub>-Äq./tkm auf. Der Transport mit Frachtflugzeugen hingegen verursacht ca. 0,7 kg CO<sub>2</sub>-Äq./tkm.

### 3.4 Gesamtübersicht zu den Treibhausgasemissionen des Agrarsektors und der vor- und nachgelagerten Bereiche

Um die Rolle der deutschen Landwirtschaft bei der Treibhausgasentstehung genauer zu untersuchen, werden in den ersten beiden Abschnitten dieses Kapitels zunächst die Emissionen in den Quellgruppen 4 (Landwirtschaft) und 5 (Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft) quantifiziert. Da für die anderen Sektoren Emissionen für das Mittel der Jahre 2006-2008 abgeschätzt wurden, werden im Folgenden Daten für dieses Dreijahresmittel verwendet. In der Quellgruppe Landwirtschaft wurden insgesamt 68,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. emittiert (siehe Tabelle 3.10). Dies entspricht ca. 43 % der gesamten Emissionen, die der Landwirtschaft mit ihren vor- und nachgelagerten Bereichen zuzurechnen sind. Ein großer Teil der Emissionen in Quellgruppe 4 entsteht aufgrund der N<sub>2</sub>O-Freisetzung nach N-Einträgen in den Boden.

Die in Quellgruppe 5 (LULUCF) berichteten Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden lagen im Mittel der Jahre 2006-2008 bei ca. 37,5 Mio. t. Bei diesen Emissionen der Quellgruppe 5 handelt es sich vor allem um CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Abbau von Kohlenstoffspeichern im Boden. Der Abbau der Kohlenstoffspeicher wird in erster Linie durch die Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung von Mooren sowie durch Landnutzungsänderungen von Grünland zu Ackerland verursacht.

**Tabelle 3.10:** Zusammenfassung der THG-Emissionen des Agrarsektors und seiner vor- und nachgelagerten Bereiche (Mittelwerte der Jahre 2006-2008)

Herkunft der Emissionen	THG-Emissionen	Anteile
	Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.	%
<b>Quellgruppe 4 Landwirtschaft</b>	<b>68,9</b>	<b>43</b>
<i>darunter</i>		
N <sub>2</sub> O aus N-Einträgen aus d. Boden	40,8	26
CH <sub>4</sub> aus Verdauung	20,2	13
N <sub>2</sub> O und CH <sub>4</sub> aus Wirtschaftsdüngermanagement	7,8	5
<b>Quellgruppe 5 LULUCF (B+C: landwirtschaftlich genutzte Böden)</b>	<b>37,5</b>	<b>24</b>
<b>Vorgelagerter Bereich und direkter Energieeinsatz</b>	<b>27,8</b>	<b>18</b>
<i>darunter</i>		
Dünger	10,0	6
Sojakuchen	3,8	2
Direkter Energieeinsatz (Strom, Heiz- u. Treibstoffe)	9,5	6
<b>Nachgelagerter Bereich</b>	<b>15,5</b>	<b>10</b>
<i>darunter</i>		
Produzierendes Ernährungsgewerbe	9,3	6
<b>Transport</b>	<b>8,9</b>	<b>6</b>
<b>Summe</b>	<b>158,6</b>	<b>100</b>

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von BMELV (2010), DESTATIS (2012), GEMIS (2012), HAENEL et al. (2012), HAVERS (2008), LANSCHKE et al. (2007), PROBAS (2012), UBA (2011), UBA (2012b), UBA (2012c, NIR).

Neben den Emissionen aus den beiden Quellgruppen Landwirtschaft und LULUCF sind auch die Emissionen der vor- und nachgelagerten Bereiche des Agrarsektors von Bedeutung. Im Falle von Güterimporten entstehen diese Emissionen außerhalb von Deutschland. Insgesamt entfielen im Jahr 2007 knapp 28 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf die Bereitstellung von Vorleistungen für den Agrarsektor und den direkten Energieverbrauch. Etwa 35 % davon sind auf die Düngemittelproduktion zurückzuführen. Die hohen Emissionen erklären sich vor allem durch die energieintensive Produktion von Stickstoffdüngern, die darüber hinaus mit N<sub>2</sub>O-Emissionen verbunden ist. Eine weitere wichtige Vorleistung ist die Bereitstellung von Futtermitteln. Da aber ein Großteil der Futtermittel innerhalb des deutschen Agrarsektors produziert wird, werden hier lediglich die Emissionen berücksichtigt, die durch den Import von Sojafuttermitteln entstehen.

Im produzierenden Ernährungsgewerbe entstehen energiebedingte Emissionen in Höhe von ca. 9,25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., hinzu kommen Emissionen aus dem Groß- und Einzelhandel sowie der Gastronomie in Höhe von zusammen ca. 6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.. Kumulierte Emissionen, die durch die Produktion nach Deutschland importierter Nahrungsmitteln entstehen, z. B. Reis, Kaffee oder Tee, sind in Tabelle 3.10 nicht berücksichtigt. Auch beim Transport von landwirtschaftlichen Produkten und verarbeiteten Nahrungsmitteln entstehen Emissionen, die mit ca. 8,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. abgeschätzt werden. Der größte Teil der Emissionen ist dabei auf den Transport mit LKW zurückzuführen. Summiert man die Emissionen, die durch den Transport entstehen, zusammen mit den anderen THG-Quellen, muss jedoch beachtet werden, dass es in einigen Fällen zu Doppelzählungen kommt, da die Transportemissionen in den Ökobilanzwerten für einige Vorleistungen bereits enthalten sind.

## 4 THG-Minderungsmaßnahmen in der deutschen Landwirtschaft

Im Folgenden werden ausgewählte, in den nachfolgenden Szenariorechnungen abgebildete technische und organisatorische Klimaschutzmaßnahmen im Bereich der Quellgruppe 4 (Landwirtschaft) in Hinblick auf Minderungspotenziale, Umsetzbarkeit in der landwirtschaftlichen Praxis, Kosten und Wirkungen auf andere Bereiche beschrieben und bewertet. Fragen der Umsetzung politischer Maßnahmen sind nicht Gegenstand dieses Kapitels. Eine detaillierte Beschreibung dieser und weiterer klimarelevanter technischer Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft sowie Ausführungen zur politischen Umsetzbarkeit findet sich in der „Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor“ von FLESSA et al. (2012), die in Zusammenarbeit mehrerer Institute des Thünen-Instituts verfasst wurde.

### 4.1 Verbesserung der N-Produktivität der Düngung und Reduzierung von N-Überschüssen

Der Einsatz von Stickstoffdüngern trägt erheblich zu den Treibhausgasemissionen der Quellgruppe Landwirtschaft bei. Es entstehen direkte und indirekte Lachgasemissionen ( $\text{N}_2\text{O}$ ). N-Einträge aus organischen und mineralischen Düngemitteln, der Atmosphäre (N-Deposition), Boden, Pflanzenreststoffen und biologische N-Fixierung bewirken direkte Lachgasemissionen. Indirekte Lachgasemissionen werden durch den Austrag von reaktiven Stickstoffverbindungen wie Nitrat und Ammoniak in die umliegenden Naturräume verursacht. Aus diesen reaktiven N-Verbindungen entsteht bei Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgängen Lachgas. Neben der Höhe des N-Eintrags bestimmen Faktoren wie Standort, Klima (z. B. Niederschlag), Temperatur (z. B. Bodenfrost), Eigenschaften des Oberbodens und Managementpraktiken die Höhe der verursachten Treibhausgasemissionen. Die Herstellung von N-Mineraldünger und der Transport von Düngemitteln verursachen weitere THG-Emissionen (FLESSA et al., 2012).

Die THG-Emissionen können durch eine Verbesserung der N-Produktivität reduziert werden. Dabei werden N-Überschüsse bei gleichbleibender landwirtschaftlicher Produktivität verringert. Die Menge nicht produktiv eingesetzten Stickstoffs wird verringert und dabei die Input- / Output-Relation reduziert. Dies kann durch die Optimierung der Düngeplanung und der Ausbringungstechniken sowie Düngemengen und -zeitpunkte, die auf die klimatischen und standörtlichen Bedingungen angepasst sind, erreicht werden (FLESSA et al., 2012).

Durch die Bestimmung des Düngebedarfs von Pflanzen, die Einbeziehung der Humusbilanz und die Analyse der Nährstoffgehalte der organischen Dünger können N-Überschüsse reduziert werden und zu einer verbesserten Düngeplanung beitragen. Das Einsparpotenzial hängt von der Höhe der N-Überschüsse in der Ausgangssituation ab. N-Überschüsse können auch durch die Anpassung der Sicherheitszuschläge verringert werden. Sicherheitszuschläge dienen dazu, den Unsicherheiten der Stickstoffproduktivität entgegenzuwirken und werden auf die errechnete, optimale Düngemenge aufgeschlagen. Zu den Unsicherheiten zählen unvermeidbare und nicht kontrollierbare Faktoren wie Auswaschungen und natürliche Ertragschwankungen aufgrund variabler

klimatischer Bedingungen. Auch N-Verluste aus Wirtschaftsdüngern, die im Stall, während der Lagerung und bei der Ausbringung entstehen, können verringert werden. Nach der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung sollen die jährlichen Gesamtbilanzüberschüsse ab dem Jahr 2010 nicht höher als 80 kg N / ha landwirtschaftliche Fläche liegen. In den letzten Jahren lag der N-Überschuss jedoch noch über diesem Zielwert. Bis 2020 wird eine weitere Absenkung angestrebt (FLESSA et al., 2012).

Weiterhin können bei der Formulierung von mineralischen N-Düngern Urease- und Nitrifikationsinhibitoren eingesetzt werden, durch die Lachgasemissionen verringert werden können (vgl. mit sogenannten „enhanced-efficiency fertilizers“ AKIYAMA und YAGI, 2010). Auch in der Tierhaltung lassen sich N-Überhänge in der Fütterung reduzieren. Dadurch sinken die tierischen N-Ausscheidungen und die mit ihnen zusammenhängenden Lachgasemissionen (FLESSA et al., 2012).

Des Weiteren kann die N-Produktivität durch den Verzicht auf erhöhte N-Düngung in der Backweizenproduktion verbessert werden. Bisher wird die Qualität von Backweizen an dem Rohproteingehalt bemessen. Der Proteingehalt wird durch eine höhere N-Düngung positiv beeinflusst, was folglich zu einer höheren N-Düngeempfehlung für Backweizen führte. Es gibt jedoch moderne Weizensorten, die auch bei geringeren Proteingehalten gute Backqualitäten erreichen. Eine Neubewertung der Backqualität kann den Anreiz zu höherer N-Düngung reduzieren und ermöglicht N-Einsparungen. Es bedarf jedoch weiterer Forschung, damit andere Backqualitätsmerkmale anstatt des Proteingehalts als praxistaugliche Indikatoren zur Anwendung kommen können (FLESSA et al., 2012).

Durch die Verbesserung der Produktivität der N-Düngung lassen sich, basierend auf den Emissionsfaktoren nach IPCC (1996) Emissionen von 17,5 kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro kg Stickstoff einsparen. Davon fallen 7,5 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg N auf Emissionen aus der Bereitstellung von chemisch-synthetischem N-Dünger, 6,1 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg N auf direkte und 3,9 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg N auf indirekte Lachgasemissionen (FLESSA et al., 2012). Bei einer Verringerung des N-Saldos um 20 kg / ha würde eine Verringerung der THG-Emissionen um insgesamt 5,77 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr erreicht werden. Davon fallen 43 % auf die N-Mineraldüngerproduktion, während direkte und indirekte Lachgasemissionen aus der landwirtschaftlichen Düngung mit 57 % den größeren Teil der Emissionen verursachen.

### **Kosten und Umsetzbarkeit**

Die Kosteneinsparung, die durch die Vermeidung von nicht produktiv eingesetztem Stickstoff entstehen kann, ist nicht einfach zu bewerten. Falls Investitionen in neue Lagerräume oder Ausbringungstechniken nötig sind oder zusätzliche Arbeitsbelastungen entstehen, können die anfallenden Kosten die Einsparungen übersteigen. Jedoch tragen die in den letzten Jahren stark gestiegenen N-Preise zu einer verbesserten Kostenwirksamkeit bei. Es reicht nicht aus, die Kosten der N-Reduzierung allein dem Klimaschutz anzulasten, da gleichzeitig auch andere Umweltziele gestärkt werden.

### **Wirkungen auf andere Ziele**

Die Verminderung von N-Überschüssen reduziert die N-Einträge in Boden und Gewässer und vermindert damit die Versauerung und Eutrophierung sowie gesundheitsschädliche Folgewirkungen wie z. B. Feinstaubbildung durch Ammoniakemissionen. Ein Abbau der N-Belastungen fördert den natürlichen Zustand der Ökosysteme und trägt damit zum Erhalt der Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen sowie der Artenvielfalt bei (SUTTON et al., 2011). Wenn das Ertragsniveau erhalten bleibt, entstehen durch die N-Minderung keine unerwünschten Verlagerungseffekte, wie z. B. Intensivierung und Änderungen der Landnutzung in anderen Regionen.

## **4.2 Wirtschaftsdünger für die Biogasproduktion**

Durch die Verwendung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und anderer landwirtschaftlicher Reststoffe für die Biogasproduktion können Treibhausgasemissionen aus der Dunglagerung vermieden und fossile Energieträger eingespart werden. Der Biogasgewinnung aus Wirtschaftsdünger wird ein hohes Potenzial zugeschrieben, das bisher jedoch noch nicht ausgeschöpft wird. In Deutschland fallen derzeit jährlich ca. 200 Mio. t Wirtschaftsdünger an, aus dem rund 3,46 Mrd. m<sup>3</sup> Methan erzeugt werden könnten. Dies würde 2 % der deutschen Stromproduktion abdecken. Der Großteil des Biogases in Deutschland wird bisher allerdings durch Anbaubiomasse gewonnen (THIERING und BAHRS, 2011).

Die Nutzung von Wirtschaftsdünger zur Biogasproduktion vermindert Treibhausgasemissionen nicht nur durch den Ersatz fossiler Energieträger, sondern auch durch die Verringerung von THG-Emissionen bei offener Lagerung von Wirtschaftsdünger. Voraussetzung hierfür ist die gasdichte Lagerung der Gärreste. Das Vermeidungspotenzial von THG-Emissionen liegt beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern somit höher als das von Anbaubiomasse (THIERING und BAHRS, 2011). Durch den Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen aus dem Wirtschaftsdünger verändert sich die Kohlenstoffrückführung in die Böden (WILMS et al., 2008). Die Wirkungen auf die Humuserhaltung können derzeit noch nicht abschließend bewertet werden, in jedem Fall lässt sich ein potenzieller Humusverlust durch andere Maßnahmen wie Strohdüngung und Zwischenfruchtanbau kompensieren.

### **Kosten und Umsetzbarkeit**

Wirtschaftsdünger verursacht keine Produktionskosten, jedoch müssen Herstellungskosten für die Anlagen und Stromgestehungskosten berücksichtigt werden. Herstellungskosten sind abhängig von der Leistung der Blockheizkraftwerke (BHKW) und der daraus resultierenden Methangewinnung. Aus Silomais als Anbaubiomasse kann deutlich mehr Methan gewonnen werden als aus flüssigem Wirtschaftsdünger (z. B. Rinder- und Schweinegülle). Bei der Substitution durch Wirtschaftsdünger sinkt zwar die Lagerung von Energiepflanzensilagen, der jährliche Substratumsatz steigt jedoch an. Die Investitionskosten für Anlagen mit höherem Wirtschaftsdüngeranteil und dem damit verbunden höherem Substratumsatz liegen höher als bei



Anlagen mit Anbaubiomasseinsatz. Trotz geringerer Methanausbeute je t Substrat können die Stromgestehungskosten mit steigendem Wirtschaftsdüngeranteil sinken, die Stromgestehungskosten des Gülleinsatzes sind derzeit gegenüber Silomais aber nicht wettbewerbsfähig. Somit ist eine Förderung des Wirtschaftsdüngereinsatzes für die Biogaserzeugung z. B. durch das Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG) sinnvoll. Für den Transport von der Tierhaltung zur Biogasanlage können je nach Entfernung erhebliche Kosten und Emissionen anfallen, weshalb die Förderung kleinerer bis mittlerer Anlagengrößen für den Wirtschaftsdüngereinsatz einer Förderung sehr großer Anlagen vorzuziehen ist (THIERING und BAHRS, 2011).

Neben der erzeugten Energie, die meist direkt in die Stromnetze eingespeist wird, entsteht Wärme. Die Wärmeausbeute bei der Biogasgewinnung aus flüssigem Wirtschaftsdünger ist niedriger als aus Anbaubiomasse wie Silomais, bei gleichzeitig höherem Wärmebedarf zur Aufrechterhaltung des Gärprozesses. Die Biogaserzeugung hat einen hohen Eigenwärmebedarf, der unter Umständen, z. B. bei niedrigen Außentemperaturen, nicht durch die Wärmeerzeugung aus flüssigem Wirtschaftsdünger gedeckt werden kann (THIERING und BAHRS, 2011).

Die THG-Vermeidungskosten sind bei Einsatz von Wirtschaftsdüngern niedriger als bei Biogas aus Anbaubiomasse. Mit steigendem Gülleanteil am Gärsubstrat sinken folglich die THG-Vermeidungskosten. Der Transport von Wirtschaftsdünger zwischen Tierproduktion und Biogasanlage erhöht die THG-Vermeidungskosten. Um den Vorteil der niedrigeren Vermeidungskosten gegenüber dem Silomais zu bewahren, sollte auf kurze Transportwege geachtet werden. Außerdem sinkt durch ein erhöhtes Transportaufkommen die gesellschaftliche Akzeptanz für den Einsatz von Wirtschaftsdüngern für die Biogasgewinnung. Auch können bei hohem Transportaufkommen vermehrt Kosten für die Instandhaltung von Straßen anfallen (THIERING und BAHRS, 2011).

### **Wirkungen auf andere Ziele**

Die Nutzung von Wirtschaftsdünger als Substrat für die Biogaserzeugung wirkt sich auch positiv auf andere Umweltschutzziele aus. Die Vorteile resultieren vor allem daraus, dass der Wirtschaftsdünger Energiepflanzen wie z. B. Mais ersetzen kann. Somit entfallen Belastungen, die durch den Maisanbau entstehen. Gerade Maiskulturen werden intensiv gedüngt und können zu erhöhten N- und Schadstoffeinträgen in Gewässer und Böden führen. Mais gehört zu den humuszehrenden Kulturen und aufgrund der weiten Reihenabstände in der Bepflanzung besteht ein erhöhtes Erosionsrisiko, das eine weitere Gefahr für Böden und Gewässer darstellt (FLESSA et al., 2012). Ein Verzicht auf Energiepflanzenmonokulturen würde diese Gefahren reduzieren und ebenfalls zum Biodiversitätsschutz beitragen. Direkte und indirekte Landnutzungsänderungen können dadurch vermieden werden (FLESSA et al., 2012).

Die Vergärung von Wirtschaftsdünger und die anschließende gasdichte Lagerung weisen neben der Reduktion des Energiepflanzenanbaus noch weitere Vorteile auf.  $\text{NH}_3$ -Emissionen, die bei der Lagerung von Wirtschaftsdünger entstehen, werden vermieden. Allerdings kann es bei der anschließenden Ausbringung zu erhöhten Emissionen kommen, die durch emissionsminimierende Verfahren vermieden werden sollten (FLESSA et al., 2012). Durch die Vergärung steigert sich die

Fließfähigkeit des Düngers und er kann schneller in den Boden infiltrieren. Es wird auch davon ausgegangen, dass die Nährstoffe im vergärten Dünger besser verfügbar sind und schneller wirken (THIERING und BAHRS, 2011). Damit trägt die Maßnahme zur Steigerung der N-Produktivität der Düngung bei.

### 4.3 Steigerung der Milchleistung und Verringerung der Umtriebsraten in der Milchkuherde

Eine Steigerung der Milchleistung senkt die produktbezogenen THG-Emissionen je kg Milch, da sich der Erhaltungsbedarf der Kuh und die damit verbundenen THG-Emissionen auf eine höhere Produktmenge verteilen (OSTERBURG et al., 2009). Dieser Effekt ist bei geringeren Ausgangsleistungen besonders hoch. Bei einer bereits hohen Milchleistung nimmt die weitere Senkung der auf die Milch bezogenen THG-Emissionen ab. Eine Verringerung der Umtriebsrate, also des Anteils der Milchkuherde, der jedes Jahr durch Jungkühe ersetzt wird, ermöglicht es, den Bestand an Nachzuchtfärsen und damit auch deren THG-Emissionen zu verringern. Voraussetzung für die Wirksamkeit ist es, dass die Färsen nicht gemästet werden. Wenn nur eine Verschiebung zwischen den Verfahren Färsenaufzucht und Färsenmast stattfindet, verändert sich der THG-Ausstoß nur unwesentlich. Stattdessen sollten die nicht mehr als Nachzucht benötigten weiblichen Kälber in die Kälbermast gehen. Durch die in der Kälbermast verringerte Lebenszeit werden auch die Emissionen pro Tier reduziert. Als verbindender Indikator zwischen beiden Zielen ist die Lebensleistung der Milchkühe zu nennen, in die neben der Milchleistung pro Jahr auch die Aufzuchtdauer der Färsen und die Umtriebsrate einfließen.

Von 1990 bis 2010 hat sich die Milchleistung pro Kuh um 48 % erhöht, gleichzeitig sind die THG-Emissionen der Milchkühe pro Kopf nur um 23 % gestiegen (Daten des NIR, UBA, 2012b). Zur Umtriebsrate liegen keine statistischen Daten vor. Nach Modellrechnungen am Thünen-Institut anhand des Milchkuh- und Färsenbestandes lag die Umtriebsrate in der Milchvieherde in den letzten Jahren bei ca. 0,3. Bei verlängerter Umtriebsrate können die Kühe nicht mehr so regelmäßig durch leistungsfähigere Nachzuchtfärsen ersetzt werden, weshalb die Milchleistungssteigerung bei Verringerung der Umtriebsrate langsamer ansteigen könnte als in der Vergangenheit. Betrachtet man ein Zweinutzungssystem in dem Milch- und Rindfleischproduktion gekoppelt sind, kann eine gesteigerte Milchleistung und die damit verbundene Reduktion des Milchkuhbestandes zu steigenden Emissionen in der Rindfleischproduktion führen, wenn diese konstant gehalten werden soll. Um eine gleichbleibende Nachfrage nach Rindfleisch decken zu können, müssen mehr Mutterkühe gehalten werden, wodurch die Emissionen ansteigen (ZEHETMEIER et al., 2012).

#### Kosten und Umsetzbarkeit

Sowohl die Milchleistungssteigerung als auch die Verringerung der Umtriebsraten liegen im betriebswirtschaftlichen Interesse der Landwirte, da die Stückkosten der Milchproduktion bei steigender Leistung sinken, und eine längere Umtriebsrate Aufzuchtkosten für die Färsen einsparen hilft. Während sich die Milchleistungssteigerung in Deutschland in der Vergangenheit

fortlaufend erhöht hat, ist bezüglich der Umtriebsraten noch von einem erheblichen, bisher nicht ausgeschöpften Verbesserungspotenzial auszugehen.

### **Wirkungen auf andere Ziele**

Eine Verringerung der Umtriebsrate hat eine Verbesserung der Tiergesundheit zur Voraussetzung. Die Milchleistungssteigerung führt zu steigenden Managementanforderungen, da es bei Haltungs- und Fütterungsfehlern bei den Kühen schneller zu gesundheitlichen Problemen und Leistungseinbußen kommen kann. Tendenziell steigt der Bedarf an Futterkonzentraten, und der Anteil des Raufutters (Silomais, Grünfutter, Heu und Silagen) an der Ration sinkt, während die Qualitätsanforderungen an das Raufutter steigen. Dadurch kommt es ggf. zu erhöhten THG-Emissionen für die Futterbereitstellung, die mit den THG-senkenden Effekten zu verrechnen sind. Durch die veränderte Futtermischung des Milchviehs und die Verringerung der Anzahl von Nachzuchtfärsen kann die Nutzung und Pflege des Grünlands zurückgehen, die u. a. auf vielen Standorten im Interesse des Boden- und Biodiversitätsschutzes aufrecht erhalten werden sollte.

## **4.4 Ökologischer Landbau als THG-Minderungsmaßnahme**

Im Folgenden werden Ergebnisse von Untersuchungen zum ökologischen Landbau als Klimaschutzmaßnahme dargestellt. Bezüglich weitergehender Ausführungen sei auf FLESSA et al. (2012), GATTINGER et al. (2012), HIRSCHFELD et al. (2008) und RAHMANN et al. (2008) verwiesen.

Ein erheblicher Teil der durch konventionelle Bewirtschaftung verursachten THG-Emissionen kann durch eine Umstellung auf ökologisch verträglichere Methoden verringert werden. Eine Literaturlauswertung von FLESSA et al. (2012) zeigt, dass im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft im ökologischen Landbau insgesamt weniger Treibhausgase pro ha Nutzfläche emittiert werden. So werden im Median nur 0,92 anstatt 2,67 t CO<sub>2</sub>-Äq. pro ha freigesetzt (FLESSA et al., 2012). Die Ergebnisse solcher Vergleiche schwanken jedoch sehr stark, da die untersuchten Betriebe nur begrenzt vergleichbar sind. Aufgrund der meist geringeren Erträge je ha im ökologischen Landbau kann es bei einer produktbezogenen Betrachtungsweise dazu kommen, dass sich im Gegensatz zur flächenbezogenen Betrachtung die emissionsrelevanten Vorteile des ökologischen Landbaus verringern oder aufgehoben werden. Diese Betrachtungsweise ist jedoch sinnvoll, da die Produktivität der Betriebe bei einem Vergleich mit einbezogen werden muss. Weiterhin beeinflussen die gewählten Systemgrenzen, die Allokationsmethoden und vor allem die untersuchten Produkte und Prozesse die Ergebnisse. Gerade energieintensive und weniger entwickelte Produktionssysteme des ökologischen Landbaus (z. B. Tomatenproduktion im Gewächshaus, Geflügel- und Eierproduktion) weisen hohe produktbezogene Emissionswerte auf (RAHMANN et al., 2008).

### **THG-Emissionen im ökologischen Pflanzenbau**

Im Pflanzenbau werden im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft in den meisten Fällen sowohl bei flächenbezogener als auch bei produktbezogener Betrachtung geringere oder

zumindest vergleichbare Treibhausgasemissionen im ökologischen Landbau festgestellt (FLESSA et al., 2012). Hierbei sorgt vor allem der Verzicht auf mineralische Stickstoffdüngung und Pestizide für erhebliche Einsparungen von Energie und Treibhausgasemissionen bei ihrer Produktion in der Vorkette. So können Berechnungen auf der Basis von HIRSCHFELD et al. (2008) zufolge beim Anbau von Weizen in der Vorkette ca. 100-200 g CO<sub>2</sub>-Äq. pro kg Weizen eingespart werden. Der mineralische Stickstoff wird durch den Einsatz von Wirtschaftsdüngern und über biologische Stickstofffixierung bei Leguminosen ersetzt. Lachgasemissionen werden reduziert, da die geringere Düngungsintensität zu einem geringeren N-Überschuss und somit geringeren N-Verlusten auf den Flächen führt. Zusätzlich ist Stickstoff in den stabilen organischen Verbindungen des Wirtschaftsdüngers für die Mikroorganismen schwerer und in geringerer Menge verfügbar (RAHMANN et al., 2008).

### **THG-Emissionen in der ökologischen Tierhaltung**

Im Fall der Produktion tierischer Erzeugnisse sind die produktbezogenen Emissionen je kg deutlich höher als bei der pflanzlichen Produktion. Stärker noch als bei den pflanzlichen Erzeugnissen gehen die Ergebnisse der verschiedenen Studien weit auseinander. Die Höhe der produktbezogenen Treibhausgasemissionen hängt vor allem von der Produktivität des jeweiligen ökologischen Betriebs ab (FLESSA et al., 2012). Geringere Viehbestände und längere Umtriebszeiten und damit verbundenen geringere Remontierungsraten können die Emissionen im ökologischen Betrieb jedoch verringern.

