

# **Folgenabschätzung für Maßnahmenoptionen im Bereich Landwirtschaft und landwirtschaftliche Landnutzung, Forstwirtschaft und Holznutzung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050**

**Bernhard Osterburg, Claudia Heidecke, Andreas Bolte, Julian Braun,  
Matthias Dieter, Karsten Dunger, Peter Elsasser, Richard Fischer, Heinz  
Flessa, Roland Fuß, Sven Günter, Anna Jacobs, Frank Offermann, Joachim  
Rock, Claus Rösemann, Sebastian Rüter, Thomas Schmidt, Jobst-Michael  
Schröder, Jörg Schweinle, Bärbel Tiemeyer, Holger Weimar, Johannes  
Welling, Thomas de Witte**

**Thünen Working Paper 137**

Bernhard Osterburg, Claudia Heidecke, Stabsstelle Klima des Thünen-Instituts  
Anna Jacobs, Stabsstelle Boden des Thünen-Instituts  
Bundesallee 49  
38116 Braunschweig  
Telefon: +49 531 596 1101  
Fax: +49 531 596 1099  
E-Mail: {bernhard.osterburg, claudia.heidecke, anna.jacobs} [ @ ] thuenen.de

Heinz Flessa, Roland Fuß, Claus Rösemann, Bärbel Tiemeyer  
Thünen-Institut für Agrarklimaschutz  
Bundesallee 65  
38116 Braunschweig  
Telefon: +49 531 596 2601  
Fax: +49 531 596 2699  
E-mail: {heinz.flessa, roland.fuss, claus.roesemann, baerbel.tiemeyer} [ @ ] thuenen.de

Frank Offermann, Thomas de Witte, Julian Braun  
Thünen-Institut für Betriebswirtschaft  
Bundesallee 63  
38116 Braunschweig  
Telefon: +49 531 596 5209  
Fax: +49 531 596 5199  
E-Mail: {frank.offermann, thomas.witte} [ @ ] thuenen.de

Thomas Schmidt  
Thünen-Institut für Ländliche Räume  
Bundesallee 64  
38116 Braunschweig  
Telefon: +49 531 596 5507  
Fax: +49 531 596 5599  
E-Mail: thomas.schmidt [ @ ] thuenen.de

***(Fortsetzung auf nächster Seite)***

Andreas Bolte, Karsten Dunger und Joachim Rock  
Thünen-Institut für Waldökosysteme  
Alfred-Möller-Straße 1  
16225 Eberswalde  
Telefon: +49 3334 3820 300  
Fax: +49 3334 3820 354  
E-Mail: {andreas.bolte, karsten.dunger, joachim.rock} [ @ ] thuenen.de

Matthias Dieter, Peter Elsasser, Richard Fischer, Sven Günter, Jobst-Michael Schröder, Jörg  
Schweinle, Holger Weimar  
Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie  
Leuschnerstraße 91  
21031 Hamburg  
Telefon: +49 40 73692 300  
Fax: +49 40 73692 399  
E-Mail: {matthias.dieter, peter.elsasser, richard.fischer, sven.guenter, jobst.schroeder, jo-  
erg.schweinle, holger.weimar} [ @ ] thuenen.de

Sebastian Rüter, Johannes Welling  
Thünen-Institut für Holzforschung  
Leuschnerstraße 91  
21031 Hamburg  
Telefon: +49 40 73692 600  
Fax: +49 40 73692 699  
E-Mail: {sebastian.rueter, johannes.welling}@thuenen.de

### **Thünen Working Paper 137**

Braunschweig, Hamburg und Eberswalde/Germany, im Mai 2019 (Stand: 16.05.2019,  
korrigierte Fassung)



## Kurzfassung

Im vorliegenden Bericht wird dargestellt, welche Instrumente und Maßnahmen zur Erreichung der Sektorziele des Klimaschutzplans 2050 (KSP 2050) bis zum Jahr 2030 für die Landwirtschaft und zur Minderung von Emissionen und Steigerung der Senkenleistung im Bereich LULUCF notwendig sind. Dabei stehen Maßnahmen auf der Bundesebene im Mittelpunkt. Für die verschiedenen Handlungsfelder und Maßnahmen werden Instrumente zu deren Umsetzung diskutiert, die THG-Minderungspotentiale dargestellt, und Folgen auf Wirtschaft, Beschäftigung, Umwelt und Gesundheit abgeschätzt. Die analysierten Maßnahmen- und Ausgestaltungsoptionen sollen die Informationsgrundlage für die geplante Aufstellung des Maßnahmenprogramms zur Umsetzung des KSP 2050 verbessern.

Der Bericht gibt den Arbeitsstand vom Sommer 2019 wieder. Eine Aktualisierung der Folgenabschätzung für die mittlerweile erfolgte Konkretisierung im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 (Bundestagsdrucksache 19/ 13900 vom 11.10.2019) erfolgt in diesem Bericht nicht, dies bleibt darauf aufbauenden Arbeiten vorbehalten.

**Schlüsselwörter:** Klimaschutz, Landwirtschaft, LULUCF, Maßnahmen, Folgenabschätzung, Treibhausgase

## Abstract

This working paper analyses instruments and measures to meet the targets set in the Germany's climate action plan 2050 for agriculture to reduce greenhouse gas emissions and for LULUCF to reduce greenhouse gas emissions or enhance sinks until 2030. In the focus are measures on the federal state level. For the different areas of actions and measures we discuss instruments and options for implementation, greenhouse gas mitigation potential, economic impacts, as well as impacts on employment, environment and health. The measures and implementation options analysed shall help to provide a better information basis for the planned portfolio within the program of measures to implement the German climate action plan.

The working paper reflects the status of analysis from summer 2019. An update of the impact analysis of the current specification in the frame of the climate mitigation program 2030 of the federal government for the implementation of the climate action plan 2050 (Bundestagsdrucksache 19/ 13900; 11.10.2019) is not part of this paper and needs to be part of future research.

**Keywords:** climate mitigation, agriculture, LULUCF, measures, impact analysis, greenhouse gas emissions



## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise	2
<b>2 Minderungsziele und erwartete Entwicklung der Treibhausgasemissionen</b>	<b>7</b>
2.1 Emissionsminderungsziele bis 2030 im Klimaschutzplan 2050	7
2.2 Emissionsminderungsziele bis 2030 in der EU-Klimapolitik	7
2.3 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft, Landnutzung und Forstwirtschaft	9
2.4 Überlegungen zur Sektorabgrenzung, zur Festlegung sektoraler Minderungsziele und zur Abstimmung nationaler und EU-Ziele	13
2.4.1 Sektorabgrenzung und Festlegung sektoraler Minderungsziele	13
2.4.2 Abstimmung nationaler und EU-Ziele	14
<b>3 Folgenabschätzung für Maßnahmen zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 bis zum Jahr 2030</b>	<b>17</b>
3.1 Im Klimaschutzplan 2050 vorgeschlagene Maßnahmen	17
3.2 Folgenabschätzung für einzelne Maßnahmen	19
3.2.1 Senkung der Stickstoffüberschüsse, Ammoniak- und Lachgasemissionen	21
3.2.1.1 Senkung der Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft	22
3.2.1.2 Senkung der Ammoniakemissionen der Landwirtschaft	26
3.2.1.3 Gezielte Verminderung von Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden	30
3.2.2 Vergärung und gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft	32
3.2.3 Emissionsminderung in der Tierhaltung	35

3.2.3.1	Senkung der spezifischen, Tier- und Produkt-bezogenen THG-Emissionen	35
3.2.3.2	Abbau und Umbau von Tierbeständen und Reduzierung des Verbrauchs tierischer Lebensmittel	37
3.2.3.3	Klimaschonende Produktion und Verwendung von Futtermitteln	40
3.2.4	Erhöhung des Flächenanteils des Ökologischen Landbaus	41
3.2.5	Energieeinsparungen und Substitution fossiler Energieträger in der Landwirtschaft	44
3.2.6	Erhaltung und Aufbau von Humus in mineralischen Ackerböden	48
3.2.7	Erhaltung der Dauergrünlandfläche	51
3.2.8	Schutz von Moorböden und Reduzierung des Torfeinsatzes als Kultursubstrat	54
3.2.8.1	Schutz von Moorböden	54
3.2.8.2	Reduzierung des Torfeinsatzes als Kultursubstrat	58
3.2.9	Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder und Holzverwendung	60
3.2.9.1	Anpassung der Wälder an den Klimawandel	60
3.2.9.2	Nadelholzoptimierte Veränderung der Baumartenzusammensetzung	63
3.2.9.3	Verstärkte Verwendung klimafreundlicher Baustoffe wie Holz	66
3.2.9.4	Internationale nachhaltige Waldbewirtschaftung und Waldschutz	70
3.2.10	Vermeidung von Lebensmittelabfällen	72
3.2.11	Weitere Maßnahmen	76
3.2.11.1	Ausrichtung der agrarpolitischen Förderung auf die klimapolitischen Beschlüsse der EU	76
3.2.11.2	Entwicklung innovativer Klimaschutzkonzepte im Agrarbereich und Rolle der Bioökonomie	78
3.2.11.3	Reduzierung des Anstiegs der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2020 auf 30 ha pro Tag	79
<b>4</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen</b>	<b>81</b>
4.1	Ergebnisse der Folgenabschätzung im Überblick	81
4.2	Entwicklung der Treibhausgasemissionen und Kohlenstoffsinken in den Bereichen Landwirtschaft sowie Landnutzung und Forstwirtschaft bis 2030	84
4.3	Empfehlungen	86
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>89</b>
<b>Anhang 1:</b>	<b>Folgenabschätzung für die Maßnahmenoptionen Senkung der Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft sowie Schutz von Moorböden: Sozioökonomische Abschätzungen mit FARMIS</b>	<b>95</b>
A1.1	FARMIS-Modellbeschreibung	95

A1.2 Szenarien	99
A1.3 Ergebnisse	100
A1.4 Literaturverzeichnis	106
<b>Anhang 2: Einzelbetriebliche Analysen zur Vergärung und gasdichten Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft</b>	<b>107</b>
A2.1 Bisherige Entwicklung der Biogasförderung und -erzeugung	107
A2.2 Diskussionstand zur Erhöhung des Gülleanteils	109
A2.3 Analysen zur klimapolitischen Effizienz der Güllevergärung	110
A2.3.1 Annahmen für die Kalkulationen	111
A2.3.2 Ökonomische und klimapolitische Kennzahlen von Anlagentypen	115
A2.3.3 Szenarien für die Weiterentwicklung bestehender Biogasanlagen	119
A2.4 Fazit	122
A2.5 Literaturverzeichnis	124
A2.6 Abbildungen	125

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung des Fleischverzehrs in Deutschland	38
Abbildung 2:	Struktur für die zukünftige Zusammenarbeit	73
Abbildung A1.1:	Annahmen zur Ertragswirkung einer Teilvernässung des Grünlands	97
Abbildung A1.2:	Änderungen der Betriebseinkommen in den Szenarien zur Reduzierung von Stickstoffemissionen	101
Abbildung A1.3:	Umfänge wiedervernässter Flächen nach Bundesländern	103
Abbildung A1.4:	Änderungen der Betriebseinkommen je AK in den Szenarien zur Vernässung organischer Böden	104
Abbildung A1.5:	Änderungen der Betriebseinkommen je AK bei Kombination der Maßnahmen (Maßnahmenpaket N2 + O2)	105
Abbildung A2.1:	Erforderlicher GV-Bestand Rinder für unterschiedliche Biogasanlagen (inkl. Nachzucht)	126
Abbildung A2.2:	Erforderlicher GV-Bestand Mastschweine für unterschiedliche Biogasanlagen	126
Abbildung A2.3:	Spezifische Investitionen verschiedener Biogasanalagentypen auf Basis von Rindergülle	127
Abbildung A2.4:	Spezifische Investitionen verschiedener Biogasanalagentypen auf Basis von Schweinegülle	127
Abbildung A2.5:	Netto-Stromgestehungskosten verschiedener Biogasanalagentypen auf Basis von Rindergülle	128
Abbildung A2.6:	Netto-Stromgestehungskosten verschiedener Biogasanalagentypen auf Basis von Schweinegülle	128
Abbildung A2.7:	CO <sub>2</sub> -Äq.-Emissionen und -Gutschriften für eine 150 kW Biogasanlage auf Basis von Rindergülle	129
Abbildung A2.8:	CO <sub>2</sub> -Äq.-Emissionen und -Gutschriften für eine 150 kW Biogasanlage auf Basis von Schweinegülle	129
Abbildung A2.9:	CO <sub>2</sub> -Äq.-Vermeidungskosten verschiedener Biogasanalagentypen auf Basis von Rindergülle	130
Abbildung A2.10:	CO <sub>2</sub> -Äq.-Vermeidungskosten verschiedener Biogasanalagentypen auf Basis von Schweinegülle	130
Abbildung A2.11:	CO <sub>2</sub> -Äq.-Vermeidungskosten gasdichter Güllelagerung für verschiedene Behältergrößen	131

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kriterien zur Beschreibung und Analyse der Klimaschutzmaßnahmen	4
Tabelle 2:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft plus direkten energiebedingten Emissionen gemäß Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) 1990-2035 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq. pro Jahr	11
Tabelle 3:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Quellgruppe Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft gemäß Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) 1990-2035 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq. pro Jahr	13
Tabelle 4:	In der Folgenabschätzung analysierte Maßnahmen	20
Tabelle 5:	Treibhausgas-Minderungsziele und Minderungswirkungen der Maßnahmen im Jahr 2030	85
Tabelle A1.1:	THG-Emissionen organischer Böden nach Nutzungskategorie	96
Tabelle A1.2:	Minderungseffekte und Kosten von über die DÜV hinausgehenden Maßnahmen zur Reduzierung von gasförmigen Stickstoffemissionen	98
Tabelle A1.3:	Sektorale Produktionswirkungen verschiedener Szenarien zur THG-Minderung	100
Tabelle A1.4:	Intensivierungseffekte in den Szenarien zur Vernässung organischer Böden	103
Tabelle A2.1	Kalkulation der Maiskosten frei Halm	114
Tabelle A2.2	Annahmen für CO <sub>2</sub> äq-Emissionen und -gutschriften	115
Tabelle A2.3:	Kennzahlen zur klimapolitischen Effizienz für die Weiterentwicklung bestehender Biogasanlagen und der gasdichten Lagerung von Gülle	122



## Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wird dargestellt, welche Instrumente und Maßnahmen zur Erreichung der Sektorziele des Klimaschutzplans 2050 (KSP 2050) bis zum Jahr 2030 für die Landwirtschaft und zur Minderung von Emissionen und Steigerung der Senkenleistung im Bereich LULUCF notwendig sind. Dabei stehen Maßnahmen auf der Bundesebene im Mittelpunkt. Für die verschiedenen Handlungsfelder und Maßnahmen werden Instrumente zu deren Umsetzung diskutiert, die THG-Minderungspotentiale dargestellt, und Folgen auf Wirtschaft, Beschäftigung, Umwelt und Gesundheit abgeschätzt. Die analysierten Maßnahmen- und Ausgestaltungsoptionen sollen die Informationsgrundlage für die geplante Aufstellung des Maßnahmenprogramms zur Umsetzung des KSP 2050 verbessern.

Der Bericht gibt den Arbeitsstand vom Sommer 2019 wieder. Eine Aktualisierung der Folgenabschätzung für die mittlerweile erfolgte Konkretisierung im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 (Bundestagsdrucksache 19/ 13900 vom 11.10.2019) erfolgt in diesem Bericht nicht, dies bleibt darauf aufbauenden Arbeiten vorbehalten.

Dazu wird zunächst ausgearbeitet, welche Emissionen anfallen und welche Minderungsziele verfolgt werden. Demnach müssen auf Basis der für 2014 im KSP 2050 ausgewiesenen Emissionen im Bereich Landwirtschaft bis 2030 noch 11 bis 14 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. vermindert werden. Nach aktuellen Daten der THG-Berichterstattung aus dem Jahr 2019 und nach methodischen Änderungen im Rahmen der Qualitätssicherung und Verbesserung der Genauigkeit der Berichterstattung erhöht sich der Minderungsbedarf nach Zieldefinition im KSP 2050 mit den aktuellen Emissionsdaten auf 13 bis 16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Der Bereich Landnutzungs- und Landnutzungswandel (LULUCF) entwickelt sich im Zeitraum zwischen 2016 und 2020 von einer Senke in eine Quelle für Treibhausgase. Da erwartet wird, dass die Netto-Emission im LULUCF-Bereich kurzfristig Größenordnungen von 10 bis 30 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erreicht, und weil Maßnahmen in der Landnutzung nicht kurzfristig umgesetzt werden können, ist das Ziel im KSP 2050, durch Maßnahmen den LULUCF-Bereich als Netto-Senke zu erhalten, kurz- bis mittelfristig nicht realistisch erreichbar. Für den LULUCF-Bereich wurden auf der EU-Ebene klimapolitische Ziele festgelegt, die mit den Zielen des KSP 2050 nicht übereinstimmen. Dies führt zu Intransparenz und kann Zielkonflikte nach sich ziehen, was durch Klarstellungen im Rahmen der Weiterentwicklung des KSP 2050 vermieden werden sollte.

Im Bericht werden konkrete Annahmen zu Art und Umfang von Maßnahmen und Maßnahmenumsetzung zugrunde gelegt. Soweit möglich wird dabei auf bestehende politische Ziele, Strategien und Instrumente aufgebaut. Die getroffenen Annahmen sind als Ausgestaltungsmöglichkeiten anzusehen, dem vorgesehenen politischen und gesellschaftlichen Abstimmungsprozess zum Maßnahmenprogramm soll damit nicht vorgegriffen werden.

Zusammenfassend lassen sich für die 10 betrachteten Maßnahmen folgende Schlüsse ziehen:

- Zentrale Maßnahme für eine **Minderung der Lachgasemissionen** ist die Umsetzung des düngerechtlchen Pakets 2017 mit der Novelle der Düngeverordnung und der Stoffstrombilanzverordnung, auf deren Grundlage die Erstellung von Hoftorbilanzen zur Steuerung und Bewertung der Düngung, Fütterung und N-Emissionsvermeidung vorgeschrieben wird. Ziel für den Klimaschutz ist eine sektorale Verbesserung der N-Effizienz, die durch eine Fokussierung des Düngerechts auf nitratbelastete Gebiete nicht zu erreichen ist. Daher kommt der Fortschreibung der Stoffstrombilanz eine wichtige Rolle für den Klimaschutz zu. Aufbauend auf das Luftreinhalteprogramm zur Umsetzung der neuen NEC-Richtlinie sollte ein Investitions- und Förderprogramm zur Unterstützung der notwendigen Anpassungen aufgelegt werden. Erwogen werden muss daher die frühzeitige Festlegung neuer Standards mit langen Übergangszeiten und Förderangeboten, letztere ggf. degressiv gestaffelt.
- Zur **Güllenutzung und Lagerung in Biogasanlagen** sind trotz Aufwand für Gülletransporte größere Anlagen wirtschaftlicher als die derzeit geförderten Güllekleinanlagen, was für eine Förderung von Gemeinschaftsanlagen spricht. Dem stehen die derzeitigen EEG-Förderbedingungen entgegen. Da der Großteil der Methanemissionen aus Gülle stammt, sollte der Fokus hierauf liegen, und nicht allgemein auf Wirtschaftsdünger.
- Maßnahmen, die auf eine **Emissionsminderung in der Tierhaltung** abzielen, sind entscheidend für einen ambitionierten Klimaschutz in der Landwirtschaft. Laut KSP 2050 soll bis zum Jahr 2021 eine Gesamtstrategie zur Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung entwickelt werden. Dazu müssen produktspezifische Minderungsoptionen, Minderungen durch einen Abbau bzw. Umbau von Tierbeständen und Konsumänderungen, sowie Minderungsoptionen und Möglichkeiten bei der Futtermittelbereitstellung diskutiert und umgesetzt werden.
- Die **Ausdehnung des ökologischen Landbaus** wird primär zur Umsetzung anderer Umweltziele (Biodiversität, Gewässerschutz) angestrebt. Die Netto-Klimaschutzwirkung des ökologischen Landbaus durch Verringerung von Lachgasemissionen, Steigerung des Bodenkohlenstoffgehalts und Senkung der Produktion mineralischer Dünger kann durch Verlagerungseffekte aufgrund von niedrigeren Erträgen geschmälert oder aufgehoben werden.
- Die Berücksichtigung des **Energieeinsatzes in der Landwirtschaft** ist mit erheblichen Unsicherheiten verbunden und erscheint nicht zielführend. Daher sollte die Zuordnung noch einmal grundsätzlich diskutiert werden. Maßnahmen mit hohen Vermeidungskosten wie der verstärkte Einsatz von Biotreibstoffen sollten nicht allein aufgrund des sektoralen Ziels für die Landwirtschaft umgesetzt werden. Unabhängig davon sollte das Bundesprogramm Energieeffizienz fortgeführt werden.
- Die Veränderung der **Bodenkohlenstoffvorräte** in der deutschen Landwirtschaft sollen durch eine Wiederholung der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft des Thünen-Instituts festgestellt und damit für die Emissionsberichterstattung verfügbar gemacht werden. Erst auf dieser Basis kann beurteilt werden, welche Veränderungen der Kohlenstoffvorräte in mineralischen Ackerböden auftreten. Bisher ist nicht gesichert, ob die bisher angenommene stabile Situa-

on (keine Netto-Veränderung) bestätigt werden kann, oder ob ein Kohlenstoffverlust oder eine Anreicherung festgestellt werden wird.

- Die **Dauergrünlanderhaltung** verhindert die bei Umwandlung anfallenden Emissionen und kann durch die Maßnahme des Greenings im Rahmen der EU-Agrarpolitik fortgeführt werden. Eine erfolgreiche Fortführung der Maßnahme erfordert einen bruchlosen Übergang zur neuen GAP nach 2020. Die Dauergrünlanderhaltung sollte weiterhin auf Ebene der Einzelfläche umgesetzt werden, mit einer Verpflichtung zum Nachweis von Ersatzflächen bei Grünlandumwandlung.
- Angesichts von THG-Emissionen aus **Moorböden** in Höhe von insgesamt 47 Mio. t CO<sub>2</sub>, weist der Schutz von Moorböden sehr große Minderungspotentiale auf. Je nach zugrundeliegenden Annahmen und Szenarien werden Minderungswirkungen von 1,5 bis 15,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. für möglich gehalten. Auch wenn für die Finanzierung von Projekten zum Moorbodenschutz hohe Summen für Maßnahmen auf freiwilliger Basis oder für die Realisierung von Flächenkäufen notwendig sind, können die Vermeidungskosten dennoch konkurrenzfähig zu anderen Maßnahmen sein. Alternative Nutzungskonzepte (Paludikulturen) sollten gestärkt werden.
- Eine Strategie zur **Minderung des Torfeinsatzes** sollte an der Substitution von Torf als Kultursubstrat und Bodenverbesserung ansetzen.
- Durch die **Reduzierung von Lebensmittelverschwendung** können CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Größenordnung von etwa fünf bis zehn Millionen Tonnen jährlich eingespart werden; dies allein im Konsumbereich, der ungefähr die Hälfte des Abfallaufkommens ausmacht (REFOVAS, 2019). Diese auf der Konsumseite erzielbaren THG-Minderungen hätten aber keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Höhe der THG-Emissionen der deutschen Landwirtschaft. Zusätzlich zum Aufbau eines statistischen Erfassungssystems zum Monitoring sollten Programme zur Bewusstseinsbildung und für eine nachhaltige Ernährung für Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung entwickelt und umgesetzt werden.
- Bei Maßnahmen in der **Waldbewirtschaftung** sind aufgrund der langen Reaktionszeiten des Systems „Wald“ immer neben kurzfristigen (bis 2030) auch die langfristigen Effekte (bis 2100 und darüber hinaus) zu betrachten. Kurzfristige Effekte in Deutschland sind durch die Steigerung der Holzverwendung im Bauwesen zu erreichen. Mittel- und langfristig sollte die Steigerung des Anteils klimaangepasster, wuchsstarker Nadelbaumarten in der Verjüngung besonders in Betracht gezogen werden. Die größten Effekte lassen sich aber auf der internationalen Ebene durch Walderhaltung und Restauration entwaldeter oder degradierter Waldflächen erreichen.
- Die anstehende **Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik** der EU und ihre Implementierung in Deutschland sind eine Chance, Klimaschutzmaßnahmen stärker zu integrieren und Hemmnisse für den Klimaschutz abzubauen. Angesichts der hohen Finanzierungsanforderungen sind Mittel der Agrarpolitik für den Klimaschutz zu reservieren.
- Der stofflichen und energetischen **Nutzung von Biomasse** wird im KSP 2050 wenig Beachtung geschenkt. Die Debatte um die klimaschutzpolitische Ausrichtung der Landwirtschaft, Landnutzung und Forstwirtschaft sollte dafür genutzt werden, die Rolle der Bioökonomie im

KSP 2050 zu konkretisieren, die THG-Wirkungen von Biorohstoffen und Bioenergie zu bewerten und Unsicherheiten über die künftige Rolle von Biorohstoffen und Bioenergie abzubauen.