Die ökologischen tierhaltenden Betriebe sparen auch durch die Nutzung betriebseigener Futtermittel Treibhausgasemissionen ein, da sie nicht importieren müssen. Somit werden nur emissionsärmere, ökologisch erzeugte Futtermittel genutzt. Zusätzlich entstehen kaum Transportemissionen und Emissionen durch direkte und indirekte Landnutzungsänderungen (z. B. bei der Umwandlung von Regenwald) im Ausland werden vermieden. Der Anbau und Import von Sojaschrot beispielsweise erhöht die THG-Emissionen, die der konventionellen Produktion zugerechnet werden müssen. Unter Berücksichtigung von Anbau, Transport und Verarbeitung wird für importiertes Sojaschrot z. B. ein Emissionswert von ca. 0,994 kg CO<sub>2</sub>-Äq. pro kg Sojaschrot angenommen (HIRSCHFELD et al., 2008). Werden nicht genügend eigene Futtermittel produziert, können diese auch aus regionaler ökologischer Erzeugung zugekauft werden. Allerdings ist nicht immer klar, ob die kürzeren Transportwege bei der regionalen Versorgung die geringere Transporteffizienz (geringere Mengen werden transportiert) ausgleichen können.

Weitere Emissionsquellen in der Tierhaltung sind die enterische Fermentation und die Wirtschaftsdüngerlagerung. Die Höhe und Art der Emissionen wird durch die Zusammensetzung der Futtermittel beeinflusst. Ein größerer Anteil von Strukturkohlenhydraten im Raufutter erhöht die enterische Methanbildung. Kraftfutter hingegen reduziert diese Methanbildung, erhöht aber die Methanemissionen aus der Güllelagerung (RAHMANN et al., 2008). Auch die Kraftfutterherstellung an sich ist mit THG-Emissionen verbunden.

Die Höhe der Emissionen durch das Management von Wirtschaftsdünger hängt stark von seiner Zusammensetzung und den angewandten Methoden zur Lagerung und Ausbringung ab und kann

daher stark zwischen den einzelnen Betrieben schwanken. Eine pauschale Bewertung der Gesamtwirkung unterschiedlicher Haltungs- und Managementsysteme ist daher nicht möglich. Aus Tierschutzgründen werden in der ökologischen Produktion vor allem Festmistssysteme mit Stroh verwendet (KASSOW et al., 2009). Aufgrund der aeroben Verhältnisse werden damit die Methanemissionen gegenüber denen bei flüssiger Lagerung verringert. Gleichzeitig steigen jedoch die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Lagerung. Weitere indirekte N<sub>2</sub>O Emissionen entstehen durch die Freisetzung von Ammoniak. Im ökologischen Landbau wird zusätzlich verstärkt auf Weidehaltung gesetzt. Hierbei kann die punktuelle, konzentrierte Abgabe von Harn und Kot auf der Weide zu erhöhten N<sub>2</sub>O-Emissionen führen, andererseits entfallen Emissionen aus der Lagerung und Ausbringung (RAHMANN et al., 2008).

### **Kohlenstofffestlegung durch ökologische Flächenbewirtschaftung**

Der Einsatz von Wirtschaftsdünger, Gründüngung, Zwischen- und Untersaaten, verbesserten Fruchtfolgen und die Rückführung von Ernterückständen im ökologischen Landbau fördern die Humusbildung im Ackerboden (GATTINGER et al., 2012). So speichern diese Betriebe durchschnittlich ca. 400 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> im Jahr (RAHMANN et al., 2008). Die Kohlenstoffsequestrierung kann jedoch nur als eine temporäre CO<sub>2</sub>-Senke angesehen werden (FLESSA et al., 2012). Sobald sich ein Humusgleichgewicht im Boden eingestellt hat, kann kein weiteres CO<sub>2</sub> mehr aufgenommen werden. LEIFELD (2010) weist darauf hin, dass eine Zunahme des Kohlenstoffgehalts in Böden mit biologischer Bewirtschaftung von 2,2 % pro Jahr festgestellt werden konnte, während bei konventionellen Betrieben keine signifikanten Änderungen auftraten. Aufgrund methodischer Mängel und geringer Vergleichbarkeit der konventionellen und ökologischen Betriebe kann daraus nicht abgeleitet werden, dass der ökologische Landbau generell eine positive Wirkung auf den Kohlenstoffgehalt der Böden hat. GATTINGER et al. (2012) konnten anhand einer Metaanalyse zeigen, dass ökologisch bewirtschaftete Ackerböden letztendlich nicht mehr als ca. 2-3 t C pro ha mehr organischen Bodenkohlenstoff enthalten als konventionell bewirtschaftete Ackerböden. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Sequestrierungsraten konnte nur während der ersten 20 Jahre der ökologischen Bewirtschaftung beobachtet werden. Diese CO<sub>2</sub>-Speicher sind zudem sehr anfällig. Eine Weiterbewirtschaftung der Fläche, ohne fortgesetzte Rückführung von organischer Substanz, würde wieder zu einer CO<sub>2</sub>-Freisetzung führen.

Weiterhin ist die Kohlenstoffsequestrierung auf agrarischen Flächen vom Boden, den klimatischen Bedingungen und der Landnutzung abhängig (GATTINGER et al., 2012). Zuvor viehlose Betriebe, die bisher nur humuszehrende Kulturen angebaut haben, besitzen ein größeres C-Sequestrierungspotenzial als Betriebe, die bereits mit Wirtschaftsdünger und humusbildenden Kulturen gearbeitet haben. Oben genannte Werte können also nicht auf allen Flächen erzielt werden, beispielsweise nicht im Fall einer Viehbestandsabstockung. Aufgrund der genannten Unsicherheiten sollte die C-Sequestrierung durch ökologischen Landbau als positiver, temporärer Zusatzeffekt betrachtet werden und nicht als zentrale Maßnahme für eine langfristig tragfähige Klimaschutzstrategie.

### **Kosten und Umsetzbarkeit**

Die Kosten der Umstellung auf ökologischen Landbau und der Beibehaltung dieser Bewirtschaftungsform wird näherungsweise durch Höhe der staatlichen Förderung widerspiegelt. Zusätzlich zu sonstigen agrarpolitischen Förderungen erhalten ökologische Betriebe eine spezielle, flächenbezogene Agrarumweltförderung. Die Förderung trägt der Tatsache Rechnung, dass die ökologische Bewirtschaftung auf vielfältige Weise zum Umweltschutz beiträgt. Außerdem wird damit ein Anreiz für die ökologische Produktion geschaffen und mehr Sicherheit bei der mit Risiken verbunden Umstellung geboten.

Im Durchschnitt der Wirtschaftsjahre 2005/06 bis 2009/10 hatten die ökologischen Betriebe aufgrund geringerer Viehbesatzdichte, geringerem Getreideanteil in der Fruchtfolge und niedrigeren Erträgen durchschnittlich geringere Umsatzerlöse und zusätzlich höhere Personalkosten und Betriebsaufwendungen (SANDERS et al., 2012). Die Autoren konnten jedoch feststellen, dass die ökologischen Betriebe aufgrund eines reduzierten Vorleistungsaufwands und der Agrarumweltförderung in Höhe von 148 Euro/ha höhere Gewinne erzielten als vergleichbare konventionelle Betriebe. Berücksichtigt werden muss hierbei, dass zwischen den ökologischen Betrieben große Gewinnunterschiede bestehen (SANDERS et al., 2012).

Wenn bei einer weiteren Ausdehnung der ökologisch bewirtschafteten Flächen die produzierte Menge an ökologischen Produkten die Nachfrage übersteigt, können die höheren Produktpreise nicht mehr beibehalten werden und die Gewinne der Betriebe würden sinken. Um die mit einer solchen, starken Flächenausdehnung verbundenen Gewinnrückgänge auszugleichen, müsste die Förderung für die ökologischen Betriebe erhöht werden (OFFERMANN, 2003).

### **Wirkungen auf andere Ziele**

Neben der klimafreundlicheren Produktion, wirkt sich der ökologische Landbau auch positiv auf andere Naturschutzziele aus. So trägt der ökologische Landbau auch zum Bodenschutz und zum Biodiversitätserhalt bei (RAHMANN, 2011). Eine schonendere Bodenbearbeitung und großflächige Bodenbedeckung durch Zwischenfruchtanbau und Dauerkulturen mindern Erosion und dadurch bedingten Humusverlust. Vielfältige Fruchtfolgen, der Verzicht auf Pestizide und der Einsatz von Wirtschaftsdünger fördern Flora und Fauna (STOLZE et al., 2000). Eine erhöhte Präsenz von Regenwürmern fördert weiterhin die Humusbildung und sorgt für ein stabileres Bodengefüge, eine bessere Durchlüftung des Bodens und erhöhte Wasserhalte- und Wasseraufnahmekapazität. Die Fertilität der Böden wird somit langfristig erhalten und teilweise sogar erhöht (SEUFERT, 2012). Eine schnellere Wasserinfiltration wirkt zusätzlich der Intensität von Hochwasserereignissen entgegen (SCHNUG und HANEKLAUS, 2002).

Bessere Böden und der Verzicht auf mineralische N-Dünger und Pflanzenschutzmittel verringern schädliche Einträge in Grundwasser und andere Gewässer. Auch wird bestehendes Grünland als Futterfläche erhalten und bei einer vermehrten Umstellung auf ökologischen Landbau eventuell sogar ausgedehnt, und die im Grünland gespeicherten Kohlenstoffvorräte werden nicht freigesetzt. Zusätzlich wird im ökologischen Landbau verstärkt auf artgerechte Haltung und Tier-

gesundheit geachtet. So wird im ökologischen Landbau vor allem auf Weidehaltung und Festmistverfahren gesetzt.

#### 4.5 Weitere THG-Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft

Die Einschränkung von Produktionsumfängen in der deutschen Landwirtschaft führt zur Vermeidung der mit der Produktion verbundenen THG-Emissionen. Dies ist nur dann eine Klimaschutzoption, wenn die Produktionseinschränkung nicht zur Ausweitung der Produktion und zu gleich hohen oder höheren produktionsbedingten THG-Emissionen außerhalb von Deutschland führt. Bei einer Einschränkung der Wiederkäuerbestände, die aufgrund der verdauungsbedingten CH<sub>4</sub>-Emissionen hohe THG-Emissionen pro Tier und pro Produkteinheit aufweisen, sind Ziele der Grünlandnutzung und -pflege zu berücksichtigen. Zu bedenken ist allerdings, dass derzeit in Deutschland noch viele Flächen für Ackerfutterbau genutzt werden, z. B. für Silomais oder Klee-gras. Bei einem Rückgang der Weidetierbestände könnte sich der verbleibende Bestand an Wiederkäuern auf den Grünlandflächen konzentrieren, während der Ackerfutterbau zugunsten anderer Ackerkulturen eingeschränkt werden könnte. Ziele der Grünlandpflege können dann auch mit Teilen der Milchviehherde umgesetzt werden (Nachzuchtfärsen, nicht laktierende Kühe).

Zur Minderung der THG-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Landnutzung und Landnutzungsänderungen werden in den nachfolgenden Szenarioanalysen Annahmen zur Vermeidung von Grünlandumwandlung in Ackerland sowie zur Restaurierung und Vernässung landwirtschaftlich genutzter Moore getroffen. Während die Grünlanderhaltung eine Fortführung der Landwirtschaft erlaubt, vor allem über die Nutzung durch Wiederkäuerhaltung, bedeutet die Vernässung von Mooren einen vollständigen oder zumindest sehr weitgehenden Rückzug der landwirtschaftlichen Produktion von diesen Flächen. Weitere Informationen zu diesen beiden Maßnahmen, die auch positive Wirkungen auf den Schutz der Gewässer, des Bodens und der Biodiversität aufweisen, finden sich in FLESSA et al. (2012).

## 5 Darstellung von THG-Minderungsszenarien für das Jahr 2050

Ziel der Szenarioanalysen ist es aufzuzeigen, auf welchen Wegen eine Minderung der THG-Emissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft auf 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erreicht werden kann. Zusätzlich werden auch Auswirkungen auf den Vorleistungseinsatz und die Versorgungsbilanzen betrachtet. Für die Bewertung der Szenarien wird also einerseits betrachtet, ob das Minderungsziel für die Quellgruppe Landwirtschaft von 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. unterschritten wird. Zum anderen erfolgt die Bewertung anhand der kumulierten THG-Emissionen, Energie- und Flächenansprüche der inländischen Agrarproduktion einschließlich der Vorleistungen für die landwirtschaftliche Produktion aus vorgelagerten Sektoren und durch Importe aus dem Ausland. Die mit Agrargüterexporten aus der deutschen Landwirtschaft ins Ausland verbundenen, kumulierten Emissionen und Ressourcenansprüche werden dagegen in Abzug gebracht, da Agrarexporte zur Vermeidung von Ressourcenansprüchen und Emissionen außerhalb Deutschlands beitragen (vgl. Abschnitt 5.2.3). Aufgrund der gleichen methodischen Überlegung werden die THG-Emissionen, Energie- und Flächenansprüche aus der Produktion von Importsoja der deutschen Landwirtschaft zugerechnet. Durch diesen sektor- und grenzüberschreitenden Bewertungsansatz soll die Produktions- und Versorgungsleistung der deutschen Landwirtschaft beurteilt und gleichzeitig aufgezeigt werden, ob es zu unerwünschten Verlagerungs- und Verdrängungseffekten in der weltweiten Flächennutzung, Agrarproduktion und Nahrungsmittelversorgung kommen könnte (sogenannte „leakage“-Effekte).

Die Szenarioanalysen konzentrieren sich auf drei Handlungsfelder der Klimaschutzpolitik, die für die THG-Emissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors relevant sind:

- Im Mittelpunkt stehen landwirtschaftliche Klimaschutzmaßnahmen zur Senkung der direkten Emissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft auf 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.. Zur verfügbaren Landwirtschaftsfläche und inländischen Verwendung von Agrarprodukten werden szenarioübergreifend einheitliche Annahmen getroffen.
- Die Landwirtschaftsfläche geht unabhängig von einzelnen Szenarien bis zum Jahr 2050 aufgrund der klimaschutzpolitisch motivierten Restaurierung von heute landwirtschaftlich genutzten Moorböden sowie der weiteren Umwidmung landwirtschaftlicher Flächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen deutlich zurück.
- Die inländische Verwendung landwirtschaftlicher Produkte für die Nahrungsversorgung der in Deutschland lebenden Bevölkerung und als nachwachsende Rohstoffe wird ebenfalls szenarioübergreifend einheitlich festgelegt. Anhand der Produktionsmengen aus den Landwirtschaftsszenarien lassen sich Versorgungsbilanzen und die Agrarim- und -exporte berechnen.

Diese drei Handlungsfelder hängen zwar zusammen, erfordern aber die Umsetzung eigener, spezifischer Klimaschutzmaßnahmen. So können eine Änderung der Konsumgewohnheiten und die Vermeidung von Nahrungsabfällen zwar die ökologische Bilanz der Ernährung in Deutschland verbessern, dies führt aber nicht zwangsläufig zu einer äquivalenten Anpassung der deutschen Agrarproduktion, denn Agrarprodukte sind handelbare Güter und die Nachfrage nach Nahrungsmitteln steigt weltweit an. Eine Veränderung auf der Produktions- oder der Verwendungsseite



wirkt sich demnach primär auf den Selbstversorgungsgrad und die Agrarim- und -exportmengen aus. Deshalb werden die Szenarien nicht nur anhand der Höhe der direkten Emissionen in der Landwirtschaft bewertet, sondern auch anhand des Vorleistungseinsatzes, der Versorgungsbilanz und der darauf aufbauenden Betrachtung der kumulierten Emissionen und Ressourcenansprüche.

Der Szenarioaufbau wird anhand einer Fortschreibung auf Basis des Jahres 2007 vorgenommen, da für dieses Jahr vollständige Daten vorliegen. Die Berechnung erfolgt über eine Tabellenkalkulation, in der die deutsche Landwirtschaft differenziert nach den verschiedenen, in der Agrarstatistik erfassten Kulturen und Tierkategorien zusammen mit allen Ressourcenansprüchen und Leistungen dargestellt wird. Dabei wird auf Daten aus dem agrarökonomischen Agrarsektormodell RAUMIS, aus den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) (SCHMIDT und OSTERBURG, 2006) sowie aus dem Nationalen THG-Inventar für das Jahr 2010 aufgebaut (UBA, 2011).

Die THG-Inventare werden derzeit nach Methoden des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von 1996 berechnet (IPCC, 1997). Ab dem Jahr 2013 werden in der Berichterstattung die neuen IPCC-Guidelines von 2006 zur Anwendung kommen (IPCC, 2006). Die darin enthaltenen, methodischen Änderungen führen zu veränderten, berechneten THG-Emissionen. Die Auswirkungen der neuen Berechnungsmethoden können in diesem Bericht nicht berücksichtigt werden. Verwiesen sei hier darauf, dass gemäß der IPCC-Guidelines von 2006 die bisher berechneten, direkten  $N_2O$ -Emissionen aus der legumen N-Bindung ganz entfallen, und der Emissionsfaktor für die indirekten  $N_2O$ -Emissionen aus der Auswaschung (leaching) um 70 % geringer veranschlagt wird. Die Annahme, dass bei der  $N_2$ -Fixierung durch Leguminosen direkte  $N_2O$ -Emissionen entstehen, hat sich als nicht korrekt erwiesen, die bisher berichteten, direkten Emissionen entfallen deshalb in Zukunft. Emissionen aus der Umsetzung des durch die Leguminosen fixierten Stickstoffs aus Ernterückständen und Wurzeln im Boden werden auch weiterhin in den Emissionsberechnungen berücksichtigt. Diese Korrektur der THG-Berechnung macht die legume N-Bindung künftig zu einer attraktiveren Klimaschutzoption.

Für den Aufbau der Szenarien werden im ersten Schritt die Erträge und Tierleistungen fortgeschrieben. Es wird eine vorsichtige Schätzung künftiger Ertragszuwächse vorgenommen (konservative Schätzung wegen möglicher Folgen des Klimawandels). Dafür wird eine Wachstumsrate für die Zeit von 2007 bis 2050 abgeleitet. Die Trends werden also nicht anhand prozentualer, jährlicher Ertragssteigerungen fortgeschrieben, um zu hohe Zuwächse über den langen Zeitraum zu vermeiden.

Die Rahmenbedingungen für die Agrarproduktion werden sich bis zum Jahr 2050 stark verändern. Nach den Ergebnissen der FAO-Publikation „World agriculture towards 2030/2050“ wird die Nachfrage nach Agrarprodukten bis zum Jahr 2050 aufgrund des Bevölkerungswachstums und steigender Einkommen in Schwellen- und Entwicklungsländern deutlich ansteigen. Der pro-Kopf-Verbrauch von Fleisch wird der Studie zufolge im weltweiten Durchschnitt von 2005/2007 bis 2050 um 25 % oder 10 kg pro Kopf und Jahr ansteigen, bei Milch liegt die erwartete Zunahme bei 10 %. Die weltweite Fleischproduktion wird in diesem Zeitraum um 75 % zunehmen. Gleichzeitig

wird die weltweit pro Kopf verfügbare Ackerfläche von derzeit ca. 0,24 bis 2050 auf ca. 0,18 ha zurückgehen (ALEXANDRATOS und BRUINSMA, 2012).

Die stark ansteigende Nachfrage nach Nahrungsmitteln am Weltagrarmarkt bei begrenzter Verfügbarkeit von landwirtschaftlicher Nutzfläche wird zu starken Marktanreizen führen, die landwirtschaftliche Produktion zu steigern. THG-Minderungsmaßnahmen, die mit einer Einschränkung der Produktion verbunden sind, werden aufgrund steigender Agrarpreise und der dadurch erhöhten Opportunitätskosten eines Produktionsverzichts teurer. THG-Minderungsmaßnahmen, die auf einer Steigerung der Düngungs- und Fütterungseffizienz beruhen, werden aufgrund steigender Düngemittel- und Futtermittelpreise künftig dagegen kostengünstiger. Die Produktion einschränkende Maßnahmen stehen zudem im Konflikt mit dem Ziel der Ernährungssicherung und können in einer Situation mit zunehmender Flächennutzungskonkurrenz indirekte Landnutzungseffekte und damit Emissionssteigerungen an anderen Orten der Welt auslösen. Für die Bewertung solcher Maßnahmen kommt es deshalb darauf an, die Nettowirkung auf die THG-Bilanzen unter Berücksichtigung unerwünschter Verlagerungs- und Verdrängungseffekte (sogenannte „leakage“-Effekte) abzuschätzen. Zu berücksichtigen ist auch, dass Extensivierungsmaßnahmen oft in erster Linie zur Erreichung anderer Umweltziele wie Wasser- und Biodiversitätsschutz beitragen sollen.

## 5.1 Beschreibung der Szenarien und zugrunde liegender Annahmen

Die nachfolgend näher beschriebenen Szenarien gehen von den folgenden, gemeinsamen Grundannahmen aus:

### **Annahmen zur Landnutzung**

Das Ziel, die THG-Emissionen in der Quellgruppe LULUCF zu minimieren, lässt sich nur durch Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorflächen erreichen, die derzeit als „hot spot“ hohe THG-Emissionen in Höhe von über 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. freisetzen (vgl. Kapitel 3.2). Eine Nutzung als Acker- oder Intensivgrünland ist dann nicht mehr möglich, eine Nutzung kann allenfalls noch als sehr extensives, nasses Grünland erfolgen. Die landwirtschaftliche Nutzung von Moorböden wird den Annahmen zufolge zugunsten einer Restaurierung von Mooren eingestellt. Dieser Entzug von über einer Million Hektar Landwirtschaftsfläche bedeutet einen erheblichen Eingriff in die Produktionsgrundlagen des deutschen Agrarsektors. Die damit verbundenen Einschränkungen der landwirtschaftlichen Nutzfläche werden bei der Szenarioberechnung berücksichtigt. 85 % der Moorflächen werden annahmegemäß bis 2050 durch Vernässung und Einstellung der landwirtschaftlichen Produktion restauriert. Insgesamt handelt es sich um ca. 600.000 ha Ackerland und 633.000 ha Grünland. Davon werden 420.000 ha Ackerland und 633.000 ha Grünland aus der Nutzung genommen. Es wird angenommen, dass nicht die gesamte Fläche restauriert werden kann, u. a. aufgrund der Nähe zu Siedlungen und Infrastruktur und aufgrund irreversibler Veränderungen der Moorkörper. 180.000 ha Ackerland werden daher in Grünland umgewandelt, aber weiter extensiv bewirtschaftet. Sonstiges Grünland wird nicht mehr

in Ackerland umgewandelt, so dass keine THG-Emissionen aus Landnutzungsänderungen zu Ackerland mehr entstehen.

In der Quellgruppe LULUCF wird weiterhin Kalk auf landwirtschaftlichen Flächen angewendet, um den pH-Wert der Böden zu stabilisieren und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Aus der Kalkung entstehen in allen Szenarien Emissionen in Höhe von jährlich ca. 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Aus den weiterhin landwirtschaftlich bewirtschafteten Moorflächen emittieren ca. 4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. als CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O. Hinzu kommen Siedlungsflächen auf Moorböden, aus denen im Jahr 2010 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub> freigesetzt wurden, und 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub> aus der Kalkung landwirtschaftlicher Flächen. Zusammen ist also damit zu rechnen, dass im Jahr 2050 bis zu 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. aus der Quellgruppe LULUC (Landwirtschaftliche Flächen, Siedlungsflächen) freigesetzt werden. Dem stehen mögliche Festlegungen von Kohlenstoff in restaurierten Mooren gegenüber, die zumindest einen Teil dieser Emissionen kompensieren können. Vernässte Moore können über sehr lange Zeiträume und dauerhaft Kohlenstoff festlegen. Einer Studie zu Kohlenstoffflüssen von Mooren (CHRISTENSEN und FRIBORG (ed.), 2004) zufolge können in intakten Mooren je nach klimatischen Bedingungen, Moorart und Vegetation zwischen 0,7 und 2 t CO<sub>2</sub>-Äq. je ha und Jahr festgelegt werden. Unter der aus Sicht des Klimaschutzes optimistischen Annahme, dass die aus der Nutzung genommenen Moorflächen in Deutschland langfristig in einen naturnahen Zustand zurückversetzt werden können, kann mit einer CO<sub>2</sub>-Festlegung von 1 bis 2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr gerechnet werden. Sowohl bezüglich der Renaturierungsmöglichkeiten als auch aufgrund der Auswirkungen künftiger klimatischer Veränderungen bestehen aber große Unsicherheiten in Hinblick auf die Höhe und Dauerhaftigkeit der C-Festlegung im Torf.

Die Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr fällt den Annahmen nach ab dem Jahr 2007 mit 80 ha/Tag linear bis 2020 auf 30 ha/Tag, ab 2020 sinkt die Flächeninanspruchnahme für Siedlung bis 2050 linear auf 0. Ausgangspunkt für diese Annahme ist die Umsetzung des Ziels der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, den Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche zu begrenzen (BUNDESREGIERUNG, 2002; PENN-BRESSEL, 2003). Durch die Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsfläche geht die landwirtschaftliche Nutzfläche (LF) bis 2050 um 434.500 ha zurück, dies entspricht einer Abnahme um ca. 8 %. Annahmegemäß entstehen keine zusätzlichen, die LF betreffenden Flächenansprüche für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen und Naturschutz. Die Reduzierung der Landwirtschaftsfläche erfolgt in den Szenariorechnungen proportional über alle Nutzungsarten und Kulturen.

Die im Jahr 2007 bestehende Ackerflächenstilllegung (Brache) in Höhe von ca. 700.000 ha fällt auf 200.000 ha (Aufhebung der Stilllegungsverpflichtung). Die Ackerkulturen werden proportional ausgedehnt. Im ökologischen Landbau wird die Brachefläche für Klee gras verwendet, das der legumen N-Bindung und als Futtergrundlage für die Rinderhaltung dient.

Die Erhöhung der C-Senken in genutzten landwirtschaftlichen Böden wird nicht als THG-Minderung angerechnet, da eine weitere Erhöhung langfristig und weit über das Jahr 2050 nicht möglich ist und dieser Prozess reversibel ist, z. B. im Zusammenhang mit dem Klimawandel.

Technische Verfahren zur C-Festlegung wie die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) sind noch nicht ausreichend erforscht. Es besteht noch Unsicherheit, in wie weit durch HTC-Verfahren ein langfristig vor Abbau im Boden geschützter Kohlenstoff entsteht, der zur Bodenverbesserung und Kohlenstoffanreicherung eingesetzt werden kann.

### **Annahmen zur Verwendung der in Deutschland erzeugten Agrarprodukte**

Die inländische Nahrungsmittelnachfrage, der Bedarf an handelbaren Futtermitteln zur Versorgung der Tierbestände (Getreide, Ölkuchen als Eiweißfuttermittel) sowie die Nachfrage nach Rohstoffen zur stofflichen Verwertung haben in den Szenarioanalysen keine unmittelbare Auswirkung auf die Produktion im deutschen Agrarsektor. Die Annahmen zur inländischen Verwendung von Agrarprodukten dienen vielmehr der Berechnung der Versorgungsbilanzen, bei der Produktion und Verwendung im Inland verglichen werden und die möglichen Im- und Exporte ermittelt werden. Auf Grundlage der Versorgungsbilanz und der Im- und Exporte wird für die Bewertung der Szenarien eine „Außenhandelsbilanz“ der Emissionen und Ressourcenansprüche berechnet.

Die inländische Verwendung der erzeugten Agrarprodukte wird auf Grundlage der folgenden Annahmen fortgeschrieben:

- Im Jahr 2050 findet in Deutschland keine Verwendung von Anbaubiomasse für energetische Nutzungen mehr statt. Eine Ausnahme hiervon bilden Rest- und Abfallstoffe aus der Pflanzen- und Tierproduktion wie z. B. die tierischen Ausscheidungen. Die Anbaufläche für Silomais, der derzeit auch der Bereitstellung von Gärsubstraten für die Biogasproduktion dient, wird auf die für die Ernährung der Viehbestände benötigte Fläche eingeschränkt. Andere Kulturen wie Weizen, Raps und Zuckerrüben, die u. a. zur Biokraftstoffproduktion dienen, werden weiterhin mit hohen Flächenumfängen als Nahrungspflanzen angebaut. Durch den Verzicht auf Energiepflanzenanbau erhöht sich das Angebot an pflanzlichen Produkten für andere Verwendungen.
- Stoffliche Verwendungen von landwirtschaftlichen Erzeugnissen finden weiterhin im Umfang des Jahres 2007 statt.
- Wirtschaftsdünger wird für die Biogasproduktion verwendet, wodurch bis zu 80 % der THG-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung vermieden werden können. Die Energieproduktion steht dabei nicht im Mittelpunkt dieser Maßnahme. Bei Einschränkungen der Tierproduktion ist zu berücksichtigen, dass auch die Biogasproduktion aus Reststoffen zurückgeht.
- Zur Abschätzung der inländischen Nahrungsmittelnachfrage wird in Anlehnung an UBA (Hrsg., 2010) ein Bevölkerungsrückgang bis 2050 in Deutschland um etwa 12 % angenommen. Die Berechnung des Nahrungsmittelverbrauchs pro Kopf erfolgt auf Grundlage der Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE), wodurch insbesondere der Fleischverbrauch deutlich eingeschränkt wird (vgl. die Hintergrundinformationen in Anhang 2). Der Umfang von Lebensmittelabfällen geht zurück. Dabei wird angenommen, dass sich etwa 50 % der Abfälle vermeiden lassen und dieses Potenzial im Jahr 2050 ausgeschöpft wird (vgl. die Hintergrund-

informationen in Anhang 3). Aus diesen Annahmen resultiert ein geringerer, inländischer Nahrungsmittelverbrauch.

In den Szenarien werden die Wirkungen auf Futtermittel-, (Dünger-)Nährstoff- und Produktversorgungsbilanzen berücksichtigt. In den Modellrechnungen werden die Jungtier-, Futtermittel- und Nährstoffversorgungsbilanzen ins Gleichgewicht gebracht, d. h. dass sich Aufkommen und Verwendung dieser Vorleistungen entsprechen müssen. Die Jungtierbilanzen (Kälber und Jungrinder für Zucht und Mast) werden in allen Szenarien ausgeglichen. Z. B. reduziert sich bei Veränderung der Kuhbestände auch der Bestand der Jungrinder. Bei Einschränkung der Bullen- und Färsenmast wird die Kälbermast ausgedehnt. Ebenso werden die Grundfutterbilanzen ausgeglichen, dies betrifft die wenig transportwürdigen und deshalb nur eingeschränkt gehandelten Raufuttermengen (Silomais, anderes Feldfutter und Grünland). Die Versorgung der Viehbestände mit Grund- bzw. Raufutter (Weide, Heu, Silagen) wird also aus dem Inland gewährleistet, während Getreide, Ölkuchen und andere Futtermittel auch importiert werden können.

Die Nährstoffversorgung, also die Versorgung der Pflanzen mit den Hauptnährstoffen Stickstoff (N), Phosphor ( $P_2O_5$  bzw. P) und Kalium ( $K_2O$  bzw. K) wird betrachtet, da sich bei Änderung des Anbauprogramms und der Tierbestände auch die Düngungsbilanz verändert. Für die Stickstoffversorgung wird zusätzlich auch der Grad der Ausnutzung der zugeführten Mengen variiert, um die Potenziale einer produktiveren Verwendung dieses Inputs aufzuzeigen. Schließlich wird bei Veränderung der Flächennutzung die Flächenbilanz ausgeglichen. Bei einer Einschränkung der Ackerfutterfläche wird die Weizenfläche ausgedehnt, da Weizen eine dominante Kultur mit guter Vermarktbarkeit darstellt. Bei Ausdehnung der Ackerfutterfläche oder anderer Kulturen wird die Gerstenfläche eingeschränkt. Die verbleibende Grünlandfläche bleibt den Annahmen nach erhalten und wird nicht in Ackerfläche oder Wald umgewandelt.

### 5.1.1 Szenario 1: Fortschreibung des Status Quo plus Klimaschutz

In diesem Szenario werden die bestehenden Strukturen der deutschen Landwirtschaft fortgeschrieben. Als Kürzel wird „KONV“ für „konventionelle Landwirtschaft“ verwendet. Grundlage für die Fortschreibung der Produktionsstrukturen und Erträge bildet die „Baseline-Projektion“ des Modellverbands am Thünen-Institut (OFFERMANN et al., 2012). Der ökologische Landbau wird in diesem Szenario nicht explizit abgebildet, sondern ist Bestandteil der Abbildung der gesamten deutschen Landwirtschaft. Die folgenden Schritte werden für Szenarioaufbau und -analyse unternommen:

- Ermittlung der im Jahr 2050 zu erwartenden Produktionsumfänge und -mengen, aufbauend auf der Situation im Basisjahr, sowie der damit verbundenen THG-Emissionen.
- Schrittweise Anpassung der Aktivitäten an das Ziel einer THG-Emissionsreduzierung auf 35 Mio. t  $CO_2$ -Äq. innerhalb der THG-Quellgruppe 4 - Landwirtschaft:

- Anpassung der Intensität und der Emissionen (proportionaler Anstieg bei erhöhtem Ertrag, Ausnahme Milchkühe: unterproportionaler Anstieg, bei 30 % Leistungssteigerung entstehen hier nur 15 % mehr direkte THG-Emissionen)
- Optimierung der N-Düngung: Steigerung der N-Ausnutzung von N-Mineraldünger von 80 auf 90 %, von Wirtschaftsdünger-N von unter 30 auf 60 %, und von legumer N-Bindung von 20 auf 40 %. Unter N-Ausnutzung wird hier das Verhältnis von N im Erntegut zu N im ausgebrachten Dünger verstanden.
- Maximierung der Güllevergärung in Biogasanlagen zur Vermeidung von THG-Emissionen aus Wirtschaftsdüngermanagement (CH<sub>4</sub> sowie N<sub>2</sub>O). Es wird eine Minderung dieser Emissionen von 80 % angenommen.
- Verringerung der Umtriebsraten der Milchkühe (von ca. 0,3 auf 0,2). Die Umtriebsrate beschreibt, welcher Anteil des Milchkuhbestands jedes Jahr durch junge Kühe ersetzt wird.
- Soweit erforderlich wird eine Verringerung der Tierbestände bis zum Erreichen der 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. berechnet, beginnend bei Verfahren mit sehr hohen THG-Emissionen je € Produktionswert: zunächst Reduzierung der Mutterkühe und Schafe, dann Bullen- und Färsenmast, dann des Milchviehbestandes, dann des Schweinebestands. Die Mutterkuhhaltung, Bullen- und Färsenmast werden zur Erreichung des Minderungsziels nötigenfalls ganz eingestellt.

Tabelle 5.1 enthält die Annahmen zur Ertragsfortschreibung und für das Szenario mit 20 % ökologischem Landbau die Ableitung der Erträge und Leistungen auf Basis der Relation zum konventionellen Landbau.

### 5.1.2 Szenario 2: Ausdehnung des ökologischen Landbaus auf 20 % der Landwirtschaftsfläche

In Anlehnung an das Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der BUNDESREGIERUNG (2002) wird in diesem Szenario eine Ausdehnung des ökologischen Landbaus auf 20 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche angenommen (vgl. Anhang 1). Das derzeitige Verhältnis zwischen Acker- und Grünland von 1 : 1 der ökologisch bewirtschafteten Fläche wird aufrechterhalten. Insgesamt sind in diesem Szenario ca. 1,5 Mio. ha Ackerland einschließlich Dauerkulturen und 1,5 Mio. ha Grünland auf ökologischen Landbau umgestellt. Dieser Umfang entspricht in etwa einer linearen Fortschreibung des bisherigen Wachstumstrends bis zum Jahr 2050.

Die Abbildung der Flächennutzung und Tierbestände erfolgt in Anlehnung an die im Jahr 2010 beobachteten Strukturen des ökologischen Landbaus. Z. B. kommt es im Vergleich zu den Strukturen im konventionellen Landbau zu einer Ausdehnung der Roggen- und Gemüseanbaufläche und zu einer deutlichen Reduzierung der Schweine- und Geflügelhaltung.

**Tabelle 5.1:** Annahmen zu Erträgen und Leistungen (in t je Hektar bzw. Stallplatz) sowie Annahmen zur Beschreibung des ökologischen Landbaus

<b>Verfahren der Pflanzenproduktion</b>	Wachstumsrate 2007-2050 (konv.)	Ertrag konv. (t)	Ertragsrelation zu konv.	Ertrag öko (t)
Winterweizen, Dinkel	1,2	8,9	0,45	4,0
Sommerweizen, Durum	1,2	7,0	0,45	3,1
Roggen, Wintermenggetreide	1,2	5,6	0,6	3,4
Wintergerste	1,2	7,5	0,5	3,7
Sommergerste	1,1	5,0	0,6	3,0
Hafer und Sommermenggetreide	1,1	4,8	0,6	2,9
Körnermais (einschl. CCM)	1,2	11,1	0,7	7,8
Sonstiges Getreide (Triticale)	1,2	6,1	0,5	3,1
Hülsenfrüchte	1,2	3,4	0,75	2,6
Raps und Rübsen	1,3	4,8	0,6	2,9
NR-Raps auf Stilllegungsflächen	1,3	4,7	0,6	2,8
Sonstige Ölfrüchte	1,3	3,9	0,6	2,3
Frühkartoffeln	1,1	34,5	0,6	20,7
Spätkartoffeln (mittel, spät)	1,1	45,7	0,6	27,4
Zuckerrüben	1,3	80,4	0,8	64,3
Gemüse, Erdbeeren u. Gartengewächse	1	24,2	0,7	16,9
Obstanlagen (ohne Erdbeeren)	1	18,8	0,8	15,0
Rebland	1	8,3	0,8	6,6
Klee und -gras	1	33,8	1	33,8
Luzerne und -gras	1	34,3	1	34,3
Feldgras u. andere Feldfutterpflanzen	1	32,1	0,7	22,4
Grün- und Silomais	1,2	52,9	0,7	37,0
Futterrüben	1	91,8	0,7	64,3
Wiese und Mähweiden	1	28,8	0,7	20,1
Dauerweiden	1	31,7	0,7	22,2
Streuweiden und Hutungen	1	4,4	1	4,4

<b>Verfahren der Tierproduktion</b>	Wachstumsrate 2007-2050 (konv.)	Ertrag konv.	Ertragsrelation zu konv.	Ertrag öko
Milchkühe	1,3	8,846	0,9	8,0
Mutter-/Ammenkuhhaltung	1	0,047	1	0,0
Kälbermast	1	0,247	1	0,2
Färsenmast (> 6 Monate)	1	0,155	1	0,2
Bullenmast (> 6 Monate)	1	0,282	1	0,3
Sauenhaltung	1,2	18,21	0,8	14,6
Schweinemast	1,1	0,251	0,8	0,2
Junghennen	1	1,935	0,8	1,5
Legehennen (1/2 Jahr und älter)	1,1	0,022	0,8	0,0
Hähnchen-/Broilermast	1,1	0,011	0,8	0,0
Enten, Gänse, Truthühner	1,1	0,030	0,8	0,0
Schafhaltung (Zucht und Mast)	1,1	0,029	1	0,0

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von AMI (2012), THÜNEN-INSTITUT FÜR BETRIEBSWIRTSCHAFT (2012) sowie SCHMIDT und OSTERBURG (2009).

Die Rinderhaltung wird dagegen nicht eingeschränkt, da sie eine Nutzung der Futterflächen (Grünland, Klee gras), die gleichzeitig auch der symbiotischen N-Bindung durch Leguminosen dienen, für die Nahrungsproduktion ermöglicht. Silomais spielt als Futterpflanze im ökologischen Landbau eine untergeordnete Rolle. Im Vergleich zum konventionellen Landbau wird

systembedingt von einer geringeren Rinderbesatzdichte je Hektar Futterfläche ausgegangen. Abweichend von der aktuellen Struktur im ökologischen Landbau wird ein höherer Anteil an Milchkühen an allen ökologisch gehaltenen Rindern angenommen.

Die Erträge im ökologischen Landbau werden anhand der im Anhang 1 dargestellten Analysen zu Strukturen und Erträgen im ökologischen Landbau im Vergleich zu konventionellen Vergleichsbetrieben festgelegt. Die zugrunde liegenden Daten werden durch den Vergleich ähnlicher Betriebe ermittelt. Die daraus abgeleiteten Ertragsrelationen werden für das Szenario auf die Relationen im Agrarsektor insgesamt übertragen. Im Fall der Milchleistung wird in der sektoralen Betrachtung eine etwas größere Differenz zur konventionellen Landwirtschaft unterstellt, da im Betriebsvergleich auch die konventionelle Vergleichsgruppe unterdurchschnittliche Milchleistungen aufweist.

Der Anteil an Leguminosen und Grünland an der LF des ökologischen Landbaus beträgt in diesem Szenario ca. 60 %. Bezüglich der für die legume N-Bindung benötigten Flächen bestehen Unsicherheiten, sowohl in Hinblick auf die erreichbare Höhe der N-Bindung der verschiedenen Kulturen, als auch bezüglich der N-Ausnutzung im Pflanzenbau. In der Ausgangssituation im Jahr 2010 verfügt der ökologische Landbau über eine potenzielle Fläche für die legume N-Bindung im Umfang von 68 % der ökologisch bewirtschafteten LF. Darin enthalten sind Grünland und auf der Ackerfläche Klee gras, andere Futtergemenge und Hülsenfrüchte. Im Grünland findet die N-Bindung vor allem über den Weißklee statt.

Der Szenarioaufbau und die Anpassungsschritte zur THG-Emissionsreduzierung werden wie folgt vorgenommen:

- Aufbau der Strukturen des ökologischen Landbaus und Anpassung der Erträge und Leistungen anhand der Differenz zum konventionellen Landbau im Jahr 2010 (vgl. Tabelle 5-1).
- Stickstoffdüngung: Wegfall der N-Mineraldüngung, Ausgleich der N-Bilanz durch legume N-Bindung bei einer N-Ausnutzung von knapp 60 %.
- Maximierung der Güllevergärung in Biogasanlagen, zur Vermeidung von pauschal 80 % der Emissionen aus Wirtschaftsdüngermanagement.
- Reduzierung der Tierbestände (Mutterkühe, Schafe, Bullen- und Färsenmast).

Die auf 80 % der LF stattfindende konventionelle Landwirtschaft wird entsprechend dem Szenario KONV abgebildet. Die Anpassungen an das Ziel einer THG-Emissionsreduzierung auf 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erfolgen ähnlich wie im Szenario KONV. Der ökologisch gehaltene Mastrinderbestand wird dabei ebenso stark eingeschränkt wie der konventionell gehaltene Bestand. Dem Abbau des Mastrinderbestands liegt die Überlegung zugrunde, dass zur THG-Emissionsreduzierung nötigenfalls die Verfahren mit den höchsten Emissionen je € Produktionswert eingeschränkt werden sollten.



### 5.1.3 Überlegungen zu den Wirkungen einer vollständigen Umstellung auf ökologischen Landbau

Die Darstellung eines dritten Szenarios mit einer Ausdehnung des Ökolandbaus auf 100 % der Landwirtschaftsfläche wurde im Projekt intensiv diskutiert. Die Konstruktion eines solchen Szenarios macht sehr weitgehende und daher angreifbare Annahmen erforderlich, weshalb auf eine quantitative Darstellung und Bewertung verzichtet wird. In einem solchen Szenario würde der Ökolandbau zudem seine ökonomische Basis verlieren, da eine so starke Erhöhung des Angebots ökologisch erzeugter Produkte die mit höheren Preisen verbundene Nachfrage deutlich übersteigen würde.

Eine einfache Übertragung der heute beobachteten Anbauverhältnisse und Erträge im ökologischen Landbau auf die gesamte Landwirtschaft ist unter anderem deshalb nicht möglich, weil vor allem rinderhaltende Betriebe auf ökologischen Landbau umstellen. Etwa die Hälfte der in Deutschland ökologisch bewirtschafteten Fläche ist Grünland, und zusätzlich wird mehr als ein Drittel der Ackerfläche für die Produktion von Grünfutter eingesetzt. Diese Flächen dienen nicht nur der Rinderfütterung, sondern gleichzeitig der Bindung von Luftstickstoff durch Klee und andere Leguminosen. Da kein Stickstoff-Mineraldünger eingesetzt werden darf, ist der Ökolandbau auf diese Stickstoffzufuhr angewiesen. Eine Ausdehnung der Grünfutterproduktion auf der Ackerfläche hätte die Einschränkung anderer Ackerfrüchte zur Folge. Hinzu kommen die im ökologischen Ackerbau im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft geringeren Flächenerträge. Dadurch würde sich die Produktions- und Versorgungsleistung der deutschen Landwirtschaft stark verringern. Dies ist auch aus Sicht des Klimaschutzes kritisch zu sehen, da es zu „leakage“-Effekten kommen kann (z. B. mehr Produktion im Ausland). Die Beurteilung eines Szenarios mit 100 % Ökolandbau hängt somit nicht nur von den Annahmen, sondern auch von der Betrachtungsweise und den zugrunde gelegten Systemgrenzen ab.

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Marktanteil des ökologischen Landbaus in Deutschland künftig auf 100 % steigen wird. Bei einer so starken Erweiterung des Angebots ökologischer Produkte, weit über die Nachfrage hinaus, könnten am Markt keine im Vergleich zu konventionellen Produkten höheren Preise für ökologische Produkte mehr erzielt werden. Dadurch würde dem ökologischen Landbau die Einkommensbasis entzogen. Die Erzielung höherer Preise bildet eine wichtige Voraussetzung für die Existenzfähigkeit des ökologischen Landbaus. In den Wirtschaftsjahren 2005/06 bis 2008/09 lagen beispielsweise die Getreidepreise 80 bis über 100 % über den konventionellen Preisen, die Milchpreise lagen um 20-40 % höher.<sup>4</sup> Eine weitere Ausdehnung des ökologischen Landbaus sollte sich deshalb an der Nachfrageentwicklung für ökologische Produkte orientieren (vgl. dazu auch BÖLW, 2008). Vor diesem Hintergrund wurde das Szenario 2 mit einer Ausdehnung der ökologischen Anbaufläche auf 20 % der LF entwickelt (siehe Kapitel 5.1.2).

---

<sup>4</sup> Berechnet auf Grundlage von Preisangaben im Statistischen Jahrbuch für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des BMELV (Jahrgang 2007, Tab 192; 2008, Tab 194; 2009, Tabelle 193; 2010, Tab 40).

## 5.2 Ergebnisse

### 5.2.1 THG-Minderungen in der Quellgruppe 4 Landwirtschaft

In Tabelle 5.2 werden die schrittweisen Anpassungen zur Minderung der THG-Emissionen in den einzelnen Szenarien dargestellt. Bei Fortschreibung des Status Quo ergeben sich für die Quellgruppe 4 (Landwirtschaft) THG-Emissionen in Höhe von knapp 60 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. In beiden Szenarien KONV und ÖKO-20 % ist die substantielle Steigerung der N-Produktivität eine erste, zentrale Maßnahme, durch die sowohl Energie als auch N<sub>2</sub>O-Emissionen eingespart werden können. Eine weitere Maßnahme ist die Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen einschließlich einer gasdichten Lagerung der Gärreste. Diese beiden Maßnahmen ergeben eine Minderung von zusammen über 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Da die Minderungen in der Quellgruppe 4 im Mittelpunkt stehen, sind Vorketteneffekte für die Herstellung von N-Mineraldünger hier noch nicht berücksichtigt.

Die Absenkung der Umtriebsrate im Milchviehbestand ist eine weitere Option zur Senkung der THG-Emissionen, wenn die dann nicht mehr als Nachzucht benötigten weiblichen Jungtiere in die Kälbermast und nicht in die Färsenmast gehen. Zur Erreichung des Ziels einer maximalen Emission von 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. müssen Tierbestände abgebaut werden. Dies betrifft im Szenario KONV neben der Rindermast und 50 % der Schafhaltung auch die Milchviehhaltung, die soweit eingeschränkt wird, dass die inländische Versorgung unter optimistischen Bedingungen noch gewährleistet werden kann. Als letzter Schritt wird auch die Schweinehaltung deutlich eingeschränkt.

Im Szenario ÖKO-20 % werden im konventionellen Landbau auf 80 % der LF die gleichen Maßnahmen umgesetzt wie im Szenario KONV. Im ökologischen Landbau wird die N-Ausnutzung weiter erhöht und der Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen genutzt. Der Abbau der Rindermast erfolgt annahmegemäß sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Landbau. Aufgrund der geringeren THG-Emissionen im ökologischen Landbau muss der konventionell gehaltene Schweinebestand zur Erreichung der Emissionshöchstgrenze im Vergleich zum Szenario KONV weniger stark eingeschränkt werden.

Die verschiedenen Szenarien zeigen, dass das Minderungsziel 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. nur bei einem Abbau der Tierbestände unterschritten werden kann. Dies gilt, solange keine gesicherten Verfahren zur Absenkung der verdauungsbedingten CH<sub>4</sub>-Emissionen zur Verfügung stehen.

**Tabelle 5.2:** Maßnahmen zur THG-Minderung in der Quellgruppe 4 Landwirtschaft in den Szenarien für das Jahr 2050

	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	THG gesamt	Minderung je Schnitt
	in Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.			
<b>Szenario 1: konventionelle Landwirtschaft (KONV)</b>				
Ausgangssituation 2050 nach Fortschreibung	37,2	22,6	59,8	
N-Produktivität gesteigert <sup>1)</sup>	30,7	22,6	53,3	-6,5
80 % des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen	29,1	18,5	47,6	-5,7
Milchvieh-Umtriebsrate niedriger (von 0,28 auf 0,2), mehr Kälbermast	29,0	17,9	46,9	-0,7
Keine Mutterkühe, Schafe minus 50 %	28,9	14,6	43,5	-3,4
Keine Bullen- und Färsenmast	28,5	12,7	41,2	-2,3
Milchkuhbestand minus 38 %	27,9	8,4	36,3	-4,9
Schweinebestand minus 55 %	27,2	7,8	35,0	-1,3
<b>Szenario 2: ökologischer Landbau auf 20 % der LF (ÖKO-20%)</b>				
<b>a) Ökologischer Landbau auf 20 % der LF ...</b>				
Ausgangssituation 2050 nach Fortschreibung	3,4	3,4	6,8	
N-Produktivität gesteigert (von 50 auf 60% Ausnutzung)	3,4	3,4	6,8	0,0
80 % des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen	3,1	3,0	6,1	-0,7
Keine Mutterkühe, Schafe minus 50 %	2,9	2,5	5,4	-0,7
Keine Bullen- und Färsenmast	2,8	2,0	4,8	-0,6
<b>b) ... und konventioneller Landbau auf 80 % der LF</b>				
Ausgangssituation 2050 nach Fortschreibung	31,0	18,7	49,7	
N-Produktivität gesteigert <sup>1)</sup>	25,6	18,7	44,2	-5,4
80 % des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen	24,2	15,2	39,4	-4,8
Milchvieh-Umtriebsrate niedriger (von 0,28 auf 0,2), mehr Kälbermast	24,1	14,6	38,8	-0,6
Keine Mutterkühe, Schafe minus 50 %	24,0	13,2	37,2	-1,5
Keine Bullen- und Färsenmast	23,8	10,5	34,2	-3,0
Milchkuhbestand minus 38 %	23,5	7,0	30,5	-3,8
Schweinebestand minus 11 %	23,3	6,9	30,2	-0,3

1) Ausnutzung Mineraldünger-N von 80 % auf 90 %; organischer N von 26 % auf 60 %; legume N-Fixierung von 20 % auf 40 %.

Quelle: Eigene Berechnungen.

In der folgenden Tabelle 5.3 werden die THG-Emissionen des deutschen Agrarsektors in den Szenarien nach Teilquellen ausgewiesen. Weiterhin werden die Wirkungen der veränderten N-Zu- und -Abfuhr sowie der geänderten Tierbestände auf den N-Überschuss der deutschen Landwirtschaft dargestellt. Der N-Saldo wird aus der Flächenbilanz als Differenz aus der Zufuhr über N-Mineraldünger, tierische Ausscheidungen, andere organische Dünger, legume N-Bindung und außerlandwirtschaftliche N-Deposition und der N-Abfuhr über die pflanzlichen Ernteprodukte berechnet. Die Deposition wird mit ca. 10 kg N/ha angesetzt.

Der N-Saldo pro Hektar LF sinkt in den Szenarien für das Jahr 2050 gegenüber dem Ausgangsjahr 2007 um etwa 50 %. Im konventionellen Landbau ergibt sich die Senkung des N-Saldos vor allem durch die Erhöhung der N-Ausnutzung. Mit dem im konventionellen Landbau eingesetzten N-Mineraldünger kann eine sehr hohe Ausnutzung erreicht werden, während die Ausnutzungsgrade bei anderen N-Quellen aufgrund von schwer zu steuernden Verlusten i. d. R. geringer ausfallen.

Der im Szenario ÖKO-20 % etwas höhere N-Saldo ist auf den höheren Tierbestand und die aus Wirtschaftsdünger stammenden N-Überschüsse zurückzuführen.

**Tabelle 5.3:** THG-Emissionen und N-Überschüsse im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050

		2007	KONV	ÖKO-20%
THG Quellgruppe 4 Landwirtschaft	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	62,6	35,0	35,0
<i>darunter</i>				
N <sub>2</sub> O aus				
N-Mineraldünger	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	9,3	9,0	6,9
Organischem N	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	6,0	2,6	3,4
Leguminosen-N	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	0,5	0,4	0,8
Ernterückständen	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	5,4	5,2	4,9
N-Auswaschung	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	11,1	8,6	8,4
N-Deposition	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	2,3	1,3	1,5
Wirtschaftsdüngerlagerung	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	2,3	0,2	0,2
<i>darunter</i>				
CH <sub>4</sub> aus				
Verdauung	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	20,1	7,3	8,2
Wirtschaftsdüngerlagerung	Mio. t CO <sub>2</sub> -äq.	5,6	0,4	0,7
<b>N-Saldo</b>	<b>kg/ha LF</b>	<b>97,9</b>	<b>45,2</b>	<b>51,2</b>

Quelle: Eigene Berechnungen.

## 5.2.2 Produktionsumfänge und -mengen

In Tabelle 5.4 werden die Umfänge der verschiedenen Produktionsverfahren in der Flächennutzung und der Tierhaltung dargestellt. Im Szenario KONV wird der Weizenanbau trotz Verringerung der Ackerfläche gegenüber dem Ausgangsjahr 2007 ausgedehnt, der Getreideanteil an der Ackerfläche steigt dadurch auf über 70 %. Aufgrund der Begrenzung der Rinderbestände wird vor allem der Ackerfutterbau eingeschränkt (Silomais, Klee- und Feldgras). Der Tierbestand geht auf ca. 40 % des Bestands von 2007 zurück. Im Rahmen der THG-Verminderung werden vor allem die Rinder-, Schweine- und Schafbestände verringert, während der Geflügel- und Pferdebestand aufrechterhalten wird. Aufgrund der Leistungssteigerung insbesondere der Milchkühe fallen die Produktionsmengenrückgänge im Vergleich zum Viehbestandsrückgang geringer aus.