Bezüglich der möglichen THG-Minderungswirkungen und der Erreichung der KSP 2050 Minderungsziele sind die folgenden Ergebnisse zu nennen:

- Für den Bereich Landwirtschaft ergeben sich THG-Emissionsminderungen von jährlich ca. 8 bis 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., und damit eine **Minderungslücke** von 2 bis 4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zu den KSP 2050-Zielen für 2030. In dieser Betrachtung werden Effekte in anderen Sektoren und außerhalb Deutschlands nicht berücksichtigt.
- Nach einer **Methodenänderung** im Jahr 2019 werden für den Bereich Landwirtschaft um ca. 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. höhere THG-Emissionen berichtet. Nach Zieldefinition des KSP 2050 ergibt sich dann ein Minderungsbedarf von 13 bis 16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und eine Minderungslücke von bis zu 5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. Diesbezüglich ist die Frage zu klären, ob und wie solche (in der Berichterstattung regelmäßig erfolgende) methodische Änderungen in der Zieldefinition berücksichtigt werden sollen.
- Der Bereich Landnutzung und Forstwirtschaft wird bis 2030 auch mit zusätzlichen Maßnahmen nicht als **Nettosenke** gesichert werden können. Zudem bestehen in Hinblick auf Trockenjahre und Kalamitäten große Unsicherheiten über die künftige Entwicklung der Senke der Forstwirtschaft und damit des gesamten Bereichs. Ambitionierte Maßnahmen im Bereich Moorbodenschutz können eine Nettosenke langfristig sichern.
- Die vorliegende Folgenabschätzung lässt noch viele Fragen zur Maßnahmenumsetzung und zum politischen Instrumenteneinsatz offen. Aufbauend auf die vorliegende Arbeit sollten für ausgewählte Maßnahmen detailliertere **Szenarioanalysen** durchgeführt werden. Der Transformationspfad zur Emissionsminderung zwischen 2020 und 2030 ist noch nicht untersucht und sollte in den Szenarioanalysen berücksichtigt werden.
- Für die Abbildung der THG-Minderungswirkungen in den THG-Inventaren müssen Datengrundlagen verbessert werden, durch **Monitoring** relevanter Aktivitätsdaten und die Verfügbarmachung und Nutzung von Verwaltungsdaten wie der Daten zur Agrardieselvergütung oder der InVeKoS-Daten zur Flächennutzung.
- Zu vielen Maßnahmen besteht noch **Forschungsbedarf** bezüglich Umsetzbarkeit, Wirkung, politischen Instrumenten zur Umsetzung, Vermeidungskosten, Monitoring und Abbildung in der Emissionsberichterstattung.

Grundlegende Einschätzungen und Empfehlungen für eine Folgenabschätzung von Klimaschutzmaßnahmen sind im Folgenden aufgeführt.

- Im Klimaschutz müssen die **Netto-Wirkungen** von Maßnahmen zur Grundlage der Bewertung gemacht werden, denn eine bloße Verlagerung der Probleme ist nicht zielführend zur Erreichung der globalen THG-Minderungsziele. Deshalb sind sowohl Wechselwirkungen mit anderen, nationalen Sektoren als auch Effekte auf internationaler Ebene in klimapolitische Bewertungen und Entscheidungen einzubeziehen.

- Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl geeigneter Klimaschutzmaßnahmen und für die Prioritätensetzung sind die **Vermeidungskosten** in €/t CO<sub>2</sub>-Äq., die für die Entscheidungen zum KSP 2050-Maßnahmenprogramm berücksichtigt werden sollten. Für die Ermittlung vergleichbarer und belastbarer Vermeidungskosten zwischen den Sektoren müssen harmonisierte Methoden festgelegt werden. Solche Vorgaben fehlen jedoch für die Folgenabschätzungen zum KSP 2050. Eine Herausforderung besteht darin, dabei weitere Umwelt- und Gesundheitswirkungen zu berücksichtigen.
- Zur Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen sind auch einheitliche, sektorübergreifende **Marktinstrumente** (z. B. CO<sub>2</sub>-Bepreisung, Ausweitung des ETS-Systems) zu prüfen, auch in Hinblick auf die Einbeziehung von Sektoren wie der Landwirtschaft, und aus wissenschaftlicher Sicht zu analysieren. Hier ist zu unterscheiden, ob diese sektorübergreifenden Maßnahmen auf EU oder nationaler Ebene umgesetzt werden können.



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung (BMUB, 2016) werden für das Jahr 2050 Leitbilder für jedes Handlungsfeld skizziert. Bis zum Jahr 2050 wird eine Minderung der Treibhausgas-(THG)-emissionen um bis zu 95 % gegenüber 1990 angestrebt. Für das Jahr 2030 wird als Zwischenziel eine Minderung der THG-Emissionen um 55 % gegenüber 1990 festgelegt. Dafür werden im Klimaschutzplan 2050 (KSP 2050) konkrete Meilensteine und Maßnahmen benannt, die eine Erreichung dieses Ziels gewährleisten sollen. Darüber hinaus hat sich die Bundesregierung erstmals auf Sektorziele für den Abbau von THG-Emissionen bis zum Jahr 2030 verständigt. Diese Zuteilung der Minderungsziele soll einer umfassenden Folgenabschätzung (impact assessment) unterzogen werden, deren Ergebnis mit den Sozialpartnern diskutiert werden soll und das laut KSP 2050 auch eine Anpassung der Sektorziele ermöglichen soll. Ferner soll der KSP 2050 durch ein detailliertes Maßnahmenprogramm unterlegt werden. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat zehn Maßnahmen zur Umsetzung des KSP 2050 entwickelt, für die eine Folgenabschätzung vorgelegt werden soll.

Die den Sektoren zugeordneten Minderungsziele sollen von diesen laut KSP 2050 eigenverantwortlich erfüllt werden. Die Abgrenzung der Handlungsfelder bzw. Sektoren erfolgt im KSP 2050 nach Quellgruppen und Teil-Quellgruppen der nationalen Klimaberichterstattung (vgl. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017; UBA, 2019). Für diesen Bericht sind die Handlungsfelder bzw. Sektoren Landwirtschaft sowie Landnutzung und Forstwirtschaft maßgeblich. Im Handlungsfeld Landwirtschaft werden Emissionen der Quellgruppe 3 (Landwirtschaft) zuzüglich der direkten durch Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei verursachten Emissionen der Quellgruppe 1 (Energie) betrachtet. Das Handlungsfeld Landnutzung und Forstwirtschaft entspricht der Quellgruppe 4 (LULUCF, Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft).

Der Fokus auf abgegrenzte, nationale Sektoren kann dazu führen, dass sektorübergreifende und grenzüberschreitende Wirkungen innerhalb und außerhalb von Deutschland keine ausreichende Berücksichtigung finden. Im Rahmen der Folgenabschätzung ist hierzu eine kritische Auseinandersetzung notwendig. Beispiele für sektorübergreifende Wirkungen sind die stoffliche Verwendung von Holz statt energie- und emissionsintensiveren Rohstoffen und der Ersatz von fossilen Energieträgern durch Bioenergie. Die damit verbundene Verminderung von THG-Emissionen in den Quellgruppen 1 (Energie) und 2 (Industrie) werden nicht in den Sektoren „Landwirtschaft“ und „Landnutzung und Forstwirtschaft“ verbucht. Gleichwohl müssen solche sektorübergreifenden Systemwirkungen in die Gesamtbewertung von Maßnahmen innerhalb der einzelnen „Sektoren“ einfließen.

Die nationalen Ziele des KSP 2050 werden im Rahmen der klimapolitischen Ziele der EU verfolgt. Zur Schaffung von Transparenz, zur Abstimmung der Ziele und Vermeidung von Konflikten ist es

daher erforderlich, die Übereinstimmungen und Unterschiede zwischen den beiden Zielsystemen zu analysieren.

## 1.2 Zielsetzung

Im vorliegenden Bericht wird dargestellt, welche Instrumente und Maßnahmen zur Erreichung der Sektorziels des KSP 2050 bis zum Jahr 2030 für die Landwirtschaft und zur Minderung von Emissionen und Steigerung der Senkenleistung im Bereich LULUCF notwendig sind. Dabei stehen Maßnahmen auf der Bundesebene im Mittelpunkt. Für die im KSP 2050 genannten Maßnahmen werden THG-Minderungspotentiale abgeschätzt, die zu ihrer Umsetzung geeigneten politischen Instrumente aufgezeigt und Folgen auf Wirtschaft, Beschäftigung, Umwelt und Gesundheit abgeschätzt. Es soll untersucht werden, ob durch Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen die THG-Minderungsziele erreicht werden können, und mit welchen Emissionsvermeidungskosten zu rechnen ist. Um Wahlmöglichkeiten für die politische und gesellschaftliche Debatte zur Ausgestaltung der Klimaschutzpolitik zu erhalten, sollen soweit möglich mehr Maßnahmen vorgeschlagen werden, als zur Erreichung des Sektorziels notwendig sind. Die analysierten Maßnahmen- und Ausgestaltungsoptionen sollen die Informationsgrundlage für die geplante Aufstellung des Maßnahmenprogramms zur Umsetzung des KSPs 2050 verbessern.

Der Bericht gibt den Arbeitsstand vom Sommer 2019 wieder. Eine Aktualisierung der Folgenabschätzung für die mittlerweile erfolgte Konkretisierung im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 (Bundtagsdrucksache 19/ 13900 vom 11.10.2019) erfolgt in diesem Bericht nicht, dies bleibt darauf aufbauenden Arbeiten vorbehalten.

## 1.3 Vorgehensweise

In Kapitel 2 werden die Ziele des KSP 2050 und der EU-Klimapolitik vorgestellt. Um den Handlungsbedarf bis 2030 abzuschätzen, wird die Entwicklungen der THG-Emissionen in den Handlungsfeldern Landwirtschaft und Landnutzung und Forstwirtschaft dargestellt. Dafür wird auf den aktuellen Inventarbericht (UBA, 2019) sowie auf die Kapitel zu Landwirtschaft und LULUCF im Projektionsbericht der Bundesregierung (2019) aufgebaut. Die Beiträge zu den THG-Quellgruppen Landwirtschaft und LULUCF stammen in beiden Berichten vom Thünen-Institut. Abschließend werden in diesem Kapitel die Sektorabgrenzung im KSP 2050, die Festlegung sektoraler Minderungsziele und die Unterschiede zwischen nationalen und EU-Zielen diskutiert.

In Kapitel 3 folgen die Beschreibung und Analyse von Klimaschutzmaßnahmen in den Handlungsfeldern Landwirtschaft sowie Landnutzung und Forstwirtschaft. Dabei wird auf die Maßnahmenvorschläge im KSP 2050 und die vom BMEL ausgearbeiteten Maßnahmenblätter aufgebaut. Diese betreffen sowohl politische und organisatorische Maßnahmen wie Förderpolitiken, politische Strategien und Forschungsschwerpunkte, als auch technische Maßnahmen, die auf Ebene der

land- und forstwirtschaftlichen Produktion und Landnutzung umgesetzt werden. Soweit möglich werden quantitative Abschätzungen der THG-Minderungspotentiale vorgelegt. Die Wirkung einzelner Maßnahmen lässt sich nicht oder nicht genau quantifizieren, z. B. weil es noch Forschungsbedarf gibt, weil sich komplexe Auswirkungen auf Emissionen in unterschiedlichen THG-Quellgruppen ergeben oder weil das Spektrum an Instrumenten zur Umsetzung von Maßnahmen so vielfältig ist, dass eine Quantifizierung nicht oder nur in Spannweiten möglich ist.

Für die Abschätzung der THG-Wirkungen und weiteren Folgen müssen konkrete Annahmen zu Art und Umfang der Maßnahmenumsetzung zugrunde gelegt werden. Soweit möglich wird dabei auf bestehende politische Ziele, Strategien und Instrumente aufgebaut. Die getroffenen Annahmen sind als Ausgestaltungsmöglichkeiten anzusehen, dem vorgesehenen politischen und gesellschaftlichen Abstimmungsprozess zum Maßnahmenprogramm soll damit nicht vorgegriffen werden.

Die Analyse der Maßnahmen baut auf das Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz sowie des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik zum „Klimaschutz in der Land- und Ernährungswirtschaft, der Forst- und Holzwirtschaft und beim Konsum von Lebensmitteln“ (Weingarten et al., 2016) und Vorarbeiten des Thünen-Instituts (u. a. Osterburg et al., 2013) auf. Die Wirkungen der Maßnahmen auf die THG-Emissionsminderung oder die Einbindungen von Kohlenstoff wird soweit möglich auf Grundlage der Methoden der aktuellen Emissionsberichterstattung durch das Thünen-Institut berechnet. Für die Quellgruppe Landwirtschaft wurden THG-Wirkungen mit dem Modell GAS-EM auf Basis der Berichterstattung im Jahr 2018 berechnet (vgl. Haenel et al., 2018, „submission 2018“). Datengrundlagen und Berechnungsmethoden für die Quellgruppe LULUCF werden in UBA (2019) beschrieben. Bei anderen Maßnahmen wird auf Angaben in der Literatur verwiesen.

Für die Maßnahmen Senkung der Stickstoffüberschüsse, Ammoniak- und Lachgasemissionen und Schutz von Moorböden wurden mit dem am Thünen-Institut für Betriebswirtschaft entwickelten Betriebsgruppenmodell FARMIS Szenarioberechnungen zu sozioökonomischen Folgen durchgeführt und ausgewertet (s. Anhang 1). Für die Maßnahme Vergärung und gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft wurden Förderinstrumente für die Biogasproduktion und aufbauend auf Witte (2012) Investitions- und Vermeidungskosten auf einzelbetrieblicher Ebene untersucht (s. Anhang 2).

Bei der Zusammenstellung der in Tabelle 1 aufgeführten Kriterien wurden Anforderungen aus den Ausschreibungsunterlagen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) für die sektorübergreifende Folgenabschätzung berücksichtigt. Dadurch soll zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Folgenabschätzungen beigetragen werden. Aufgrund der nicht abgestimmten Erarbeitung verschiedener Folgenabschätzungen ist eine direkte Vergleichbarkeit allerdings nur begrenzt möglich. Der Fokus der vorliegenden Folgenabschätzung liegt auf der Bewertung einzelner Maßnahmen, ihrer Ausgestaltung und Umsetzung mit Hilfe politischer Instrumente. In der Folgenabschätzung im Auftrag des Bundesumweltministeriums (BMU) werden dagegen zwei Szenarien zur Umsetzung des KSP 2050 mit einem

Referenzszenario verglichen (Repenning et al., 2019), und eine Reihe von Kriterien werden nicht für die einzelnen Maßnahmen, sondern anhand der Szenarien insgesamt untersucht. Auch gibt es unterschiedliche Auslegungen der Kriterien, so wird die Versorgungssicherheit in der Folgenabschätzung des BMU ausschließlich in Hinblick auf die Energieversorgung betrachtet.

Die Beschreibung und Analyse der Klimaschutzmaßnahmen erfolgt anhand der folgenden Kriterien:

**Tabelle 1:** Kriterien zur Beschreibung und Analyse der Klimaschutzmaßnahmen

<b>Zwischenüberschrift</b>	<b>Inhalte</b>
Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung	Beschreibung der technischen Maßnahmen und ihrer Wirkungsweise zur THG-Emissionsminderung bzw. Einbindungen von Kohlenstoff, und der politischen Umsetzungsoptionen, technische Umsetzbarkeit, Anwendungsreife, Hemmnisse, Aussagen zum Zeithorizont
Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff	Emissions- bzw. Senkenwirkung pro Einheit (z. B. pro Hektar) und Potentialabschätzung auf Grundlage von Annahmen zum Grad der Umsetzung, Dauerhaftigkeit und Reversibilität der THG-Emissionsminderung, Abbildbarkeit in den THG-Inventaren, Anrechenbarkeit,
Wirtschaftliche Effekte	Bedarf an Investitionen, Veränderung variabler Kosten, Fördermittelbedarf, Verteilungswirkungen
Beschäftigungseffekte	Veränderungen der Beschäftigung (direkte und indirekte Effekte)
Sozialverträglichkeit	Akzeptanz seitens Unternehmen und Bevölkerung, diesbzgl. Hemmnisse für die Umsetzung
Versorgungssicherheit	Veränderungen der Nahrungs-, Rohstoff- und Energieversorgung
Andere Umwelteffekte	Wirkungen auf andere Umweltziele (Luftreinhaltung, Boden- und Gewässerschutz, Biodiversität)
Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit	Gesundheitswirkungen aufgrund der Verringerung von Umweltbelastungen
Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, sektorübergreifende und globale Effekte	Zielkonflikte, Addierbarkeit und Überlappung von Maßnahmenwirkungen, Abschätzung von Netto-THG-Wirkungen unter Berücksichtigung von Verlagerungs- und Verdrängungseffekten („leakage“), auch jenseits nationaler und sektoraler Systemgrenzen
Fazit	Bewertung, Aussagen zu Vermeidungskosten, Forschungsbedarf, Datenbedarf für die THG-Berichterstattung

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis der Anforderungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

Abschließend werden die Ergebnisse der Folgenabschätzung im Kapitel 4 zusammengeführt und diskutiert.

### **Exkurs zu Vermeidungskosten als Bewertungskriterium in der Folgenabschätzung**

Die zentrale Herausforderung für einen kosteneffizienten Klimaschutz besteht darin, die gesetzten Ziele zum Abbau der THG-Emissionen durch Maßnahmen mit möglichst geringen volkswirtschaftlichen Emissionsvermeidungskosten zu erreichen. Für eine kosteneffiziente Transformation müssen in Hinblick auf Auswahl, Umfang und zeitliche Abfolge der Maßnahmenumsetzung die richtigen Prioritäten gesetzt werden. Daher spielen die Maßnahmen-bezogenen Vermeidungskosten je Tonne vermiedener THG-Emission als Informationsgrundlage für die politischen Entscheidungsträger eine wichtige Rolle. Informationen zu den Vermeidungskosten sind insbesondere für einen Planungsansatz wichtig, wie er dem KSP 2050 mit seinen festen Sektorzielen zugrunde liegt, da die politische Auswahl und Gewichtung der Maßnahmen über die Kosteneffizienz der Transformation entscheidet. Im Falle des EU-Emissionshandelssystems oder einer CO<sub>2</sub>-Bepreisung sorgt bereits die Einführung dieser marktbasieren Klimaschutzinstrumente für eine kosteneffizientere Emissionsvermeidung bei gleichzeitig hoher Flexibilität und Technologieoffenheit für die Unternehmen.

Die vom BMU beauftragte, sektorübergreifende Folgenabschätzung (Repenning et al., 2019) enthält allerdings nur wenige Angaben zu Vermeidungskosten. Die angenommenen EU-Zertifikatspreise je Tonne CO<sub>2</sub> können als Vermeidungskosten interpretiert werden, die für das EU-Emissionshandelssystem gelten. Sie werden für das Jahr 2030 mit 15 €/t und für eine Sensitivitätsanalyse mit 33,5 €/t angenommen (Repenning et al., 2019, Tabelle 2-1, S. 27). Angaben zu Vermeidungskosten von Maßnahmen außerhalb des EU-ETS werden in der sektorübergreifenden Folgenabschätzung nicht getroffen. In einer Kosten-Nutzen-Analyse werden die Gesamtkosten von Szenarien den vermiedenen externen Kosten der Umwelt- und Gesundheitseffekte gegenübergestellt (Repenning et al., 2019, Kap. 4.3.2, S. 115-116). Der größte Anteil an den ermittelten externen Kosten resultiert dabei aus den angenommenen Schadenskosten je Tonne CO<sub>2</sub>, die für das Jahr 2030 mit 205 €/t veranschlagt werden (Repenning et al., 2019, Tab. 4-2, S. 114). Im Bericht wird das angesichts hoher Schadenskosten zu erwartende günstige Kosten-Nutzen-Verhältnis unterstrichen. Überlegungen zur Optimierung der Kosten-Nutzen-Relation unter Berücksichtigung der Vermeidungskosten unterbleiben jedoch.

Für die Ermittlung vergleichbarer und belastbarer Vermeidungskosten müssen harmonisierte Methoden festgelegt werden. Solche Vorgaben fehlen jedoch für die Folgenabschätzungen zum KSP 2050. Erschwerend kommt hinzu, dass THG-Vermeidungskosten um ein Konzept zur Berücksichtigung weiterer Umwelt- und Gesundheitswirkungen erweitert werden müssen. Bei Klimaschutzmaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft und Landnutzung werden viele weitere, vor allem umweltbezogene Ziele in unterschiedlichem Maß beeinflusst, was eine systematische Ermittlung belastbarer Vermeidungskosten erschwert.



## 2 Minderungsziele und erwartete Entwicklung der Treibhausgasemissionen

### 2.1 Emissionsminderungsziele bis 2030 im Klimaschutzplan 2050

Im KSP 2050 wird eine Reduzierung der direkten THG-Emissionen aus der Landwirtschaft (Emissionsquellgruppe 3 Landwirtschaft) zuzüglich der direkten energiebedingter Emissionen aus Land- und Forstwirtschaft und Fischerei bis 2030 um 31-34 % ggü. 1990 festgelegt. Dies entspricht einer Reduzierung von 88 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 1990 bzw. 72 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2014 auf 58 bis 61 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 (BMUB, 2016, Tabelle 1 auf S. 8). Auf Basis der für 2014 im KSP 2050 ausgewiesenen Emissionen müssen bis 2030 noch 11 bis 14 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. vermindert werden.

Im KSP 2050 wird in Tabellen 1 zu den Zieldefinitionen (BMUB, 2016, Tabelle 1 auf S. 8) kein Ziel für das Handlungsfeld Landnutzung und Forstwirtschaft ausgewiesen. In Kapitel 5.6 „Klimaschutz in der Landnutzung und Forstwirtschaft“ wird festgelegt: „Derzeit ist der Sektor eine Nettosenke, die mit weiteren Maßnahmen gesichert werden soll“ (BMUB, 2016, S. 67). Seit 1990 bis 2017 wurden die Emissionen aus den Teil-Quellgruppen Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen durch Kohlenstoffeinbindungen in Wäldern und Holzprodukten jedes Jahr mehr als kompensiert, so dass der LULUCF-Bereich insgesamt im Saldo der Emissionen und C-Einbindungen als Nettosenke fungiert.