Im Szenario ÖKO-20 % ist die Flächennutzung ähnlich wie im Szenario KONV, wobei die Weizenfläche etwas geringer ausfällt. In der Tierhaltung werden im Vergleich zu Szenario KONV mehr Rinder und Schweine gehalten, da zur Erreichung der maximalen THG-Emission der Landwirtschaft die Tierbestände weniger stark abgebaut werden müssen. Auf der durch den Ökolandbau bewirtschafteten Ackerfläche werden die Roggen-, Hülsenfrucht- und Klee grasfläche deutlich ausgedehnt, die Weizen- und Rapsflächen werden dagegen eingeschränkt. In der Tierhaltung

wird im Vergleich zu den konventionellen Strukturen vor allem die Schweine- und Geflügelhaltung eingeschränkt.

**Tabelle 5.4:** Flächennutzung und Tierhaltung im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050

	Ausgangsjahr 2007	KONV 2050	ÖKO-20% 2050	ÖKO-20% (konv)	ÖKO-20% (öko)
in Mio. ha					
Weizen	3,10	4,67	4,01	3,77	0,24
Roggen	0,65	0,60	0,63	0,41	0,22
Gerste	1,97	1,82	1,73	1,72	0,01
Anderes Getreide	1,05	0,97	1,00	0,75	0,26
Hülsenfrüchte	0,11	0,10	0,47	0,17	0,31
Raps, andere Ölsaaten	1,47	1,36	1,38	1,28	0,10
Kartoffeln	0,27	0,25	0,26	0,20	0,06
Zuckerrüben	0,38	0,35	0,35	0,30	0,05
Gemüse, Erdbeeren	0,13	0,12	0,12	0,07	0,05
Obstanlagen	0,07	0,06	0,06	0,05	0,02
Rebland	0,10	0,09	0,09	0,07	0,02
Klee- und Feldgras	0,59	0,00	0,14	0,00	0,14
Silomais	1,46	0,10	0,28	0,25	0,02
Flächenstilllegung	0,25	0,20	0,17	0,17	0,00
Acker- und Dauerkulturen insgesamt	11,72	10,81	10,82	9,30	1,51
Grünland	4,85	4,27	4,27	2,76	1,51
Landwirtschaftliche Nutzfläche	16,57	15,08	15,08	12,07	3,02
<i>Anteil Getreide an der Ackerfläche</i>	59%	76%	69%	72%	50%
<i>Anteil Leguminosen an der Ackerfläche</i>	5%	3%	6%	4%	21%
<i>Anteil Leguminosen + Grünland an der LF</i>	33%	30%	33%	26%	60%
in Mio. Stallplätzen					
Rinder	12,75	3,63	4,11	2,98	1,13
<i>darunter</i>					
Milchkühe	4,12	1,97	2,18	1,61	0,57
Andere Rinder	8,63	1,67	1,92	1,37	0,56
Schweine	19,66	6,16	14,82	14,09	0,72
Geflügel	127,79	127,79	123,45	115,01	8,44
Schafe	1,58	0,79	0,79	0,63	0,16
Pferde	0,54	0,54	0,54	0,43	0,11
<i>Großvieheinheiten / ha LF</i>	0,82	0,33	0,45	0,47	0,37

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Produktionsmengen des Agrarsektors werden in Tabelle 5.5 dargestellt. Dabei handelt es sich um die Bruttomengen einschließlich des als Futter im Inland verwendeten Getreides, der Hülsenfrüchte und Ölkuchen. Aufgrund des Ertragsfortschrittes und der Ausdehnung der Getreidefläche nimmt die Getreidemenge im Szenario KONV gegenüber dem Jahr 2007 um 45 % zu, die Ölsaaten- und Zuckermenge nimmt aufgrund der Ertragszuwächse um jeweils ca. 20 % zu. Die Milchproduktion wird im Vergleich zum Jahr 2007 um fast 40 % und die Fleischproduktion um

über 50 % eingeschränkt. Im Szenario ÖKO-20 % steigt die produzierte Getreidemenge weniger stark, die Milchproduktion wird etwas weniger und die Fleischproduktion deutlich weniger eingeschränkt.

**Tabelle 5.5:** Produktionsmengen im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050

	Ausgangsjahr 2007	KONV 2050	ÖKO-20% 2050	ÖKO-20% (konv)	ÖKO-20% (öko)
	in Mio. t				
Getreide insgesamt	45,0	65,1	56,7	54,1	2,5
Weizen	23,0	41,6	34,6	33,6	0,9
Roggen	3,0	3,4	3,0	2,3	0,7
Gerste	11,4	12,4	11,8	11,8	0,0
Hafer	0,8	0,8	0,6	0,3	0,4
Körnermais	4,1	4,5	4,5	4,4	0,1
Sonstiges Getreide	2,2	2,4	2,1	1,8	0,4
Hülsenfrüchte	0,3	0,4	1,4	0,6	0,8
Raps, andere Ölsaaten	5,3	6,4	6,3	6,0	0,3
Kartoffeln	11,0	11,2	10,5	9,1	1,5
Zuckerrüben	23,3	28,0	27,7	24,4	3,3
Gemüse	3,2	2,9	2,6	1,8	0,8
Obst	1,3	1,2	1,2	0,9	0,3
Weinmost	0,8	0,8	0,7	0,6	0,1
Milch	28,1	17,4	18,3	14,3	4,0
Fleisch insgesamt	6,4	2,9	4,8	4,6	0,2
Rindfleisch	1,1	0,3	0,3	0,3	0,1
Schweinefleisch	4,0	1,4	3,3	3,2	0,1
Schaffleisch	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Geflügelfleisch	1,0	1,1	1,0	0,9	0,0
Eier	0,8	0,9	0,8	0,8	0,1

Quelle: Eigene Berechnungen.

### 5.2.3 Inländische Verwendung der Agrarprodukte und Versorgungsbilanzen

Für die Bewertung der Szenarien werden im Folgenden die Versorgungsbilanzen analysiert. Auf der Verwendungsseite wird für alle Szenarien von einem gleichen inländischen Nahrungsverbrauch und dem gleichem Einsatz von Agrarrohstoffen für die stoffliche Nutzung ausgegangen. Nur der Futtermittelbedarf unterscheidet sich zwischen den Szenarien in Abhängigkeit vom jeweiligen Tierbestand und den Futterrationen. In Tabelle 5.6 wird der inländische Nahrungsverbrauch in Mio. t pro Jahr abgeleitet. In Spalte 1 wird der Nahrungsverbrauch auf Basis der Verbrauchsdaten für 2007 und einer verringerten Bevölkerung ausgewiesen. In Spalte 2 folgt der Nahrungsverbrauch in Anlehnung an die Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (vgl. Anhang 2). Dieser Nahrungsverbrauch kann bei optimistischen Annahmen zur Vermeidung

von Lebensmittelabfällen weiter vermindert werden, die entsprechend verringerten Mengen werden in Spalte 3 ausgewiesen (vgl. Anhang 3). Für die weiteren Berechnungen werden die Zahlen zum Nahrungsverbrauch in Spalte 4 ergänzt.

**Tabelle 5.6:** Annahmen zum inländischen Nahrungsverbrauch im Jahr 2050

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Nahrungsverbrauch			
	Fortgeschrieben auf Basis 2007	Nach DGE- Empfehlung	DGE plus Abfallreduzierung	Aufbauend auf (3), ergänzt aus (1)
	in Mio. t			
Getreide insgesamt	8,2	10,5	9,0	9,0
Weizen	6,0			6,5
Roggen	0,8			0,8
Gerste	0,0			0,0
Anderes Getreide	1,5			1,6
Hülsenfrüchte	0,0			0,1
Raps, andere Ölsaaten	0,1			0,1
Pflanzenöle, Margarine	1,2	1,3	1,2	1,2
Kartoffeln	4,3	5,4	5,1	5,1
Zuckerrüben	16,0			16,0
Gemüse	6,5	11,1	9,5	9,5
Obst	9,0	8,9	7,6	7,6
Milch	20,6	20,3	17,2	17,2
Fleisch insgesamt	6,4	1,6	1,4	1,4
Rindfleisch	0,9			0,2
Schweinefleisch	3,9			0,9
Schafffleisch	0,1			0,0
Geflügelfleisch	1,3			0,3
Eier	0,7	0,6	0,6	0,6

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von BMELV (2011, und weitere, frühere Jahrgänge), DGE (2004) und weiteren Quellen und Annahmen (vgl. Anhang 2 und 3).

In Tabelle 5.7 werden die Verwendungsbilanzen für die zwei berechneten Szenarien dargestellt. In Spalte 1 wird für den Nahrungsverbrauch das Ergebnis aus Tabelle 5.6, Spalte 4 übernommen. Die inländische Verwendung von Agrarrohstoffen für die stoffliche Nutzung in Spalte 2 entspricht den statistischen Angaben für das Ausgangsjahr 2007. In den weiteren Tabellenspalten schließen sich mit der Produktionsmenge (Spalten 3 bzw. 6), Futtermitteln (Spalten 4 bzw. 7) und den Selbstversorgungsgraden (Spalten 5 bzw. 8) die szenariospezifischen Ergebnisse an. Der Selbstversorgungsgrad wird aus der Relation der Produktionsmenge zu den drei inländischen Verwendungsarten berechnet.

**Tabelle 5.7:** Versorgungsbilanzen für die Szenarien im Jahr 2050

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Nahrungs- verbrauch DGE plus Ab- fallreduzierung	NaWaRo stofflich wie 2007	KONV		ÖKO-20%			
			Produk- tion	Futter- mittel	(3) / (1+2+4)	Produk- tion	Futter- mittel	(6) / (1+2+7)
in Mio. t								
Getreide insgesamt	9,0	3,1	65,1	13,1	259%	56,7	20,7	173%
Hülsenfrüchte	0,1		0,4	0,3	100%	1,4	1,3	100%
Raps, andere Ölsaaten	0,1		6,4			6,3		
Pflanzenöle, Margarine	1,2	1,5	2,2		84%	2,2		82%
Ölkuchen			4,2	4,8	86%	4,1	5,7	72%
Energiereiche Futtermittel				1,6			2,2	
Sonstige Futtermittel				2,2			3,3	
Kartoffeln	5,1	1,5	11,2		169%	10,5		158%
Zuckerrüben	16,0	0,6	28,0		169%	27,7		167%
Gemüse	9,5		2,9		31%	2,6		27%
Obst	7,6		1,2		16%	1,2		15%
Milch	17,2		17,4		101%	18,3		106%
Fleisch insgesamt	1,4		2,9		207%	4,8		345%
Eier	0,6		0,9		134%	0,8		132%

Quelle: Eigene Berechnungen, Daten zur stofflichen Nutzung auf Basis von Daten für das Jahr 2007, BMELV (2011, und weitere Jahrgänge).

Die variierenden Produktionsmengen und die als Futtermittel verwendeten Mengen führen zu unterschiedlichen Selbstversorgungsgraden und damit zu verschiedenen Im- und Exportmengen. In beiden Szenarien stehen große Getreidemengen für den Export zur Verfügung, und die Versorgung mit Pflanzenölen verbessert sich gegenüber dem Jahr 2007 deutlich. Bei Milch sinkt der Selbstversorgungsgrad auf gut 100 %. Aufgrund der Annahme, dass der inländische Fleischverbrauch drastisch sinkt, kommt es zu einem hohen Fleischexport. Da im Szenario ÖKO-20 % mehr Schweine gehalten werden, liegen die Fleischexporte im Vergleich zum Szenario KONV deutlich höher. Gleichzeitig ergeben sich erhöhte Importmengen an Ölkuchen. Dabei handelt es sich z. B. um Sojaschrot.

Energiereiche und sonstige Futtermittel, die aus der Lebensmittelverarbeitung stammen, werden als Importe in den deutschen Agrarsektor ausgewiesen, sie stammen aber aus inländischer Verarbeitung. Dabei handelt es sich vor allem um Melasse und Rübenschnitzel aus der Zuckerverarbeitung sowie Rückstände aus der Getränkeherstellung. Es wird davon ausgegangen, dass die Versorgung mit diesen Futtermitteln auch im Jahr 2050 vor allem aus dem Inland erfolgt. Bei der anschließenden Bewertung werden diese Futtermittel aber wie Importe behandelt, da sie aus landwirtschaftlichen Verkaufsprodukten hergestellt werden und andere handelbare Futtermittel wie Getreide substituieren.



**Tabelle 5.8:** Netto-Im- und -Export in den Szenarien im Jahr 2050

	2007	KONV	ÖKO-20%
Netto-Import (-) bzw. -Export (+) in Mio. t			
Getreide insgesamt	6,0	40,0	23,9
Hülsenfrüchte	0,0	0,0	0,0
Raps, andere Ölsaaten			
Pflanzenöle, Margarine	-4,9	-0,4	-0,5
Ölkuchen	-4,8	-0,7	-1,6
Energiereiche Futtermittel <sup>1)</sup>	-3,1	-1,6	-2,2
Sonstige Futtermittel <sup>1)</sup>	-3,7	-2,2	-3,3
Kartoffeln	4,6	4,6	3,9
Zuckerrüben	4,5	11,4	11,1
Gemüse	-4,2	-6,5	-6,9
Obst	-9,0	-6,4	-6,4
Milch	4,6	0,2	1,1
Fleisch insgesamt	-0,9	1,5	3,4
Eier	0,0	0,2	0,2

1) Für energiereiche und sonstige Futtermittel wird der Verbrauch ausgewiesen, diese Futtermittel stammen vor allem aus der Lebensmittelverarbeitung.

Quelle: Eigene Berechnungen.

## 5.2.4 Bilanzierung der THG-Emissionen, der Energie- und Flächenansprüche

Die beiden betrachteten Szenarien unterscheiden sich nicht bezüglich der Höhe direkter THG-Emissionen der Quellgruppe Landwirtschaft. In beiden Szenarien wird die vorgegebene THG-Emissionsobergrenze von 35 Mio. t p. a. erreicht. Wie im vorangegangenen Abschnitt aufgezeigt, unterscheiden sich die Szenarien jedoch bezüglich der Produktions- und Versorgungsleistung der deutschen Landwirtschaft. Bei gleicher inländischer Verwendung ergeben sich für die betrachteten, in Deutschland produzierten Agrargüter unterschiedliche Im- und Exportmengen. Aufgrund der unterschiedlichen Produktionsstrukturen unterscheiden sich die beiden Szenarien auch bezüglich des Vorleistungseinsatzes (z. B. Energie, Düngemittel, Importfuttermittel). Deshalb sollen die Szenarien in diesem Kapitel anhand des Vorleistungseinsatzes, der Versorgungsbilanz, und der darauf aufbauenden Betrachtung der kumulierten Emissionen und Ressourcenansprüche bewertet werden. Durch diesen Bewertungsansatz soll die Produktions- und Versorgungsleistung der deutschen Landwirtschaft beurteilt werden. Durch die sektor- und grenzüberschreitende Betrachtung wird gleichzeitig analysiert, ob es zu unerwünschten Verlagerungs- und Verdrängungseffekten in der weltweiten Flächennutzung, Agrarproduktion und Nahrungsmittelversorgung kommen könnte (sogenannte „leakage“-Effekte).

Die Bewertung erfolgt anhand von Bilanzen der kumulierten THG-Emissionen, Energie- und Flächenansprüche, die jährlich im deutschen Agrarsektor für die Deckung der inländischen Nah-

rungsversorgung und der stofflichen Agrarrohstoffnachfrage entstehen. Importprodukte, die nicht in Deutschland produziert werden, wie Reis, Kaffee oder Tee, werden nicht in diese Betrachtung einbezogen. Die Bilanzierung berücksichtigt Vorleistungen des Agrarsektors aus dem In- und Ausland, die im deutschen Agrarsektor freigesetzten THG-Emissionen, den direkten Energieeinsatz und die Flächenansprüche. Ebenso wie die mit Futtermittelimporten verbundenen Emissionen und Ressourcenansprüche der deutschen Landwirtschaft zugerechnet werden, werden die mit Agrargüterexporten aus der deutschen Landwirtschaft ins Ausland verbundenen, kumulierten Emissionen und Ressourcenansprüche in dieser Betrachtung in Abzug gebracht. Exporte von Agrarprodukten zur Versorgung ausländischer Märkte wirken also entlastend auf diese Emissions- und Ressourcenbilanz, Agrarimporte dagegen als Belastung. Für die Außenhandelsbilanz für Agrarprodukte werden die Angaben in Tabelle 5.8 herangezogen.

Die Berechnung erfolgt in Anlehnung an das Konzept des „virtuellen Landhandels“ (VON WITZKE et al., 2011; siehe Kap. 3.3.2). Die Warenströme des Agrarhandels werden anhand des Anbauflächenbedarfs bewertet. Werden Agrargüter importiert, so wird die außerhalb von Deutschland genutzte Fläche als virtueller Flächenimport bezeichnet. Flächen werden virtuell exportiert, wenn im Inland produzierte Agrarprodukte im Ausland verkauft werden. Für die kumulierten THG-Emissionen und Energieansprüche wird eine vergleichbare Außenhandelsbilanz aufgestellt.

Aufbauend auf die in Kapitel 3.3 dargestellten Ergebnisse für das Jahr 2007 werden die kumulierten Emissionswerte und Energieansprüche für Vorleistungen wie Dünger und Pflanzenschutzmittel je Tonne aus produktbezogenen Ökobilanzen zusammengestellt und für das Jahr 2050 fortgeschrieben (vgl. Tabelle 5-9). Für Gebäude-, Maschinen- und Anlageinvestitionen sowie für Dienstleistungen im deutschen Agrarsektor liegen nur monetäre Werte vor. Deshalb werden aus Daten der Umweltgesamtrechnungen kumulierte Angaben zur THG-Emission und zum Energiebedarf in Bezug auf 1.000 Euro Investitionssumme bzw. Abschreibung abgeleitet (vgl. Kapitel 3.3). Der Stromverbrauch wird auf Basis von Netto-Energiemengen ohne Konversions- und Leitungsverluste berechnet, für andere Energieträger wird die zugekaufte Primärenergiemenge betrachtet. Die THG-Emissionen aus der Stromproduktion im Jahr 2007 werden mit den spezifischen THG-Emissionen des deutschen Strommix angesetzt (UBA, 2012a).

Zugekaufte Futtermittel werden nach Angaben aus Ökobilanzen (Soja) oder wie in Deutschland hergestellte Gerste bewertet (energiereiche und sonstige Futtermittel). Die Flächenansprüche je Tonne Sojaschrot werden anhand von Ertragsdaten von FAPRI (2011) für die Produktionsländer Brasilien und Argentinien in den Jahren 2007/2008 abgeleitet. Dabei wird davon ausgegangen, dass in diesen Ländern zwei Ernten pro Jahr möglich sind, der Anbauflächenanspruch halbiert sich folglich.

**Tabelle 5.9:** Schätzwerte für die kumulierten produktbezogene THG-Emissionen, Energie- und Flächenansprüche im Jahr 2007 und Fortschreibung für das Jahr 2050

	2007			2050		
	CO <sub>2</sub> -äq.	Energie	Fläche	CO <sub>2</sub> -äq.	Energie	Fläche
	kg/t	MJ/t	ha/t	kg/t	MJ/t	ha/t
Weizen	569	2.680	0,13	287	1.833	0,11
Roggen	645	3.248	0,21	325	2.348	0,18
Gerste	516	2.573	0,17	271	1.899	0,15
Hafer	407	2.252	0,23	240	1.933	0,21
Körnermais	562	1.845	0,11	467	1.796	0,09
Sonstiges Getreide	581	2.936	0,20	298	2.162	0,16
Hülsenfrüchte	928	2.780	0,35	829	2.749	0,29
Sojaschrot	833	5.753	0,18	833	5.178	0,16
Raps, andere Ölsaaten	1.073	5.215	0,28	650	4.215	0,21
Kartoffeln	82	495	0,02	39	387	0,02
Zuckerrüben	87	324	0,02	58	248	0,01
Gemüse	328	3.102	0,04	109	3.215	0,04
Obst	196	2.044	0,05	37	2.019	0,05
Milch	1.278	4.007	0,21	1.017	3.567	0,20
Rindfleisch	23.361	72.065	3,90	18.707	64.845	3,76
Schweinefleisch	4.041	19.480	0,79	2.421	17.029	0,66
Geflügelfleisch	2.836	16.977	0,54	2.684	14.849	0,46
Schaffleisch	35.456	135.820	9,54	28.165	124.215	9,32
Eier	2.357	13.228	0,48	1.953	11.732	0,40
N-Mineraldünger	5.687	49.660		29	31.100	
P-Mineraldünger	610	13.500		0	12.150	
K-Mineraldünger	450	7.780		0	7.002	
Kalk	195	1.915		195	1.723	
Pflanzenschutzmittel	5.392	283.776		0	255.399	
	kg CO <sub>2</sub> -äq./1.000 €	MJ/1.000 €		kg CO <sub>2</sub> -äq./1.000 €	MJ/1.000 €	
Gebäude und Maschinen	382	5.041		57	4.537	
Dienstleistungen	140	1.700		0	1.530	
	kg CO <sub>2</sub> -äq./1.000 kWh			kg CO <sub>2</sub> -äq./1.000 kWh		
Strom	561			0		

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis des Berichtsmoduls Landwirtschaft der Umweltgesamtrechnungen (SCHMIDT und OSTERBURG, 2009) und weitere Quellen, vgl. Kapitel 3.3.

Die kumulierten Werte für die im deutschen Agrarsektor hergestellten Agrarprodukte werden auf Grundlage der Input-Output-Analyse des Berichtsmoduls Landwirtschaft der Umweltgesamtrechnungen (SCHMIDT und OSTERBURG, 2009) für das Jahr 2007 ermittelt. Die kumulierten Werte für die Vorleistungen werden dabei in die Angaben je Tonne Agrarprodukt einbezogen. Die direkten, auf die verschiedenen Produktionsverfahren verteilten THG-Emissionen des deutschen Agrarsektors werden konsistent zum Nationalen Inventarbericht (UBA, 2012) abgebildet. Im ersten Schritt werden die kumulierten Werte für die im Inland erzeugten Futtermittel berechnet. Im zweiten Schritt werden dann die kumulierten THG-Emissionen,

Energie- und Flächenansprüche für in Deutschland produzierte, pflanzliche und tierische Agrarprodukte berechnet. Dabei werden Emissionen und Ressourcenansprüche der Vorleistungen auf die Endprodukte umgelegt, z. B. werden die kumulierten Werte der Futtermittel auf die tierischen Endprodukte Milch, Fleisch und Eier gebucht (SCHMIDT und OSTERBURG, 2009).

Für die Fortschreibung der THG-Emissionen werden die Vorleistungen und der Energieeinsatz neu bewertet. THG-Emissionen aus dem Energieeinsatz werden unter der Annahme, dass die Energie aus THG-neutralen, erneuerbaren Energiequellen bereitgestellt wird, auf Null gesetzt. Für den Energieeinsatz wird angenommen, dass weitere Energieeinsparungen möglich sind; er wird pauschal um 10 % verringert. Die THG-Emissionen und der Energieverbrauch bei der Herstellung von N-Mineraldünger werden auf Basis von Angaben von BRENTRUP und KÜSTERS (2008) sowie einem Dokument der EUROPÄISCHEN KOMMISSION (2007) zu den derzeitigen, besten verfügbaren Technologien der Düngerherstellung abgeleitet. Für die Berechnungen wird von prozessbedingten N<sub>2</sub>O-Emissionen in Höhe von 0,12 kg pro Tonnen reiner Salpetersäure ausgegangen (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2007, Table 3.14).

Bei der Bereitstellung von Gebäude-, Maschinen- und Anlageinvestitionen verbleiben THG-Emissionen aus industriellen Prozessen (Quellgruppe 2) aus der Verarbeitung von Kalk und der Verhüttung von Eisen und Stahl. Die Höhe dieser prozessbedingten Emissionen im Jahr 2007 wird auf den Produktionswert der Branchen Maschinenbau und Baugewerbe bezogen. Daraus ergibt sich die verbleibende THG-Emission aus prozessbedingten THG-Quellen je 1.000 Euro Produktionswert ohne energiebedingte THG-Emissionen.

Die THG-Emissionen von Agrarprodukten für das Jahr 2050 werden auf Basis der Input-/ Output-Matrize des Jahres 2007 unter Berücksichtigung der veränderten THG-Emissionen der Vorleistungen und des Energiebereichs berechnet. Zusätzliche Maßnahmen zur Minderung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen im Agrarsektor werden dagegen nicht berücksichtigt. Für die Ableitung der kumulierten Energieansprüche werden die Angaben für 2007 um 10 % vermindert. Im Falle der N-Mineraldünger wird von der Produktion von Ammonsalpeter ausgegangen, die Energieeinsparung beträgt ca. 25 % (BRENTRUP und KÜSTERS, 2008). Annahmegemäß wird Harnstoff nicht mehr als Dünger eingesetzt, da kein Erdgas für die Synthese zur Verfügung steht. Da die Harnstoffherstellung einen höheren Energieeinsatz erfordert als die Ammonsalpeterherstellung, liegt die Energieeinsparung in der N-Herstellung gegenüber 2007 insgesamt noch höher. Die Flächenansprüche der in Deutschland angebauten Kulturen und produzierten tierischen Produkte werden näherungsweise anhand der fortgeschriebenen Erträge im Jahr 2050 berechnet. Für Sojaimporte wird die FAPRI-Projektion der Erträge in Brasilien und Argentinien für 2025/2026 auf das Jahr 2050 übertragen. Da die Sojaimporte gegenüber dem Ausgangsjahr massiv zurückgehen, wird davon ausgegangen, dass die verbleibenden Importe im Jahr 2050 nicht mehr durch THG-Emissionen aus neuen Landnutzungsänderungen belastet sind.

Die so ermittelten Werte für kumulierte THG-Emissionen, Energie- und Flächenansprüche werden als Verrechnungsgrößen für die Bewertung aller Szenarien herangezogen. Es werden also keine

szenariospezifischen, produktbezogenen Werte genutzt. Die Bewertung anhand der kumulierten Werte deutscher Erzeugnisse (Ausnahme: Soja) stellt eine von vielen möglichen Herangehensweisen zur Bewertung der Im- und -Exporte von Agrargütern dar. Eine andere Möglichkeit wäre es, die kumulierten Werte der jeweiligen Handelspartner zugrunde zu legen, oder den jeweiligen produktbezogenen, weltweiten Durchschnitt der betreffenden Güter. Für diese methodischen Ansätze fehlen allerdings die Datengrundlagen. Die hier gewählte Herangehensweise hat den Vorteil, dass kumulierte Werte aus den Arbeiten zu den deutschen Umweltgesamtrechnungen für das Ausgangsjahr 2007 vorliegen, und THG-Emissionen, Energieeinsatz und Flächenansprüche konsistent zu statischen Rahmendaten abgebildet werden.

**Tabelle 5.10:** Vorleistungseinsatz des deutschen Agrarsektors im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050

Vorleistungen		2007	KONV	ÖKO-20%
Energie	TWh	42,8	35,2	33,4
<i>darunter</i>				
Strom	TWh	5,4	3,1	3,0
N-Mineraldünger	1.000 t Rein-N	1.683	1.627	1.252
P-Mineraldünger	1.000 t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	259	575	446
K-Mineraldünger	1.000 t K <sub>2</sub> O	394	485	357
Kalk	1.000 t CaO	2.126	1.934	1.934
Pflanzenschutz	Mio. € <sup>1)</sup>	1.540	1.842	1.545
Reparaturen	Mio. € <sup>1)</sup>	2.648	2.001	2.076
Sonstige var. Kosten	Mio. € <sup>1)</sup>	4.212	3.189	3.443
Tierarzt	Mio. € <sup>1)</sup>	786	376	493
Abschreibungen	Mio. € <sup>1)</sup>	7.229	5.155	5.578

1) In Preisen des Jahres 2007.

Quelle: Eigene Berechnungen.