### 2.2 Emissionsminderungsziele bis 2030 in der EU-Klimapolitik

Die EU-Klimapolitik wird in der Periode von 2021 bis 2030 auf drei Säulen bauen: Das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) für große Energie- und Industrieanlagen, der Nicht-ETS- oder Lastenteilungsbereich und der LULUCF-Bereich. Unter den Lastenteilungsbereich fallen mit Ausnahme von LULUCF alle Emissionsquellen außerhalb des EU-Emissionshandelssystems, dazu zählen Gewerbe, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft. Ziele und Anrechnungsregeln für die Handlungsfelder Landwirtschaft und Landnutzung und Forstwirtschaft werden in Verordnung (EU) 2018/842, der sogenannten EU-Lastenteilungsverordnung sowie in Verordnung (EU) 2018/841, der sogenannten LULUCF-Verordnung definiert.

Gemäß Lastenteilungsverordnung müssen die Emissionen im Nicht-ETS-Bereich in Deutschland bis 2030 gegenüber 2005 um 38 % verringert werden (Art. 4 Abs. 1 und Anhang I). Die Mitgliedstaaten sollen von 2021 bis 2030 einen linearen Reduktionspfad einhalten, wobei ihnen begrenzte Flexibilität zum Ausgleich zwischen einzelnen Jahren eingeräumt werden. Dies bedeutet, dass neben dem Minderungsziel für 2030 auch der lineare Reduktionspfad Teil des Ziels ist. Wie die Emissionsminderung innerhalb der nationalen Nicht-ETS-Bereiche umgesetzt werden soll und

ob differenzierte Minderungsverpflichtungen für Teilsektoren festgelegt werden, ist in der EU-Verordnung nicht festgelegt. Darüber entscheidet der jeweilige Mitgliedstaat.

In Art. 4 der LULUCF-Verordnung wird festgelegt, dass in den gemäß Art. 2 anzurechnenden LULUCF-Kategorien die Emissionen den Abbau durch Kohlenstofffestlegung im Saldo nicht übersteigen dürfen (sogenanntes „no-debit“-Ziel). Kommt es zu einem Überhang von Emissionen, erlauben es die Flexibilitätsregeln in Art. 12 und 13, LULUCF-Lastschriften durch Gutschriften aus der Lastenteilungssäule auszugleichen. Umgekehrt kann bei Übererfüllung des „no-debit“-Ziels ein begrenzter Umfang an Gutschriften aus der LULUCF-Säule in die Lastenteilungssäule übertragen werden (Lastenteilungs-Verordnung Art. 7 Abs. 1 Buchstabe a und Anhang III). Weitere LULUCF-Gutschriften können auf andere EU-Mitgliedstaaten übertragen werden, damit diese das „no-debit“-Ziel für ihre nationale LULUCF-Säule sicherstellen können.

Die folgenden LULUCF-Kategorien sind gemäß Art. 2 auf das „no-debit“-Ziel anzurechnen, unter Berücksichtigung der in den Art. 5 bis 10 festgelegten Anrechnungsregeln:

- Bewirtschaftete Ackerflächen und bewirtschaftetes Grünland (Cropland and Grassland Management, CM & GM): Verpflichtende Anrechnung nach dem Prinzip des „net-net“-accounting, d.h. Netto-Anrechnung der Änderungen gegenüber der Emission / Kohlenstoffeinbindung im Mittelwert der Jahre 2005-2009. Dies bedeutet, der Mittelwert des Referenzzeitraums wird als „Nulllinie“ definiert, gegenüber dem die Veränderungen verbucht werden.
- Bewirtschaftete Feuchtgebiete sind ab 2026 nach den gleichen Regeln wie für CM & GM anzurechnen, davor können die Mitgliedstaaten eine Anrechnung auf freiwilliger Basis vornehmen.
- Weitere Teil-Quellgruppen (Siedlungen) sind freiwillig anrechenbar, nach den Regeln für CM & GM.
- Aufforstung und Entwaldung (Afforestation/Reforestation & Deforestation, AR & D): „Gross-net“-accounting, d.h. Anrechnung der absoluten Höhe der Emission / Kohlenstoffeinbindung in allen Flächen, die seit einem Referenzzeitpunkt aufgeforstet oder entwaldet wurden, für einen Übergangszeitraum von 20 Jahren nach der betreffenden Flächennutzungsänderung.
- Waldbewirtschaftung und Holzprodukte (Forest Management und Harvested Wood Products, FM & HWP): Anrechnung von der Emission / Kohlenstoffeinbindung infolge von Änderungen des Kohlenstoffspeichers der Wälder und der Holzprodukte gegenüber einem Referenzszenario („forest reference level“, FRL). Das FRL wird durch Fortschreibung der bisherigen Waldbewirtschaftung und Holzverwertung unter Berücksichtigung der Baumarten und Altersklassen im Wald für den Zeitraum der Verpflichtungsperiode festgelegt. In der LULUCF-Verordnung Art. 8 Abs. 5 heißt es „Der Referenzwert für Wälder muss auf einer Fortsetzung der nachhaltigen Waldbewirtschaftungspraxis beruhen, die im Zeitraum von 2000 bis 2009 dokumentiert wurde, in Bezug auf dynamische altersbezogene Merkmale des Waldes ...“. Durch den FRL wird die Fortschreibung der bisherigen Waldbewirtschaftung und Holzverwertung als „Nulllinie“ definiert.

Für Deutschland ist gemäß Lastenteilungs-Verordnung (Art. 7 Abs. 1 Buchstabe a und Anhang III) im Zeitraum von 2021 bis 2030 eine maximale Übertragung von LULUCF-Gutschriften in Höhe von 22,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zur Anrechnung auf die Reduktionsverpflichtungen in der Lastenteilungssäule erlaubt. Die Festlegung des Umfangs der in die Lastenteilungssäule transferierbaren LULUCF-Gutschriften erfolgte durch die EU-Kommission auf Grundlage nationaler Daten zum Anteil der Emissionen der Landwirtschaft an der Lastenteilungssäule. Die EU macht jedoch keine Vorgaben, ob die Landwirtschaft durch den Transfer von LULUCF-Gutschriften und die dadurch entstehende Flexibilität bei der Festlegung nationaler Ziele für die Lastenteilungssäule begünstigt werden soll. Diese Entscheidung obliegt den Mitgliedstaaten. Für die Mitgliedstaaten wird es wichtig sein zu antizipieren, in welchem Umfang im LULUCF-Bereich Gut- oder Lastschriften entstehen werden, um zu planen, wie Gutschriften verwendet oder wie Lastschriften ausgeglichen werden sollen.

Ein zentraler Unterschied der EU-Zielsetzung für den LULUCF-Bereich, dem no-debit-Ziel gegenüber dem im KSP 2050 verankerten Ziel ist es, dass es im KSP 2050 keine besonderen Anrechnungsregeln und Referenzen für die Bewertung und Verrechnung der Emissionen und Kohlenstoffbindungen im LULUCF-Bereich festgelegt sind. In der vom BMU beauftragten, sektorübergreifenden Folgenabschätzung (Repenning et al., 2019) werden dann auch die absoluten Emissionen und Kohlenstoffbindungen im LULUCF-Bereich verrechnet, um das Ziel („LULUCF-Sektor soll als Nettosenke gesichert werden“) zu überprüfen. Im Gegensatz dazu wird das no-debit-Ziel der EU auf Grundlage der tatsächlichen Entwicklung im Vergleich zu Referenzwerten bzw. -zeiträumen überprüft. Da nach EU-LULUCF-Verordnung die Emissionen aus Acker- und Grünland zwischen 2005 und 2009 als Referenz, also quasi als „Null-Linie“ definiert sind, fällt das no-debit-Ziel der EU gegenüber dem Ziel im KSP 2050 deutlich weniger ambitioniert aus.

### 2.3 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft, Landnutzung und Forstwirtschaft

Auf die Quellgruppe 3 Landwirtschaft entfallen die THG-Emissionen aus der Verdauung der Nutztiere (Methan aus „Fermentation“), aus Wirtschaftsdüngermanagement (Methan und Lachgas), landwirtschaftlichen Böden (direkte Lachgasemissionen aus Stickstoffdüngung, Ernteresten, Ausscheidungen von Weidetieren und aus entwässerten Moorböden, und indirekte Lachgasemissionen aus gasförmigen N-Verlusten und N-Austrägen in die Gewässer), Kalkung und Harnstoffdüngern (Kohlendioxid) sowie sonstigen Quellen (Methan und Lachgas aus der Biogasproduktion auf Basis pflanzlicher Gärsubstrate). Die im KSP 2050 zur Landwirtschaft gerechneten, direkten energiebedingten Emissionen aus Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei werden in der Quellgruppe 1 (Energie, Teil-Quellgruppe 1.A.4.c) berichtet und stammen aus der Verbrennung fossiler Heiz- und Treibstoffe.

In Tabelle 2 wird gezeigt, dass die Emissionen der Quellgruppe Landwirtschaft plus der direkten energiebedingten Emissionen von 1990 bis 2016 von 90 auf knapp 72 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gesunken sind. Dies entspricht einem Rückgang um 20 % gegenüber 1990. Dies ist auf den Tierbestandsabbau in den östlichen Bundesländern nach 1990, den bis 2012 anhaltenden, weiteren Abbau der

Rinderbestände im Zusammenhang mit der agrarpolitischen Begrenzung der Milchproduktion durch die Milchquote und steigende Milchleistungen pro Kuh und Jahr, auf technische Fortschritte in der Stickstoffdüngung und Energieeinsparungen zurückzuführen. Nach 2010 sind die Emissionen wieder leicht angestiegen, vor allem aufgrund des weiteren Ausbaus der Biogasproduktion und der leichten Erhöhung des Milchkuhbestands im Vorfeld der Aufhebung der Milchquote im Jahr 2015. Die Angaben für die Jahre 2020 bis 2035 in Tabelle 2 entsprechen dem Maßnahmen-Szenario (MMS) im Projektionsbericht 2019 (Bundesregierung, 2019). Demnach gehen die Emissionen der Quellgruppe langsam zurück, und zwar aufgrund der Annahmen zur Umsetzung der folgenden Maßnahmen:

- „Mehr Gülle in Biogasanlagen“, d. h. Erhöhung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern auf 30 Prozent des gesamten Wirtschaftsdüngeraufkommens
- „Ausbau Ökolandbau“: Ausdehnung der ökologisch bewirtschafteten Fläche auf 12,5 % der LF
- „N-Ausnutzung/ Senkung N-Bilanz“: Einhaltung eines Bilanzsaldos von 70 kg N/ha LF in 2030
- „Umsetzung NEC-Richtlinie“: Senkung der Ammoniakemissionen um 29 % ggü. 2005.

Die genannten Maßnahmen gehören zu den Maßnahmenoptionen zur Umsetzung des Klimaschutzplans, bei der Wirtschaftsdüngervergärung und bei Ökolandbau sind aber höhere Umsetzungsraten denkbar. Ohne Umsetzung der vier Maßnahmen und ohne Emissionsminderungen im Energiebereich gegenüber 2016 wird bis 2030 eine leichte Erhöhung der Emissionen im KSP 2050-Sektor Landwirtschaft erwartet. Der Minderungsbedarf ohne diese Maßnahmen bis 2030 steigt unter diesen Bedingungen auf ca. 11,6 bis 14,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. an.

Die aktuellen Daten der THG-Berichterstattung aus dem Jahr 2019 weisen für das Jahr 2014 für den KSP 2050-Sektor Landwirtschaft aufgrund methodischer Änderungen im Rahmen der Qualitätssicherung und Verbesserung der Genauigkeit der Berichterstattung Emissionen in Höhe von 73,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf, das sind 1,5 Mio. t mehr als im KSP 2050 für die Festlegung der Minderungsziele zugrunde gelegt wurde. Da sich die Emissionen im Jahr 1990 auch nach Neuberechnung nicht wesentlich geändert haben, erhöht sich der Minderungsbedarf nach Zieldefinition im KSP 2050 mit den aktuellen Emissionsdaten auf 13 bis 16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Für das Jahr 2018 wurde vom Thünen-Institut eine Vorschätzung der Emissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft auf Basis vorläufiger statistischer Daten vorgenommen. Die Emissionen sind demnach gegenüber 2016 um knapp 3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zurückgegangen, das entspricht 4,4 % der Emissionen der Quellgruppe Landwirtschaft im Jahr 2016. Grund für den Rückgang sind verringerte Tierzahlen (Milchkühe -2,3 %, andere Rinder -2,9 %, Schweine -4,1 %) und ein Rückgang der Lachgasemissionen aus Düngung und Ernteresten um 7 %. Der Rückgang der Lachgasemissionen könnte auf die Trockenheit im Jahr 2018 zurückzuführen sein. Die bisher vorliegenden Absatzzahlen für Stickstoff-Düngemittel für das Wirtschaftsjahr 2018/19, die einen langjährigen Tiefststand erwarten lassen, sprechen jedoch dafür, dass auch andere Gründe wie z. B. die Umsetzung der Düngerechtsreform von 2017 eine Rolle spielen. Auch der Rückgang der Schweinehaltung im Jahr 2018 kann damit in Verbindung stehen. Der Absatz von Stickstoff-Düngemitteln hat von 2016/17 auf 2017/18 um 10 % abgenommen, und für das zweite Halbjahr 2018 um 22 %

gegenüber dem gleichen Vorjahreszeitraum (DESTATIS, 2018a, 2018b und 2019). Aus den kurzfristigen Entwicklungen lassen sich aber noch keine belastbaren Rückschlüsse über langfristige Trends ziehen.

**Tabelle 2:** Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft plus direkten energiebedingten Emissionen gemäß Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) 1990-2035 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
<b>Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.</b>								
<b>3. Landwirtschaft</b>	<b>79,4</b>	<b>63,3</b>	<b>62,6</b>	<b>65,2</b>	<b>63,2</b>	<b>62,0</b>	<b>61,5</b>	<b>61,5</b>
A. Fermentation	34,7	24,9	24,7	24,5	24,8	24,7	24,7	24,7
B. Düngewirtschaft	13,2	10,9	10,3	9,9	10,0	9,1	9,0	9,0
D. Landwirtschaftliche Böden	28,4	24,8	24,3	26,4	24,4	24,2	23,9	23,9
G. Kalkung	2,7	1,7	1,7	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9
H. Harnstoffanwendung (nur CO <sub>2</sub> -Freisetzung)	0,5	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8
J. Andere (Vergärung von Energiepflanzen)	0,0	0,3	1,1	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4
<b>darin enthaltende Maßnahmenwirkungen (Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS))</b>								
Mehr Gülle in Biogasanlagen					0,0	0,8	0,8	0,8
Ausbau Ökolandbau					0,1	0,3	0,4	0,4
N-Ausnutzung/ Senkung N-Bilanz					2,7	2,6	2,5	2,5
Umsetzung NEC-Richtlinie					0,2	0,4	0,8	0,8
Summe der Einzelmaßnahmen					3,1	4,2	4,6	4,6
<b>1. Energie</b>								
1.A.4.c Land- u. Forstwirtschaft, Fischerei	10,6	5,9	6,1	6,6	6,5	6,3	5,9	5,3
<b>Sektor Landwirtschaft nach KSP 2050 (Quellgruppe 3 Landwirtschaft + 1.A.4.c)</b>								
ab 2020 „MMS-Szenario“	90,0	69,2	68,7	71,8	69,7	68,3	67,4	66,8
ab 2020 "ohne Maßnahmen"	90,0	69,2	68,7	71,8	72,9	72,7	72,6	72,6

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlagen von Daten im Projektionsbericht 2019 (Bundesregierung, 2019).

Der Sektor „Landnutzung und Forstwirtschaft“ entspricht der Quellgruppe 4 (LULUCF, Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft). Darunter fallen Emissionen aus und Kohlenstoffeinbindungen in Wäldern, Ackerland, Grünland, Feuchtgebieten, Siedlungen und Holzprodukten. Bei den Emissionen handelt es sich zum weit überwiegenden Teil um Kohlendioxid, das in erster Linie aus entwässerten Moorböden oder bei Umwandlung von Grünland freigesetzt wird. „Moorböden“ umfassen in diesem Bericht entsprechend dem Treibhausgasinventar sämtliche „organische Böden“, d.h. Moorböden i.e.S. und weitere kohlenstoffreiche Böden (z. B. Anmoore), die vergleichbar hohe Mengen an THG emittieren. Emissionen aus entwässerten Moorböden werden für alle Landnutzungskategorien berichtet. In Tabelle 3 wird die Entwicklung der Emissionen und Senken in der Quellgruppe LULUCF auf Basis des MMS-Szenarios des Projektionsberichts 2019 gezeigt.

In der Projektion sind die Wirkungen von drei Maßnahmen enthalten:

- Verringerte Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr: Begrenzung der Nutzung neuer Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke bis 2030 auf unter 30 Hektar pro Tag.
- Grünlanderhaltung: Die Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland kommt aufgrund der in Deutschland restriktiv umgesetzten Greening-Auflagen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik zum Erliegen, die Regelung wird nach 2020 fortgeschrieben.
- Moorbodenschutz: Alle moorreichen Länder haben Moorschutzprogramme aufgestellt und fördern Moorschutzprojekte. Es wird angenommen, dass bis zum Jahr 2030 16.000 ha Acker auf Moorböden zu Grünland umgewandelt werden, 53.700 ha Grünland und 17.900 ha entwässerte oder suboptimal vernässte, derzeit nicht genutzte Moorböden („Feuchtgebiete“ im THG-Inventar) vollständig vernässt werden

Der LULUCF-Bereich entwickelt sich im Zeitraum zwischen 2016 und 2020 von einer Senke in eine Quelle für Treibhausgase. Die mit dem Modell WEHAM projizierte Vorratsentwicklung im Wald führt zu einer Abnahme der Senkenleistung des Waldes, die die Emissionen der anderen Landnutzungen nicht mehr kompensieren kann. Im verwendeten WEHAM-Basiszenario werden das momentan übliche waldbauliche Management und die sich verändernde Altersstruktur des Waldes berücksichtigt. Die Senkenwirkung der Wälder reduziert sich durch die im Zusammenhang mit der Verschiebung des Altersklassenverhältnisses veränderte Holznutzung von ursprünglich ca. 75 Mt CO<sub>2</sub>-Äq. in 1990 auf ein Minimum von ca. 11 Mt CO<sub>2</sub>-Äq. in 2020 und steigt anschließend wieder etwas an.

Die durch die modellierte Vorratsveränderung im Wald veränderten THG-Emissionen übertreffen alle maßnahmenbedingten Änderungen in den anderen LULUCF-Teilkategorien. Die Emissionen aus Ackerland nehmen aufgrund der Annahme, dass ab dem Jahr 2016 keine relevante Umwandlung von Grünland in Ackerland mehr stattfindet, bis 2035 deutlich ab. Da erwartet wird, dass die Netto-Emission kurzfristig Größenordnungen von 10 bis 30 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erreicht, und weil Maßnahmen in der Landnutzung nicht kurzfristig umgesetzt werden können, ist das Ziel im KSP 2050, durch Maßnahmen den LULUCF-Bereich als Netto-Senke zu erhalten, kurz- bis mittelfristig nicht realistisch erreichbar.

**Tabelle 3:** Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Quellgruppe Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft gemäß Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) 1990-2035 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr

	1990	2005	2010	2016	2020	2025	2030	2035
<b>Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.</b>								
<b>4. LULUCF</b>	<b>-31,3</b>	<b>-12,1</b>	<b>-16,4</b>	<b>-14,5</b>	<b>29,5</b>	<b>11,3</b>	<b>19,0</b>	<b>18,8</b>
A. Wälder	-75,3	-40,7	-58,0	-57,7	-11,7	-33,5	-22,0	-21,4
B. Ackerland	12,9	12,5	14,3	15,2	14,2	13,5	11,8	10,6
C. Grünland	26,2	24,9	23,9	22,6	22,6	22,1	21,5	21,4
D. Feuchtgebiete	4,1	4,2	4,1	4,1	4,2	4,5	5,1	5,4
E. Siedlungen	2,0	2,1	3,4	3,6	3,8	3,9	3,7	3,4
G. Holzprodukte	-1,3	-15,0	-4,1	-2,3	-3,7	0,8	-1,1	-0,7
<b>darin enthaltende Maßnahmenwirkungen (Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS))</b>								
Verringerte Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr					-0,1	-0,3	-0,6	-1,0
Grünlanderhaltung					-0,8	-1,7	-2,6	-3,4
Moorbodenschutz					0,0	-0,5	-0,7	-0,5
Summe der Einzelmaßnahmen					-0,9	-2,5	-3,9	-4,9
ab 2020 "ohne Maßnahmen"	-31,3	-12,1	-16,4	-14,5	30,4	13,7	22,9	23,7

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlagen von Daten im Projektionsbericht 2019 (Bundesregierung, 2019).

## 2.4 Überlegungen zur Sektorabgrenzung, zur Festlegung sektoraler Minderungsziele und zur Abstimmung nationaler und EU-Ziele

### 2.4.1 Sektorabgrenzung und Festlegung sektoraler Minderungsziele

Die Verwendung biogener Rohstoffe für materielle und energetische Zwecke, wie Bau- und Brennholz, Biogas oder Biotreibstoffe ermöglicht durch die Substitution energie- und emissionsintensiverer Rohstoffe und fossiler Energieträger die Minderung von THG-Emission in anderen Sektoren. Daher darf die land- und forstwirtschaftliche Biomasseproduktion nicht isoliert von der Verwendung und ihren THG-Wirkungen bewertet werden. Im KSP 2050 werden dagegen Minderungsziele für die einzelnen Handlungsfelder festgelegt, ohne solche sektorübergreifenden Zusammenhänge systematisch zu berücksichtigen. Die Verengung der Bewertung von Maßnahmen auf sektorbezogene Wirkungen kann zu Fehlentscheidungen führen, wenn Auswirkungen in anderen Emissionssektoren nicht in die Wertung einbezogen werden, oder sektorübergreifende

Synergien nicht genutzt werden. Im Klimaschutz müssen die Netto-Wirkungen von Maßnahmen zur Grundlage der Bewertung gemacht werden, denn eine bloße Verlagerung der Probleme ist nicht zielführend zur Erreichung der globalen THG-Minderungsziele. Deshalb sind sowohl Wechselwirkungen mit anderen, nationalen Sektoren als auch Effekte auf internationaler Ebene in klimapolitische Bewertungen und Entscheidungen einzubeziehen. Beispielsweise darf die Holzentnahme in der Forstwirtschaft nicht nur als Abbau des Kohlenstoffvorrats im Wald bewertet werden, bei stofflicher Nutzung ggf. verbunden mit dem Erhalt und Aufbau des Holzproduktespeichers. Die mit der Holznutzung verbundene Vermeidung von THG-Emissionen alternativer Rohstoffe ist zu berücksichtigen. Entsprechend müssen bei Nutzungsverzicht oder Extensivierung der Land- und Forstwirtschaft auch die möglichen Verlagerungseffekte auf internationaler Ebene betrachtet werden. Durch solche „leakage“-Effekte können die national angerechneten Erfolge im Klimaschutz auf globaler Ebene relativiert werden.

Im Klimaschutzgutachten 2016 warnen die Beiräte des BMEL vor kleinteiligen, sektorspezifischen und quantifizierten Minderungszielen, solange sich diese nicht an den unterschiedlichen Kosten der THG-Vermeidung orientieren (Weingarten et al., 2016, S. 316). Die im KSP 2050 festgelegten, sektoralen Minderungsziele werfen vor dem Hintergrund sektorübergreifender Zusammenhänge und der schwachen Datenlage zu Vermeidungskosten die Frage auf, wie die Aufteilung von Minderungsverpflichtungen weiterentwickelt und angepasst werden soll, und welche Alternativen es zu dem System starrer Sektorverpflichtungen gibt, ohne das nationale, klimaschutzpolitische Anspruchsniveau aufzugeben.

Für die Umsetzung des Maßnahmenprogramms und die Erreichung der Ziele des KSP 2050 steht zur Diskussion, dass die einzelnen Ressorts die volle Verantwortung für die Erreichung der in ihren Kompetenzbereich fallenden Sektorziele übernehmen sollen. In diesem Zusammenhang ist nach der Verteilung der Entscheidungs-, Gestaltungs- und Finanzierungskompetenz für die Umsetzung sektorbezogener Maßnahmen zu fragen. Eine Übertragung der vollen Verantwortung für Sektorziele setzt eine möglichst hohe und eigenständige Gestaltungsfreiheit der Ressorts voraus. In vielen Fällen werden politische Handlungsfelder jedoch ressortübergreifend gestaltet (z. B. in der Bioökonomie), weshalb eine ressort- und sektorübergreifende Herangehensweise erforderlich ist. Hinzu kommt, dass den Ländern und Kommunen in vielen Handlungsfeldern eine wichtige Rolle bei der Ausgestaltung und Umsetzung von Maßnahmen zukommt, was eine weitere Aufteilung der Verantwortlichkeiten mit sich bringt.

### 2.4.2 Abstimmung nationaler und EU-Ziele

Für den Bereich LULUCF besteht Bedarf an Abstimmung zwischen nationalen und EU-Zielen. Im KSP 2050 wird gefordert, den „LULUCF-Sektor“ durch Maßnahmen auch künftig als Nettosenke zu sichern (BMUB, 2016, S. 67). Insbesondere soll die Senkenleistung des Waldes erhalten und verbessert werden. Das nationale Ziel „Nettosenke“ basiert auf dem Saldo der in der Emissionsberichterstattung ausgewiesenen, absoluten THG-Emissionen und Kohlenstoffeinbindungen. Es entspricht nicht dem in der LULUCF-Verordnung definierten „no-debit“-Ziel auf EU-Ebene. Die in

Kapitel 2.2 beschriebenen Anrechnungsregeln gemäß LULUCF-Verordnung mit definierten Referenzen für die Berechnung von Gut- und Lastschriften werden für das KSP 2050-Ziel nicht angewendet.

Die Definition von Zielen für die Quellgruppe LULUCF ist u. a. deshalb so schwierig, weil hier sowohl positive (für Emissionen) und negative Werte (für Kohlenstofffestlegungen) ausgewiesen werden. Eine Vorgabe zur prozentualen THG-Minderung entsprechend der Vorgehensweise in anderen Quellgruppen oder Sektoren ist daher für die Quellgruppe LULUCF, deren Netto-Emissionen insgesamt bei Null liegen können, mathematisch nicht sinnvoll darstellbar. Die zwei unterschiedlichen Zieldefinitionen auf nationaler und EU-Ebene erscheinen ähnlich („no-debit“ versus „Netto-Senke“), unterscheiden sich aber grundlegend bezüglich der Anrechnungsregeln („gegen eine Referenz“ gemäß LULUCF-Verordnung versus „gegen die Atmosphäre“ gemäß KSP 2050).

Im künftigen klimapolitischen Rahmen auf nationaler und auf EU-Ebene kann es durch die Festlegung unterschiedlicher Ziele und Anrechnungsregeln für die Quellgruppe LULUCF zu den folgenden Problemen kommen:

- Ein Transfer von LULUCF-Gutschriften in die Lastenteilungssäule kann das klimaschutzpolitische Ambitionsniveau in anderen Sektoren senken. Deshalb begrenzt die LULUCF-Verordnung den Umfang übertragbarer LULUCF-Gutschriften. Laut KSP sollen Anreize für Klimaschutzmaßnahmen in der LULUCF-Säule etabliert werden, um die Klimaschutzziele bis 2030 in anderen Sektoren (d. h. in der Lastenteilungssäule) nicht infrage zu stellen (BMUB, 2016, S. 25). Fragen der Potentiale für eine Mobilisierung und den Transfer von LULUCF-Gutschriften in die Lastenteilungssäule in Höhe von bis zu 22,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zwischen 2021 bis 2030 und Fragen zur Anrechnung solcher Gutschriften auf Ziele für andere Sektoren werden im KSP 2050 nicht angesprochen.
- Das Nebeneinander des nationalen und des EU-Ziels für den LULUCF-Bereich sorgt in Verbindung mit der Komplexität der Regelungen und des Fehlens einer transparenten Aufarbeitung der Thematik für Verwirrung, u. a. in den für Landnutzungspolitiken zuständigen Länderministerien.
- Ob das „no-debit“-Ziel in Deutschland eingehalten kann und wie viele Gutschriften generiert werden können, kann angesichts der komplexen Anrechnungsregeln insbesondere für die Forstwirtschaft noch nicht vorhergesagt werden. Wenn das „no-debit“-Ziel erreicht und der Umfang der in die Lastenteilungssäule übertragbaren Gutschriften ausgeschöpft werden sollte, fehlen im Zielsystem der EU Anreize für weitere Klimaschutzmaßnahmen in der LULUCF-Säule. Im Vergleich zu Gutschriften aus der Lastenteilungssäule werden solche „überschüssigen“ LULUCF-Gutschriften nicht gleichwertig sein.
- Im Vergleich zu den EU-Zielen und Anrechnungsregeln für LULUCF sind die Ziele im KSP 2050 deutlich ambitionierter. Die im LULUCF-Bereich erwarteten Netto-Emissionen sollen laut KSP 2050 kompensiert werden. Eine hohe Emissionsminderung im LULUCF-Bereich würde nach EU-Anrechnungsregeln dazu führen, dass in Deutschland nach Einhaltung des

leichter erreichbaren „no-debit“-Ziels und nach den möglichen Übertragungen in die Lastenteilungssäule „überschüssige“ LULUCF-Gutschriften generiert werden.

- Es ist zu entscheiden, ob künftig gemäß LULUCF-Verordnung ein Transfer dieser ggf. entstehenden, „überschüssigen“ LULUCF-Gutschriften an andere Mitgliedstaaten zugelassen werden soll, mit dem Ziel, EU-weit eine kostenwirksame Umsetzung zu fördern, oder ob der Transfer untersagt oder begrenzt werden soll, um die Zusätzlichkeit nationaler Maßnahmen in der LULUCF-Säule abzusichern („Stilllegung“ von Gutschriften). Eine solche Absicherung nationaler Klimaschutzbeiträge fordert z. B. die Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (2019, S. 75): Bei Stilllegung von Kohlekraftwerken sollen in entsprechendem Umfang CO<sub>2</sub>-Zertifikate im Rahmen des Europäischen Emissionshandels stillgelegt werden, um eine ausreichende Wirksamkeit der nationalen Maßnahmen auch im Rahmen des Europäischen Emissionshandels sicherzustellen.

### 3 Folgenabschätzung für Maßnahmen zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 bis zum Jahr 2030

#### 3.1 Im Klimaschutzplan 2050 vorgeschlagene Maßnahmen

##### Landwirtschaft

Für die Landwirtschaft wird das Leitbild „Emissionsminderung und Steigerung der Ressourceneffizienz in einer nachhaltigen Agrarproduktion“ verfolgt. Potentielle Zielkonflikte zwischen der Sicherung der Ernährung, dem Schutz des Klimas, der Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen und der Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen sollen möglichst vermieden werden. Zu berücksichtigen ist, dass aufgrund biologischer Prozesse eine Minderung auf null Emissionen in der Landwirtschaft nicht möglich ist. Im KSP 2050 werden die folgenden Maßnahmen genannt:

- (1) Agrarpolitische Förderung (als Finanzierungsinstrument zur Senkung der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft)
- (2) Weitere Senkung der Stickstoffüberschüsse (Ziel: 70 kg N/ha Gesamtbilanzsaldo in 2030), Ammoniakemissionen sollen gemäß Zielen der NERC-RL gemindert werden,
- (3) Erhöhung des Flächenanteils des Ökologischen Landbaus
- (4) Stärkung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und landwirtschaftlichen Reststoffen (Bioenergienutzungen aus Energiepflanzen reduzieren, aus Rest- und Abfallstoffe ausbauen)
- (5) Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung, Forschung, Gesamtstrategie zur Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung bis 2021
- (6) Vermeidung von Lebensmittelabfällen
- (7) Entwicklung innovativer Klimaschutzkonzepte im Agrarbereich

##### Flächennutzung

Als Leitbild für die Flächennutzung außerhalb des Waldes werden im KSP 2050 die folgenden Bereiche thematisiert: Moorböden, Torfabbau, Dauergrünland und Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche. Im KSP 2050 werden die folgenden Maßnahmen aufgeführt:

- (1) Erhalt von Dauergrünland
- (2) Schutz von Moorböden
- (3) Reduzierung des Torfeinsatzes als Kultursubstrat
- (4) Reduzierung des Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2020 auf 30 ha pro Tag

## Forstwirtschaft

Die Zielsetzung für die Forst- und Holzwirtschaft im KSP 2050 lautet: „Für das Leitbild 2050 stehen in diesem Handlungsfeld Erhalt und Verbesserung der Senkenleistung des Waldes im Vordergrund. Hinzu kommen, wie es bereits die Zielsetzung der Waldstrategie 2020 beschreibt, die Erschließung des CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzials der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und der damit eng verbundenen Holzverwendung, der Erhalt von Dauergrünland, der Schutz von Moorböden und die Klimapotentiale der natürlichen Waldentwicklung“ (KSP 2050, S. 69). Das Leitbild des KSP wird durch Zwischenziele („Meilensteine 2030“) unterstützt:

- Anpassung der Wälder an den Klimawandel (standortgerechte, vitale, naturnahe und an den Klimawandel angepasste, nachhaltig bewirtschaftete und produktive Wälder mit überwiegend heimischen Baumarten)
- Vorrang der stofflichen Verwendung inklusive Kaskadennutzung
- Nur „nachhaltige“ Holz- und Bioenergieträgerimporte
- optimierte („intelligente“) Holzverwendung (Steigerung der Ressourcen- und Material-effizienz)
- Reduktion von Emissionen aus organischen Böden durch Behebung des Forschungsdefizits bezüglich Nutzungsalternativen
- Reduzierung des Flächenverbrauchs

Der KSP 2050 nennt mehrere Maßnahmen im Bereich Waldbewirtschaftung (Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung von Wäldern), die zur Erreichung der Ziele eingesetzt werden sollen:

- (1) Waldumbau (Anpassung der Wälder durch den Anbau von klimatoleranten Baumarten sowie Herstellung einer klimaangepassten Baumartenmischung), z. B. durch Aufforstung, Jungbestandspflege, Durchforstung
- (2) Waldklimafonds (Förderung von Maßnahmen zum Erhalt und Ausbau des CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzials von Wald und Holz sowie zur Anpassung der deutschen Wälder an den Klimawandel)
- (3) Ausweitung der Waldfläche mit überwiegend heimischen Baumarten, Ausgleichs- und Kompensationsflächen bei Rodung mindestens mit gleicher Fläche
- (4) Stärkere Berücksichtigung von Klimaschutz im Bereich Forsten der GAK mit dem Ziel, verstärkt naturnahe, produktive und an den Klimawandel angepasste Wälder mit überwiegend heimischen Baumarten zu fördern und zu pflegen;
- (5) Stärkung der internationalen Zusammenarbeit bei Schutz, Wiederaufbau und nachhaltiger Bewirtschaftung der Wälder
- (6) Zertifizierung als Instrument zum Nachweis von Holzerzeugnissen aus legaler und nachhaltiger Waldwirtschaft, Ausweitung bestehenden EU-Nachhaltigkeitskriterien auf feste Bioenergieträger

- (7) Bodenschutz, Bodenpflege (Reduktion atmosphärische Einträge von Stickstoff und Säuren, die die wichtigen Funktionen der Waldböden für die Vitalität der Wälder, den Klimaschutz und die Biodiversität gefährden, Wasserstandsmanagement in organischen Waldböden, bodenpflegliche Holzernteverfahren)
- (8) Primat der stofflichen Nutzung, Kaskadennutzung (stoffliche vor energetischer Verwendung)
- (9) Abbau von Hemmnissen, die den Einsatz von langlebigen Holzprodukten erschweren (aufgrund baurechtlicher Vorschriften oder materialtechnischer Eigenschaften, zusätzliche Anwendungsbereiche für Produkte aus Laubholz erschließen, Forschung über Verbundwerkstoffe intensivieren, neue, innovative Verwendungen von Holzprodukten und -werkstoffen entwickeln)
- (10) verbesserte Materialeffizienz in der stofflichen und energetischen Verwendung, Schließung der Stoff- und Wirtschaftskreisläufe
- (11) Förderung des klimabewussten Verhaltens der Verbraucher

### 3.2 Folgenabschätzung für einzelne Maßnahmen

Für das Maßnahmenprogramm zur Umsetzung des KSP 2050 hat das BMEL zehn Maßnahmen entwickelt, die in Tabelle 4 aufgeführt sind. Dabei wurden sowohl Maßnahmen aus dem KSP 2050 aufgegriffen und konkretisiert, als auch neue Vorschläge vorgelegt, z. B. eine Maßnahme zum Humusaufbau in Ackerböden. Für die Maßnahmen liegen Beschreibungen der technischen und organisatorischen Klimaschutzoptionen vor. Eine weitere Konkretisierung politischer Maßnahmen zur Ausschöpfung der mit den Maßnahmen verbundenen Emissionsminderungspotentiale steht in vielen Fällen noch aus. In vielen adressierten Politikfeldern gibt es laufende politische Prozesse, wie etwa die Weiterentwicklung der Düngegesetzgebung, die Entwicklung eines neuen Luftreinhalteprogramms, die Entwicklung einer Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Moorbodenschutz und einer Strategie zur Minderung der Torfnutzung, deren Ergebnisse noch nicht vorliegen.

Auf Basis der Maßnahmengliederung des BMEL wurde im Thünen-Institut anhand der in Tabelle 1 beschriebenen Kriterien eine Analyse der Maßnahmen erarbeitet. Da noch keine vollständigen Informationen über die geplante, konkrete Ausgestaltung politischer Maßnahmen zur Umsetzung vorliegen, werden Annahmen zum Grad der Maßnahmenumsetzung gemacht und Möglichkeiten zur Umsetzung vorgelegt. Diese sollen die politische Diskussion informieren, den laufenden Diskussionsprozessen aber nicht vorgreifen. Hinzu kommt, dass Folgenabschätzungen für andere Sektoren, abgesehen von der sektorübergreifenden Folgenabschätzung des BMU (Repenning et al., 2019), noch nicht vorliegen. Daher ist diese Analyse als Zwischenstand zu verstehen, der weiterentwickelt werden soll.

**Tabelle 4:** In der Folgenabschätzung analysierte Maßnahmen

<b>Maßnahmenvorschläge des BMEL</b>	<b>Folgenabschätzung für einzelne Maßnahmen in diesem Bericht</b>
1. Senkung der Stickstoffüberschüsse und –emissionen einschließlich Minderung der Ammoniakemissionen und gezielte Verminderung von Lachgasemissionen	3.2.1.1 Senkung der Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft 3.2.1.2 Senkung der Ammoniakemissionen der Landwirtschaft 3.2.1.3 Gezielte Verminderung von Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden
2. Energetische Nutzung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und landwirtschaftlicher Reststoffe in Biogasanlagen	3.2.2 Vergärung und gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft
3. Emissionsminderung in der Tierhaltung	3.2.3.1 Senkung der spezifischen, Tier- und Produktbezogenen THG-Emissionen 3.2.3.2 Abbau und Umbau von Tierbeständen und Reduzierung des Verbrauchs tierischer Lebensmittel 3.2.3.3 Klimaschonende Produktion und Verwendung von Futtermitteln
4. Ausweitung der ökologisch bewirtschafteten Fläche	3.2.4 Erhöhung des Flächenanteils des Ökologischen Landbaus
5. Erhöhung der Energieeffizienz	3.2.5 Energieeinsparungen und Substitution fossiler Energieträger in der Landwirtschaft
6. Humusaufbau im Ackerland	3.2.6 Erhaltung und Aufbau von Humus in mineralischen Ackerböden
7. Erhalt von Dauergrünland	3.2.7 Erhaltung der Dauergrünlandfläche
8. Schutz von Moorböden einschl. Reduzierung der Torfverwendung in Kultursubstraten	3.2.8.1 Schutz von Moorböden 3.2.8.2 Reduzierung des Torfeinsatzes als Kultursubstrat
9. Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder und Holzverwendung	3.2.9.1 Anpassung der Wälder an den Klimawandel 3.2.9.2 Nadelholzoptimierte Veränderung der Baumartenzusammensetzung 3.2.9.3 Verstärkte Verwendung klimafreundlicher Baustoffe wie Holz 3.2.9.4 Internationale nachhaltige Waldbewirtschaftung und Waldschutz
10. Vermeidung von Lebensmittelabfällen	3.2.10 Vermeidung von Lebensmittelabfällen

### 3.2.1 Senkung der Stickstoffüberschüsse, Ammoniak- und Lachgasemissionen

Diese Maßnahme wird in drei Teilmaßnahmen „Senkung der Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft“, „Senkung der Ammoniakemissionen der Landwirtschaft“ und „gezielte Verminderung von Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden“ beschrieben und bewertet. Die beiden zuerst genannten Maßnahmen zielen auf eine Verminderung der Stickstoffumsätze in der Landwirtschaft ab, sie hängen unmittelbar zusammen und bedingen einander. Die Senkung der landwirtschaftlichen Stickstoffüberschüsse wird durch die Vermeidung gasförmiger Ammoniakemissionen in Verbindung mit einer höheren N-Ausnutzung unterstützt und ermöglicht. Dabei ist eine Verlagerung der Stickstoffemissionen von Ammoniakemissionen hin zur Nitratauswaschung zu vermeiden. Die gezielte Verminderung von Lachgasemissionen soll hingegen die Lachgasentstehung bei gegebenen Stickstoffumsätzen in der Landwirtschaft vermindern.

Eine Senkung der Stickstoffumsätze in der Landwirtschaft wird im Folgenden als eine Reduzierung der Zufuhr chemisch-synthetischer Stickstoffdünger durch Steigerung der N-Ausnutzung und ohne Veränderungen der Agrarstruktur untersucht. Eine Reduzierung der Tierhaltung oder der Biogasproduktion aus Energiepflanzen wäre als eigene Maßnahme zu analysieren. Angesichts der noch vorhandenen Effizienzreserven in der N-Düngung ist eine Reduzierung der N-Mineraldüngung im deutschen Agrarsektor die wichtigste und kostengünstigste Maßnahme bei Steigerung der N-Ausnutzung. Durch die reduzierte Nachfrage nach mineralischen N-Düngemitteln können Emissionen aus der Produktion vermieden werden. Stickstoffdüngemittel gehören in Bezug auf die produktbezogenen THG-Emissionen zu den bedeutendsten Inputs der Landwirtschaft. So schätzen Osterburg et al. (2013) auf Basis des N-Mineraldüngerabsatzes im Zeitraum 2006 bis 2009 jährlich ca. 9,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. an produktionsbedingten Emissionen. Für die Ableitung von Benchmark-Werten für das EU-Emissionshandelssystem hat die europäische Düngemittelindustrie Referenzwerte für CO<sub>2</sub>-Footprints der Mineraldüngerproduktion (Christensen et al., 2014) berechnet, die den Durchschnitt der besten 10 % der Produzenten abbilden. Aus diesen Werten lassen sich für den N-Mineraldüngerabsatz im Jahr 2017/18 in Deutschland produktionsbedingte Emissionen in Höhe von ca. 5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. berechnen. Im Zusammenhang mit der Einbeziehung der Lachgasemissionen aus der Mineraldüngerproduktion in das EU-ETS ab 2013 sind diese um über 80 % gesunken (Christensen, 2017). Die CO<sub>2</sub>-Footprints von nitrathaltigen Düngern wie Kalkammonsalpeter haben sich dadurch deutlich verringert. Dieser Fortschritt wurde in der vorgelegten Analyse berücksichtigt. Die Verwendung älterer Angaben zu CO<sub>2</sub>-Footprints für in der EU hergestellte N-Dünger kann zu Fehlschlüssen bei der Bewertung produktbezogener THG-Bilanzen führen.

### 3.2.1.1 Senkung der Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft

#### Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung

Die Senkung der N-Überschüsse zielt auf die Reduzierung direkter und indirekter Lachgasemissionen ab. Sie sollte vor allem durch die Verbesserung der Stickstoffeffizienz der Düngung erreicht werden (vgl. Weingarten et al., 2016). Gemäß der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung, 2016) sollen die N-Überschüsse der Gesamtbilanz für Deutschland im Mittel der Jahre 2028-32 auf 70 kg/ha Landwirtschaftsfläche reduziert werden. Die Stickstoffeffizienz der Düngung als Quotient von N-Output und N-Input der N-Gesamtbilanz müsste dafür von derzeit ca. 50 % auf ca. 58 % erhöht werden, wenn der N-Überschuss bei gleichem N-Output durch eine Verringerung des Inputs reduziert wird. Angesichts der Erhöhung der sektoralen Stickstoffeffizienz der Düngung in den letzten 20 Jahren um über 10 %-Punkte erscheint das Ziel einer Erhöhung um mindestens 7 %-Punkte bis zum Jahr 2030 realistisch. Dafür müssen Ineffizienzen in der Düngung, die in allen landwirtschaftlichen Strukturen und Regionen auftreten, verringert werden.

Für die Senkung des N-Saldos sind organisatorische Maßnahmen wie z. B. die Düngeplanung, Düngebedarfsermittlung und Nährstoffbilanzierung zu verbessern. Als technische Maßnahmen sind u. a. eine emissionsarme und möglichst präzise Ausbringung von Düngemitteln, die zeitliche Optimierung der Düngemaßnahmen und pflanzenbauliche Maßnahmen (ganzjährige Begrünung, keine intensive Bodenbearbeitung im Herbst) zu nennen. Obergrenzen für die Ausbringung organischer Dünger pro Hektar und Jahr tragen dazu bei, dass der organische Dünger auf mehr Flächen ausgebracht werden muss und die Nährstoffe dadurch besser verwertet werden können. Im Klimaschutzgutachten (Weingarten et al., 2016) wird empfohlen, eine Stickstoffsteuer einzuführen, sollten ordnungsrechtliche Maßnahmen keine ausreichenden Wirkungen zeigen. Eine solche Maßnahme könnte Bestandteil eines neuen Systems zur CO<sub>2</sub>-Bepreisung sein.