THG-Emissionen aus dem LULUCF-Sektor werden in der produktbezogenen Berechnung nicht berücksichtigt. So werden z. B. die Emissionen aus der landwirtschaftlichen Nutzung von Mooren in Deutschland oder die Umwandlung von Wäldern in landwirtschaftliche Anbauflächen in Lateinamerika nicht produktbezogen betrachtet. Diese Emissionen lassen sich anhand der derzeit verfügbaren Daten auch für das Basisjahr 2007 nicht eindeutig einzelnen Produkten zuschreiben. Die möglichen Wirkungen der Flächenansprüche des deutschen Agrarsektors im Jahr 2050 auf die THG-Emissionen aus der Landnutzung außerhalb von Deutschland können daher nur qualitativ abgeschätzt werden. THG-Emissionen aus Landnutzungsänderungen werden i. d. R. auf die der Änderung folgenden 20 Jahre verteilt (z. B. in der Emissionsberichterstattung, siehe UBA, 2012c). Lange zurückliegende Landnutzungsänderungen fließen unter diesen Bedingungen nicht mehr in die Bewertung im Jahr 2050 ein. Da der „virtuelle Flächenanspruch“ der deutschen Landwirtschaft in den Szenarien für das Jahr 2050 insgesamt deutlich zurückgeht, dürfte sie dann auch nicht mehr zu weiteren Landnutzungsänderungen außerhalb Deutschlands beitragen.

Zusätzliche Landnutzungsänderungen würden letztlich nur im Falle eines ansteigenden Flächenanspruchs ausgelöst. Für die nachfolgenden Bilanzen werden die in Tabelle 5.10 ausgewiesenen Vorleistungsumfänge herangezogen.

**Tabelle 5.11:** Außenhandels- und Gesamtbilanz der THG-Emissionen des deutschen Agrarsektors im Jahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050

	2007	KONV	ÖKO-20%
	Mio. t CO <sub>2</sub>		
<b>Vorleistungen</b>			
Energie	9,46	0,00	0,00
<i>darunter</i>			
Direkter Verbrauch	6,42	0,00	0,00
Strom	3,05	0,00	0,00
N-Mineraldünger	9,57	0,05	0,04
P-Mineraldünger	0,16	0,00	0,00
K-Mineraldünger	0,18	0,00	0,00
Kalk	0,41	0,38	0,38
Pflanzenschutzmittel	0,22	0,00	0,00
Reparaturen	0,37	0,00	0,00
Sonstige var. Kosten	0,59	0,00	0,00
Tierarzt	0,11	0,00	0,00
Abschreibungen	2,76	0,29	0,32
<b>Agrarim- und exporte</b>			
Getreide insgesamt	-3,93	-10,48	-8,74
Hülsenfrüchte	-0,01	0,00	0,00
Raps, andere Ölsaaten			
Pflanzenöle, Margarine	5,22	0,28	0,31
Ölkuchen	4,03	0,55	1,35
Energiereiche Futtermittel <sup>1)</sup>	1,61	0,42	0,60
Sonstige Futtermittel <sup>1)</sup>	1,93	0,60	0,91
Kartoffeln	-0,38	-0,18	-0,15
Zuckerrüben	-0,39	-0,66	-0,64
Gemüse	1,38	0,71	0,75
Obst	1,76	0,23	0,24
Milch	-5,86	-0,18	-1,10
Fleisch insgesamt	2,26	-5,70	-10,39
Eier	0,00	-0,43	-0,40
<b>Zwischensummen</b>			
(1) Vorleistungen und Energie	23,84	0,72	0,73
(2) Im-/Export pflanzlicher Produkte	11,23	-8,52	-5,37
(3) Im-/Export tierischer Produkte	-3,61	-6,31	-11,89
<b>Zusammen</b>	<b>31,47</b>	<b>-14,11</b>	<b>-16,53</b>
<b>Gesamtbilanz</b>			
(4) Quellgruppe 4 Landwirtschaft <sup>2)</sup>	62,64	35,00	35,00
<b>Summe der Zeilen (1) + (2) + (3) + (4)</b>	<b>94,10</b>	<b>20,89</b>	<b>18,47</b>

1) Für energiereiche und sonstige Futtermittel wird der Verbrauch berechnet, diese Futtermittel stammen vor allem aus der Lebensmittelverarbeitung. 2) Ohne N<sub>2</sub>O-Emission aus organischen Böden.

Quelle: Eigene Berechnungen.

In Tabelle 5.11 werden die kumulierten THG-Emissionen des Vorleistungsbereichs und des Energieeinsatzes zusammen mit den THG-Emissionen der Ex- und Importe von Agrarprodukten dargestellt. Die Emissionen aus den Vorleistungen sinken aufgrund des Wegfalls der energiebedingten Emissionen gegenüber dem Ausgangsjahr auf einen Bruchteil. Außerdem steigen in den Szenarien KONV und ÖKO-20 % die Exporte der in Deutschland erzeugten Agrarprodukte gegenüber 2007 deutlich an, besonders aufgrund der höheren Produktionsmengen. Zusammen mit den direkten CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen des Agrarsektors (Quellgruppe 4) ergibt sich eine Gesamtbilanz, anhand derer eine Bewertung vorgenommen werden kann. Die ausgewiesene Summe der THG-Emissionen wird zur Deckung der Inlandsnachfrage direkt und indirekt durch den deutschen Agrarsektor verursacht. Die Agrarexporte wirken dabei stark entlastend auf diese Bilanz. Dadurch ergeben sich kumulierte THG-Emissionen der inländischen Agrargüterverwendung von 20,9 bzw. 18,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a., die somit deutlich unter den 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. direkter THG-Emissionen des Agrarsektors liegen. Im Szenario ÖKO-20 % wird mit 18,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. im Vergleich zum Szenario KONV mit 20,9 Mio. t eine deutlich geringere THG-Summe erreicht.

Die Tabelle 5.12 zeigt eine entsprechende Aufstellung für die Energieansprüche. Aufgrund des im Szenario ÖKO-20 % geringeren N-Mineraldüngereinsatzes, vor allem aber wegen der in diesem Szenario höheren Exporte tierischer Produkte fallen die direkten und indirekten Energieansprüche des deutschen Agrarsektors in diesem Szenario deutlich geringer aus als im Szenario KONV.

**Tabelle 5.12:** Direkte und indirekte Energieansprüche des deutschen Agrarsektors einschließlich Außenhandelsbilanz im Jahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050

	2007	KONV	ÖKO-20%
	TWh		
<b>Vorleistungen</b>			
Energie	42,76	35,22	33,37
<i>darunter</i>			
Direkter Verbrauch	37,32	31,82	30,04
Strom	5,43	3,41	3,33
N-Mineraldünger	23,22	14,05	10,82
P-Mineraldünger	0,97	1,94	1,51
K-Mineraldünger	0,85	0,94	0,69
Kalk	1,13	0,93	0,93
Pflanzenschutzmittel	3,23	3,48	2,92
Reparaturen	1,25	0,85	0,88
Sonstige var. Kosten	1,99	1,36	1,46
Tierarzt	0,37	0,16	0,21
Abschreibungen	10,12	6,50	7,03
<b>Agrarim- und exporte</b>			
Getreide insgesamt	-5,29	-19,12	-14,89
Hülsenfrüchte	0,00	0,00	0,00
Raps, andere Ölsaaten			
Pflanzenöle, Margarine	7,05	0,51	0,56
Ölkuchen	7,74	0,95	2,33
Energiereiche Futtermittel <sup>1)</sup>	2,22	0,82	1,18
Sonstige Futtermittel <sup>1)</sup>	2,68	1,17	1,77
Kartoffeln	-0,63	-0,49	-0,42
Zuckerrüben	-0,40	-0,79	-0,76
Gemüse	3,62	5,83	6,14
Obst	5,10	3,56	3,60
Milch	-5,11	-0,17	-1,07
Fleisch insgesamt	4,33	-7,94	-16,99
Eier	0,00	-0,72	-0,66
<b>Gesamtbilanz</b>			
Vorleistungen und Energie	85,90	65,43	59,81
Im-/Export pflanzlicher Produkte	22,08	11,57	14,40
Im-/Export tierischer Produkte	-0,78	-8,83	-18,72
<b>Zusammen</b>	<b>107,19</b>	<b>68,16</b>	<b>55,48</b>

1) Für energiereiche und sonstige Futtermittel wird der Verbrauch berechnet, diese Futtermittel stammen vor allem aus der Lebensmittelverarbeitung.

Quelle: Eigene Berechnungen.

In Tabelle 5.13 wird schließlich das Ergebnis für den „virtuellen Landhandel“ dargestellt. In beiden Szenarien kehrt sich der Nettoimport von „virtueller Fläche“ in einen Nettoexport um. Wiederum schneidet das Szenario ÖKO-20 % mit 5,19 Mio. ha an Export „virtueller Fläche“ günstiger ab als das Szenario KONV, bei dem der Flächenexport 10 % niedriger liegt. Der Export „virtueller Fläche“ bedeutet, dass die globale Flächennutzungskonkurrenz vermindert wird und keine negativen



indirekten Landnutzungseffekte außerhalb von Deutschland ausgelöst werden. Die externen Flächenansprüche des deutschen Agrarsektors sinken gegenüber dem Jahr 2007 auch bei Betrachtung einzelner Produkte, so dass selbst aufgrund der Nachfrage nach einzelnen Produkten wie Futtermitteln keine negativen, indirekten Landnutzungseffekte zu erwarten sind. Die virtuellen Flächenansprüche für den Import von Reis, Kakao, Kaffee, Tee, Tabak und Baumwolle sind nicht in der Darstellung in Tabelle 5.13 enthalten, sie lagen im Jahr 2010 bei 2,64 Mio. ha Fläche (VON WITZKE et al., 2011). Auch diese Flächenansprüche werden aufgrund des Bevölkerungsrückgangs in Deutschland voraussichtlich abnehmen.

**Tabelle 5.13:** Außenhandelsbilanz des „virtuellen Landhandels“ des deutschen Agrarsektors im Jahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050

	2007	KONV	ÖKO-20%
	Fläche in Mio. ha		
<b>Agrarim- und exporte</b>			
Getreide insgesamt	-1,07	-4,51	-3,44
Hülsenfrüchte	0,00	0,00	0,00
Raps, andere Ölsaaten			
Pflanzenöle, Margarine	1,35	0,09	0,10
Ölkuchen	0,86	0,10	0,25
Energiereiche Futtermittel <sup>1)</sup>	0,54	0,23	0,33
Sonstige Futtermittel <sup>1)</sup>	0,65	0,32	0,49
Kartoffeln	-0,11	-0,10	-0,09
Zuckerrüben	-0,07	-0,14	-0,14
Gemüse	0,17	0,27	0,28
Obst	0,48	0,34	0,34
Milch	-0,95	-0,03	-0,22
Fleisch insgesamt	0,62	-1,20	-2,49
Eier	0,00	-0,09	-0,08
<b>Gesamtbilanz</b>			
Im-/Export pflanzlicher Produkte	2,82	-3,39	-2,40
Im-/Export tierischer Produkte	-0,33	-1,32	-2,79
<b>Zusammen</b>	<b>2,49</b>	<b>-4,71</b>	<b>-5,19</b>

1) Für energiereiche und sonstige Futtermittel wird der Verbrauch berechnet, diese Futtermittel stammen vor allem aus der Lebensmittelverarbeitung.

Quelle: Eigene Berechnungen.

### 5.3 Fazit zu den Szenarioanalysen

Für die Analysen der THG-Minderungen ist es zweckmäßig, verschiedene, die Emissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors bestimmende Handlungsfelder der Klimaschutzpolitik zu unterscheiden. Zu nennen sind die Landnutzung, die Agrarproduktion, und auf der Verwendungsseite das Verbraucherverhalten, das Aufkommen von Lebensmittelabfällen und die energetische und stoffliche Nutzung nachwachsender Agrarrohstoffe. Jeder dieser Bereiche erfordert die Entwicklung und Umsetzung eigenständiger und spezifischer Klimaschutzmaßnahmen, um die

jeweiligen THG-Minderungspotenziale zu mobilisieren. Bei der Szenarioanalyse werden deshalb zunächst Annahmen zu Maßnahmen im Bereich der Landnutzung und zur Verwendung der Agrarproduktion getroffen. Darauf aufbauend werden in den Szenarien landwirtschaftliche Klimaschutzmaßnahmen analysiert. Die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien ist ein weiteres Handlungsfeld, über das die THG-Emissionen des Energie- und Vorleistungseinsatzes in der Landwirtschaft gesenkt werden.

Im Bereich der Landnutzung wird einheitlich für alle Szenarien von einem Stopp der Grünlandumwandlung in Ackerland und von einer großflächigen Vernässung von Moorflächen ausgegangen. Die Restaurierung von bisher landwirtschaftlich genutzten Moorflächen bedeutet für den deutschen Agrarsektor einen sehr umfangreichen Flächenentzug. Auf der Verwendungsseite sind der Nahrungsverbrauch, der Lebensmittelverderb sowie die stoffliche und energetische Nutzung von Agrarrohstoffen und Reststoffen zu betrachten. Für die Bewertung der Szenarien werden einheitliche Annahmen zur Verwendung festgelegt. Der ebenfalls zur Verwendung gehörende Futtermiteinsatz ist dabei eine Ausnahme, denn er wird durch die Struktur der Produktion im Agrarsektor bestimmt und wird folglich szenariospezifisch abgebildet. Im Mittelpunkt der Analysen steht der deutsche Agrarsektor mit seinen direkten CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen. Für die Bewertung wird schließlich die Produktion im Agrarsektor um die Nachfrage nach Vorleistungen für die landwirtschaftliche Produktion aus vorgelagerten Sektoren und aus dem Ausland erweitert.

Die Szenarioanalysen zeigen, dass bei Fortschreibung des Status Quo und nach umfangreichem Flächenentzug für Moorrestaurierung und Verkehrs- und Siedlungsflächen die Produktionsmengen im deutschen Agrarsektor durch die – vorsichtig geschätzten – Ertragsfortschritte näherungsweise aufrecht erhalten werden können. Durch Klimaschutzmaßnahmen ohne Produktionseinschränkungen ist eine Minderung bis zu einer THG-Emission von ca. 45 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. möglich. Wichtige Maßnahmen sind dabei die konsequente Steigerung der N-Ausnutzung und Verwendung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen mit gasdichter Lagerung der Gärreste. Die Verringerung der Umtriebszeiten hat dagegen nur begrenzte Wirkung auf die sektoralen THG-Emissionen.

Weitere THG-Minderungen können nur unter Einschränkung der Produktionsmengen erzielt werden. Bei den Einschränkungen der Produktionskapazitäten stehen die Wiederkäuer aufgrund ihrer hohen THG-Emissionen pro Kopf und pro Produkteinheit im Mittelpunkt. Eine starke Einschränkung steht aber im Konflikt mit dem Ziel der Grünlanderhaltung und -pflege. Eine Einschränkung des Tierbestandes führt nicht zur Minderung aller der mit ihr verbundenen THG-Emissionen, vielmehr kommt es bei Reduzierung der Nährstoffzufuhr über Wirtschaftsdünger zu einer Substitution durch Mineraldünger oder legume N-Bindung, und die nicht mehr als Futterfläche benötigten Flächen werden weiterhin landwirtschaftlich genutzt. Diese Rückkopplungseffekte vermindern den Beitrag der Tierbestandsabstockung zur THG-Minderung.

Eine flächenhafte Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion durch vollständige Umstellung auf ökologischen Landbau würde zwar die direkten THG-Emissionen des Agrarsektors aufgrund geringer Tierbestände und durch Verzicht auf mineralische N-Düngung mindern. Unter Einbeziehung der vorgelagerten Bereiche und der Im- und Exporte von Agrargütern schneidet der ökologische Landbau dagegen wegen seiner geringeren Produktionsmengen in Bezug auf kumu-

lierte THG-Emissionen und den „virtuellen Landhandel“ nicht so günstig ab wie die beiden dargestellten Szenarien mit konventionellem Landbau. Ein Grund für die geringen, kumulierten THG-Emissionen in den Szenarien mit konventionellem Landbau ist die Annahme, dass N-Mineraldünger im Jahr 2050 mit Hilfe der besten verfügbaren Technologien und auf Basis THG-neutraler, erneuerbarer Energien hergestellt wird. Bezüglich der Bilanz der kumulierten THG-Emissionen zuzüglich Importen und abzüglich Exporten sowie der Flächenansprüche im „virtuellen Landhandel“ stellt sich das Szenario mit 20 % ökologischem Landbau mit Abstand am günstigsten dar.

Durch die Kombination zwischen konventionellem und ökologischem Landbau kommt es offensichtlich zu Synergien, die dazu beitragen, dass die landwirtschaftliche Produktion insgesamt weniger stark eingeschränkt werden muss. Davon wird insbesondere die Tierhaltung begünstigt. Gleichzeitig sind der sektorale N-Mineraldünger- und der Pflanzenschutzinsatz gegenüber dem Szenario mit konventionellem Landbau verringert. Die Synergien sind mit der bevorzugten Nutzung des Grünlands als Fläche für die im ökologischen Landbau benötigte, biologische N-Bindung durch Klee und andere Leguminosen zu erklären. Auf einem relevanten Teil der Grünlandfläche wird im Szenario ÖKO-20 % kein N-Mineraldünger eingesetzt, was die  $N_2O$ -Emissionen senkt und Voraussetzung für eine verstärkte N-Bindung durch Klee ist. Der so gebundene Stickstoff kann in Form von Wirtschaftsdünger aus der Rinderhaltung im ökologischen Ackerbau eingesetzt werden, so dass weniger Ackerflächen für Klee gras oder andere Leguminosen reserviert werden müssen.

Eine stärkere Ausdehnung des ökologischen Landbaus auf der Ackerfläche hat ohne entsprechend hohen Grünlandanteil zur Folge, dass mehr Fläche für die legume N-Bindung genutzt werden muss. Entweder wird dafür die Futterfläche stärker auf die Ackerfläche ausgedehnt, oder es kommt zur Produktion von „Anbaubiomasse für die N-Bindung“ ohne Futternutzung. Beide Optionen stehen in Konkurrenz zur konventionellen Nahrungsmittelproduktion auf Basis von N-Mineraldünger, beispielsweise Getreideanbau. Die bisher der legumen N-Bindung zugerechneten direkten  $N_2O$ -Emissionen sollen wie erläutert künftig in der THG-Emissionsberechnung für die nationalen Inventare entfallen. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die direkten  $N_2O$ -Emissionen aus der biologischen N-Bindung durch die bisherige Methode offenbar überschätzt worden sind. Somit wird die biologische N-Fixierung aus Sicht des Klimaschutzes noch interessanter, insbesondere auf den Flächen, die ohne Verdrängung anderer Agrarproduktionsalternativen zur Verfügung stehen. Eine Leguminosenstrategie für Deutschland sollte vor diesem Hintergrund die N-Bindung durch Klee im Grünland in den Mittelpunkt stellen. Gleichzeitig könnte dadurch der Bedarf an importierten Eiweißfuttermitteln in der Rinderhaltung reduziert werden.

## 6 Diskussion und Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Untersuchung stehen die technischen THG-Minderungsmöglichkeiten des Agrarsektors im Jahr 2050 im Mittelpunkt. Entsprechend der Annahmen in der UBA-Studie „Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“ (UBA (Hrsg.), 2010) wird auch in den vorliegenden Szenarioanalysen von der Umsetzung der besten bereits heute verfügbaren Technologien ausgegangen. Im Unterschied zum Energiesektor, der durch den Ausbau erneuerbarer Energien ein THG-Vermeidungspotenzial bis zu 100 % aufweist, ist in der Quellgruppe Landwirtschaft keine vollständige Vermeidung von Treibhausgasemissionen möglich, da die bei natürlichen Umsetzungsprozessen entstehenden Methan- und Lachgasemissionen nur eingeschränkt kontrollierbar sind. Daher steigt bei zunehmendem Ausbau erneuerbarer, THG-neutraler Energien der Anteil der Landwirtschaft an den THG-Gesamtemissionen.

Nach einem erfolgreichen Ausbau von Wind- und Solarenergie, Erdwärme und Geothermie als Basis der Energieversorgung verlieren Biomasse-basierte, erneuerbare Energien aus landwirtschaftlichen Produkten ihre Funktion für den Klimaschutz, da sie bei 100 % Versorgung aus erneuerbaren Energien keine fossilen Energieträger mehr ersetzen können. Daher wird in der genannten Studie des UBA (Hrsg.) (2010) davon ausgegangen, dass in der Landwirtschaft keine Energiepflanzen mehr erzeugt werden. Zudem wird die Nutzung von Anbaubiomasse aufgrund der Konkurrenz mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion und möglichen Konflikten mit Naturschutzziele kritisch gesehen. Die im Jahr 2050 verbleibende Biomassenutzung basiert den Annahmen nach auf Rest- und Abfallstoffen und hat eine im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien geringe Bedeutung für die Energieversorgung.

Damit steht die langfristig erwartete Entwicklung der energetischen Biomassenutzung in einem deutlichen Gegensatz zu den aktuell deklarierten, mittelfristigen Ausbauzielen für erneuerbare Energien einschließlich der Bioenergie bis zum Jahr 2020 (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2010). Die energetische Nutzung von landwirtschaftlich erzeugten, nachwachsenden Rohstoffen ist demnach eine Brückentechnologie, die unter den Szenariobedingungen bis zum Jahr 2050 ihre Bedeutung als Klimaschutzmaßnahmen verlieren wird. Ob die energetische Nutzung landwirtschaftlich erzeugter Anbaubiomasse künftig dennoch weiter stattfinden wird, wie beispielsweise durch Einsatz von Pflanzenöl als Treibstoff, wird von der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Energieträgern und von staatlichen Maßnahmen abhängen.

Eine Substitution von Werkstoffen aus fossilen Quellen durch nachwachsende Rohstoffe aus der Landwirtschaft könnte auch künftig weiter ausgebaut werden, wie dies von der Bundesregierung in ihrem Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe erwartet wird (BMELV, 2009a). Die Entwicklung der stofflichen Biomassenutzung wird von den technologischen Weiterentwicklungen und der Wettbewerbsfähigkeit der Biomasse-basierten gegenüber einer Wasserstoff-basierten chemischen Produktion abhängen. Vor diesem Hintergrund erscheint die für die Szenarioanalysen für das Jahr 2050 durch das UBA festgelegte Begrenzung der stofflichen Nutzungen landwirtschaftlich erzeugter, nachwachsender Rohstoffe auf das heutige Niveau sehr restriktiv, zumal im Bereich der stofflichen Nutzung im Vergleich zur Energienutzung deutlich geringere Mengen an Agrarprodukten eingesetzt werden. Nach Einstellung der Nutzung fossiler Brennstoffe könnte Kohlenstoff künftig ein knappes Gut werden, etwa aufgrund der Nachfrage nach Kohlenstoff für die Methanisierung von Wasserstoff aus erneuerbarer Energienutzung. Ob

sich künftig ein Markt für Kohlenstoff entwickeln könnte, und ob landwirtschaftliche Abfälle oder Biomasse für die Versorgung eine Rolle spielen könnten, konnte im Rahmen dieses Projektes leider nicht geklärt werden.

Eine Minimierung der durch Landnutzung bedingten THG-Emissionen des Agrarsektors macht es erforderlich, die Umwandlung von Grünlandflächen in Ackerland einzustellen und landwirtschaftliche genutzte Moorflächen aus der Bewirtschaftung zu nehmen und zu vernässen. Aufgrund technischer und sozioökonomischer Limitierungen werden die Emissionen aus meliorierten Mooren vermutlich nicht vollständig vermieden werden können. Eine offene Frage bleibt, ob und wie die restaurierten Moorflächen künftig genutzt werden könnten, beispielsweise für die Biomasseproduktion (sogenannte Paludikulturen). Dabei würde es sich um Anbaubiomasse handeln, die aber nicht in Konkurrenz zur Nahrungsproduktion steht.

Die Minderung der direkten THG-Emissionen des Agrarsektors um etwa 50 % gegenüber dem Jahr 2010 ist nach Ausschöpfung von Potenzialen zur Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung nur durch Einschränkung der Tierproduktion zu erreichen. Wie die Ergebnisse für die beiden untersuchten Szenarien zeigen, besteht aber auch bei ehrgeizigen Klimaschutzziele ein großer Gestaltungsspielraum, mit welchen Produktionsstrukturen und daraus resultierenden Produktionsmengen die Ziele erreicht werden sollen. Bezüglich der Einschränkung der Tierproduktion stehen die Wiederkäuer aufgrund ihrer hohen, verdauungsbedingten Emissionen im Mittelpunkt. Unter Klimaschutz-Gesichtspunkten günstig zu bewerten ist, dass die Ernährung der verbleibenden Wiederkäuerbestände dann durch das Grünland gewährleistet werden kann, während der Ackerfutterbau zugunsten anderer Ackerkulturen eingeschränkt wird. Bei einem starkem Abbau der Rinderbestände kann allerdings die Nutzung eines Teils der Grünlandflächen zur Nahrungsproduktion in Frage gestellt werden. Unter den restriktiven Anforderungen an die THG-Emissionsvermeidung könnte es für den Agrarsektor interessant werden, Gutschriften beispielsweise durch die langfristige Festlegung von Biokohle in Böden zu erwerben und dadurch eine höhere Nahrungsmittelproduktion zu erreichen. Die Emissionen aus der Rinderhaltung und aus der N-Düngung würden dann über THG-Gutschriften neutral gestellt. Voraussetzung für solche Verfahren ist eine gesicherte, langfristige Festlegung und eine Erfassung und Kontrolle der Gutschriften durch Audits.

Eine Einschränkung der Tierproduktion ohne Anpassung des Nahrungsverbrauchs in Deutschland hätte zwar eine Senkung der THG-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft zur Folge, da aber die Versorgung durch ausländische Anbieter übernommen würde, würde der weltweite Klimaschutzeffekt durch Tierbestandsaufstockungen außerhalb von Deutschland kompensiert. Dies ist ein Beispiel für sogenannte „leakage“-Effekte. Neben den Szenarioannahmen zur Veränderung der Landnutzung und der Agrarproduktion werden deshalb Annahmen zur Veränderung des Nahrungsverbrauchs getroffen. Für den Agrar- und Ernährungssektor wird somit abweichend von der UBA-Studie „Energieziel 2050“ (UBA (Hrsg.), 2010) eine starke Veränderung des derzeitigen Verbraucherverhaltens und des Lebensstils unterstellt. In der UBA-Studie heißt es dazu:

*„Grundsätzlich gehen wir davon aus, dass die gesellschaftlichen Realitäten sich bis 2050 nicht grundlegend ändern, sondern sich der bisherige Lebensstil sowie die heutigen Konsum- und Verhaltensmuster fortsetzen und Deutschland ein hochentwickeltes Industrieland bleibt. Wir möchten mit diesen Annahmen bewusst plausibel machen, wie eine erneuerbare Stromversorgung*

*auch mit der heutigen Wirtschaftsstruktur und dem heutigen Lebensstil realisiert werden kann.“* (UBA (Hrsg.), 2010, S. 16).

Der Verbrauch von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft hat einen erheblichen Einfluss auf die kumulierten Flächen- und Energieansprüche und die THG-Emissionen, die durch die Deckung des deutschen Nahrungsmittelbedarfs entstehen. Das gleiche gilt für den Lebensmittelverderb. Die möglichen Veränderungen des Verbrauchs tierischer Produkte und des Lebensmittelverderbs im deutschen Ernährungssektor würden sich jedoch nicht 1 : 1 in einer veränderten Produktion des deutschen Agrarsektor niederschlagen. In einer offenen Marktwirtschaft bestimmt das nationale Verbraucher- und Ernährungsverhalten nur mittelbar die Produktionsstruktur des Agrarsektors, da dieser in erheblichem Maße durch die Austauschbeziehungen an den internationalen Märkten beeinflusst wird. Deshalb sollten die angestrebten Änderungen im Ernährungssektor als eigenständiges Gestaltungsfeld betrachtet werden, aus denen nicht automatisch die intendierten Änderungen im Bereich der Landnutzung und im Agrarsektor folgen. Letztere können nur durch Landnutzungspolitiken und sektorbezogene Agrarumweltpolitiken erreicht werden.