Wird die Senkung des N-Überschusses durch Steigerung des N-Outputs erreicht, gehen die Lachgasemissionen nicht zurück, da die Emissionen in erster Linie vom gesamten N-Umsatz einschließlich der N-Einträge über Erntereste abhängen. Eine Extensivierungsstrategie zur Reduzierung der N-Düngung bei gleichzeitiger Verringerung der Flächenerträge reduziert dagegen die Lachgasemissionen der deutschen Landwirtschaft, weist jedoch die folgenden Probleme auf: (1) sinkt dabei neben dem N-Input auch der N-Output des Agrarsektors, weshalb die Veränderung der N-Überschüsse nicht der Reduzierung des N-Inputs entspricht, (2) werden durch den Rückgang der Flächenproduktivität bei gleich bleibender Nachfrage nach Agrarprodukten Leakage-Effekte wie z. B. indirekte Landnutzungsänderungen ausgelöst, welche die Netto-Klimaschutzwirkung schmälern oder aufheben können, (3) steigen die THG-Vermeidungskosten bei Rückgang der Erträge deutlich an.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Als grundlegende Maßnahme sind das Düngerecht, insbesondere die Düngeverordnung (DüV), die Wirtschaftsdünger-Verbringungsverordnung (WDüngV) und die Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) zu nennen. Auf diesen ordnungsrechtlichen Vorgaben bauen Beratungs-, Investitionsförderungs- und Agrarumweltmaßnahmen im Rahmen von Förderprogrammen für den Ländli-

chen Raum und Wasserschutzprogrammen der Länder auf. Neben technischen und Management-bezogenen Vorgaben trägt die DüV bisher vor allem durch Düngeplanung und Nährstoffbilanzierung (Nährstoffvergleich) zu einer Steigerung der Düngeeffizienz bei. Die EU-Kommission fordert nach dem Urteil des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) im Juni 2018 u. a. eine Verschärfung der Düngebedarfsermittlung, und der Nährstoffvergleich soll in seiner jetzigen Form abgeschafft werden. Der Fokus neuer Regelungen liegt zunehmend darauf, Nitratüberschüsse in belasteten Gebieten zu senken und in diese Gebieten spezifische Auflagen zu erlassen. Die für den Klimaschutz wichtige, flächendeckende Verbesserung der sektoralen Düngeeffizienz droht dadurch aus dem Blick zu geraten. Angesichts der derzeit noch offenen Fragen zur erneuten erforderlichen Anpassung der DüV können Fragen zur Wirksamkeit der DüV-Novelle noch nicht beantwortet werden.

Die nach Düngegesetz vorgesehene Erweiterung der Geltung der StoffBilV auf den Großteil der landwirtschaftlichen Betriebe bietet die Möglichkeit, bei entsprechender Ausgestaltung sektorale Effizienzziele umzusetzen. Wenn die StoffBilV als nationale Regelung außerhalb des EU-Rechts umgesetzt wird, kann dies negative Auswirkungen auf den Vollzug haben. Der Vollzug des Düngerechts basiert in Deutschland weitgehend auf Cross-Compliance Kontrollen und Sanktionen im Rahmen der EU-Agrarpolitik, die ausschließlich EU-Rechtsnormen einbeziehen und Sanktion nationaler Regelungen ausschließen. Die Änderung des Düngegesetzes im Jahr 2017 enthält eine Länderermächtigung, den Düngebehörden Zugang zu relevanten Verwaltungsdaten zu gewähren, um den Vollzug durch systematische Kontrollen verbessern. Damit wurden die Kontrollmöglichkeiten erheblich verbessert. Die Düngebehörden sind aber weiterhin nicht autorisiert, den Mineraldüngerabsatz als wichtigste N-Zufuhr in die Landwirtschaft systematisch zu kontrollieren. Dies schwächt den Vollzug der Düngebedarfsermittlung und der Stoffstrombilanz.

### *Finanzbedarf*

Bis 2025 darf gemäß DüV § 6 Abs. 2 die Gülleausbringung auf Grünland nicht mehr mit Breitverteiler erfolgen. Im Jahr 2015 wurden noch über 80 % der flüssigen Wirtschaftsdünger auf Grünland, insgesamt 94.000 m<sup>3</sup>, mit Breitverteiler ausgebracht (DESTATIS, 2016a). Hier besteht Bedarf in Höhe von über 100 Mio. € für Investitionen in neue Geräte. Eine Förderung im Rahmen des Agrarinvestitionsförderprogramms (AFP) ist noch bis Ende 2024 möglich. Weitere Anforderungen, wie die bodennahe Ausbringung auf Ackerland, werden bereits ab 2020 verbindlich, ab dann ist eine öffentliche Förderung ausgeschlossen. Die Ausweitung der Verpflichtung zur Stoffstrombilanz wird mit einem hohen Beratungsbedarf verbunden sein. Wenn jährlich ein Drittel aller Betriebe über 10 Hektar LF eine Beratung erhalten, in Verbindung mit einer Förderung in Höhe von 500 € pro Betrieb, ergibt sich ein Bedarf von jährlich 35 Mio. €. Darüber hinaus gibt es Mittelbedarf für Innovationspartnerschaften und Forschungsprojekte für eine effizientere Düngung, z. B. zu „precision farming“ mit Wirtschaftsdüngern.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Die N-Überschüsse werden wie oben erläutert annahmegemäß durch die Verringerung des N-Mineraldüngereinsatzes reduziert. Für die Erreichung des N-Bilanzziels von 70 kg N/ha LF ist eine Reduzierung des N-Mineraldüngereinsatzes gegenüber 2013 bis 2015 um durchschnittlich 24 kg

N/ha auf der gesamten LF notwendig. Die Erträge ändern sich dabei aufgrund effizienterer N-Düngung annahmegemäß nicht. Damit verbunden ist eine THG-Minderung von jährlich ca. 2,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Hinzu kommt die Minderung von Ammoniakemissionen mit einer zusätzlichen Reduzierung der THG-Emissionen von jährlich 0,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.; zusammen ergeben sich somit ca. 3,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. THG-Minderung. Nicht berücksichtigt sind dabei die vermiedenen Emissionen aus der N-Mineraldüngerherstellung. Zur Erreichung dieser Minderungen sind voraussichtlich zusätzliche Maßnahmen notwendig. Die erzielbaren THG-Minderungen sind dauerhaft und nicht reversibel. Insbesondere bei Reduzierung des N-Mineraldüngereinsatzes sind die Wirkungen anhand der Düngerabsatzstatistik leicht nachweisbar.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Nach Kostenschätzungen zur Umsetzung der im Jahr 2017 in Kraft getretenen Düngeverordnung fallen nach Ablauf von Übergangszeiten ab 2020 Mehrkosten von mehr als 90 Mio. € pro Jahr allein für Schaffung von Güllelageraum und emissionsarmer Gülleausbringungstechnik für Ackerflächen an, und ab 2025 weitere 30 Mio. € pro Jahr für Gülleausbringungstechnik im Grünland. Im Ackerbau schlagen u. a. die Kosten von Ureaseinhibitoren bei der Harnstoffdüngung von ca. 30 Mio. € p. a. zu Buche. Weiterhin werden Ertragsrückgänge befürchtet, die jedoch durch Steigerungen der Düngeeffizienz verhindert werden sollen. Diese Kosten sind von der Wirtschaft zu tragen. Ihnen stehen Einsparung von N-Mineraldünger gegenüber. Bei einem Einkaufspreis von derzeit ca. 700 €/t N ergeben sich bei Düngemittelsparungen in Höhe von durchschnittlich 10 kg N/ha etwa 115 Mio. € p. a. an Entlastungen für die Landwirtschaft. Die chemische Industrie und der Landhandel haben mit entsprechenden Umsatzrückgängen zu rechnen. Für das oben berechnete Minderungsziel wären weitere Investitionen notwendig, die wiederum auch höhere Kosteneinsparungen ermöglichen können. Auch unter Berücksichtigung der Düngereinsparung wird die Landwirtschaft mit Kosten belastet. Die Belastungen fallen je nach Betriebsausrichtung unterschiedlich hoch aus, wobei Schweinemastbetriebe besonders stark betroffen sind (vgl. Anhang 1).

### **Beschäftigungseffekte**

Der erwartete Rückgang der Schweinebestände würde eine geringere landwirtschaftliche Beschäftigung zur Folge haben. Dem kann ggf. durch eine Tierwohl- und Qualitäts-orientierte Produktion entgegen gewirkt werden.

### **Sozialverträglichkeit**

Die Komplexität der Düngerechtsreform von 2017, die aufgrund des EuGH-Urteils notwendigen Anpassungen der DüV und die geplante Ausweitung der Verpflichtung zur Stoffstrombilanz verlangen große Anpassungen in der Landwirtschaft, verbunden mit Akzeptanzproblemen. Aus Sicht der Wasserversorger und in der Öffentlichkeit wird die Anpassung des Düngerechts hingegen als ausstehende Umsetzung des Verursacherprinzips unterstützt.

### **Versorgungssicherheit**

Insbesondere die geplante Obergrenze für die nach Düngebedarfsermittlung erlaubte N-Düngung und die stärkere Begrenzung der N-Düngung in nitratbelasteten Gebieten kann in Abhängigkeit von CO<sub>2</sub>.

der Umsetzung der Düngeplanung Ertragsrückgänge nach sich ziehen. Ertragssteigerungen werden künftig schwerer zu realisieren sein. Angesichts der hohen Produktivität der deutschen Landwirtschaft und weltweit steigender Nahrungsmittelnachfrage müssen solche Entwicklungen genau beobachtet und kritisch hinterfragt werden.

### **Andere Umwelteffekte**

Die Senkung der N-Bilanzüberschüsse und die Erhöhung der N-Düngungseffizienz dient Zielen des Wasserschutzes (Reduzierung der Nitratbelastung), der Luftreinhaltung (Reduzierung der Ammoniakemissionen, s. Kap. 3.2.1.2) und der Erhaltung der Biodiversität durch Reduzierung der Eutrophierung und Versauerung aufgrund atmosphärischer N-Depositionen. Durch Auflagen für organische Düngemittel können Wirtschaftsdüngertransporte zunehmen.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Unmittelbare positive Wirkungen auf die Gesundheit gehen vor allem von der Reduzierung der Ammoniakemissionen aus, s. Kap. 3.2.1.2).

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Maßnahme steht in Zusammenhang mit der Reduzierung von Ammoniakemissionen, der gasdichten Lagerung von Wirtschaftsdüngern und der Ausweitung des ökologischen Landbaus. Angesichts weltweit steigender Nahrungsmittelnachfrage und unerwünschter Leakage-Effekte, d. h. die Nahrungsproduktion und Landnutzung betreffende Verlagerungseffekte bei verringerter inländischer Produktion und stabiler Nachfrage, sind Auswirkungen der Düngepolitik auf die Erträge künftig genauer zu beobachten.

### **Fazit**

Für das Klimaschutzziel ist eine Senkung der N-Bilanzsalden durch Effizienzsteigerungen und unter Aufrechterhaltung der landwirtschaftlichen Produktion wichtig. Die Senkung der landwirtschaftlichen N-Überschüsse als Klimaschutzmaßnahme stößt an Grenzen, wenn sie zu Ertragseinbußen führt. Diese führen zu hohen Maßnahmenkosten und verringern gleichzeitig die Netto-Emissionsminderung aufgrund von Leakage-Effekten. Da die Maßnahme unterschiedlichen Umweltzielen dient, ist die Ableitung von THG-Vermeidungskosten problematisch. Allein auf die THG-Minderungswirkung bezogen ergeben sich bei Vermeidungskosten von 1 Euro pro kg reduzierter Stickstoff THG-Vermeidungskosten in Höhe von 150 (nur THG-Emissionen der Landwirtschaft) bzw. 100 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. (einschließlich der THG-Wirkungen der Düngerproduktion). Für einen kostenwirksamen Klimaschutz müssen die Anpassungskosten auf unter 1 €/kg N-Reduzierung begrenzt werden. Aus betrieblichen Daten lässt sich ableiten, dass es für Effizienzsteigerungen in

der N-Düngung noch hohe Potentiale gibt (Osterburg, 2016). Je nach Beratungs- und Investitionsbedarf für neue Technologien können sehr unterschiedliche Vermeidungskosten entstehen.

Zentrale Maßnahme ist die Umsetzung des düngerechtlichen Pakets 2017 mit der Novelle der Düngeverordnung und der Stoffstrombilanzverordnung, auf deren Grundlage künftig die Erstellung von Hoftorbilanzen zur Steuerung und Bewertung der Düngung, Fütterung und N-Emissionsvermeidung vorgeschrieben ist. Diese sollten durch freiwillige Maßnahmen unterstützt werden, insbesondere Beratung und Investitionsförderung. Die Wirksamkeit der Maßnahmen sollte durch Begleitforschung regelmäßig überprüft und weiterentwickelt werden. Ein Problem besteht darin, dass die Ergebnisse von betrieblichen Nährstoffbilanzierungen oft nicht für Evaluierungszwecke zur Verfügung stehen. Parallel zur Ausweitung der Verpflichtung zur Stoffstrombilanz sollten Beratungs- und Buchführungsansätze weiterentwickelt und bundesweit harmonisiert werden. Die Möglichkeiten zur Einführung einer N-Abgabe sollten im Zuge der Diskussion um eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung untersucht werden. Forschungsbedarf besteht auch bezüglich der Auswirkungen künftiger, durch den Klimawandel ausgelöster Ertragsschwankungen und ihrer Auswirkungen auf die Düngeeffizienz und die N-Bilanzen.

### 3.2.1.2 Senkung der Ammoniakemissionen der Landwirtschaft

#### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Die Verminderung von Ammoniakemissionen verringert indirekte Lachgasemissionen aus der atmosphärischen Stickstoffdeposition und ermöglicht eine bessere Ausnutzung NH<sub>3</sub>-bildender, insbesondere organischer Dünger. Zur Minderung der Ammoniakemissionen sind Maßnahmen im Stall (z. B. schnelles Abführen von Gülle aus dem Stall, Lagerung im Außenbereich mit Abdeckung, Abluftfilter in großen, zwangsbelüfteten Ställen), bei der Lagerung flüssiger Wirtschaftsdünger (Abdeckung, vorzugsweise gasdicht z. B. in Verbindung mit einer Verwertung in Biogasanlagen, vgl. Kap. 3.2.2) und der Ausbringung von Wirtschaftsdünger (z. B. streifenförmige Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger auf bzw. soweit möglich in den Boden, sofortige Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern auf unbewachsenen Flächen) zu nennen. Beim Mineräldüngereinsatz sind der Einsatz von Ureaseinhibitoren beim Einsatz fester Harnstoffdünger oder deren unverzügliche Einarbeitung auf unbewachsenen Flächen mögliche Maßnahmen. In der Tierhaltung ist die N-reduzierte, proteinoptimierte Fütterung eine wichtige Option, die auch zur Reduzierung der N-Überschüsse in Tierhaltungsbetrieben beiträgt.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Die „neue“ NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 schreibt in Art. 4 und Anhang II als NH<sub>3</sub>-Minderungsziel für Deutschland eine Reduzierung gegenüber 2005 vor. Ab 2020 soll die Reduzierung -5 % betragen und bis 2030 schrittweise 29 % erreichen. Eine Reihe von Maßnahmen zur Reduzierung der Ammoniakemissionen wird bereits im Zuge der DüV-Novelle von 2017 umgesetzt, die zu einer Reduzierung von ca. 90 kt NH<sub>3</sub> beitragen. Da nach 2020 die Emissionen aus pflanzlichen Gärresten anzurechnen sind, und die Biogasproduktion auf Basis von Energiepflanzen nach 2005 deutlich zugenommen hat, ist das Ziel für 2030 nur durch zusätzliche Maßnahmen zu erreichen, die

eine weitere Reduzierung zwischen 125 und 130 kt NH<sub>3</sub> p. a. bewirken. Die dafür notwendigen Maßnahmen werden im Luftreinhalteprogramm (BMU 2019) festgelegt. Eine Übersicht über Maßnahmenoptionen ist in Anhang 1, Tabelle A1.2 enthalten. Es werden Maßnahmen zur gasdichten Lagerung außerhalb von Ställen, Injektion oder Ansäuerung von N-haltigen organischen Düngern notwendig. Bezogen auf große Tierhaltungsanlagen erfolgt die Umsetzung über die TA Luft, deren Novelle noch in diesem Jahr abgeschlossen werden soll.

### *Finanzbedarf*

Es ist ein hoher Investitionsbedarf zu erwarten, der deutlich über den in Kap. 3.2.1.1 genannten Bedarf hinausgehen (vgl. Anhang 1). Die jährlichen Zusatzkosten können mehr als 300 Mio. € betragen. Neben dem hohen, noch zu konkretisierenden Investitionsbedarf ist zu berücksichtigen, dass die notwendigen Anpassungen bis 2030 über die technischen Anforderungen der aktuellen DÜV hinausgehen werden. Die Förderung muss schon frühzeitig auf das Minderungsziel bis 2030 ausgerichtet werden, um Fehlsteuerungen zu vermeiden.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Die Minderung von Ammoniakemissionen zur Erreichung der Ziele für 2030 ist mit einer Reduzierung der THG-Emissionen von 0,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. aus indirekten Lachgasemissionen verbunden. Wirkungen auf die Verminderung der N-Mineraldüngung, da durch weniger gasförmige Verluste mehr pflanzenverfügbarer Stickstoff verfügbar wird, sind darin nicht enthalten (s. Kap. 3.2.1.1).

### **Wirtschaftliche Effekte**

Die voraussichtlich bis 2030 notwendig werdenden Auflagen werden vor allem die Tierhaltung und insbesondere die Schweine- und die Geflügelhaltung betreffen (s. Anhang 1).

### **Beschäftigungseffekte**

Ein Rückgang der Schweine- und Geflügelbestände würde eine geringere landwirtschaftliche Beschäftigung zur Folge haben. Dem kann ggf. durch eine Tierwohl- und Qualitäts-orientierte Produktion entgegen gewirkt werden.

### **Sozialverträglichkeit**

Die aktuelle gesellschaftliche Diskussion über Maßnahmen zur Luftreinhaltung schließt Maßnahmen in der Landwirtschaft ein. Es zeigt sich, dass die Zusammenhänge zwischen gasförmigen N-Verlusten und Gesundheits- und Umweltschäden nicht allgemein bekannt sind, und die Begrenzung der Ammoniakemissionen als Teil einer Vorsorgepolitik auch wegen der hohen zu erwartenden Kosten auf Akzeptanzprobleme stößt. In der breiteren Bevölkerung sind die Zusammenhänge nur schwer zu vermitteln. Eine mit den Maßnahmen einhergehende Reduzierung von Geruchsbelästigungen ist dagegen als besonders sozialverträglich anzusehen und kann helfen, die gesellschaftliche Akzeptanz der modernen Landwirtschaft zu verbessern.

### **Versorgungssicherheit**

Es sind keine relevanten Auswirkungen zu erwarten.

### **Andere Umwelteffekte**

Die Maßnahme dient in erster Linie der Luftreinhaltung, mit positiven Wirkungen für den Gewässerschutz und die Biodiversität durch Reduzierung diffuser N-Einträge.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Ammoniak bildet in der Atmosphäre in Verbindung mit Schwefel- und Stickoxiden Ammoniumsalze, sogenannte „sekundäre Partikel“, die zusammen mit anderen Luftverunreinigungen Agglomerate und damit Feinststäube (PM<sub>2,5</sub>) bilden. Diese können weit in die Lunge eindringen und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Menschen führen. Ammoniak spielt als Reaktionspartner und knapper Faktor eine relevante Rolle bei der Bildung der Feinststäube.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Maßnahme steht in Zusammenhang mit der Reduzierung der N-Überschüsse und der gasdichten Lagerung von Wirtschaftsdüngern. Tierschutzmaßnahmen im Stallbereich können zu höheren Ammoniakemissionen führen. Durch hohe Anpassungskosten kann es insbesondere in der flächenunabhängigen Tierhaltung zu Produktionsverlagerungen ins Ausland kommen.

### **Fazit**

Eine Bewertung der THG-Vermeidungskosten ist aufgrund der verschiedenen Umweltziele der Ammoniakreduzierung problematisch. Die THG-Vermeidungskosten durch Ammoniakminderung zu Kosten von 1 € pro kg reduziertes NH<sub>3</sub> liegen bei 210 (nur THG-Emissionen der Landwirtschaft) bzw. 125 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. (einschließlich der THG-Wirkungen der Düngerproduktion). Die Kostenwirksamkeit dieser Maßnahme ist im Kontext der verschiedenen, angestrebten Wirkung und insbesondere der Gesundheitsvorsorge zu sehen. Vermeidungskosten pro kg reduziertes NH<sub>3</sub> für verschiedene Maßnahmenoptionen werden im Anhang 1 Tabelle A2.1 dargestellt.

Aufbauend auf das Luftreinhaltprogramm zur Umsetzung der neuen NEC-Richtlinie sollte ein Investitions- und Förderprogramm zur Unterstützung der notwendigen Anpassungen aufgelegt werden. Neue Maßnahmen müssen zeitnah untersucht und in Hinblick auf Praxisreife überprüft werden. Die anspruchsvollen Ziele bis 2030 werden nur bei umfassender Umsetzung von Minderungsoptionen erreicht werden können. Eine Umsetzung auf freiwilliger Basis wird nur bei sehr hoher Förderung zum Ziel führen. Erwogen werden muss daher die frühzeitige Festlegung neuer Standards mit langen Übergangszeiten und Förderangeboten, letztere ggf. degressiv gestaffelt.

Der Umsetzungsgrad zusätzlicher Maßnahmen muss statistisch erfasst werden, um die Abbildung in der Emissionsberichterstattung zu ermöglichen. Dies gilt besonders bei Maßnahmen mit freiwilliger Beteiligung. Da auch die Einhaltung eines Anpassungspfads zwischen 2020 und 2030 zum Ziel der NEC-Richtlinie gehört, ist die Terminierung und Frequenz der Datenerhebungen zu überprüfen und anzupassen, um eine ausreichende Dokumentation der Minderungen zu erlauben.

Eine konzentrierte Ausbringung von N-Düngern in den Boden mit dem Ziel, die Ammoniakemissionen zu mindern, kann abhängig von Bodeneigenschaften die Lachgasemissionen erhöhen. Zur Frage, wie die Lachgasemissionen unter solchen Bedingungen effektiv und zuverlässig begrenzt werden können, gibt es noch Forschungsbedarf.

### 3.2.1.3 Gezielte Verminderung von Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden

#### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

In Ergänzung zur Senkung der Stickstoffüberschüsse (Kap. 3.2.1.1), die auch aufgrund anderer Umweltziele angestrebt wird, ist eine gezielte Senkung von Lachgasemissionen anzustreben, (1) durch den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren in  $\text{NH}_4$ -haltigen Mineraldüngern bei Ausbringung auf emissionsgefährdeten Böden und - bei sofortiger Einarbeitung - in flüssigen Wirtschaftsdüngern, und (2) durch gezielte Verminderung im Boden leicht umsetzbarer N-Verbindungen in Zeiträumen und auf Standorten mit besonders hoher Gefahr einer Lachgasemission, z. B. durch verbesserten Einsatz von Düngungstechnologien, durch pflanzenbauliche Maßnahmen und eine Optimierung der zeitlichen Verteilung der Düngungsmaßnahmen. Innovative Düngetechniken wie das CULTAN-Verfahren sollten weiterentwickelt und bezüglich der Wirkungen auf Lachgasemissionen getestet werden (Osterburg et al., 2013). Auch die Nutzung von Biogasanlagen zur Aufnahme von pflanzlichen Reststoffen im Herbst (Erntereste, Zwischenfrüchte) kann einen Beitrag zur weiteren Verminderung von Lachgasemissionen leisten und durch die gezielte Düngung mit Gärresten synthetischen N-Dünger einsparen.

Zu diesen Maßnahmen besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf bzgl. der Umsetzbarkeit, Wirksamkeit und der Möglichkeit, die Wirkungen gesichert in der THG-Berichterstattung abzubilden. Der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen zu ammoniumhaltigen Düngern kann die Lachgasemission in den ersten Wochen nach der Düngung deutlich verringern (Ruser und Schulz 2015). Für eine gesicherte, standortdifferenzierende Bewertung im Kontext des Klimaschutzes fehlen Langzeituntersuchungen an verschiedenen Standorten, die den Effekt auf die Lachgas-Jahresemission quantifizieren. Mögliche zeitliche und räumliche Verlagerungen der Lachgasemissionen sind zu untersuchen und zu vermeiden, etwa wenn die Emissionen nur kurzfristig unterdrückt werden können. Bei Nitrifikationsinhibitoren sind mögliche Effekte auf die Ammoniakemission zu berücksichtigen. Auf Böden mit hohen pH-Werten können Nitrifikationshemmer zu erhöhten Ammoniakemissionen führen. Dies ist auch der Fall in Kombination mit organischen Wirtschaftsdüngern, die nicht unmittelbar eingearbeitet werden.

#### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Das Wirkungspotential von Nitrifikationsinhibitoren kann aufgrund der geringen Zahl an ganzjährigen Studien, die noch dazu sehr unterschiedliche Ergebnisse zeigen (kein Effekt bis zu einer deutlichen Emissionsminderung) derzeit noch nicht beziffert werden. Es fehlen auch Kenntnisse, auf welchen Standorten und in welchen Produktionssystemen die Hemmstoffe als Klimaschutzmaßnahme wirksam sind. Den Wirkungseinschätzungen in Osterburg et al. (2013), Flessa et al. (2014) und Ruser und Schulz (2015) zufolge könnten Nitrifikationsinhibitoren aber relevante Minderungspotentiale aufweisen. Ruser und Schulz (2015) halten eine durchschnittliche Minderungswirkung von 35 % gegenüber dem Einsatz  $\text{NH}_4$ -haltiger N-Dünger ohne Hemmstoffe für realistisch. Zu den weiteren Maßnahmen liegen keine Abschätzungen vor.

**Wirtschaftliche Effekte**

k. A.

**Beschäftigungseffekte**

k. A.

**Sozialverträglichkeit**

Die Akzeptanz von chemischen Düngemittelzusätzen zur Lachgasreduzierung muss durch belastbare Untersuchungen möglicher Umwelt- und Gesundheitsfolgen abgesichert werden.

**Versorgungssicherheit**

k. A.

**Andere Umwelteffekte**

Die Maßnahmen bieten ein Potential, gleichzeitig zur Senkung der Stickstoffüberschüsse beizutragen. Der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren senkt das Risiko der Nitratauswaschung und der damit verbundenen indirekten  $N_2O$ -Emission. Das Risiko von Ammoniakverlusten steigt jedoch bei  $NH_4$ -haltigen und  $NH_4$ -bildenden Düngern. Dem ist durch Injektion oder sofortige Einarbeitung von N-Düngern entgegenzuwirken. Es sind weitere Untersuchungen möglicher Umweltfolgen von Inhibitoren notwendig.

**Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Es sind weitere Untersuchungen möglicher Gesundheitsfolgen von Inhibitoren notwendig.

**Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Wenn es gelingt, die spezifischen Lachgasemissionen des landwirtschaftlichen N-Umsatzes zu verringern, kann ein Klimaschutzbeitrag ohne weitere Reduzierung der N-Düngung erzielt und dabei Leakage-Effekte aufgrund von Ertragsausfällen ausgeschlossen werden.

**Fazit**

Zu diesen Maßnahmen besteht Forschungsbedarf. Bei Umsetzung müssen Statistiken zur Maßnahmenenerhebung aufgebaut werden. Diese können bei Ableitung von gesicherten THG-Minderungswirkungen im Falle von Inhibitoren über eine Differenzierung der Düngemittelabsatzstatistik erfolgen. Im Falle der Maßnahmenoption (2) sind stärker regional und zeitlich differenzierte Erhebungen notwendig.

### 3.2.2 Vergärung und gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft

#### Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung

Im KSP 2050 wird ein Ausbau der Nutzung von Rest- und Abfallstoffen als Bioenergieträger befürwortet. Insbesondere Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung soll künftig noch stärker zur Biogaserzeugung genutzt werden. Eine Verschlechterung der Klimabilanz durch eine solche Förderung soll ausgeschlossen werden (BMUB, 2016, S. 65). Eine rasche Überführung von Gülle in eine Biogasanlage mit gasdichter Lagerung der Gärreste und Minimierung von Methan-Leckagen trägt durch Vermeidung von Methan- und Lachgasemissionen sowie Ammoniakemissionen als indirekte THG-Quelle zur Verbesserung der Klimabilanz der Tierhaltung bei. Im Mittelpunkt der Maßnahme müssen Rinder- und daneben auch Schweinegülle stehen, weil auf diese der Großteil der Methanemissionen aus der Dunglagerung entfällt. Da andere Wirtschaftsdünger deutlich weniger Methan emittieren (Stallmist, Geflügeltrockenkot), dient deren Verwertung dem Zweck der Erzeugung erneuerbarer Energie aus Reststoffen, allerdings ist diese mit dem Risiko von zusätzlichen Methanemissionen durch die Vergärung verbunden. Wenn eine Verwertung über Biogasanlagen nicht umsetzbar ist, kann eine gasdichte Lagerung der Wirtschaftsdünger mit Abfackelung des gebildeten Methans eine noch weiter zu prüfende Alternative darstellen.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Eine Förderung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern erfolgt derzeit über das EEG, insbesondere über die erhöhte Förderung von Gülle-Kleinanlagen bis 75 kW Leistung. Außer Güllekleinanlagen sind in den letzten Jahren jedoch kaum Neuanlagen gebaut worden. In den Bestandsanlagen setzt die EEG-Vergütung weiterhin Anreize für einen hohen Anteil an Energiepflanzen. Vor diesem Hintergrund ist wichtig zu prüfen, inwieweit Altanlagen umgerüstet und für die Vergärung und Lagerung von Gülle eingesetzt werden können. Dazu wäre z. B. zu prüfen, ob Einspeiseberechtigungen nach EEG über mehr Jahre verteilt werden können, denn mit Gülle als Gärsubstrat kann deutlich weniger Strom pro Jahr produziert werden. Weiterhin könnten Bestandsanlagen auf Basis von NawaRo, deren EEG-Vergütung ausläuft künftig vorrangig als gasdichte Güllelager mit kleinerem BHKW betrieben werden. Aufgrund der großen Lagerkapazitäten sind hierfür voraussichtlich überbetriebliche Konzepte zu entwickeln. Es ist zu prüfen, inwiefern über Förderprogramme Anreize für derartige Konzepte zu schaffen sind.

Der Bedarf zur Schaffung von neuem Lagerraum wird aufgrund des neuen Düngerechts in den nächsten Jahren voraussichtlich deutlich zunehmen, damit die neu vorgegebenen Sperrfristen für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern eingehalten werden können. Eine Förderung des Ausbaus von Lagerkapazitäten ist durch die neuen, ordnungsrechtlichen Vorgaben, die ab dem Jahr 2020 gelten werden, begrenzt. Förderfähig bleibt für viele Anlagen ohne entsprechende Auflagen die gasdichte Abdeckung von Lagerstätten, und die Schaffung zusätzlicher Lagerkapazitäten jenseits der ordnungsrechtlichen Anforderungen.

Die GAK verbietet allerdings eine Förderung im Zusammenhang mit der EEG-Förderung. Dadurch können klimaschutzpolitisch wünschenswerte Synergien, die Investition in Lagerraum mit einer

Biogasnutzung zu verbinden, nicht genutzt werden. Ebenso ist eine agrarpolitische Finanzierung zur gasdichten Abdeckung von Gärrestlagern derzeit nicht möglich. Die gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern könnte künftig auch zur Auflage für große Tierhaltungsanlagen gemacht werden. Eine solche Auflage ist im Fall von Stallneubauten z. T. bereits heute Bestandteil der bau- und immissionsschutzrechtlichen Genehmigung. Im Anhang 2 werden die Ergebnisse einzelbetrieblicher Analysen zu dieser Maßnahme vorgestellt.

### *Finanzbedarf*

Der Finanzbedarf hängt stark vom angestrebten Umsetzungsmodell und den Fördermöglichkeiten gerade für EEG-geförderte Unternehmen ab. Hierzu sind noch Szenarioanalysen durchzuführen.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Im Jahr 2015 wurden nach Angaben von Rösemann et al. (2017) durchschnittlich 17 % des Wirtschaftsdüngers in Deutschland in Biogasanlagen eingesetzt. 38 % der Gärreste wurden nicht gasdicht gelagert. Durch diese Verwertung der Wirtschaftsdünger konnten 15 % der Methanemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung vermieden werden, im Vergleich zur Referenz einer sonst üblichen Lagerung. Zusammen mit vermiedenen Lachgasemissionen lag die Minderungswirkung bei 1,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., ohne Berücksichtigung der Substitutionswirkungen der energetischen Nutzung des Methans.

Eine Erhöhung des Anteils der in Biogasanlagen verwerteten Wirtschaftsdünger auf 30 % des Gesamtaufkommens und vollständig gasdichte Lagerung der Gärreste hätte eine Minderungswirkung von ca. 1,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gegenüber dem Status quo 2015. Eine weitere Erhöhung in 10 %-Schritten des Güllegesamtaufkommens würde bei 50 % Anteil eine THG-Minderungswirkung von 2,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ermöglichen, bei 60 % sind es 3,6 und bei 70 % 4,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. jährlich. In einer Studie der FNR (2015) zu biogenen Reststoffpotentialen werden die technisch verfügbaren Anteile an Wirtschaftsdünger unter Berücksichtigung technischer und anderer Hemmnisse auf 66 % (Rinder), 88 % (Schweine) und 97 % (Hühner) geschätzt. Die Minderungswirkungen können durch schnelle Überführung der Wirtschaftsdünger in ein gasdichtes Lager und die Minimierung von Methan-Leckagen erhöht werden. Nicht berücksichtigt sind die möglichen Rückgänge von Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen.

Die Emissionsminderungen können in Abhängigkeit von der Erfassung der Eingangsdaten (eingesetzte Wirtschaftsdüngermengen, Art der Lagerung, Überprüfung der Annahmen zur Methan-Leckage) berechnet werden, sie sind auf die Klimaschutzziele anrechenbar, dauerhaft und nicht reversibel.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Die umfassende Umstrukturierung der Güllelagerung zieht einen hohen Investitionsbedarf nach sich, der je nach politischen Rahmenbedingungen über eine Förderung oder bei ordnungsrechtlichen Auflagen durch die Tierhaltungsbetriebe zu decken ist. Eine zentrale Frage betrifft die Weiternutzung alter Lagereinrichtungen für Gülle.

### **Beschäftigungseffekte**

Der Neubau von güllebasierten Biogasanlagen und gasdichten Lagerstätten hätte positive Beschäftigungseffekte.

### **Sozialverträglichkeit**

Eine gasdichte und somit geruchsfrei Lagerung von Gülle kann die gesellschaftliche Akzeptanz der Landwirtschaft erhöhen. Andererseits ist jede gasdichte Lagerung mit Explosionsrisiken verbunden, die durch technische Vorkehrungen zu minimieren sind. Eine Förderung der Biogasproduktion aus Wirtschaftsdünger steht in der Kritik, die intensive Tierhaltung zu fördern.

### **Versorgungssicherheit**

Die Reduktion der Stromproduktion aus Energiepflanzen und eine Erhöhung der Gülleanteile in der Biogasproduktion erhöht die Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Flächen für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion.

### **Andere Umwelteffekte**

Die gasdichte Lagerung von Gülle verhindert Ammoniak- und Geruchsemissionen.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Die Emissionsvermeidung durch emissionsminimierte Lagerung von Gülle hat positive Auswirkungen auf die Luftreinhaltung und die Gesundheit.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Maßnahme steht in engem Zusammenhang mit der Reduzierung der Ammoniakemissionen. Maßnahmen zur NH<sub>3</sub>-Emissionsvermeidung bei der Lagerung überlappen sich weitgehend mit dieser Maßnahme. Die Schaffung von Gemeinschaftsanlagen zur Lagerung einschließlich optimierter Analytik und Ausbringungstechnik kann Beiträge zur Verbesserung der N-Ausnutzung leisten. Bei starker Förderung der Wirtschaftsdüngerlagerung mit Hilfe dieser Maßnahme und aufgrund der hohen Investitionen wird eine stabilisierende Wirkung auf den Umfang der Tierhaltung gerade in großen Einheiten befürchtet.

### **Fazit**

Die Vermeidungskosten der Güllelagerung und Lagerung in Biogasanlagen liegen bei 75 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. und zum Teil deutlich darüber. Besonders wirtschaftliche sind trotz Aufwand für Gülletransporte größere Anlagen, was für die Förderung von Gemeinschaftsanlagen spricht. Dem stehen die derzeitigen EEG-Förderbedingungen entgegen. Eine gasdichte Lagerung ohne Biogasverwertung weist geringere Vermeidungskosten um 50 €/t CO<sub>2</sub>-Äq., hierzu sind aber noch technische Fragen der Umsetzbarkeit und Sicherheit zu klären (vgl. Anhang 2).

Für eine Ausweitung der Wirtschaftsdüngerverwendung in der Biogasproduktion mit Hilfe der EEG-Förderung sind Einspeisevergütungen von über 20 €-Cent pro kWh erforderlich. Da die Ein-

speisevergütungen für Wind- und Solarstrom deutlich darunter liegen, und die Kosten der Vermeidung von Methanemissionen aus der Güllelagerung mit Blick auf das Verursacherprinzip nicht vom Stromabnehmer getragen werden sollten, sind neue Förder- und Umsetzungsmodelle zu entwickeln. Die EEG-Förderung für erneuerbaren Strom sollte nur in Höhe der Einspeisevergütungen für andere erneuerbare Energiequellen gezahlt werden. Eine weitere Förderung für die emissionsminimierte Güllelagerung sollte durch die Agrarpolitik erfolgen. Tierhaltungsbetriebe könnten künftig zur emissionsminimierten Lagerung von Gülle verpflichtet werden, so dass sich Biogasanlagen zu Dienstleistern für die Lagerung entwickeln könnten. Hemmnisse bzw. Herausforderungen stellen somit die Erhöhung der Erfassungsmenge, die Verwertung in Gemeinschaftsanlagen und die dafür notwendige Transportlogistik sowie die Wirtschaftlichkeit dar. In Hinblick auf die Möglichkeiten und Grenzen, Erntereste und Zwischenfrüchte zu vergären, um damit N-Überhänge im Herbst abzubauen und „zwischenzulagern“, besteht Forschungsbedarf.

### 3.2.3 Emissionsminderung in der Tierhaltung

Die verdauungsbedingten Methanemissionen aus der Wiederkäuerhaltung („enterische Fermentation“) machen einen Anteil von ca. 38 % der gesamten Emissionen der Quellgruppe Landwirtschaft aus und tragen zusammen mit den Lachgasemissionen in erheblichen Maß zu den Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft bei. Nach einem Rückgang der Tierbestände in Deutschland seit 1990 verändern sie sich die Emissionen aus der Tierhaltung seit 2005 kaum noch.

Maßnahmen, die auf eine Emissionsminderung in der Tierhaltung abzielen, sind daher entscheidend für einen ambitionierten Klimaschutz in der Landwirtschaft. Laut KSP 2050 soll bis zum Jahr 2021 eine Gesamtstrategie zur Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung entwickelt werden. Im Folgenden unterscheiden wir zwischen produktspezifischen Minderungsoptionen, Minderungen, die durch einen Abbau bzw. Umbau von Tierbeständen beitragen können, und Konsumänderungen, sowie Minderungsoptionen und Möglichkeiten bei der Futtermittelbereitstellung.

#### 3.2.3.1 Senkung der spezifischen, Tier- und Produkt-bezogenen THG-Emissionen

##### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Die Minderung von Methan- und Lachgasemissionen durch die Senkung produktspezifischer Emissionen betreffen insbesondere das Fütterungs- und Gesundheitsmanagement sowie Möglichkeiten durch Zucht und Haltungsformen in der Nutztierhaltung. Dazu haben die Wissenschaftlichen Beiräte in ihrem Klimaschutzgutachten mehrere Maßnahmenoptionen aufgeführt und diskutiert (Weingarten et al., 2016). Hierbei stehen eine Verbesserung des Fütterungsmanagement zur Steigerung der Futtereffizienz für Lachgas und Methanreduktionen, methanvermindernde Fütterungsstrategien und Futterzusatzstoffe zur Minderung der Methanemissionen aus der Ver-

dauung der Wiederkäuer, insbesondere Rinder, Züchtungsmethoden zur Verbesserung der Tiergesundheit, aber auch Haltungsbedingungen und Stallmanagement im Vordergrund. Einige Reduktionspotenziale können unmittelbar umgesetzt werden, während andere (z. B. züchterische Maßnahmen) erst nach längerer Vorlaufzeit wirksam werden.

### **Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Das Potenzial, THG-Emissionen mit diesen Maßnahmen zu reduzieren, ist derzeit schwer abschätzbar, da belastbare, flächendeckende und tierspezifische Daten fehlen. Für ein besseres Fütterungsmanagement bezogen auf Stickstoff schätzen die Wissenschaftlichen Beiräte (Weingarten et al., 2016) das Potenzial zur THG Vermeidung auf 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr (auf Basis eines Szenarios von über 10 % der N-Ausscheidungen (Milchkühe) bis zu über 15 % (Mastschweine) nach Flessa et al., 2012), da dies zum einen die Produktion N-haltiger Futtermittel reduziert, zum anderen die Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung und die N-Mengen im Wirtschaftsdünger verringert. Bezüglich der Wirkung von Futterzusatzstoffen zur Minderung der Methanemissionen besteht noch Forschungsbedarf.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Insbesondere im Bereich der Futtermittelzusatzstoffe zur Minderung der Methanemissionen der Rinder können wirtschaftliche Effekte entstehen, wenn Unternehmen Innovationen und Patente auf den Markt bringen können, die dann im größeren Umfang umgesetzt werden könnten. Allerdings ist dieses Potenzial derzeit schwer abschätzbar und die Wettbewerbssituation für die Produktentwicklung im europäischen Kontext zu betrachten.

### **Beschäftigungseffekte**

Beschäftigungseffekte sind nicht direkt abzuleiten.

### **Sozialverträglichkeit**

Eine Verbesserung der Fütterungsverfahren, um einen Klimaschutz und Umweltschutzbeitrag zu liefern bei gleichzeitiger Verbesserung der Tiergesundheit ist aus gesellschaftlicher Sicht unkritisch. Schwieriger abschätzbar sind Folgen aus Futtermittelzusätzen, um die Methanemissionen zu verringern.

### **Versorgungssicherheit**

Die Versorgungssicherheit ist durch alle oben beschriebenen Maßnahmen und Instrumente nicht beeinträchtigt. Vielmehr können die Maßnahmen zu einer Versorgungssicherheit beitragen, indem die Tiergesundheit verbessert wird, und somit Tiere weniger anfällig gegenüber Krankheiten werden.

### **Andere Umwelteffekte**

Insbesondere bei einer effizienteren N-Fütterung und dadurch weniger N Auswaschung sind positive Nebeneffekte beim Gewässerschutz, Luftreinhaltung und Biodiversität zu erwarten.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind bisher nicht bekannt bzw. können in diesem Rahmen bezogen auf die Züchtung nicht abgeschätzt werden.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Wirkungen der N-reduzierten Fütterung überschneiden sich mit Maßnahmen zur Senkung der N-Überschüsse und Ammoniakemissionen. Die Maßnahme Vergärung und gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdünger trägt ebenfalls zur Minderung der Emissionen aus der Tierhaltung bei. Potentielle Verdrängungs- und Verlagerungseffekte sind bei den produktspezifischen Maßnahmen nicht absehbar und quantifizierbar.

### **Fazit**

Die Maßnahmen tragen zur Effizienzsteigerung in der Tierproduktion bei und werden bereits in vielen Betrieben auch ohne staatliche Förderung umgesetzt. Nachteilig ist, dass die Fütterung nur schwer systematisch zu erfassen ist, da viele Varianten mit graduellen Änderungen von Futterkomponenten berücksichtigt werden müssen, die Futterqualitäten besonders in der Rinderernährung nicht vollständig bekannt sind (u. a. wegen stark schwankender Grundfutterqualitäten) und die Wirkung wesentlich vom täglichen Management in den Tierhaltungsbetrieben (z. B. Futterlagerung, -entnahme, -vorlage) abhängt. Die eingeschränkte Kontrollierbarkeit begrenzt die Umsetzbarkeit über politische Maßnahmen. Zu empfehlen ist daher eine Verstärkung der praxisnahen Forschung und der Beratung von Betrieben bezüglich Futtermittelverwendung, Futterzusatzstoffen zur Minderung der Methanemissionen, Tierzucht auf Tiergesundheit sowie die Entwicklung verbesserter Stallhaltungsverfahren (siehe hier auch Maßnahme zur Ammoniakvermeidung).

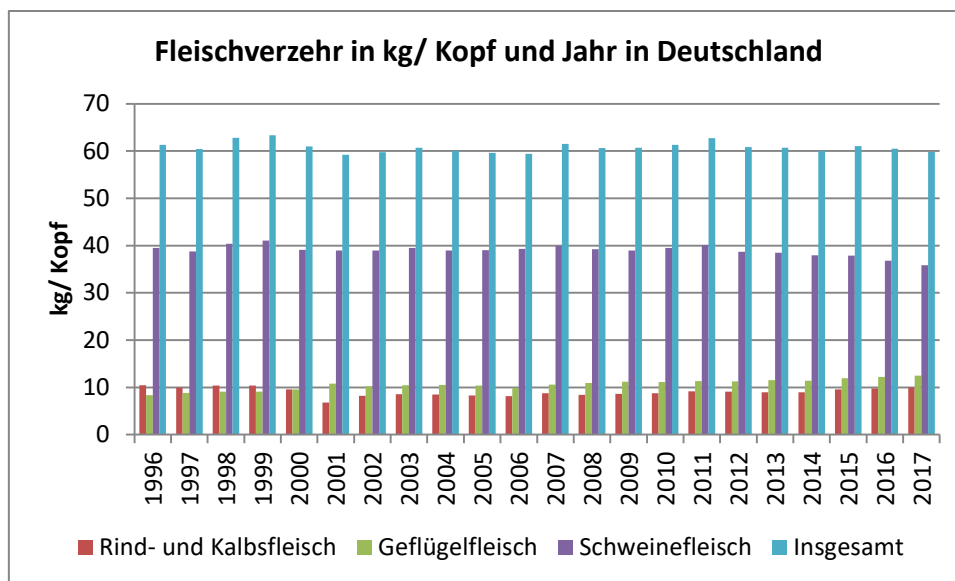
## **3.2.3.2 Abbau und Umbau von Tierbeständen und Reduzierung des Verbrauchs tierischer Lebensmittel**

### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Auch wenn dies politisch nicht im Fokus steht, ist eine der wirksamsten Möglichkeiten, Methanemissionen aus der Tierhaltung zu reduzieren, die Rinder- und Milchkuhbestände in Deutschland abzubauen bei gleichzeitiger Minderung des Konsums von Rindfleisch und Milch. Ebenso kann ein Umbau der Tierhaltung z. B. zu weniger Rindfleischproduktion bei gleichzeitiger Anpassung des Konsums in Deutschland zu einer Reduzierung der Methanemissionen beitragen. Eine einseitige Anpassung kann zu erheblichen Verlagerungseffekten oder zu einer Anpassung des Exports führen, und damit den Emissionsminderungsbeitrag beeinträchtigen. Daher sind Instrumente für einen Abbau bzw. Umbau im Gesamtkomplex zu betrachten. Maßnahmen zum Abbau der Tierbestände sollten im Hinblick auf einen ambitionierten Klimaschutz insbesondere die Wiederkäuerhaltung betreffen, da hier die höchsten Methanemissionen entstehen. Dies muss mit einer gleichzeitigen Änderung des Fleischkonsums einhergehen. Für eine Verringerung des

Fleischkonsums diskutiert das Klimaschutzgutachten (Weingarten et al., 2016), dass Informationskampagnen geschärft und weiterentwickelt werden können und eine Anpassung des Mehrwertsteuersatzes für tierische Produkte bei parallelen sozialpolitischen Maßnahmen unterstützend wirken. Dies ist eine Herausforderung, da sich der Konsum von tierischen Produkten in den letzten 10 Jahren nicht wesentlich verändert hat (siehe Abbildung 1), und der deutsche Pro Kopf-Verbrauch von Rindfleisch mit rund 10 kg pro Kopf im Jahr 2018 im europäischen Vergleich der EU 15 um 2,4 kg niedriger liegt. In Deutschland wird im Vergleich durchschnittlich mehr Schweinefleisch gegessen als in den anderen EU 15 Staaten (36 kg/Kopf in DEU zu 32 kg/Kopf in EU 15 im Jahr 2017) (vgl. DG Agri Short-term Outlook [http://ec.europa.eu/agriculture/markets-and-prices/short-term-outlook/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/markets-and-prices/short-term-outlook/index_en.htm)).