Eine Veränderung der heutigen Konsum- und Verhaltensmuster im Bereich der Ernährung, die zu einer Senkung des Verbrauchs tierischer Nahrungsmittel und des Lebensmittelverderbs führt, schränkt in Verbindung mit der Einstellung der Anbaubiomasseproduktion die Binnennachfrage nach Agrarprodukten deutlich ein. Bezüglich der angestrebten Selbstversorgungsgrade ergibt sich rechnerisch die Möglichkeit, die Landnutzungsintensität und damit die Produktionsmengen zu reduzieren, beispielsweise durch eine weitgehende Umstellung auf Ökolandbau. Ebenso werden die „virtuellen“ Flächenansprüche an den Futteranbau außerhalb von Deutschland reduziert, wodurch die Ressourcenansprüche und Emissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors weiter zurückgehen.

Deutschland hat aufgrund seiner günstigen Produktionsbedingungen jedoch auch die Möglichkeit, bei einer Veränderung der Binnennachfrage mehr Agrargüter zu exportieren. Letztlich steht die Frage im Raum, wie weit die in Deutschland bestehenden landwirtschaftlichen Produktionspotentiale ausgeschöpft werden sollen. Eine starke Einschränkung der Produktion würde angesichts der bis zum Jahr 2050 weltweit ansteigenden Nahrungsmittelnachfrage den Nutzungsdruck auf die Agrarflächen außerhalb von Deutschland erhöhen.

In den beiden untersuchten Szenarien werden die definierten Emissionsgrenzen für die Quellgruppe 4 Landwirtschaft in Deutschland eingehalten, gleichzeitig steigen die Agrarexporte. Dadurch werden kumulierte Flächenansprüche und THG-Emissionen in andere Länder exportiert.

Eine Betrachtung der Außenhandelsbilanz des Agrar- und Ernährungssektors bezüglich der kumulierten Flächen- und Energieansprüche und die THG-Emissionen ist nicht nur deshalb wichtig, weil dadurch die Effekte des Warenimports einbezogen werden, sondern auch, da hierbei die Exporte bewertet werden. Diese Systembetrachtung macht die letzte Verwendung von Gütern im Binnenland und deren kumulierte Ressourcenansprüche und Emissionen zur Bewertungsbasis. Sie be-

zieht dabei den internationalen Gütertausch ein und weicht daher von einer Analyse der THG-Quellgruppen nach dem Inlandsprinzip ab.

Die Analyse der Effekte des Warenimports auf die kumulierten Flächen- und Energieansprüche und die THG-Emissionen von Wirtschaftssektoren ergibt ohne Einbeziehung der Exporte keinen Sinn. Da einerseits Importe bei der Bilanzierung berücksichtigt werden, müssen auch Exporte als Entlastung angerechnet werden. Dieser Zusammenhang kann anhand des derzeitigen, gesamten Umsatzes an kumulierten THG-Emissionen und Primärenergieansprüchen in der deutschen Volkswirtschaft illustriert werden, wie er in den Daten der umweltökonomischen Gesamtrechnungen für das Jahr 2007 dargestellt wird (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011, Kumulierte Treibhausgas-Emissionen bzw. kumulierter Primärenergieverbrauch mit Vorleistungen aus dem In- und Ausland nach Gütergruppen. Rechenstand 2010). Von den kumulierten THG-Emissionen des Agrarsektors, der Nahrungs-, Futtermittel- und Getränkeindustrie in Deutschland einschließlich Importen in Höhe von insgesamt 185 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. wurden gut 42 Mio. t über Güter exportiert. Vom kumulierten Primärenergieverbrauch der genannten Sektoren einschließlich Importen in Höhe von 1.190 Petajoule gelangten ca. 280 Petajoule in den Export. In beiden Fällen entspricht der exportierte Anteil, der als kumulierter Wert der Exportgüter zu verstehen ist, 23 % des Gesamtaufkommens.

Für alle volkswirtschaftlichen Sektoren zusammen lässt sich anhand der UGR-Daten der gesamte deutsche Im- und Export an kumulierten THG-Emissionen und Primärenergieansprüchen abschätzen. Im Jahr 2007 wurden innerhalb von Deutschland insgesamt ca. eine Milliarde t CO<sub>2</sub>-Äq. an Treibhausgasen emittiert, einschließlich der Güterimporte wurden in den deutschen Volkswirtschaft jedoch 1,65 Milliarde t CO<sub>2</sub>-Äq. umgesetzt. Die Exporte über kumulierte THG-Belastungen der Güter betragen 0,65 Milliarde t CO<sub>2</sub>-Äq. Der Primärenergieverbrauch in Deutschland lag im Jahr 2007 bei 14.128 Petajoule, einschließlich Importen betragen die kumulierten Primärenergieansprüche der deutschen Volkswirtschaft 23.735 Petajoule. Davon gelangten ca. 11.000 Petajoule über die kumulierten Primärenergieansprüche der Güter in den Export. Der Anteil der kumulierten THG-Emissionen und Primärenergieansprüche des Imports wie auch des Exports beträgt etwa 40 %.

Diese Zahlen verdeutlichen, dass für ein besseres Gesamtverständnis des Wirtschaftsgeschehens in Deutschland und der insgesamt umgesetzten, kumulierten THG-Emissionen und Primärenergieansprüche die Warenimporte und Vorleistungen der Sektoren mit betrachtet werden sollten. In eine solche Analyse der wirtschaftlichen Verflechtungen muss auch die Güterverwendung einschließlich der Exporte einbezogen werden. Aufgrund der Bedeutung des Vorleistungseinsatzes, der starken internationalen Verflechtungen der Agrarmärkte und der Zusammenhänge zur Flächennutzung sollten Klimaschutzpolitiken im Agrarbereich nicht allein anhand der inländischen, direkten THG-Emissionen in diesem Sektor bewertet werden. Deshalb wurde für diesen Bericht ein Bewertungsansatz entwickelt, der die kumulierten Flächen- und Energieansprüche sowie der THG-Emissionen der inländischen Güterverwendungen unter Berücksichtigung der Außenhandelsbilanz zur Grundlage hat.

## 7 Literatur

- Akiyama HYX, Yagi K (2010) Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N<sub>2</sub>O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology* 16: 1837-1846.
- Alexandratos N, Bruinsma J (2012) World agriculture towards 2030/2050. The 2012 Revision. Global Perspective Studies Team, ESA Working Paper No. 12-03, June 2012. Agricultural Development Economics Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- AMI (2012a) Bio-Strukturdaten– Bodennutzung und Tierhaltung 2010. Marktwoche Ökolandbau 07.5-9.
- AMI (2012b) Bio-Betriebe und -Flächen in Deutschland 2011 nach Bundesländern. [http://www.ami-informiert.de/fileadmin/redaktion/bio\\_daten/strukturdaten/Strukturdaten\\_nach\\_Bundeslaendern\\_2011\\_PDF.pdf](http://www.ami-informiert.de/fileadmin/redaktion/bio_daten/strukturdaten/Strukturdaten_nach_Bundeslaendern_2011_PDF.pdf)
- Barzantny K, Achner S, Vomberg S (2009) Klimaschutz: Plan B 2050. Energiekonzept für Deutschland (Langfassung). Bericht von Eutech Energie und Management GmbH, Auftraggeber: Greenpeace Deutschland.
- Bellarby J, Foeroid B, Hastings A, Smith P (2008) Cool Farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potenzial. Greenpeace Campaigning for Sustainable Agriculture. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2008/1/cool-farming-full-report.pdf> Letzter Zugriff: 27.08.2012.
- BMELV (2011, 2010, 2009 sowie weitere, frühere Jahrgänge) Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2011. Wirtschaftsverlag NW GmbH Bremerhaven.
- BMELV (2009a) Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2011) Erneuerbare Energien in Zahlen. Internet-Update ausgewählter Daten. Dezember 2011. URL: [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee\\_zahlen\\_internet-update.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_zahlen_internet-update.pdf)
- BMWi und BMU (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2010) Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September 2010.
- Bockisch FJ (Hrsg.) (2000) Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasaemissionen. Studie als Sondergutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 211.
- BÖLW (Bund ökologische Lebensmittelwirtschaft) (2008) Ökologische Lebensmittelwirtschaft und Klimaschutz. Zum Stand des Wissens. Manuskript, [www.boelw.de](http://www.boelw.de).
- Brentrup F, Küsters J (2008) Energiebilanz der Erzeugung und Verwendung von mineralischen Düngemitteln – Stand der Dinge und Perspektiven. In: Döhler H, Eckel H, Fritzsche S, Fröba N, Grube J, Hartmann W, Kröttsch S, Klöble U, Klöpfer F, Molnar C, Niebaum A, Roth U, Sauer N, Schultheiß U (2008) Energieeffiziente Landwirtschaft. KTBL. Darmstadt. S. 56-64.
- Bundesregierung (2002) Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung.
- Bundesrepublik Deutschland (2010) Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.
- Cerri CC, Bernoux M, Ferreira Maia SM, Pellegrino Cerri CE, Costa Junior C, Feigl BJ, Almeida Frazão L, Fujita de Castro Mello F, Valadares Galdos M, Silva Moreira C, Nunes Carvalho JL (2010) Green-



- house gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.67, n.1, p.102-116, January/February 2010.
- Christensen TR, Friborg T (editors) (2004) EU Peatlands: Current Carbon Stocks and Trace Gas Fluxes. *Concerted Action CarboEurope-GHG*.
- Dalgaard R, Schmidt J, Halberg N, Christensen P, Thrane M, Pengue WA (2008) LCA of Soybean Meal. *Int J LCA* 13 (3) 240–254.
- Davis J, Sonesson U, Baumgartner DU, Nemecek T (2010) Environmental impact of four meals with different protein sources: Case studies in Spain and Sweden. *Food Research International* 43 (2010) 1874–1884.
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) (2004) DGE-Ernährungskreis – Lebensmittelmengen. DGEInfo 05/2004 – Beratungspraxis.  
<http://www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=415> Letzter Zugriff: 17.09.2012.
- EEA (Europäische Umweltagentur) (2012) GHG Inventory 2012 Submission, Period 1990 to 2010, Germany. Reported 2012-01-13.  
[http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/ghgmm/envtw7blw/index\\_html?page=1](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/ghgmm/envtw7blw/index_html?page=1)
- Eriksson IS, Elmquist H, Stern S, Nybrant T (2004) Environmental Systems Analysis of Pig Production – The Impact of Feed Choice. *Int J LCA* 10 (2) 143–154.
- European Commission (2007) Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals- Ammonia, Acids and Fertilizers.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2012) Tabelle der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe 2012. <http://mediathek.fnr.de/anbauflaeche-fur-nachwachsende-rohstoffe-2012-tabelle.html> , Letzter Zugriff: 10.03.2013.
- FAO (2006) *Livestock's long shadow. Environmental issues and options*, Rome, Italy.
- FAO (2011) *Global Food Losses and Food Waste. Extent, Causes and Prevention*.  
<http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf> Letzter Zugriff: 27.08.2012.
- FAO (2012a) Animal Production and Health division. Greenhousegas emissions from the dairy sector. A life cycle assessment. <http://www.fao.org/docrep/012/k7930e/k7930e00.pdf>. Letzter Zugriff: 18.09.2012.
- FAO (2012b) *Food and Agricultural commodities production*.  
<http://www.fao.org/docrep/015/am081m/am081m00.htm> Letzter Zugriff: 16.11.2012.
- FAPRI (2011) *World Agricultural Outlook*. Iowa State University, University of Missouri-Columbia, Food and Agricultural Policy Research Institute.
- Flessa H, Müller D, Plassmann K, Osterburg B, Techen AK, Nitsch H, Nieberg H, Sanders J, Meyer zu Hartlage O, Beckmann E, Anspach V (2012) Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. *Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research. Sonderheft 361*. 437 S.

- Fritsche UR, Dehoust G, Jenseit W, Hünecke K, Rausch L, Schüler D, Wiegmann K, Heinz A, Hiebel M, Ising M, Kabasci S, Unger C, Thrän D, Fröhlich N, Scholwin F, Reinhardt G, Gärtner S, Patyk A, Baur F, Bemmann U, Groß B, Heib M, Ziegler C, Flake M, Schmehl M, Simon S (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht. Ökoinstitut, Umsicht, ifeu, izes, TUBS, TUM. S. 263.
- Frorip J, Kokin E, Praks J, Poikalainen V, Ruus A, Veermäe I, Lepasalu L, Schäfer W, Mikkola H, Ahokas J (2012) Energy consumption in animal production-case farm study. *Agronomy research Biosystem engineering*. Special Issue 1. 39-48.
- Gattinger A, Muller A, Haeni M, Skinner C, Fliessbach A, Buchmann N, Mäder P, Stolze M, Smith P, El-Hage Scialabba N, Niggli U (2012) Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *PNAS Early Edition*. Zu finden unter: <http://www.pnas.org/content/early/2012/10/10/1209429109>.
- GEMIS (2012) <http://www.gemis.de/de/doc/>
- Goodland R, Anhang J (2009) Livestock and Climate Change- What if the key actors in climate change are... cows, pigs and chickens? *World Watch*, November/December 2009.
- Grünberg J, Nieberg H, Schmidt T (2010) Treibhausgasbilanzierung von Lebensmitteln (Carbon Footprints): Überblick und kritische Reflektion. *Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research* 2 2010 (60). 53-72.
- Haenel HD, Rösemann C, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Döhler H, Eurich-Menden B, Wulf S, Dieterle M, Osterburg B (2012) Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 - 2010 - Report zu Methoden und Daten (RMD) Berichterstattung 2012. *Landbauforschung Sonderheft* 356.
- Hafner G, Barabosz J, Schneider F, Lebersorger S, Scherhauser S, Schuller H, Leverenz D (2012) Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart (ISWA) und Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), gefördert durch das BMELV, Stuttgart.
- Havers K (2008) Die Rolle der Luftfracht bei Lebensmitteltransporten Aktuelle Entwicklungen in Deutschland und deren ökologische Folgen Öko-Institut, Berlin.
- Hirschfeld J, Weiß J, Preidl M, Korbun T (2008) Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. *IÖW186/08*.
- Huber U (2000) Agriculture in Germany – Production and Structure. Federal Ministry of Food, Agriculture and Forestry, Bonn. In: Tangermann S (Ed.) 2000: Agriculture in Germany. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- Hülsbergen KJ, Feil B, Biermann S, Rathke GW, Kalk, WD, Diepenbrock W (2001) A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86 (3). 303-321.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1997) Greenhouse Gas Inventories. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3, module 4: agriculture.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006) Greenhouse Gas Inventories. Revised 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- Kassow A, Blank B, Paulsen HM, Aulrich K, Rahmann G (2009) Studies on greenhouse gas emissions in organic and conventional dairy farms. *Ressortforschung für den Ökologischen Landbau*. 75 S.
- Lal R (2004) Carbon Emissions from farm operations. *Environment International* 30. 981–990.

- Lansche J, Lübs H, Giegrich J, Liebich A (2007) Ermittlung und Bereitstellung von Koeffizienten zum Rohstoffeinsatz bei Importgütern. Ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung. Im Auftrag des Statistischen Bundesamtes. Heidelberg. 91 S.
- LCA-Food Database (2003) <http://www.lcafood.dk/>
- Leible L, Arlt A, Fürniß B, Kälber S, Kappler G, Lange S, Nieke E, Rösch C, Wintzer D (2003) Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft- Möglichkeiten, Chancen und Ziele-. Wissenschaftliche Berichte FZKA 6882. Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft. Karlsruhe.
- Leifeld J (2010) Kohlenstoffsequestrierung in landwirtschaftlichen Böden – eine kritische Betrachtung. In: Wulf S, Döhler S (2010) Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. KTBL-Schrift 483. Darmstadt. S. 182-191.
- Leonhäuser IU (2003) Ernährungsverhalten: Genuss und Reue – wie entwickelt sich unser Verhältnis zum Fleischverzehr? In: Isermeyer F (Ed.). Fleisch 2025: Vortrags- und Diskussionstagung am 18. März 2003 im Forum der FAL, gemeinsam veranstaltet von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und der Gesellschaft der Freunde der FAL. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 262 (S. 1-11).
- Meyer R, Sauter A (2002) TA-Projekt Entwicklungstendenzen von Nahrungsmittelangebot und -nachfrage und ihre Folgen Basisanalysen. Arbeitsbericht Nr. 81, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- Monier V, Mudgal S, Escalon V, O'Connor C, Gibon T, Anderson G, Montoux H, Reisinger H, Dolley P, Ogilvie S, Morton G (2010) Preparatory Study On Food Waste Across EU 27 - Final report. European Commission (DG ENV) Directorate C-Industry. Technical Report 2010-054.
- MRI (Max Rubner Institut) (2008) Nationale Verzehrsstudie II Ergebnisbericht, Teil 2 [http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/NVS\\_ErgebnisberichtTeil2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/NVS_ErgebnisberichtTeil2.pdf?__blob=publicationFile) Letzter Zugriff: 27.08.2012.
- Nitsch J, Krewitt W, Nast M, Viebahn P (2004) Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. DLR, IfEU, WI. Stuttgart. S 285.
- Nitsch J, Wenzel B (2009) Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland. Leitszenario 2009. Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Noleppa S, von Witzke H (2012) Tonnen für die Tonne. Ernährungsweisen, Fleischkonsum, Flächenverbrauch. WWF Studie, Berlin.
- Offermann F (2003) Quantitative Analyse der sektoralen Auswirkungen einer Ausdehnung des ökologischen Landbaus in der EU. Berliner SCHRiften zur Agrar- und Umweltökonomik. Band 5. Aachen. 141 S.
- Offermann F, Banse M, Ehrmann M, Gocht A, Gömann H, Haenel H-D, Kleinhanß W, Kreins P, Ledebur O von, Osterburg B, Pelikan J, Rösemann C, Salamon P, Sanders J (2012) vTI-Baseline 2011-2021: agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Landbauforschung vTI agriculture and forestry research - Sonderheft 355.
- Ökoinstitut e.V. und prognos (2009) Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Endbericht. Auftraggeber: World Wide Fund For Nature (WWF) Deutschland.

- Osterburg B, Nieberg H, Rüter S, Isermeyer F, Haenel HD, Hahne J, Krentler JG, Paulsen AM, Schuchardt F, Schweinle J, Weiland P (2009) Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie, 03/2009 Braunschweig/Hamburg/Trenthorst: Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- Paul N, Kemnitz D (2007) Biokraftstoffe. Hrsg. FNR. 43 S. Berlin.
- Penn-Bressel G (Federführung, sowie Autorenkollektiv) (2003) Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr – Materialienband. UBA-Texte 90/03.
- Peters D, Holst N, Herrmann B, Lulies S, Stolte H (2010) Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie. Stoffliche Nutzung von Agrar- und Holzrohstoffen in Deutschland. FNR. 88 S. Rostock.
- Rahmann G, Aulrich K, Barth K, Böhm H, Koopmann R, Oppermann R, Paulsen HMM, Weißmann F (2008) Die Klimarelevanz des ökologischen Landbaus – Stand des Wissens. Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research 1/2 (58). S. 71-89.
- Rahmann G (2011) Biodiversity and Organic farming: What do we know? Landbauforschung-vTI Agriculture and Forestry Research 3(61). 189-208.
- Saling P, Kölsch D (2008) Ökobilanzierung: Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Pflanzenschutzmitteln. In: Döhler H, Eckel H, Fritzsche S, Fröba N, Grube J, Hartmann W, Krötzsch S, Klöble U, Klöpfer F, Molnar C, Niebaum A, Roth U, Sauer N, Schultheiß U (2008): Energieeffiziente Landwirtschaft. KTBL. Darmstadt. S. 65-71.
- Sanders J, Offermann F, Nieberg H (2012): Wirtschaftlichkeit des ökologischen Landbaus in Deutschland unter veränderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen. Landbauforschung- vTI Agriculture and Forestry Research. Sonderheft 364. Braunschweig. 87 S.
- Schmidt TG, Osterburg B (2006) Aufbau des Berichtmoduls 'Landwirtschaft und Umwelt' in den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Braunschweig: FAL, Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie 2005/06.
- Schmidt TG, Osterburg B (2009) Aufbau des Berichtsmoduls 'Landwirtschaft und Umwelt' in den umweltökonomischen Gesamtrechnungen: Projekt II: Ergänzungen und Anwendung der Ergebnisse aus Projekt I ; Endbericht [online]. Zu finden in [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/LandwUmweltAbschlBericht2009.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/LandwUmweltAbschlBericht2009.pdf?__blob=publicationFile) [zitiert am 08.01.2013].
- Schnug E, Haneklaus S (2002) Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden – Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorgebeugenden Hochwasserschutz. Landbauforschung Völkenrode 4 (52). 197-203.
- Seufert V, Ramankutty N, Foley JA (2012) Comparing the yields of organic and conventional agriculture. Nature letter. Online publication.
- Soy Moratorium (2011) Soybean planting in the Amazon Biome. Fourth year of mapping and monitoring. [http://www.abiove.com.br/english/sustent/relatorio10/abiove\\_relatorio\\_moratoria\\_us\\_out2011.pdf](http://www.abiove.com.br/english/sustent/relatorio10/abiove_relatorio_moratoria_us_out2011.pdf)
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 8.2, Düngemittelversorgung (div. Jgg.)
- Statistisches Bundesamt (2007) Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Input-Output-Rechnung nach 12 Gütergruppen/Produktionsbereichen. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.

- Statistisches Bundesamt (2011) Umweltnutzung und Wirtschaft. Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Umweltnutzung und Wirtschaft. Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Teil 2: Energie, Rohstoffe sowie Teil 3: Treibhausgase, Luftschadstoffe. Ausgabe 2011, Berichtszeitraum 1995 – 2009.
- Statistisches Bundesamt (2012) Verkehr - Verkehr aktuell. Fachserie 8, Reihe 1.1. Statistisches Bundesamt 07/2012. Wiesbaden.
- Stichnothe H (2012) Ökobilanzen von N-Düngern – Möglichkeiten und Grenzen. Tagungsbeitrag „N-Effizienz im Spannungsfeld“, Wissenschaftliche Tagung LEUCOREA Lutherstadt Wittenberg, 1./2. März 2012.
- Stolze M, Piorr A, Häring A, Dabbert S (2000) The Environmental Impacts of Organic Farming in Europe. Organic Farming in Europe: Economics and Policy Vol. 6. Stuttgart Hohenheim. 127 S.
- Strohm K (2010) Stoffstromanalyse des deutschen Biokraftsektors für das Jahr 2007. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 09/2010. Braunschweig.
- Sutton MA, Howard CM, Erisman JW, Billen G, Bleeker A, Grennfelt P, van Grinsven H, Grizzetti B (Hrsg.) (2011): The European Nitrogen Assessment. Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge University Press. 612 p.
- Taylor C (2000) Ökologische Bewertung von Ernährungsweisen anhand ausgewählter Indikatoren. Dissertation Universität Gießen. abrufbar unter:  
<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2000/273/>
- Teitscheid P, Göbel C, Ritter G, Blumenthal A, Friedrich S, Frick T, Grotstollen L, Möllenbeck C, Rottstegge L, Pfeiffer C, Baumkötter D, Wetter C, Uekötter B, Burdick B, Langen N, Lettenmeier M, Rohn H (2012) Verringerung von Lebensmittelabfällen – Identifikation von Ursachen und Handlungsoptionen in Nordrhein-Westfalen. Münster : s.n., 2012.
- Thiering J, Bahrs E (2011) Biogasproduktion in Deutschland – Sollte die energetische Nutzung von Wirtschaftsdünger explizit gefördert werden? GJAE 60 (2011), Number 4.
- Thünen-Institut für Betriebswirtschaft (2012) Wirtschaftliche Lage ökologischer und konventioneller Vergleichsbetriebe für das Wirtschaftsjahr 09/10. Institut für Betriebswirtschaft des Thünen-Instituts auf Grundlage des Testbetriebsnetzes.  
[http://www.ti.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/bw/projekte/betriebswirtschaftliche-analysen-oekologischer-landbau/analyse-der-wirtschaftlichen-lage-oekologisch-wirtschaftender-betriebe.html](http://www.ti.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/bw/projekte/betriebswirtschaftliche-analysen-oekologischer-landbau/analyse-der-wirtschaftlichen-lage-oekologisch-wirtschaftender-betriebe.html). Letzter Zugriff: 29.08.2012.
- UBA (2011) Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. 1990 - 2010 (Endstand 14.12.2011). Im Internet unter:  
[http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/archiv/2012/2011\\_12\\_14\\_EM\\_Entwicklung\\_in\\_D\\_Trendtabelle\\_THG\\_v1.2.0.zip](http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/archiv/2012/2011_12_14_EM_Entwicklung_in_D_Trendtabelle_THG_v1.2.0.zip)
- UBA (2012a) Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen für 2011.
- UBA (2012b) Inventartabellen im Common Reporting Format (CRF). CRF 2012 XLS in ZIP, Fassung zur EU-Submission. Im Internet unter:  
[http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/ghgmm/envtw7blw/index\\_html?page=1](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/ghgmm/envtw7blw/index_html?page=1)
- UBA (2012c) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - EU-Submission. Dessau: Umweltbundesamt, 832 p.
- UBA (Hrsg.) (2010) Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen. Dessau-Roßlau.

- VEBU (Vegetarierbund Deutschland) (2012) Vegetarische Ernährungspyramide. (wiss. Konzeption von Leitzmann C und Keller M 2010. Vegetarische Ernährung. 2. Auflage 2010) <http://vebu.de/gesundheit/lebensmittel/686-vegetarische-ernaehrungspyramide> (17.09.2012).
- von Witzke H, Noleppa S, Zhirkova I (2011) Fleisch frisst Land. WWF Deutschland. Berlin.
- Wehde G, Dosch T (2010) Im Blickpunkt: Klimaschutz und Biolandbau in Deutschland. Die Rolle der Landwirtschaft bei der Treibhausgasreduzierung. Biolandbau als Lösungsstrategie für klimaschonende Lebensmittelerzeugung. Bioland Bundesverband. Mainz.
- Wiegmann K, Eberle U, Fritsche UR, Hünecke K (2005) Umweltauswirkungen von Ernährung - Stoffstromanalysen und Szenarien. Diskussionspapier Nr. 7. Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie. Darmstadt/Hamburg 2005.
- Williams AG, Audsley YE, Sanders DL (2006) Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra.
- Willms M, Hufnagel J, Wagner B (2008) Nutzen und Risiken des Energiepflanzenanbaus für den Boden. Workshop „Bioenergie“. Kongressband 2008. VDLUFA Schriftenreihe 64.
- Woitowitz A (2007) Auswirkungen einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren – dargestellt am Beispiel konventioneller und ökologischer Wirtschaftsweisen. Dissertation am Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues der Technischen Universität München, München.
- Zehetmeier M, Baudracco J, Hoffmann H, Heißenhuber A (2012) Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* Vol. 6 1. Pp 154-166.



# Anhang 1





## Anhang 1: Strukturen und Erträge im Ökologischen Landbau

Der ökologische Landbau gilt als umweltschonendes und nachhaltiges Bewirtschaftungssystem in der Landwirtschaft und unterscheidet sich in vielerlei Hinsicht von der konventionellen Wirtschaftsweise. Aufgrund seiner ressourcenschonenden Anbauweise und der Synergien zu anderen Umweltschutzziele, wie z. B. Boden- und Gewässerschutz oder Tiergesundheit (FLESSA et al., 2012), soll die ökologisch bewirtschaftete Fläche gemäß Zielsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung auf 20 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche ausgeweitet werden (BUNDESREGIERUNG, 2002). Weiterhin wird diskutiert, inwiefern eine Ausdehnung des Ökolandbaus zur Reduktion von Treibhausgasen beitragen kann. Emissionsrelevante Vorteile entstehen vor allem im Bereich der Vorleistungen durch den Verzicht auf chemisch-synthetische Stickstoffmineraldünger und Pflanzenschutzmittel, sowie die Nutzung von größtenteils betriebseigenen Futtermitteln (vgl. Kapitel 4).