**Abbildung 1:** Entwicklung des Fleischverzehr in Deutschland



Quelle: DG Agriculture and Rural Development (Short-term Outlook [http://ec.europa.eu/agriculture/markets-and-prices/short-term-outlook/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/markets-and-prices/short-term-outlook/index_en.htm)); J. Efken, Thünen-Institut.

Ein Umbau der Fleischproduktion ist komplex, da viele Faktoren berücksichtigt werden müssen und derzeit kaum Forschungsprojekte diese Fragestellung bearbeiten. Die Wissenschaft könnten hierzu zum Beispiel Tierhaltungssysteme auf Grünland und deren Marktpotenziale untersuchen, die deutlich weniger Methanemissionen verursachen. Hierzu zählen zum Beispiel Pferde und Pferdefleischkonsum, welches bislang in Deutschland kaum für den menschlichen Verzehr genutzt wird. Wenn die Politik nicht vorschreiben möchte, welche Produkte verzehrt werden sollen, können Informationskampagnen und Förderung von Strukturen entlang der Wertschöpfungskette helfen, andere Nahrungsmittel in Betracht zu ziehen und z. B. zur Steigerung des Konsums von Pferdefleisch oder Gänsefleisch und einer Substitution von Rindfleisch zu anderen Fleischprodukten, außerhalb der Wiederkäuerhaltung, beizutragen.

Ein weiterer wichtiger Bereich ist die verstärkte Bereitstellung von Fischprotein in der menschlichen Ernährung durch Aquakultur. Hier muss weiter untersucht werden, wie Aquakultur nachhaltig und umweltschonend in Deutschland ausgebaut werden kann, welchen ökologischen und ökonomischen Beitrag Aquakultur leisten kann und wie die Produktion von Fisch in Aquakultur zum Klimaschutz beitragen kann, wenn dadurch andere Fleischprodukte ersetzt werden können. Insbesondere sollten dabei die Ausarbeitung geschlossener Nährstoffkreisläufe mit Aquakultur und Haltungsbedingungen im Fokus stehen.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Durch einen konsequenten Abbau und Umbau der Fleischproduktion in Deutschland bei gleichzeitiger Konsumänderung könnten die Treibhausgasemissionen deutlich reduziert werden. In einem ambitionierten Klimaschutzszenario mit einer Reduktion des Rindfleischkonsums um 10 % könnten die Methanemissionen so ebenfalls um 10 % gesenkt werden, und mit einer Emissionsminderung von ca. 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr zum Klimaschutz beitragen. Hierzu müssten allerdings alternative Verwendungsmöglichkeiten für Grünland diskutiert werden, entweder durch eine Nutzung alternativer Haltungsverfahren mit Nicht-Wiederkäuern für die Bereitstellung von Fleisch (z. B. Pferdezucht und -mast) oder durch eine Wiederaufforstung auf nicht mehr für die Produktion benötigten Grünlandflächen, um CO<sub>2</sub> zu speichern.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Durch einen Abbau der Rind- und Milchviehbestände sind die Tierhalter, aber auch die vor- und nachgelagerte Wertschöpfungskette betroffen. Hier bedarf es an quantitativen Analysen, um die Effekte einzuschätzen. Bisher wurde eine Umsetzung für Deutschland mit Betrachtung verschiedener Szenarien nicht quantitativ analysiert.

### **Beschäftigungseffekte**

Bei einem Abbau und Umbau von Tierbeständen sind regionalspezifische Beschäftigungseffekte zu erwarten, da insbesondere in der Tierhaltung eine Spezialisierung in wenigen Regionen vorherrscht. Zu den Beschäftigungseffekten in der Fleischproduktion laufen derzeit Forschungsprojekte, die eine verbesserte Einschätzung von Beschäftigungseffekten in den nächsten Jahren erwarten lassen.

### **Sozialverträglichkeit**

Ein Rückgang oder ein Umbau der Tierhaltung in Deutschland kann unter anderem durch gesellschaftliche Forderungen zu einer Verbesserung des Tierwohl vorangebracht werden und damit die gesellschaftliche Akzeptanz der Tierhaltung verbessern.

### **Versorgungssicherheit**

Derzeit liegt der Selbstversorgungsgrad für den Fleischverzehr in Deutschland in der Rindfleisch und Geflügelfleischproduktion bei etwa 100 %, in der Schweinefleischproduktion mit 120 % deutlich höher. Wenn bei einer Reduzierung der Rindfleischproduktion der Konsum von Rindfleisch in

gleichem Maße zurückgeht, sind keine Versorgungslücken zu erwarten. Wenn sich der Fleischkonsum statt rückläufig eher in Richtung Schweine- oder Geflügelfleisch bewegen sollte, können Verlagerungseffekte auftreten.

### **Andere Umwelteffekte**

Ein Rückgang der Tierbestände lässt insbesondere in den Regionen der intensiven Tierhaltung in Deutschland auch positive Effekte auf den Gewässerschutz und die Luftreinhaltung erwarten, da gleichzeitig das Aufkommen von Gülle und von Emissionen aus Ställen und Lagereinrichtungen verringert werden. Ein Abbau des Wiederkäuerbestandes kann die Erhaltung artenreichen Grünlandes gefährden.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind derzeit nicht spezifisch für Deutschland belegbar.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Um globale Leakage-Effekte bzw. Verlagerungseffekte zu vermeiden, ist es entscheidend, einen Abbau und Umbau in der Tierhaltung mit gleichzeitiger Änderung im Konsumverhalten zu bewirken. Eine einseitige Änderung im Fleischkonsum kann zu einem Export der nicht abgenommenen Produkte führen; auf der anderen Seite kann eine Reduzierung in der Fleischproduktion ohne eine Anpassung des deutschen Konsums zu erhöhten Importen führen, und dabei Produktionsverfahren in anderen Ländern stärken, die möglicherweise weniger THG-effizient produzieren. Entsprechendes gilt auch für die Milchproduktion.

### **Fazit**

Um die Klimaschutzziele in der Landwirtschaft zu erreichen, wird Deutschland nicht um ein Umdenken in der Menge und in der Art der Produktion und des Konsums tierischer Produkte und hier vor allem Milch und Rindfleisch herumkommen. Die damit in Verbindung stehenden Fragestellungen sollten im Rahmen der Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung untersucht werden.

## **3.2.3.3 Klimaschonende Produktion und Verwendung von Futtermitteln**

### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Futtermittelimporte insbesondere von Soja aus Lateinamerika, dessen Produktion mit der Abholzung von Regenwald in Verbindung steht, verursachen erhebliche Emissionen, nicht nur durch den Transport des Futtermittels, sondern insbesondere durch freigesetzten Kohlenstoff aus der Entwaldung. Eine Maßnahme, die auf Verringerungen der Futtermittelimporte abzielt, würde nicht direkt zu einer Verringerung von Emissionen führen, da Sojaexporte in andere Länder z. B. nach China ausgeweitet werden können. In Deutschland wäre eine Ausweitung der Futtermittel-

produktion auf heimischen Flächen die Folge, einhergehend mit einer Preissteigerung für Futtermittel. Dadurch kann eine Intensivierung der Flächennutzung ausgelöst werden, aber auch eine Preissteigerung bei tierischen Produkten und damit eine Verringerung der Nachfrage. Wenn die Nachfrage allerdings durch Importe aus anderen Ländern gedeckt wird, kommt es zu Verlagerungseffekten, die die THG-Nettoeffekte verringern.

Um die Emissionen aus Futtermittelimporten zu reduzieren, wären eine Zertifizierung von nachhaltigen Sojafuttermittelimporten und die Verpflichtung von zertifizierten Sojafuttermittelimporten aus entwaldungsfreien Lieferketten oder Moratorien zum Stopp eines weiteren Landnutzungswandels zu prüfen. Forschungsförderung für eine Substitution von Soja aus anderen Proteinquellen z.B. aus Grünlandaufwüchsen könnte zukünftig Sojafutter substituieren und damit zum Klimaschutz und einer Verwertung von Grünlandflächen ohne Wiederkäuerhaltung (und damit ohne Erhöhung der Methanemissionen) beitragen. Bei der Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung sollte die Produktion und der Handel mit Futtermitteln einbezogen werden.

### 3.2.4 Erhöhung des Flächenanteils des Ökologischen Landbaus

#### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Die Umstellung weiterer landwirtschaftlicher Flächen von konventioneller auf ökologische Landwirtschaft führt zu einem Verzicht des Einsatzes von N-Mineraldünger und von Importfuttermitteln. Stattdessen setzt der ökologische Landbau auf die biologische N-Fixierung mit Hilfe des Anbaus von Leguminosen und den Anbau von Futterpflanzen im eigenen Betrieb. Da die Stickstoffinträge über die biologische N-Fixierung (Leguminosenanbau) und die organische Düngung in der Regel deutlich niedriger als das Düngenniveau in der konventionellen Landwirtschaft ausfallen, liegen auch die flächenbezogenen Lachgasemissionen im ökologischen Landbau niedriger. Außerdem wird die N-Zufuhr über biologische N-Fixierung in der THG-Berichterstattung anders bewertet als die N-Zufuhr über Mineraldünger, auch dies führt zu niedrigeren Lachgasemissionen im ökologischen Landbau. Hinzu kommen vermiedene Emissionen aus der Produktion von Dünger- und Importfuttermitteln. Die Umstellung führt abhängig von der vorherigen Flächenbewirtschaftung in Ackerböden zu einem zeitlich befristeten Anstieg der Bodenkohlenstoffvorräte.

Die Tierhaltung ist im ökologischen Landbau enger an die Flächen gebunden als im konventionellen Landbau. Eine Abstockung des Tierbestandes ist mit der Umstellung auf ökologischen Landbau aber i.d.R. nicht verbunden, da kaum Betriebe mit sehr hoher Viehbesatzdichte umgestellt werden. Mit mittlerweile ca. 0,6 Mio. ha Grünland in ökologischer Bewirtschaftung wird mit dem ökologischen Landbau die extensive Rinderhaltung unterstützt. Während 2015 etwa 4 % des Milchkuhbestands in Ökobetrieben gehalten wurden, waren es bei Mutterkühen 19 % (nach Angaben in BMEL, 2017 sowie DESTATIS, 2015).

### *Umsetzung der Maßnahme*

Im KSP wie auch in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie wird eine Ausweitung der Fläche des ökologischen Landbaus auf 20 % der gesamten Landwirtschaftsfläche angestrebt, allerdings ohne Festlegung eines Zeitziels. Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung vom Februar 2018 wird erstmals das Ziel 2030 festgelegt.

Fördermaßnahmen für den ökologischen Landbau sind etabliert, u. a. flächenbezogene Förderungen im Rahmen der ELER-Programme der Länder. Darüber hinaus werden in der Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau 24 Maßnahmen vorgeschlagen, die schrittweise umgesetzt werden sollen (BMEL, 2017).

### *Finanzbedarf*

Für die Ausweitung der Fläche des ökologischen Landbaus werden zusätzliche Mittel für flächenbezogene Förderprämien in Höhe von über 400 Mio. € p. a. benötigt. Zu berücksichtigen ist, dass bei Umstellung andere Agrarumweltförderungen entfallen können. Eine Erhöhung der Prämien, etwa um hohe Flächenzuwächse abzusichern, müssten für alle ökologisch bewirtschafteten Flächen ausgezahlt werden und hätten bei zunehmender Flächenausdehnung entsprechend hohe Budgetwirkungen.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Bei einer Ausweitung des Flächenanteils des Ökologischen Landbaus von ca. 7,5 % der LF im Jahr 2016 auf 12 % liegt die direkt im deutschen THG-Inventar abgebildete THG-Minderungswirkung, vor allem durch die Minderungen der Lachgasemissionen, in einer Größenordnung von jährlich 0,7 t CO<sub>2</sub>-Äq. pro ha LF. Bei einer Ausdehnung des Flächenanteils bis 2030 auf 20 % der gesamten LF gehen der THG-Emissionen um 1,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. zurück. Diese Minderung kann nicht in voller Höhe zu den Wirkungen der Maßnahmen Senkung der N-Überschüsse (Kap. 3.2.1.1) addiert werden, da es zu einer teilweisen Überlagerung der Wirkungen kommt. Wird angenommen, dass die Umstellung auf Ökologischen Landbau zur Erreichung des Ziel der Senkung der N-Überschüsse beiträgt und bereits unter dieser Maßnahme angerechnet wird, fallen zusätzliche Minderungswirkungen in Höhe von 0,4 (bei 12 % der LF) bzw. 1,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. (bei 20 % der LF) an. Hinzu kommen Wirkungen in der Produktion von N-Mineraldüngern, die hier nicht berücksichtigt werden.

Durch die Festlegung von Bodenkohlenstoff vor allem durch die Ausdehnung des Kleegrasanbaus kann über einen Zeitraum von 30 Jahren nach Umstellung mit einer mittleren jährlichen Senkungswirkung in Höhe von 0,35 t C/ha gerechnet werden (Gattinger et al, 2012; Kätterer et al. 2013). Bei Ausweitung des Ökologischen Landbaus auf 20 % der LF könnten unter Berücksichtigung eines Ackerflächenanteils von ca. 50 % etwa 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. durch Humusaufbau gebunden werden. Zu berücksichtigen sind mögliche Verlagerungseffekte aufgrund der deutlich zurückgehenden Erntemengen ackerbaulicher Kulturen.

Insbesondere bei Reduzierung des N-Mineraldüngereinsatzes sind die Wirkungen anhand der Düngerabsatzstatistik leicht nachweisbar. Eine mögliche Anreicherung von Bodenkohlenstoff kann künftig bei Fortschreibung der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft des Thünen-Instituts

ermittelt und in der Quellgruppe LULUCF angerechnet werden. Diese Erhöhung des Bodenkohlenstoffvorrats ist zeitlich begrenzt und bei Änderung der Bewirtschaftung reversibel.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Die wirtschaftliche Lage von Betrieben des Ökologischen Landbaus ist ähnlich und in einigen Jahren besser als in konventionellen Vergleichsbetrieben (BMEL, 2019).

### **Beschäftigungseffekte**

Gegenüber konventionellen Vergleichsbetrieben werden im Ökologischen Landbau 0,2 bis 0,3 Arbeitskräfte je 100 Hektar mehr beschäftigt.

### **Sozialverträglichkeit**

Die Ausweitung des Ökologischen Landbaus erfolgt auf freiwilliger Basis, und diese Form des Landbaus ist gesellschaftlich anerkannt.

### **Versorgungssicherheit**

Die Ausweitung des Ökologischen Landbaus führt zu Rückgängen in der Produktion von Ackerfrüchten, insbesondere Getreide. Für die Ausdehnung von 12 auf 20 % Flächenanteil werden Produktionsrückgänge von 4,5 Mio. t Getreide p. a. geschätzt.

### **Andere Umwelteffekte**

Der Ökologische Landbau soll aufgrund seines Potenzials zur Bewältigung der Herausforderungen der N-Belastungen der Umwelt und der Erhaltung der Biodiversität gefördert werden, „auch wenn er nicht per se klimaverträglicher ist“ (BMEL, 2017, S. 15).

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

[Aufgrund der geringeren Belastung mit Pflanzenschutzmittelrückständen werden ökologisch erzeugte Produkte bevorzugt für Babynahrung verwendet.]

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Maßnahme unterstützt die Reduzierung der landwirtschaftlichen N-Überschüsse. Im Klimaschutzgutachten wird eine pauschale Förderung des Ökologischen Landbaus allein aus Gründen des Klimaschutzes als nicht zielführend bewertet (Weingarten et al., 2016). Dies wird mit den geringen Unterschieden der produktbezogenen THG-Bilanzen im Vergleich zu konventionellen Produkten und den gegenüber konventionellem Landbau z. T. deutlich niedrigeren Erträgen begründet. Bei gleicher Nachfrage nach Agrarprodukten kann es zu Leakage-Effekten kommen, welche die Netto-Klimaschutzwirkung schmälern oder aufheben können. Wenn der Produktionsrückgang bei Getreide durch Importe ausgeglichen werden soll, ergeben sich für die Ausdehnung des Ökologischen Landbaus von 7,5 auf 20 % der LF bei kumulierten THG-footprints von Getreide in Höhe von 0,4 kg CO<sub>2</sub>-Äq./kg Getreide (vgl. Grünberg et al., 2010) THG-Wirkungen von jährlich

2,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. allein in Verbindung mit dem Getreideimport zum Ausgleich des Produktionsrückgangs. Durch den Rückgang der Nachfrage nach N-Mineraldünger kommt es je nach Referenzwerten für die CO<sub>2</sub>-Footprints der N-Düngerproduktion zu THG-Vermeidungen von 0,7 bis 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

### **Fazit**

Eine Bewertung der THG-Vermeidungskosten des ökologischen Landbaus ist aufgrund der verschiedenen Umweltziele problematisch. Die auf Basis der Flächenprämien berechneten THG-Vermeidungskosten liegen bei knapp 240 (nur THG-Emissionen der Landwirtschaft) bzw. 140 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. (einschließlich der THG-Wirkungen des Humusaufbaus). Bei Berücksichtigung von Leake-Effekten und der Verringerung der N-Düngernachfrage liegen die Vermeidungskosten bei 250 bis 410 €/t CO<sub>2</sub>-Äq.

Die Ausdehnung des Ökologischen Landbaus wird zur Umsetzung anderer Umweltziele (Biodiversität, Gewässerschutz) angestrebt. Die Produktionsrückgänge können durch ein verändertes Verbraucherverhalten (Verringerung des Konsums tierischer Lebensmittel, weniger Lebensmittelverluste) kompensiert werden. Hemmnisse bzw. Herausforderungen für eine weitere Ausweitung der Fläche bilden u. a. die Begrenzung der verfügbaren Fördermittel, Ausbildung und Beratung, die Ausweitung der Nachfrage nach Bioprodukten sowie die relative Wettbewerbsfähigkeit und die ökonomische Attraktivität des Ökologischen Landbaus.

## **3.2.5 Energieeinsparungen und Substitution fossiler Energieträger in der Landwirtschaft**

### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Die direkten Emissionen des Energieverbrauchs der Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei lagen im Jahr 2016 bei 6,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Teil-Quellgruppe 1.A.4.c). Die gesamten brennstoffbedingten Emissionen aus der Landwirtschaft haben einen Anteil von unter 1 % an den energiebedingten Emissionen und spielen somit in der internationalen Klimaberichterstattung eine sehr geringe Rolle. Für den Sektor Landwirtschaft im KSP 2050 entfallen aber immerhin 9 % der THG-Emissionen auf diese Teil-Quellgruppe.

Das Bundesprogramm Energieeffizienz des BMEL trägt durch Beratung und Investitionshilfen zur Energieeinsparung und THG-Vermeidung in Landwirtschaft und Gartenbau bei, mit Schwerpunkt auf dem stationären Energieeinsatz z. B. in Gewächshäusern. Durch die Aufnahme der Maßnahme in das Programm zur Umsetzung des KSP 2050 kann das Bundesprogramm verstärkt werden. Die Maßnahmen beziehen neben Heizstoffen auch den Stromverbrauch ein. Aufgrund der Abgrenzung der Quellgruppen werden die mit geringerem Stromverbrauch verbundenen THG-Einsparungen im Energiesektor verbucht und nicht auf das landwirtschaftliche Sektorziel angerechnet. Dies sollte aber nicht dagegen sprechen, in einem integrierten Ansatz alle Möglichkeiten der Energieeinsparung und Substitution fossiler Energiequellen zu adressieren.

Hinsichtlich der angestrebten Emissionsminderungsziele ist zu berücksichtigen, dass die Teil-Quellgruppe 1.A.4.c als Teil der Emissionen von Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) berichtet wird. Die THG-Emissionen im gesamten GHD-Sektor (Quellgruppe 1.A.4) werden durch Emissionen aus dem Einsatz fossiler Heizenergie bestimmt, mobile Maschinen verursachen lediglich 4 % der Emissionen. Dagegen stammen die Emissionen in der Teil-Quellgruppe 1.A.4.c zu zwei Dritteln aus Nutzfahrzeugen und Arbeitsmaschinen (UBA, 2017a; UBA, 2017b). Emissionsminderungen sind vor allem im stationären Energieverbrauch möglich.

Die Aussagekraft der für die Teil-Quellgruppe 1.A.4.c berichteten Emissionen sollte überprüft und verbessert werden. Die von der Generalzolldirektion erfassten Daten zur Mineralölsteuerrückvergütung können als vergleichsweise zuverlässige Datenquelle für die Entwicklung des landwirtschaftlichen Dieserverbrauchs in den letzten Jahren herangezogen werden. Danach ist der Dieserverbrauch in mobilen Maschinen allerdings etwa 40 % höher als nach den geschätzten Daten der THG-Berichterstattung. Vor diesem Hintergrund wird der Dieserverbrauch in landwirtschaftlichen Maschinen nach THG-Berichterstattung offenbar erheblich unterschätzt. Hier besteht offensichtlich Verbesserungsbedarf.

Unabhängig der Datenquelle ist der Dieserverbrauch in landwirtschaftlichen Maschinen zwischen 2008 und 2016 um jährlich ca. 2 % angestiegen. Mögliche Gründe sind eine Intensivierung der Bodenbearbeitung aufgrund gestiegener Agrarpreise oder Einschränkungen im Pflanzenschutz sowie verschärfte Emissionsgrenzwerte für Stickoxide bei Dieselmotoren, die zu geringeren Wirkungsgraden geführt haben. Vor dem Hintergrund zunehmender Einschränkungen im Pflanzenschutzbereich, der Ausweitung des Ökolandbaus könnte sich dieser Trend weiter fortsetzen. Die Einsparungen sind vor allem durch eine Extensivierung der Bodenbearbeitung, die Einführung GPS-gesteuerter Parallelfahrssysteme und durch Technologien zur Reduktion des Reifenschlupfs in der Bodenbearbeitung möglich. Das tatsächliche Einsparpotential lässt sich aber für den Gesamtsektor kaum quantifizieren, da nicht bekannt ist, in welchem Umfang diese Technologien bereits eingesetzt werden und die Standortbedingungen stark variieren.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Ausweitung des Einsatzes von Biotreibstoffen, auf die derzeit ca. 5 % des Treibstoffverbrauchs der Land- und Forstwirtschaft entfallen (UBA, 2017). Dieser Anteil soll sich laut Aussagen im Projektionsbericht (Bundesregierung, 2019) bzw. im KSP 2050 nicht wesentlich erhöhen. Eine Umverteilung der verfügbaren Biokraftstoffmengen zugunsten des landwirtschaftlichen Treibstoffverbrauchs hätte zwar positive Beiträge zum Sektorziel Landwirtschaft zur Folge, allerdings ohne sektorübergreifenden Klimaschutzeffekt. Zur Diskussion steht eine Ausweitung des landwirtschaftlichen Biokraftstoffeinsatzes, etwa eine Nutzung von Rapsöl als Kraftstoff für den Eigenbedarf in der Landwirtschaft (Bank Land- und Forstwirtschaft, 2016). Diese wäre jedoch mit hohen THG-Vermeidungskosten verbunden.