Bei einer Umstellung der konventionellen Landwirtschaft auf Ökolandbau müssen die systembedingten Unterschiede zwischen den beiden Wirtschaftsformen berücksichtigt werden. Ohne synthetische N-Dünger und Pestizide fallen die Erträge pro Hektar geringer aus, weshalb ökologische Betriebe in der Regel mehr Fläche benötigen um ähnliche Mengen zu produzieren. Um die Erträge zu maximieren, müssen Wirtschaftsdünger und der Anbau von Leguminosen als Ersatz für die mineralische Stickstoffdüngung verwendet werden. Zur Ableitung von Ertragsunterschieden zwischen ökologischem und konventionellem Landbau sollten nur Betriebe und Flächen verglichen werden, die ähnliche betriebliche und standörtliche Voraussetzungen aufweisen. Hierbei ist es unter anderem von Bedeutung, welche Faktoren das Pflanzenwachstum limitieren. Auf wasserlimitierten Flächen hat der ökologische Landbau aufgrund seiner höheren Bodenqualität vergleichsweise geringere Ertragsunterschiede zum konventionellen Regenfeldanbau. Zusätzlich wirkt sich die ökologische Bewirtschaftung positiv auf die Infiltrationsfähigkeit der Böden aus (SCHNUG und HANEKLAUS, 2002). Bei Starkregenereignissen kann das Wasser schneller infiltrieren und auch die Intensität von Hochwasserereignissen kann somit verringert werden. In nährstofflimitierten Systemen können die Ertragsunterschiede aufgrund der geringeren Düngeintensität hingegen sehr viel größer ausfallen. Hierbei spielen auch die verschiedenen Kulturen eine Rolle. So sind Leguminosen in ihrem Wachstum nicht durch Stickstoff limitiert und können auch ohne Zugabe von mineralischem Dünger hohe Erträge erzielen (SEUFERT et al., 2012).

Tabelle A1-1 zeigt Ertragsunterschiede, die bei Betrieben des deutschen Testbetriebsnetzes beobachtet wurden. Hierbei wurden soweit verfügbar Daten für drei Jahre zugrunde gelegt (THÜNEN-INSTITUT FÜR BETRIEBSWIRTSCHAFT, versch. Jgg), lediglich für Obst- und Gemüseerträge lagen Daten von AMI (2012a) nur für das Jahr 2010 vor. Die Vergleichsdaten des Thünen-Instituts sind aus einer Gegenüberstellung mit konventionellen Betrieben ähnlicher Struktur abgeleitet.

Bei der Betrachtung der Tabelle A1-1 wird deutlich, dass in der konventionellen Landwirtschaft zum Teil deutlich höhere Erträge pro Hektar erwirtschaftet werden. Vor allem bei der Getreideproduktion sind die Erträge im ökologischen Landbau im Vergleich zum konventionellen Landbau deutlich geringer (47 % d. konv. Ertrags, vgl. Tabelle A1-1). Bei Obst, Gemüse und Zuckerrüben

erreichen die ökologischen Erträge zwischen 70 und 80 % der Erträge der konventionellen Betriebe. In der tierischen Produktion kommt der ökologische Landbau am ehesten an die konventionellen Erträge heran. Die Milchleistung liegt mit 5879 kg pro Kuh und Jahr nur 9 % unter dem konventionellen Wert, allerdings liegen auch die Milchleistungen in den konventionellen Vergleichsbetrieben 10 % unter dem sektoralen Durchschnitt. Deshalb wird in den Szenariorechnungen (vgl. Kapitel 5) eine Milchleistungsdifferenz zur konventionellen Landwirtschaft von 20 % angenommen, die auch der Tatsache Rechnung trägt, dass einer weiteren Milchleistungssteigerung im ökologischen Landbau Grenzen gesetzt sind.

**Tabelle A1-1:** Gegenüberstellung der Erträge von vergleichbaren ökologisch und konventionell bewirtschafteten Betrieben des deutschen Testbetriebsnetzes

Erzeugnis	Einheit	Ertragsmittel 2008/09 - 2010/11		Anteil Ertrag öko von konv (=100)
		ökologisch	konventionell <sup>2)</sup>	
Getreide	t/ha	2,9	6,1	47%
dar.: Weizen	t/ha	3,0	6,7	44%
Gerste	t/ha	3,0	6,0	51%
Gemüse <sup>1)</sup>	t/ha	20,8	29,4	71%
Obst <sup>1)</sup>	t/ha	14,0	18,1	78%
Raps	t/ha	2,1	3,8	56%
Kartoffeln	t/ha	21,6	36,9	58%
Zuckerrüben	t/ha	52,0	62,8	83%
Milchleistung	kg/Kuh	5.908	6.513	91%
Ferkel (geborene)	Ferkel/Sau	17,8	22,0	81%

1) Daten wurden aus den Angaben des AMI-Datensatzes für das Jahr 2010 berechnet (AMI 2012a).

2) Konventionelle Vergleichsgruppen werden aus konventionellen Einzelbetrieben gebildet, die im Vergleich zu den Ökobetrieben ähnliche Standortbedingungen und Faktorausstattungen aufweisen.

Ausnahme: Werte für Gemüse und Obst stammen aus AMI (2012a).

Quelle: THÜNEN-INSTITUT FÜR BETRIEBSWIRTSCHAFT (versch. Jgg.), AMI (2012a).

Zurzeit sind ökologische Betriebe in Deutschland tendenziell auf eher schlechteren Standorten und in Regionen mit geringerer Produktionsintensität zu finden (OSTERBURG und ZANDER, 2004; AMI, 2012b). Damit das Ergebnis nicht durch Standortunterschiede verzerrt wird, werden ökologische mit konventionellen Betrieben auf ähnlichen Standorten verglichen. Wird der ökologische Landbau auch auf ertragreichere Standorte ausgedehnt, kann sich der Ertragsunterschied zu konventioneller Bewirtschaftung noch vergrößern, da die konventionellen Betriebe hier sehr hohe Erträge erzielen.

Die geringeren Ertragsleistungen einiger Kulturen im Ökolandbau führen zu einer im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft veränderten Anbaustruktur. Diesbezügliche Unterschiede sind in Tabelle A1-2 dargestellt. Eine Ausdehnung der Fläche des ökologischen Landbaus würde demnach auch zu einem veränderten Anbauspektrum führen.

**Tabelle A1-2:** Vergleich der Flächenanteile verschiedener Kulturen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft (auf Grundlage von Daten aus dem Jahr 2010)

	Ökologisch	Konventionell
<b>Anteil an der Landfläche LF [%]</b>		
Ackerland	44,47	71,39
Grünland	52,65	25,69
Streuobstfläche	1,65	1,76
Dauerkulturen	1,23	1,16
<b>Anteil an der Ackerfläche [%]</b>		
Getreide	47,59	55,98
Weizen	12,41	28,45
Roggen	13,10	4,99
Gerste	5,29	14,17
Dinkel	5,06	0,00
Hafer (Winter- und Sommer)	4,94	1,04
Körnermais	1,01	3,99
Flächenstilllegung/Gründüngung	1,95	2,12
Futterbau/Ackerfutter	36,09	21,16
Silomais & CCM	1,49	15,99
Gemengeanbau	2,41	0,65
Feinleguminosen	19,77	1,41
Grasanbau auf Ackerland	6,21	3,13
Hülsenfrüchte	6,21	0,66
Hackfrüchte	2,21	5,38
Handelsgewächse	1,91	13,41
Ölsaaten z. Körnergewinnung	1,56	13,11
Gemüse	2,76	0,86
Blumen u. Zierpflanzen	0,03	0,38
Obst	1,31	0,52
Rebland	1,20	0,80
Baumschulen	0,09	0,16

Quelle: AMI (2012a).

Im Ackerbau steht prozentual weniger Fläche für den Getreideanbau zur Verfügung, da mehr Fläche für Futterbau und Hülsenfrüchte gebraucht wird. Dies liegt daran, dass die Betriebe eigene Futtermittel produzieren und durch den Anbau von Feinleguminosen sowie Hülsenfrüchten die Stickstoffversorgung der Böden gewährleisten müssen. Der Anbauanteil von Weizen und Gerste ist im Vergleich zum konventionellen Landbau niedriger, während der Anteil von Roggen, Dinkel und Hafer höher liegt. Mais spielt in der ökologischen Futterproduktion eine geringere Rolle, dafür werden verstärkt Feinleguminosen angebaut, z. B. Klee. Ölsaaten wie Raps, Leinen und Sonnenblumen machen mit 1,56 % nur einen kleinen Flächenanteil der ökologischen Produktion aus, da sie aufgrund des geringen Ertrags nur wenig wettbewerbsfähig sind (GRUBER und VOGT-KAUTE, 2007). Der Grünlandanteil liegt im ökologischen Landbau etwa doppelt so hoch wie in der konventionellen Landwirtschaft. Auf der Grünlandfläche wird über Weißklee Stickstoff gebunden. Bei einer weitergehenden Umstellung auf ökologischen Landbau würde der Grünlandanteil

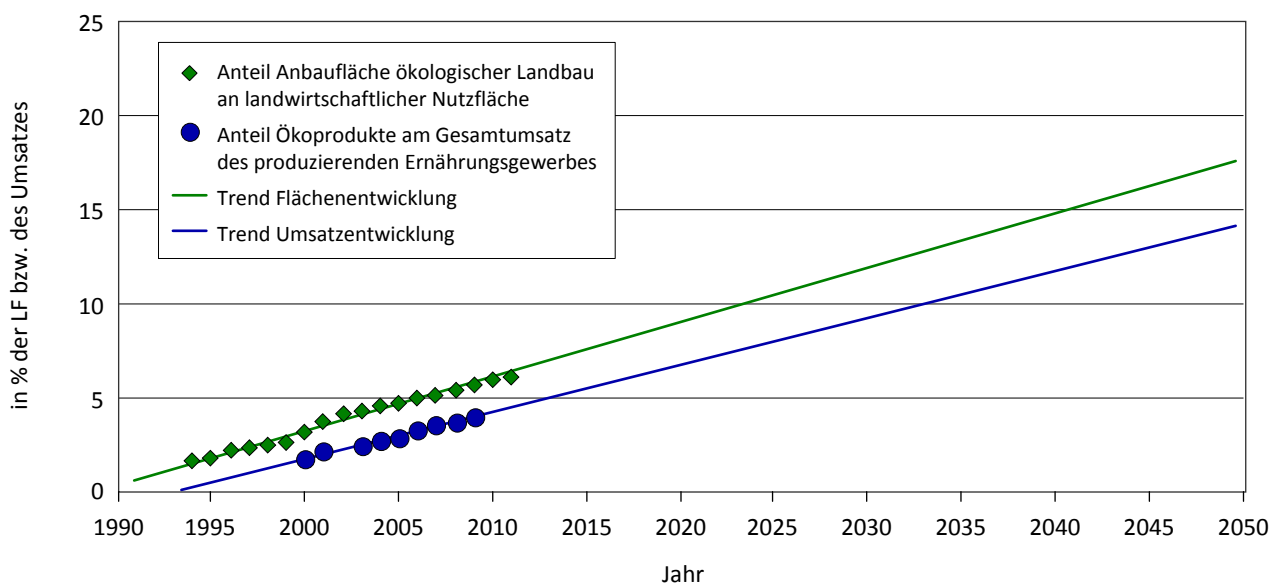
gegenüber heute allerdings deutlich geringer ausfallen. Für die Stickstoffversorgung müsste dann ein größerer Anteil der Ackerfläche mit Leguminosen für die N-Bindung genutzt werden.

Auch die Tierproduktion hat in ökologischen Betrieben eine andere Stellung als in konventionellen Betrieben. Insgesamt gibt es im ökologischen Landbau einen höheren Anteil an tierhaltenden Betrieben (OSTERBURG und ZANDER, 2004). Vor allem Rinder spielen eine größere Rolle, da die Produktion von Wirtschaftsdünger für eine ökologische Bewirtschaftung essentiell ist. Die Anzahl Kühe bezogen auf die gesamte Landfläche ist in beiden Systemen ähnlich (öko: 0,26 Stück pro ha LF; konv: 0,29 Stück pro ha LF (eigene Berechnungen nach AMI (2012a)), nur werden im ökologischen Landbau etwa genauso viele Mutterkühe wie Milchkühe gehalten, während in der konventionellen Landwirtschaft der Anteil der Milchkühe wesentlich höher liegt. Die Milchproduktion pro ha LF erreicht im ökologischen Landbau lediglich etwas mehr als ein Drittel der Milchproduktion des konventionellen Landbaus. Große Unterschiede gibt es auch bei Mastschweinen und Masthähnchen. Hier hat die konventionelle Landwirtschaft mehr als 8-mal so viele Tiere je ha LF. Bei einer Ausdehnung des ökologischen Landbaus gehen die Produktionsmengen von Schweine- und Geflügelfleisch deutlich zurück. Bei der Konsumeierproduktion gibt es hingegen keine Unterschiede.

Trotz geringerer Produktionsmengen werden im Ökolandbau bisher keine Gewinneinbußen gegenüber dem konventionellen Anbau festgestellt. Vergleicht man ähnlich aufgebaute ökologische und konventionelle Einzelbetriebe, erzielen die ökologischen Betriebe einen höheren Gewinn pro Hektar (SANDERS et al., 2012). Dies ist mit den höheren Produktpreisen, den geringeren Aufwendungen für Dünger und Pflanzenschutz sowie mit der Förderung des ökologischen Landbaus als Agrarumweltmaßnahme zu erklären.

Gestiegene Umsatzzahlen belegen, dass die Nachfrage nach Bioprodukten kontinuierlich zunimmt. Während im Jahr 2000 lediglich 2,1 Mrd. Euro erwirtschaftet wurden, waren es 2007 schon mehr als doppelt so viel (5,3 Mrd. Euro) (SCHAAK et al., 2011a). Die prozentuale Entwicklung von ökologischer Nutzfläche und Umsatz ist in Abbildung A1-1 dargestellt. Geringe Abweichungen sind möglich, da die Umsatzzahlen für Bioprodukte von SCHAAK et al. (2011a) Genussmittel und Außerhausverzehr nicht beinhalten. An den Trendlinien ist erkennbar, dass die Fläche des ökologischen Landbaus bei Fortsetzung der jetzigen Entwicklung 2050 fast das 20 % Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung erreicht haben wird. Die ökologisch bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche ist zwar kontinuierlich angestiegen, da darin jedoch ein hoher Anteil an Grünlandflächen enthalten ist, lassen sich allein aus der Flächenentwicklung keine belastbaren Rückschlüsse auf die Entwicklung der Erzeugungsmengen ziehen. Der prozentuale Anteil des ökologischen Landbaus am Umsatz des Ernährungsgewerbes steigt ebenfalls an, jedoch etwas schwächer als der prozentuale Flächenanteil.

**Abbildung A1-1:** Trends der Anteile des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Nutzfläche und am Gesamtumsatz des produzierenden Ernährungsgewerbes



Quelle: STATISTISCHES BUNDESAMT (2012), BMELV (2011) Tabelle 342 u. frühere Jahrgänge, SCHAAK et al. (2011a).

Obwohl in Deutschland innerhalb der EU die größte Menge an Bioprodukten erzeugt wird, reicht diese Menge derzeit nicht aus, um die steigende Nachfrage zu decken. Somit bestehen in Deutschland noch Potenziale für eine weitere Umstellung auf ökologischen Landbau zur Deckung der Inlandsnachfrage. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die ökologische Produktion in Deutschland im Gegensatz zur ausländischen Produktion weniger wettbewerbsfähig ist. So wurden aufgrund der gestiegenen Nachfrage in den letzten Jahren vermehrt Bioprodukte aus dem Ausland importiert. Ein Beispiel hierfür ist die Eierproduktion. 20 % der Nachfrage muss über Importe vor allem aus Italien und den Niederlanden gedeckt werden, da die deutsche Produktion nicht ausreichend ist (SCHAAK et al., 2011b). Getreide wird zu großen Teilen in Deutschland hergestellt (außer Reis), in ertragsschwachen Jahren sind aber Importe notwendig. 2009/2010 wurden 70.000 t Biogetreide importiert, was einem Importanteil von 15 % entspricht.

Andere Produkte müssen importiert werden, weil sie in Deutschland nicht (Bananen, Reis, Sesam) oder nicht wettbewerbsfähig produziert werden können. Hierunter fallen vor allem Obst, Gemüse und Ölsaaten. So stammen Äpfel zu 50 % aus Importen und auch Tomaten, Paprika und Gurken werden zu großen Teilen eingeführt. 2009/2010 wurden 82 % der Tomaten und 91 % der Paprika vor allem aus Spanien, Israel und den Niederlanden importiert (SCHAAK et al., 2011b). Auch ein Großteil der Ölsaaten kommt aus dem Ausland (76 %). Sojabohnen, Leinsaat und Sonnenblumenkerne werden fast zu 100 % importiert, während die Importanteile von Raps nur bei 33 % liegen. Milchprodukte wie Sahne und Joghurt hingegen werden fast vollständig in Deutschland produziert. Butter und Käse werden jedoch importiert. Insgesamt liegt der Importanteil der Milch somit bei ca. 16 % (SCHAAK et al., 2011b).

## Literatur – Anhang 1

- AMI (2012a) Bio-Strukturdaten– Bodennutzung und Tierhaltung 2010. Marktwoche Ökolandbau 07.5-9.
- AMI (2012b) Bio-Betriebe und -Flächen in Deutschland 2011 nach Bundesländern.  
[http://www.ami-informiert.de/fileadmin/redaktion/bio\\_daten/strukturdaten/Strukturdaten\\_nach\\_Bundeslaendern\\_2011\\_PDF.pdf](http://www.ami-informiert.de/fileadmin/redaktion/bio_daten/strukturdaten/Strukturdaten_nach_Bundeslaendern_2011_PDF.pdf)
- BMELV (2011, und weitere, frühere Jahrgänge) Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2011. Wirtschaftsverlag NW GmbH Bremerhaven.
- Bundesregierung (2002) Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nach-haltige Entwicklung.
- Flessa H, Müller D, Plassmann K, Osterburg B, Techen AK, Nitsch H, Nieberg H, Sanders J, Meyer zu Hartlage O, Beckmann E, Anspach V (2012) Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research. Sonderheft 361. 437 S.
- Gruber H, Vogt-Kaute W (2007) Anbaubedeutung und Ökonomie von Ölsaaten im ökologischen Landbau. In: Paulsen HM, Schochow M (Hrsg.) (2007): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. Institut für ökologischen Landbau. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). 133 S. Trenthorst.  
[http://www.vti.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/bw/projekte/betriebswirtschaftliche-analysen-oekologischer-landbau/analyse-der-wirtschaftlichen-lage-oekologisch-wirtschaftender-betriebe.html](http://www.vti.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/bw/projekte/betriebswirtschaftliche-analysen-oekologischer-landbau/analyse-der-wirtschaftlichen-lage-oekologisch-wirtschaftender-betriebe.html). Letzter Zugriff: 29.08.2012.
- Osterburg B, Zander K (2004) Regionale Strukturen des ökologischen Landbaus in Deutschland. Arbeitsbericht des Bereichs Agrarökonomie. FAL Braunschweig. 72 S.
- Sanders J, Offermann F, Nieberg H (2012): Wirtschaftlichkeit des ökologischen Landbaus in Deutschland unter veränderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen. Landbauforschung- vTI Agriculture and Forestry Research. Sonderheft 364. Braunschweig. 87 S.
- Schaak D, Barbian T, Gerber A, Jansen M, Zander K, Roehl R (2011a) Zahlen, Daten, Fakten: Die Bio-Branche 2011. BÖLW. Berlin.
- Schaak D, Rampold C, Willer H, Rippin M, von Koerber H (2011b) Analyse der Entwicklung des ausländischen Angebots bei Bioprodukten mit Relevanz für den deutschen Biomarkt. Agrarmarkt Informations-GmbH, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, AgroMilargo Research, fleXinfo. Bonn.
- Schnug E, Haneklaus S (2002) Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden – Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorgebeugenden Hochwasserschutz. Landbauforschung Völkenrode 4 (52). 197-203.
- Seufert V, Ramankutty N, Foley JA (2012) Comparing the yields of organic and conventional agriculture. Nature letter. Online publication.
- Statistisches Bundesamt (2012) Indikatoren zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland.
- Statistisches Bundesamt (2010) Betriebe mit ökologischem Landbau. Landwirtschaftszählung/ Agrarstrukturerhebung 2010: Fachserie 3 Reihe 2.2.1.
- Thünen-Institut für Betriebswirtschaft (versch. Jgg.) Wirtschaftliche Lage ökologischer und konventioneller Vergleichsbetriebe für das Wirtschaftsjahr 2008/09, 2009/10 und 2010/11. Institut für Betriebswirtschaft des vTI auf Grundlage des Testbetriebsnetzes.  
[http://www.ti.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/bw/projekte/betriebswirtschaftliche-analysen-oekologischer-landbau/analyse-der-wirtschaftlichen-lage-oekologisch-wirtschaftender-betriebe.html](http://www.ti.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/bw/projekte/betriebswirtschaftliche-analysen-oekologischer-landbau/analyse-der-wirtschaftlichen-lage-oekologisch-wirtschaftender-betriebe.html)

# Anhang 2





## Anhang 2: Klimaschonende Ernährung und Verzehrempfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE)

Der Ernährungssektor in Deutschland ist derzeit für rund 16 bis 22° % der gesamten Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) verantwortlich. Dies beinhaltet die Bereitstellung, Verarbeitung, den Transport und den Handel von Lebensmitteln (GRÜNBERG et al., 2010). Es ist folglich wichtig, mögliche THG-Einsparungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu betrachten. Das Ernährungsverhalten der deutschen Bevölkerung ist ein wichtiger Faktor, der zu Einsparungen der THG-Emissionen beitragen kann. Insbesondere die Erzeugung tierischer Lebensmittel und der steigende Verarbeitungsgrad von Lebensmitteln verursachen hohe Emissionen. Ein reduzierter Verzehr dieser Lebensmittel wäre im Sinne einer klimaschonenden Ernährungsweise und entspricht gleichzeitig der Verzehrempfehlung der DGE. Auch die Herkunft der Nahrungsmittel spielt eine Rolle, da längere Transportwege von Importprodukten meist mit höheren Treibhausgasemissionen verbunden sind.

Die folgende Tabelle stellt den durchschnittlichen Nahrungsmittelverbrauch und –verzehr der deutschen Bevölkerung den Verzehrempfehlungen der DGE und des Vegetarierbund Deutschland (VEBU), der eine vegetarische Ernährungsweise empfiehlt, gegenüber. Die Nationale Verzehrsstudie hat ermittelt, dass sich rund 1,6 % der deutschen Bevölkerung vegetarisch ernähren, daneben ernähren sich 8-9 % fleischarm bzw. teilweise vegetarisch (MRI, 2008). Beiden Ernährungsweisen liegen die Prinzipien einer ausgewogenen Vollwerternährung zu Grunde. Die Verzehrempfehlungen werden in der Regel in Gramm Lebensmittel pro Tag oder Woche angegeben und wurden auf den Jahresverzehr hochgerechnet. Der derzeitige, durchschnittliche Verzehr der deutschen Bevölkerung weicht bei einigen Lebensmittelgruppen stark von der ernährungswissenschaftlichen Empfehlung der DGE ab.

Insbesondere der Fleischverzehr liegt deutlich über den Empfehlungen. Ein hoher Fleischkonsum wird mit einem erhöhten Risiko für die Gesundheit in Verbindung gebracht. Dies ist auf den hohen Fettgehalt mit gesättigten Fettsäuren und Cholesterin, und auf die Zubereitungsarten wie Räuchern, Braten, Grillen und Salzen zurückzuführen. Es gibt jedoch Anzeichen, dass der unzureichende Konsum von Lebensmitteln mit protektiven Inhaltsstoffen, wie Obst, Gemüse und Vollkornprodukte, einen größeren Einfluss auf die Entstehung dieser Krankheiten haben könnte (LEONHÄUSER, 2003). Des Weiteren ist es wichtig zu beachten, dass die beschriebenen Krankheitsbilder nicht von monokausaler Natur sind und die Ernährung nur ein Faktor von vielen ist.

**Tabelle A2-1:** Nahrungsverbrauch und –verzehr (2007) sowie Verzehrempfehlungen der DGE und des Vegetarierbund Deutschland (VEBU)

Erzeugnis	Verbrauch	Verzehr	Empfehlung der DGE	Empfehlung des Vebu	Verhältnis Verzehr zu	
					DGE	Vebu
in kg pro Kopf und Jahr					%	
Getreide, Backwaren, Reis	93,0	100,7	166,1	146,0	78	89
Kartoffeln	61,4	29,6				
Gemüse	90,1	85,0	146,0	mind. 146,0	58	58
Obst	125,1	92,7	91,3	mind. 109,5	102	85
Eiweißprodukte <i>davon</i>						
Hülsenfrüchte	0,5			10,4		
Sojaprodukte und andere Fleischalternativen		0,9		36,5		3
Nüsse und Samen				16,4		
Pflanzliche Öle und Fette	26,1	8,9	12,8	11,0	70	82
Fleisch <i>davon</i>	88,2	60,5	15,6 - 31,3	0,0	388	
Rind- und Kalbfleisch	12,4	8,5				
Schweinefleisch	54,3	39,1				
Geflügelfleisch	17,8	10,7				
Milch und Milcherzeugnisse <i>davon</i>	130,4	92,9	91,3	opt. 91,25	102	102
Käse	22,2	15,3	20,1	opt. 18,25	76	84
Eier	9,5	6,9	6,3	opt. 6,20	110	111
Fisch	15,5	9,5	11,0	0,0	87	

Quelle: BMELV (2010), MRI (2008), DGE (2004), VEBU (2012).

Projektionen der FAO gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2050 die globale Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln stark zunehmen wird. Insbesondere in Schwellenländern, in Asien und Lateinamerika wächst der Konsum sehr stark und nähert sich dem pro Kopf-Verbrauch der Industrieländer an. Zwar gibt es auch den entgegengesetzten Trend hin zum Vegetarismus, jedoch ist dieser noch immer auf einem sehr niedrigen Niveau (FAO, 2006). Gerade in der jüngeren Bevölkerung in Deutschland nimmt die Zahl der Vegetarier weiter zu. Ein Großteil davon sind Frauen (MEYER und SAUTER, 2002).

Die Einhaltung der Verzehrempfehlungen der DGE bringt eine deutliche Verlagerung vom Verzehr tierischer Produkte zu pflanzlichen Produkten mit sich. Der Verzehr von Fleisch und Wurstwaren würde sich dabei um die Hälfte bzw. bis nahezu auf ein Viertel reduzieren. Derzeit besteht die Zusammensetzung des Nahrungsproteins zu rund 40 % aus pflanzlichen und zu rund 60 % aus tierischen Quellen. Protein aus tierischen Lebensmitteln kann durch den Verzehr proteinreicher Hülsenfrüchte ersetzt werden. Eine andere Möglichkeit bietet der Verzehr von Fleischersatz wie Tofu und Seitanprodukten. Laut GOODLAND und ANHANG (2009) ist dies eine gesunde, billige und ökologisch unbedenkliche Alternative zu tierischen Lebensmitteln. Sie schreiben diesen Produk-

ten ein großes Potenzial zu, einen Beitrag zur Verminderung von THG-Emissionen aus der Landwirtschaft leisten zu können (GOODLAND und ANHANG, 2009).

Eine fleischlose Ernährungsweise ist jedoch nicht per se klimafreundlicher als eine nicht-vegetarische. Wird der Fleischkonsum beispielsweise mit Reis oder Gemüse aus dem Gewächshaus substituiert, kann dies höhere Treibhausgasemissionen bewirken. Das gleiche ist über den Konsum regionaler Produkte zu sagen. Der Import von Produkten aus Übersee, insbesondere mit dem Flugzeug, verursacht hohe THG-Emissionen. Regionale Produkte werden jedoch oft in kleineren Fahrzeugen mit geringerer Auslastung und somit schlechterer Logistik transportiert. GRÜNBERG et al. (2010) beschreiben, dass günstigere Produktionsbedingungen, wie z.°B. für einige Gemüsesorten in Südeuropa, die höheren Transportemissionen im Vergleich zu regional produzierten Nahrungsmitteln an ungünstigeren Standorten ausgleichen können. Auch können die Vorleistungen von regionalen Produkten importiert sein, z.°B. Futtermittel (GRÜNBERG et al., 2010).

Die Empfehlung für Milch und Milcherzeugnisse entspricht in etwa dem aktuellen, tatsächlichen Verzehr in Deutschland. Die DGE empfiehlt einen täglichen Verzehr und betont die Bedeutung von Milchprodukten für die Versorgung mit Protein, Vitaminen und Calcium. Bei Betrachtung der Treibhausgasemissionen trägt die Milchviehproduktion mit rund 1/3 zu den Emissionen bei. Eine Aufrechterhaltung des Konsums von Milchprodukten auf hohem Niveau wirft also die Frage auf, wie eine Reduzierung der Emissionen um 50 % möglich wäre. Darüber hinaus wird empfohlen, mehr Gemüse, Getreideprodukte, Kartoffeln und Reis zu verzehren. Insbesondere bei Obst und Gemüse liegt der Selbstversorgungsgrad in Deutschland vergleichsweise niedrig (Gemüse: 40 %, Obst: 21 %), ein großer Teil der konsumierten Mengen wird importiert. Eine Verzehrssteigerung von Gemüse und die Beibehaltung der Verzehrsmenge von Obst müsste voraussichtlich über mehr Importe gedeckt werden, da die Standortbedingungen in Deutschland, unter Beibehaltung der derzeitigen Verzehrsgewohnheiten, keine Selbstversorgung ermöglichen. Der Import ist aufgrund längerer Transportwege mit erhöhten Treibhausgasemissionen verbunden. Der vermehrte Verzehr von regionalen und heimischen Produkten verursacht meist geringere Treibhausgasemissionen und könnte ausgedehnt werden. Der höhere Bedarf an kohlenhydratreichen Nahrungsmitteln aus Getreide, Kartoffeln und Reis könnte vor allem durch Kartoffel gedeckt werden. Die Kartoffelproduktion ermöglicht im Vergleich zu Getreide eine Einsparung von Flächen, jedoch weist die Kartoffel eine hohe Nachernteverlustrate auf, bedingt durch Verluste während der Lagerung. Rund 5 % der Erntemenge gehen durch Atmung, Verdunstung, Keimung und Fäulnis verloren.

## Literatur – Anhang 2

- BMELV (2010) Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2010 Wirtschaftsverlag NW GmbH Bremerhaven.
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) (2004) DGE-Ernährungskreis – Lebensmittelmengen. DGEInfo 05/2004 – Beratungspraxis.  
<http://www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=415> Letzter Zugriff: 17.09.2012.
- FAO (2006) Livestock's long shadow. Environmental issues and options, Rome, Italy.
- Goodland R, Anhang J (2009) Livestock and Climate Change- What if the key actors in climate change are ... cows, pigs and chickens? World Watch, November/ December 2009.
- Grünberg J, Nieberg H, Schmidt TG (2010) Treibhausgasbilanzierung von Lebensmitteln (Carbon Footprints): Überblick und kritische Reflektion. Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research 2 2010 (60)53-72.
- Leonhäuser IU (2003) Ernährungsverhalten: Genuss und Reue – wie entwickelt sich unser Verhältnis zum Fleischverzehr? In: Isermeyer F (Ed.). Fleisch 2025: Vortrags- und Diskussionstagung am 18. März 2003 im Forum der FAL, gemeinsam veranstaltet von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und der Gesellschaft der Freunde der FAL. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 262 (S. 1-11).
- Max Rubner Institut (MRI) (2008) Nationale Verzehrsstudie II Ergebnisbericht, Teil 2. [http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/NVS\\_ErgebnisberichtTeil2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/NVS_ErgebnisberichtTeil2.pdf?__blob=publicationFile) Letzter Zugriff: 27. August 2012.
- Meyer R, Sauter A (2002) TA-Projekt Entwicklungstendenzen von Nahrungsmittelangebot und -nachfrage und ihre Folgen Basisanalysen. Arbeitsbericht Nr. 81, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- VEBU (Vegetarierbund Deutschland) (2012) Vegetarische Ernährungspyramide. (wiss. Konzeption von Leitzmann C und Keller M 2010. Vegetarische Ernährung. 2. Auflage 2010) <http://vebu.de/gesundheit/lebensmittel/686-vegetarische-ernaehrungspyramide> Letzter Zugriff: 17.09.2012.

# Anhang 3



## Anhang 3 Reduzierung von Lebensmittelabfällen

Entlang der Wertschöpfungskette entstehen Lebensmittelverluste, deren Vermeidung zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen beitragen kann. Im nachgelagerten Bereich fallen im produzierenden Ernährungsgewerbe, im Handel und auf Verbraucherebene Lebensmittelabfälle an, insbesondere in den privaten Haushalten. Davon gilt die Hälfte als vermeidbar. Somit birgt die Einsparung von Lebensmittelabfällen ein großes Potenzial und wirft die Frage auf, wie viele Emissionen dadurch reduziert werden können.

In der Agrarproduktion selbst treten Verluste auf, die in Deutschland rund 3 % der Gesamtproduktion betragen (HAFNER et al., 2012). Gründe, dass Erzeugnisse nicht marktfähig sind, können Mängel und Schäden sowie Verluste durch falsche Lagerung sein. Ebenso existieren Qualitätskriterien, die erfüllt werden müssen. Bei den gängigen Getreidearten betragen diese Verluste rund 1 % der Gesamtproduktion. Bei Kartoffeln sind 3 % der Ernte nicht marktfähig. Bei den pflanzlichen Produkten haben Obst und Gemüse die höchsten Verlustraten mit je 5 % und 10 % der Produktion. Dies ist auf die höhere Verderblichkeit und eingeschränkte Lagerfähigkeit zurückzuführen (BMELV, 2010).

Laut Einschätzung der FAO werden jährlich ein Drittel der weltweit produzierten Lebensmittel nicht für die menschliche Ernährung genutzt. Dies entspräche einer Summe von 1,3 Milliarden Tonnen, die jährlich im Laufe des Produktionsprozesses verloren gehen bzw. weggeworfen werden. Während in den Entwicklungsländern Verluste (food losses) hauptsächlich in den Bereichen Erzeugung und Produktion entstehen, spielen in den Industrieländern Abfälle (food waste) im Handel und auf Konsumentenebene die größte Rolle (FAO, 2011). Die Thematik ist in den letzten Jahren vermehrt in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Bisher gibt es jedoch keine verlässlichen Daten über die Menge der Lebensmittelabfälle. Diesbezügliche Aussagen beruhen somit nur auf Schätzungen. Im nachgelagerten Bereich entstehen Lebensmittelabfälle bei den Akteuren der Lebensmittelverarbeitung und Industrie, dem Handel (Groß- und Einzelhandel), den Großverbrauchern und in privaten Haushalten. Die geschätzte Summe der Lebensmittelabfälle beträgt in Deutschland pro Jahr 10,97 Mio. t (HAFNER et al., 2012). Die Tabelle A3-1 zeigt auf, in welchen Bereichen der Wertschöpfungskette die Abfälle entstehen.

Lebensmittelabfälle in der Industrie können durch eine Überproduktion und Fehlplanung, technische Störungen, gesetzliche Beschränkungen und durch Rückstellmuster und -proben zur Qualitätssicherung entstehen. Eine gute und vorausschauende Betriebsplanung kann Abfälle reduzieren, jedoch können diese nie ganz vermieden werden, da es keine gleichbleibende Nachfrage nach Produkten gibt (HAFNER et al., 2012). Außerdem ist ein großer Teil der Abfälle unvermeidbar. Insbesondere bei tierischen Produkten ist der Anteil nicht-verzehrbarer Teile (z. B. Knochen) sehr hoch (MONIER et al., 2010).



**Tabelle A3-1:** Lebensmittelabfälle in Deutschland nach Stufen der Wertschöpfungskette

	Lebensmittelabfälle	
	in Mio. t	Anteil in %
<b>Insgesamt</b>	<b>10,97</b>	<b>100</b>
<i>davon</i>		
LM-Verarbeitung und Industrie	1,85	17
Handel (Groß- und Einzelhandel)	0,55	5
Großverbraucher	1,90	17
Private Haushalte	6,67	61

Quelle: HAFNER et al. (2012).

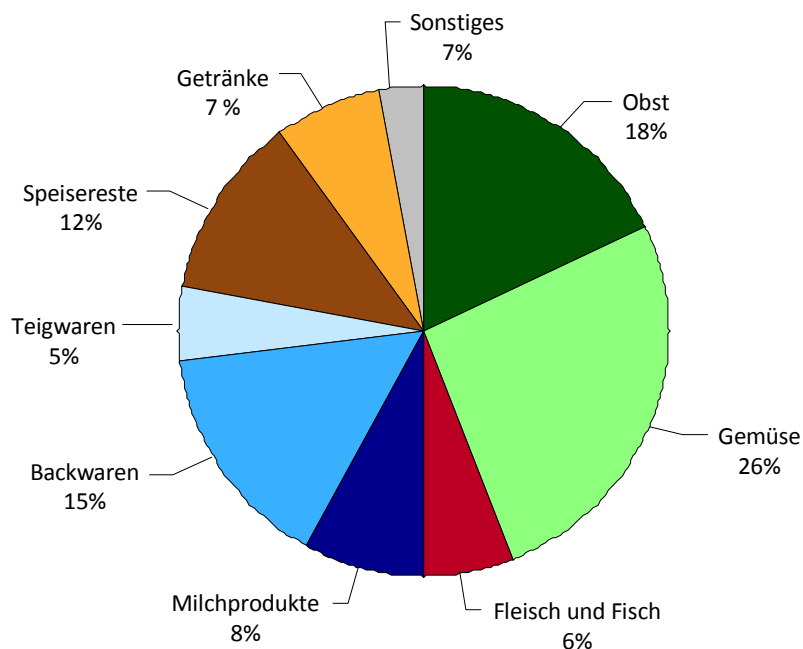
Im Handel fallen vergleichsweise geringe Abfallmengen an, die 5 % der gesamten Abfälle ausmachen. Abfälle entstehen durch ein Überangebot, da eine große Warenvelfalt angestrebt wird. Nicht markt- und verkaufsfähige Produkte (abgelaufenes Mindesthaltbarkeitsdatum) und Produkte, die die hohen Anforderungen an Qualität, Frische und Aussehen nicht erfüllen, müssen aussortiert werden. Auch durch Schwierigkeiten in der Organisation oder durch falsche Lagerung von verderblichen Produkten entstehen Abfälle. Ein erheblicher Teil dieser Lebensmittel wird an karitative Einrichtungen wie die Tafeln weitergegeben. Diese Weitergabe ist nicht nur im Sinne der Abfallvermeidung erwünscht und könnte noch weiter intensiviert werden.

Zu den Großverbrauchern zählen beispielsweise das Gaststättengewerbe, Betriebsverpflegung, das Beherbergungsgewerbe und Einrichtungen wie Alten- und Pflegeheime, Krankenhäuser und Schulen. Die Großverbraucher sind für 17 % der Lebensmittelabfälle verantwortlich. Abfälle entstehen durch interne organisatorische Abwicklung im Bereich Küche, durch falsche Lagerung, Verarbeitung oder mangelnde Kalkulation. Beim Kunden kann eine unangepasste Portionsgröße oder Speisenauswahl zu Abfällen führen. Es wird davon ausgegangen, dass rund 48,5 % der Abfälle in diesem Bereich vermeidbar sind.

Der Großteil der Lebensmittelabfälle wird den privaten Haushalten zugeschrieben. Rund 5,05 Mio. t werden jährlich durch das kommunale Abfallsystem entsorgt. Das entspricht 75 % der im Haushalt anfallenden Lebensmittelabfälle und macht rund 62 kg pro Kopf aus. Davon werden 70 % im Restmüll und 30 % in der Biotonne entsorgt. Etwa 2/3 dieser Abfälle gelten als vermeidbar bzw. teilweise vermeidbar. Der Umfang der restlichen Abfälle ist schwer abzuschätzen und wird durch Kompostierung, die Kanalisation und die Verfütterung an Haustiere entsorgt. Vermeidbare Abfälle können durch vielfältige Ursachen entstehen, wie beispielsweise falsche Lagerung, mangelnder Überblick über die Vorräte, Ablauf des Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD) und spezielle Zutaten, die nur für bestimmte Gerichte verwendet werden. Teilweise vermeidbare Abfälle sind eine Mischform von vermeidbaren und nicht vermeidbaren Abfällen, wie z. B. Speisereste oder Abfälle, die auf Grund verschiedener Verzehrgewohnheiten entstehen, z. B. Apfelschalen, Brotrinde. Da es keine Daten zur Zusammensetzung der Lebensmittelabfälle nach Produkt-

gruppen gibt, beruhen diese auf Schätzungen von COFRESKO (2011) und BARABOSZ (2011) (HAFNER et al., 2012). Die Anteile der Hauptproduktgruppen sind in folgender Abbildung A3-1 dargestellt.

**Abbildung A3-1:** Anteil wichtiger Lebensmittelgruppen an vermeidbaren und teilweise vermeidbaren Abfällen



Quelle: Hafner et al. (2012).

Quelle: HAFNER et al. (2012).

Obst und Gemüse sind die wichtigsten Produktgruppen, die vermeidbare Abfälle verursachen, gefolgt von Backwaren und Speiseresten. Jährlich entstehen in Deutschland Kosten zwischen 16 und 21,6 Mrd. Euro durch vermeidbare Lebensmittelabfälle. Dies entspricht 10 bis 14 % der gesamten Ausgaben für Nahrungsmittel und nicht-alkoholische Getränke. Pro Kopf und Jahr entstehen somit 200 bis 260 Euro vermeidbare Ausgaben für Lebensmittel (HAFNER et al., 2012).

Um Abfälle zu reduzieren, wird der Lebensmittelindustrie empfohlen, ein ressourceneffizienteres Wirtschaften durch Betriebs- und Prozessoptimierung zu ermöglichen. Vielversprechend ist auch ein Beispiel aus Großbritannien, wo durch freiwillige Verpflichtungserklärung Abfalleinsparungen von rund 1,1 Mio. t jährlich erreicht wurden. Der Lebensmitteleinzelhandel (LEH) kann durch das Ausweisen von Sonderangeboten für Produkte, die kurz vor dem Ablauf des MHD stehen, Abfälle vermeiden. Ebenso können sich regionale und unverpackte Produkte, die es dem Konsumenten ermöglichen, kleinere Verkaufsmengen zu beziehen, positiv auf das Abfallaufkommen auswirken. Großverbraucher können durch Zertifikate animiert werden, Abfälle zu vermeiden oder ihr Stoffstrommanagement zu optimieren, mit denen sie beim Kunden für sich werben können. Bei privaten Haushalten ist es besonders wichtig, das Bewusstsein zu schaffen und durch erhöhte Aufmerksamkeit ressourceneffizienter mit Lebensmitteln umzugehen (HAFNER et al., 2012).

Es ist nicht ausreichend, die Lebensmittelabfälle im nachgelagerten Bereich zu betrachten, da auch die bereitgestellten Ressourcen für die landwirtschaftliche Produktion verloren gehen und dadurch unnötige Umweltbelastungen entstehen. Somit trägt die Einsparung von Lebensmittelabfällen auch dazu bei, Ressourcen zu schonen und Umweltbelastungen zu vermeiden. Durch die Stoffströme der Vorkette, die nutzlos verloren gehen, entstehen deutlich höhere Verluste. Die Relevanz der Vorkette wurde in der NRW-Studie zur Verringerung von Lebensmittelabfällen (TEITSCHIED et al., 2012) für ausgewählte Produkte anhand der Indikatoren Material Footprint und Carbon Footprint untersucht. Der Material Footprint zeigt auf, welcher Aufwand an Materialressourcen für ein Produkt oder eine Aktivität über die gesamte Wertschöpfungskette erforderlich ist. Die Menge der direkten und indirekten THG-Emissionen eines Produkts oder einer Aktivität werden im Carbon Footprint ausgedrückt.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass sich die entstehenden Umweltbelastungen der verschiedenen Lebensmittelgruppen nicht allein an den Abfallmengen festmachen lassen. Beispielsweise haben Obst und Gemüse einen Anteil von 44 % an den Lebensmittelabfällen, ihr Anteil an den Umweltbelastungen liegt beim Material Footprint bei 28 %, beim Carbon Footprint reduziert er sich auf 18 %. Auch die Relevanz von Getreideprodukten ist geringer als ihr Gewichtsanteil. Tierische Lebensmittel hingegen haben einen deutlich größeren ökologischen Fußabdruck, der durch den geringeren Anteil am Abfallaufkommen nicht sichtbar wird.

### **Ableitung von Annahmen über Lebensmittelabfälle im Jahr 2050**

Den Berechnungen des Nahrungsmittelverbrauchs im Jahr 2050 liegt entsprechend der UBA-Studie Energieziel 2050 (UBA (HRSG.), 2010) die Annahme zugrunde, dass die Bevölkerung auf 87,9 % der heutigen Bevölkerung zurück geht. Bei gleich bleibendem Ernährungsverhalten sinkt gleichzeitig der Nahrungsmittelverbrauch auf dieses Niveau. Würde die Ernährungsweise sich an die von der DGE empfohlenen Verbrauch anpassen, würden sich die Verbrauchsmengen entsprechend verschieben. Während Getreideprodukte und Gemüse trotz Bevölkerungsrückgang eine Steigerung im Vergleich zum heutigen Verbrauch erfahren, würde der Verbrauch von Fleisch auf rund ein Viertel des heutigen Verbrauchs zurückgehen.

Zusätzlich zu der Einhaltung der DGE-Empfehlung wird angenommen, dass der Verbrauch durch die Einsparung von Lebensmittelabfällen auf Haushaltsebene reduziert wird. Die Berechnungen beruhen auf der Studie von HAFNER et al. (2012), die die Anteile von Produktgruppen an den Lebensmittelabfällen analysiert haben. Die Gesamtmenge der Lebensmittelabfälle nach Produktgruppen aus Haushalten, die in der Studie ermittelt wurde ist in Spalte 1 dargestellt.

**Tabelle A3-2:** Lebensmittelabfälle nach Produktgruppen aus Haushalten

	Gesamtmenge der LM-Abfälle	Anteil vermeidbarer Abfälle an Gesamtmenge	
		in %	
		Anteil vermeidbare Abfälle (Annahme: 50% vermeidbar)	
Obst	18	35	6
Gemüse	26	45	12
Fleisch und Fisch	6	55	3
Milchprodukte	8	75	6
Backwaren	15	75	11
Teigwaren	5	75	4
Speisereste	12	60	7
Getränke	7		0
Sonstiges	3	30	1

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von HAFNER et al. (2012).

Rund 50 % der gesamten Lebensmittelabfälle gelten als vermeidbar. Der Anteil vermeidbarer Lebensmittelabfälle differenziert sich durch unterschiedliche Produkteigenschaften wie Verderblichkeit und den Anteil nicht verzehrfähiger Teile (z. B. Knochen, Blätter). Auf Basis von Einschätzungen zu den Anteilen vermeidbarer Lebensmittelabfälle nach Produktgruppen der Studie, wurden Annahmen bezüglich der Relevanz getroffen. Milchprodukte und Backwaren werden bereits in verzehrfertiger Form verkauft. Somit wird angenommen, dass der Großteil der Lebensmittelabfälle dieser Produktgruppen (rund 75 %) vermeidbar ist. Für Speisereste wird ein Anteil vermeidbarer Lebensmittelabfälle mit 60 % angenommen. Im Gegensatz dazu haben Fleisch, Obst und Gemüse einen größeren Anteil an nicht verzehrfähigen Teilen, die als nicht vermeidbare Abfälle entsorgt oder minderwertig, z. B. zur Fütterung, verwendet werden. Den Berechnungen liegen die Annahmen für vermeidbare Lebensmittelabfälle mit 55 % für Fleisch, 45 % für Gemüse, 35 % für Obst und 30 % für sonstige Abfälle zugrunde. Durch die Einsparung von 50 % der vermeidbaren Abfälle werden die Verbrauchsmengen für Lebensmittel weiter abgesenkt. Folglich sind die Differenzen zum Verbrauch bei Produkten mit höherem Anteil vermeidbarer Abfälle, wie z. B. Milchprodukte und Backwaren, größer.

Die Anteile vermeidbarer Lebensmittelabfälle der Kategorien „Speisereste“ und „Sonstige“ werden auf die Produkte Kartoffeln (4 %), Fette und Öle (3 %) und Eier (1 %) aufgeteilt, da für diese Produkte Verbrauchsdaten, aber keine Abfalldaten vorliegen. Auch der Anteil der Getränke wurde auf die übrigen Produktgruppen verteilt.

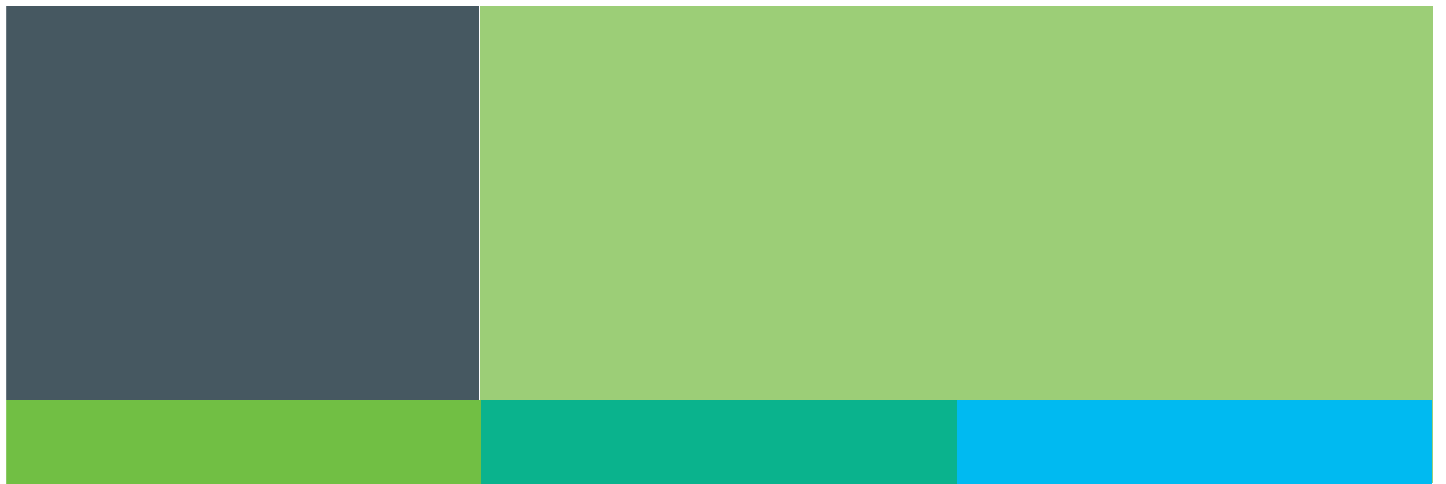
## Literatur – Anhang 3

- FAO (2011) Global Food Losses and Food Waste. Extent, Causes and Prevention. <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>  
Letzter Zugriff: 27.08.2012.
- Hafner G, Barabosz J, Schneider F, Lebersorger S, Scherhauser S, Schuller H, Leverenz D (2012) Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart (ISWA) und Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), gefördert durch das BMELV, Stuttgart.
- Monier V, Mudgal S, Escalon V, O'Connor C, Gibon T, Anderson G, Montoux H, Reisinger H, Dolley P, Ogilvie S, Morton G (2010) Preparatory Study On Food Waste Across EU 27 - Final report. European Commission (DG ENV) Directorate C-Industry. Technical Report 2010-054.
- Noleppa S, von Witzke H (2012) Tonnen für die Tonne. Ernährungsweisen, Fleischkonsum, Flächenverbrauch. WWF Studie, Berlin.
- Teitscheid P, Göbel C, Ritter G, Blumenthal A, Friedrich S, Frick T, Grotstollen L, Möllenbeck C, Rottstegge L, Pfeiffer C, Baumkötter D, Wetter C, Uekötter B, Burdick B, Langen N, Lettenmeier M, Rohn H (2012) Verringerung von Lebensmittelabfällen – Identifikation von Ursachen und Handlungsoptionen in Nordrhein-Westfalen. Münster : s.n., 2012.
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2010) Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen.

# Thünen Report

Bereits in dieser Reihe erschienene Hefte – *Volumes already published in this series*

- 1 Claus Rösemann, Hans-Dieter Haenel, Ulrich Dämmgen, Eike Poddey, Annette Freibauer, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Beate Bauer und Bernhard Osterburg  
**Calculation of gaseous and particulate emissions from Germany agriculture 1990 - 2011**  
**Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 - 2011**
- 2 Walter Dirksmeyer und Katrin Fluck  
**Wirtschaftliche Bedeutung des Gartenbausektors in Deutschland 2. überarbeitete Auflage**
- 3 Heike Kuhnert, Gesine Behrens, Ulrich Hamm, Henriette Müller, Hiltrud Nieberg, Jörn Sanders und Renate Strohm  
**Ausstiege aus dem ökologischen Landbau: Umfang – Gründe – Handlungsoptionen**
- 4 Peter Mehl  
**Agrarstrukturelle Wirkungen der Hofabgabeklausel – Zielerreichung und mögliche Folgen einer Abschaffung dieser Leistungsvoraussetzung in der Alterssicherung der Landwirte**
- 5 Bernhard Forstner und Andreas Tietz  
**Kapitalbeteiligung nichtlandwirtschaftlicher und überregional ausgerichteter Investoren an landwirtschaftlichen Unternehmen in Deutschland**
- 6 Janina Krug  
**Perspektiven ackerbaulicher Grenzstandorte in Nordostdeutschland – Übertragbarkeit extensiver Produktionssysteme überseeischer Trockenstandorte**
- 7 M. Liesebach, B. Degen, H. Grotehusmann, A. Janßen, M. Konnert, H.-M. Rau, R. Schirmer, D. Schneck, V. Schneck, W. Steiner, H. Wolf  
**Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland**
- 8 Kurt-Jürgen Hülsbergen, Gerold Rahmann (Hrsg.)  
**Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben**
- 9 Holger Weimar und Dominik Jochem (Hrsg.)  
**Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“**
- 10 Horst Gömann, Thomas de Witte, Günter Peter, Andreas Tietz  
**Auswirkungen der Biogaserzeugung auf die Landwirtschaft**
- 11 Bernhard Osterburg, Sebastian Rüter, Annette Freibauer, Thomas de Witte, Peter Elsasser, Stephanie Kätsch, Bettina Leischner, Hans Marten Paulsen, Joachim Rock, Norbert Röder, Jörn Sanders, Jörg Schweinle, Johanna Steuk, Heinz Stichnothe, Wolfgang Stümer, Johannes Welling, Anne Wolff  
**Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft**
- 12 Heinrich Becker und Andrea Moser  
**Jugend in ländlichen Räumen zwischen Bleiben und Abwandern – Lebenssituation und Zukunftspläne von Jugendlichen in sechs Regionen in Deutschland**
- 13 Bernhard Osterburg, Stephanie Kätsch und Anne Wolff  
**Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050**



THÜNEN

### **Thünen Report 13**

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Germany

[www.ti.bund.de](http://www.ti.bund.de)

ISBN 978-3-86576-112-5