### *Umsetzung der Maßnahme*

Das Bundesprogramm Energieeffizienz des BMEL wird fortgesetzt. Über Maßnahmen zum Dieserverbrauch bestehen noch Unsicherheiten.

### *Finanzbedarf*

Im Bundesprogramm Energieeffizienz des BMEL wurden im Zeitraum 2016-2017 ca. 55 Mio. € Fördermittel eingesetzt.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Unter der Annahme, dass sich im Bereich Heizenergie und anderer stationärer Anlagen 30 % der Emissionen einsparen lassen und bei Treibstoffen 10 %, ergibt sich eine Minderung im Jahr 2030 von 1,1 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq.; dabei entfallen etwa 0,4 Mio. t auf den Treibstoffeinsatz. Bezüglich der Möglichkeiten, diese Minderungen tatsächlich zu erreichen, bestehen Unsicherheiten.

Die Emissionsberichterstattung für die Teil-Quellgruppe 1.A.4.c baut in Ermangelung erhobener Daten auf Schätzungen auf. Mit dieser Methode können künftige THG-Vermeidungen nicht erfasst und dokumentiert werden, und somit steht die Nachweisbarkeit der Maßnahmenwirkungen infrage. Dies belegen die folgenden Zitate aus dem aktuellen Nationalen Inventarbericht (NIR) (UBA, 2018): „Zu den Energieeinsätzen in Feuerungsanlagen der Landwirtschaft (1.A.4.ci ), die ebenfalls in Zeile 67 der Energiebilanz enthalten sind, kann auf Angaben einer vorliegenden Studie (Kolmetz et al., 1995) für das Jahr 1995 zurückgegriffen werden. Hier wurde eine Schätzung des Anteils der Feuerungsanlagen der Landwirtschaft am gesamten Energieeinsatz in Zeile 67 vorgenommen. Dieser Anteil wurde seither als konstant angenommen“ (UBA, 2018, S.238). Die Daten in Zeile 67 beziehen sich auf den Energieeinsatz von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrigen Verbrauchern.

„Die weitere auf land- (1.A.4.c ii (i)), forst- (1.A.4.c ii (ii)) und bauwirtschaftlichen Verkehr (1.A.2.g vii) sowie mobile Quellen in 1.A.4.a ii (vornehmlich Gabelstapler) erfolgt anhand eines in (Knörr et al., 2017b) erzeugten jährlichen Verteilschlüssels.“ (UBA (2018), S.243, die vom UBA zitierte Quelle Knörr et al., 2017b ist offenbar nicht veröffentlicht).

Schätzungen für die Fischerei beruhen auf Flottengrößen und Bewegungsdaten der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO), da der tatsächliche Kraftstoffeinsatz der Fischerei nicht statistisch erfasst wird: „Die Aktivitätsdaten der unter 1.A.4.c (iii) – Fischerei erfassten Küsten- und Hochseefischerei werden grundsätzlich im unter 1.A.3.d vorgestellten BSH-Modell u. a. anhand von AIS-Daten (Automatisches Identifikationssystem der IMO) und jährlichen Angaben der Europäischen Kommission zur Flottenentwicklung ermittelt“ (UBA, 2018, S.244).

### **Wirtschaftliche Effekte**

Eine Energieeinsparung bringt auch Kosteneinsparungen mit sich. Die Ausweitung des Biokraftstoffeinsatzes hätte dagegen volkswirtschaftliche Kostensteigerungen zur Folge. Die Kosten einer eigenen Biokraftstoff-Politik speziell für den Landwirtschaftssektor sind noch nicht abgeschätzt worden.

### **Beschäftigungseffekte**

Gering, durch Beratung und Neuinvestitionen gibt es ggf. positive Effekte. Eine Ausweitung des Biokraftstoffeinsatzes ist dagegen gesellschaftlich umstritten. Es wird argumentiert, dass die Beschränkung auf die Landwirtschaft gleichzeitig wie eine Obergrenze für die Ausweitung wirkt (Bank Land-und Forstwirtschaft, 2016).

### **Sozialverträglichkeit**

Für Maßnahmen zur Energieeinsparung gibt es hohe Akzeptanz.

### **Versorgungssicherheit**

Die Versorgungssicherheit steigt durch Energieeinsparungen. Eine Ausweitung des Biokraftstoffeinsatzes in der Landwirtschaft aus heimischen Agrarprodukten hätte geringe, negative Wirkungen auf die inländische Versorgung mit Nahrungsmitteln, die Versorgung mit heimischem Eiweißfutter würde dagegen ansteigen. Die Energieversorgung landwirtschaftlicher Maschinen würde unabhängiger.

### **Andere Umwelteffekte**

Energieeinsparungen können zur Luftreinhaltung beitragen.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

k. A.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Bei einer Ausweitung der Biokraftstoffproduktion kommt es zu Leakage-Effekten.

### **Fazit**

Berücksichtigung der Teilquellgruppe 1.A.4.c im Sektor Landwirtschaft ist mit erheblichen Unsicherheiten verbunden und erscheint nicht zielführend. Daher sollte die Zuordnung der Teilquellgruppe 1.A.4.c zum Sektor Landwirtschaft noch einmal grundsätzlich diskutiert werden.

Die für die Emissionsberichterstattung derzeit genutzten Datengrundlagen und Schätzungen reichen nicht aus, um THG-Vermeidungen durch diese Maßnahme im THG-Inventar zu dokumentieren. Verwaltungsdaten zur Agrardieselvegütung zeigen, dass die Emissionen möglicherweise höher ausfallen als bisher berichtet. Hinzu kommt, dass der Großteil der Emissionen aus dem Dieserverbrauch durch Traktoren und andere mobile Maschinen entsteht und dies ein Bereich ist, in dem derzeit keine sicheren, kostenwirksamen THG-Einsparungen möglich sind. Eine Förderung von Biokraftstoffen speziell für die Landwirtschaft wäre mit hohen THG-Vermeidungskosten verbunden und sollte nicht allein aufgrund des Sektorziels für die Landwirtschaft umgesetzt werden.

Eine Zuordnung der Teilquellgruppe 1.A.4.c zum Sektor Landwirtschaft lässt sich nur begründen, wenn die Landwirtschaftspolitik mehr Entscheidungs- und Finanzierungsbefugnisse für diesen

kleinen Teil der Energiepolitik erhält und ein Leitbild zur Entwicklung dieses Bereichs vorliegt. Unabhängig davon sollte das Bundesprogramm Energieeffizienz des BMEL fortgesetzt werden.

### 3.2.6 Erhaltung und Aufbau von Humus in mineralischen Ackerböden

#### Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung

Der Begriff "Humus" bezeichnet die tote organische Substanz im Boden und ist in der landwirtschaftlichen Praxis geläufig – in wissenschaftlichen Zusammenhängen wird hingegen der Begriff "organische Substanz" verwendet. In vorliegendem Dokument werden beide Begriffe synonym genutzt. Organische Substanz bzw. Humus besteht zu rund 58 % aus Kohlenstoff (C) bzw. ist C im Boden stets in seiner organischen Form als Humus vorliegend. Böden speichern rund viermal so viel C wie die oberirdische Vegetation und mehr als doppelt so viel wie die Atmosphäre (Ciais et al. 2013). Hierbei spielen organische Böden eine bedeutende Rolle. Diese werden in vorliegender Publikation mit einer eigenen Maßnahme zum Moorbodenschutz adressiert. Ein Verlust von organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) im Boden durch Mineralisierung geht einher mit der Emission von  $CO_2$ . In landwirtschaftlich genutzten Böden wird dieser Verlust durch agronomische Maßnahmen, die für den Eintrag an organischer Substanz in den Boden sorgen (s. u.), ausgeglichen. Übersteigt der Eintrag die Mineralisierung, kommt es zu einer Zunahme des  $C_{org}$ -Vorrats, was einer (temporären) Festlegung von  $CO_2$ -C im Boden gleichzusetzen ist. Wenn davon ausgegangen wird, dass sich der  $C_{org}$ -Vorrat in Böden unter den jeweiligen Standortbedingungen (Boden- und Klimacharakteristika, Landnutzungshistorie) auf einen Gleichgewichtszustand hin entwickelt (s. Jacobs et al. 2018), kann dies in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand einen Verlust oder eine Zunahme von  $C_{org}$  bedeuten. Für den Erhalt bzw. die Steigerung des  $C_{org}$ -Vorrats bestehen je nach Ausgangssituation unterschiedliche Möglichkeiten. Wenn sich ein Boden aktuell im Gleichgewichtszustand befindet oder  $C_{org}$ -Verluste auftreten, ist eine Steigerung des  $C_{org}$ -Vorrats nur mit hohem Aufwand möglich. Befindet sich ein Boden aktuell in einer Phase der  $C_{org}$ -Anreicherung, ist eine Steigerung des  $C_{org}$ -Vorrats im Rahmen einer üblichen humusmehrenden Bewirtschaftungsweise möglich.

Der  $C_{org}$ -Vorrat in Mineralböden werden in erster Linie von Standortfaktoren (z. B. Tongehalt, Grundwassereinfluss, Niederschlagshöhe) und der Art der Landnutzung (Acker, Grünland) bestimmt. Bei der Auswahl von Maßnahmen und Gestaltung von politischen Instrumenten ist daher zu berücksichtigen, dass der  $C_{org}$ -Vorrat eines Bodens und die Möglichkeit einer  $C_{org}$ -Anreicherung maßgeblich von den jeweiligen Standortbedingungen bestimmt werden (s. a. Jacobs et al. 2018).

Zu unterscheiden sind Maßnahmen, die den Eintrag an  $C_{org}$  in den Boden und die Anreicherung bzw. Speicherung des  $C_{org}$  erhöhen (z. B. durch Zwischenfruchtanbau, mehrjährigen Feldfutterbau oder Anlage von Feldgehölzen) und solchen, die eine Verlangsamung oder Verzögerung der Mineralisierung des  $C_{org}$  zur Konsequenz haben. Beispiele für diese Verzögerung sind ein verstärkter Anbau tiefwurzelnder Kulturen und die mechanische Einbringung organischer Substanz in Unterböden. Ob das Ausbringen von Biokohle zur Erhöhung des  $C_{org}$ -Vorrats im Boden beitragen kann, hängt von der biochemischen Stabilität des Kohlematerials ab. Jede Maßnahme kann nur erfolg-

reich zu einer Steigerung des  $C_{org}$ -Vorrats beitragen, wenn ihre kontinuierliche Anwendung gesichert ist, um die langfristige Aufrechterhaltung des aktuellen sowie gesteigerten  $C_{org}$ -Vorrats zu gewährleisten. Messbare Veränderungen des  $C_{org}$ -Vorrats werden erst nach mehreren Jahren erreicht, i. d. R. wird von rund 10 Jahren ausgegangen. Beim Aussetzen einer Maßnahme ist mit einem nahezu umgehenden Verlust des angereicherten  $C_{org}$  zu rechnen (Poepflau et al. 2011). Maßnahmen sind grundsätzlich auch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit durch Erhalt und Aufbau von Bodenhumus sowie auf mögliche Umweltwirkungen, wie Nährstoffüberschüsse und Schadstoffanreicherungen, zu beurteilen (Don et al. 2018).

### *Umsetzung der Maßnahme*

Konkret umsetzbare Maßnahmen sind die Förderung einer ganzjährigen Begrünung, etwa durch Zwischenfruchtanbau und Untersaaten, sowie des ökologischen Landbaus. Weiterhin könnte die Anlage von Feldgehölzen, die zusätzlich als Erosionsschutzhecken dienen, ausgeweitet werden. Da die Erhaltung des Bodenhumus als wichtiger Faktor für die Bodenfruchtbarkeit im Eigeninteresse der Landwirte liegt, sollte die Förderung von Bildung und Beratung im Vordergrund stehen. Zur Erprobung von Maßnahmen in der Praxis sollten Innovationsnetzwerke etabliert werden. Gezielte Flächenprämien für  $C_{org}$ -Anreicherung bzw. Humusaufbau sind angesichts der schnellen Umkehrbarkeit kritisch zu sehen.

### *Finanzbedarf*

Der Finanzbedarf kann ohne Konkretisierung der Maßnahmen nicht quantifiziert werden. Diese Fragen sind im Zusammenhang mit der Ausgestaltung der neuen Gemeinsamen Agrarpolitik nach 2020 zu klären.

## **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Wiesmeyer et al. (2014) berechnen anhand optimistischer Annahmen zur Umsetzung von Zwischenfruchtanbau, verbesserten Fruchtfolgen mit humusaufbauenden Kulturen wie Klee gras, Ökologischem Landbau, einer Ausweitung des Dauergrünlands und von Agroforstwirtschaft für Bayern einen Aufbau des  $C_{org}$ -Vorrats von jährlich 0,35 t  $C_{org}$ /ha p. a. auf der gesamten LF, das entspricht in der Summe 1,1 Mio. t  $C_{org}$  oder 4 Mio. t  $CO_2$ . Die Hälfte der Wirkungen geht auf die Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus zurück, 13 % auf verbesserte Fruchtfolgen und 11 % auf ökologischen Landbau. Die Ausweitung des Dauergrünlands und der Agroforstwirtschaft trägt etwa ein Drittel bei, allerdings unter sehr optimistischen Annahmen zum jeweils erreichbaren Flächenumfang. Zu berücksichtigen ist, dass Zwischenfrüchte bereits angebaut werden und einer weiteren Ausdehnung durch Fruchtfolge und Standortbedingungen Grenzen gesetzt sind. Die Erhöhung des  $C_{org}$ -Vorrats bringt auch eine N-Anreicherung mit sich, wodurch Lachgasemissionen ansteigen können. Hierzu besteht noch Forschungsbedarf.

Die Veränderung des  $C_{org}$ -Vorrats der deutschen landwirtschaftlich genutzten Böden werden durch eine Wiederholung der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft des Thünen-Instituts festgestellt und damit für die Emissionsberichterstattung nutzbar gemacht werden. Erst auf dieser

Basis kann belastbar ausgesagt werden, welche Veränderungen im  $C_{\text{org}}$ -Vorrat der mineralischen Ackerböden aktuell und im Mittel über Deutschland auftreten.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Dem Mehraufwand für den Humusaufbau steht die damit einhergehende Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit gegenüber. In bestimmten Grenzen ist die Humuserhaltung als Bestandteil nachhaltiger Bodennutzung anzusehen.

### **Beschäftigungseffekte**

Es ist von keinen relevanten Änderungen im Arbeitsbedarf auszugehen.

### **Sozialverträglichkeit**

Die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit findet in der landwirtschaftlichen Praxis und in der Öffentlichkeit hohe Akzeptanz.

### **Versorgungssicherheit**

Böden mit hohem und stabilem Humusvorrat zeichnen sich durch eine höhere Ertragsstabilität aus und leisten somit einen Beitrag zur Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion. Dies ist insbesondere relevant im Zusammenhang mit zu erwartenden klimatischen Veränderungen. Negative Wirkungen der Maßnahme auf die inländische Nahrungsmittelproduktion treten nur auf, wenn landwirtschaftliche Flächen extensiviert oder zu Gehölzen umgewandelt werden.

### **Andere Umwelteffekte**

Durch die Maßnahmen treten überwiegend positive Effekte auf Gewässer, Boden und Biodiversität auf. Insbesondere durch das Eingreifen in den Nährstoffkreislauf durch zusätzlichen Biomasseeintrag in den Boden entstehen jedoch auch unerwünschte Effekte auf die Umweltmedien Luft und Wasser. Aus Sicht des Gewässerschutzes wird eine Humusanreicherung, die immer auch mit erhöhten Nährstoffvorräten verbunden ist, aufgrund der Gefahr wasserbelastender Nährstofffreisetzungen kritisch gesehen. Auch aus Sicht des Klimaschutzes muss Humusaufbau im Rahmen einer effizienten und verlustarmen Nährstoffversorgung der Bestände erfolgen. Auf mögliche Schadstoffeinträge ist zu achten.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

k. A.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Maßnahmen zur Erhöhung der  $C_{\text{org}}$ -Bindung und Humusanreicherung im Boden, wie z. B. Agroforstsysteme, können die Nahrungsproduktion einschränken und zu Leakage-Effekten führen. Wenn Futterflächen, wie Grünland und Klee gras, zur Steigerung des  $C_{\text{org}}$ -Vorrats im Boden ausgedehnt werden, können die Emissionen aus der Tierhaltung ansteigen.

Der Humusaufbau steht in Konkurrenz mit anderen Verwendungsmöglichkeiten für den in der Landwirtschaft gebundenen C. Beim Aufbau von Humus geht durch mikrobielle Umwandlungsprozesse ein Großteil des „eingesetzten“  $C_{org}$  verloren und eine vollständige, energetische Verwertung z. B. von Stroh zur Substitution fossiler Energieträger stellt sich somit vordergründig als effizientere Klimaschutzmaßnahme dar. Gleichzeitig ist eine Mindestanforderung an die Humuserhaltung unabdingbar für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Als Kompromiss ist eine energetische Verwertung von Pflanzenmaterial in der Biogasproduktion und Ausbringung der Gärreste auf landwirtschaftliche Böden anzusehen, denn die Humusreproduktion der Ausgangsstoffe wird nach Erkenntnissen von Thomsen et al. (2013) durch diese „Vornutzung“ nicht wesentlich verringert. Eine Honorierung erhöhter Humusgehalte kann zu einer bloßen Umverteilung verfügbarer organischer Dünger zwischen Betrieben und Regionen führen, ohne dass ein positiver Nettoeffekt erzielt wird.

### Fazit

In Hinblick auf die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und als Vorsorgemaßnahme gegen den Klimawandel ist die Humuserhaltung und, wo dies möglich und sinnvoll ist, der -Aufbau politisch zu unterstützen. Gefördert werden sollte vor allem die Bildung und Beratung, um die Bodenpflege im Eigeninteresse der Flächenbewirtschafter zu stärken. Dazu gehören auch Innovationsnetzwerke zur Erprobung und Wirkungsabschätzung für Maßnahmen zur Humusanreicherung und dauerhafter Speicherung im Boden. Als flächenbezogen geförderte Maßnahmen sind Feldgehölze und Hecken, Zwischenfruchtanbau und ökologischer Landbau zu nennen.

## 3.2.7 Erhaltung der Dauergrünlandfläche

### Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung

Die Erhaltung des Dauergrünlandes auf Mineralböden verhindert die Freisetzung des im Grünlandboden gespeicherten Kohlenstoffvorrats, der bei Umwandlung in andere Landnutzungen wie Ackerland teilweise freigesetzt würde. Eine Dauergrünlanderhaltung auf entwässerten, organischen Böden ist dagegen ohne Anhebung des Wasserstands als Klimaschutzmaßnahmen kaum wirksam, da die Entwässerung auch bei Grünlandnutzung zu einer fortschreitenden Torfzersetzung führt.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Dauergrünlanderhaltung ist eine Maßnahme des Greenings im Rahmen der EU-Agrarpolitik. Auch verschiedene Landesnaturschutzgesetze und Grünlanderhaltungsverordnungen der Länder, das Umwandlungsverbot in Überschwemmungsgebieten gemäß Wasserhaushaltsgesetz sowie Schutzgebietes-spezifische Auflagen schützen das Dauergrünland vor Umwandlung. Die auf Einzelflächen bezogene Umsetzung des Greening in Deutschland mit Genehmigungspflichten und dem Nachweis von Ersatzflächen bei Umwandlung einer Dauergrünlandfläche sichern derzeit die Erhaltung weitgehend ab. Die Fortschreibung der Dauergrünlanderhaltung bis 2030 ist Teil des MMS-Szenarios im Projektionsbericht 2019 (Bundesregierung, 2019). Durch die Neueinsaat wird

kurzfristig weniger Kohlenstoff gebunden als bei Umbruch von altem Dauergrünland verloren geht. Daher sollten kohlenstoffreiche, alte Grünlandflächen erhalten werden. Es sollte untersucht werden, wie stark die Ersatzflächenregelung in Anspruch genommen wird. Agrarumweltmaßnahmen zur Förderung extensiver und Naturschutz-orientierter Formen der Grünlandnutzung sowie die Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete machen die Erhaltung des Dauergrünlands wirtschaftlich attraktiver und unterstützen so die Erhaltungsaufgaben.

### *Finanzbedarf*

Die Auflage zur Grünlanderhaltung ist eine Bedingung für den vollständigen Erhalt von flächenbezogenen Zahlungen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU. Für das Greening werden 30 % der Direktzahlungen aufgewendet, das entspricht insgesamt gut 1,4 Mrd. € p. a., und je Hektar einem Betrag von 85 €/ha. Die Höhe der Zahlungen steht jedoch in keinem Zusammenhang mit den betrieblichen Anpassungskosten an die Greening-Auflagen, Bedingung für die Umsetzung über das Förderrecht sind ausreichend hohe Hektarprämien und Prämienkürzungen als Sanktion. Für die unterstützende Agrarumweltförderung einschließlich der Förderung des ökologischen Landbaus wurden im Jahr 2011 ca. 300 Mio. € eingesetzt. Für Grünlanderhaltungsverordnungen fällt außer für den Vollzug kein Finanzbedarf an.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Bei Umwandlung von Dauergrünland auf Mineralboden in Ackerland werden in den obersten 30 cm durchschnittlich ca. 17,5 t Kohlenstoff pro Hektar freigesetzt (Daten abgeleitet aus BZELandwirtschaft, s. Rösemann et al., 2019), das entspricht 64 t CO<sub>2</sub>/ha. Die Dauergrünlanderhaltung verhindert somit die bei Umwandlung in Ackerland anfallenden Emissionen. In der Emissionsberichterstattung wird die C-Vorratsänderung auf 20 Jahre ab Umwandlung verteilt. Eine dauerhafte THG-Wirkung ist mit der Maßnahme nicht verbunden. Im Projektionsbericht 2019 (Bundesregierung, 2019) wird die Wirkung der Dauergrünlanderhaltung im Vergleich mit einer fortgesetzten Umwandlung in Ackerland mit 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. quantifiziert.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Die Kosten der Erhaltung des Dauergrünlands, die auf für den Ackerbau geeigneten Standorten als Opportunitätskosten bestehen, tragen die Flächeneigentümer und Bewirtschafter. Die durchschnittliche Pachtdifferenz zwischen Acker- und Grünland betrug im Jahr 2016 ca. 150 €/ha (DESTATIS, 2016b). Zu berücksichtigen ist, dass nicht alle Grünlandstandorte für eine Ackernutzung geeignet sind, und die Agrarumweltförderung auf Grünland eine größere Rolle spielt.

### **Beschäftigungseffekte**

k. A.

### **Sozialverträglichkeit**

Bei abnehmender Wirtschaftlichkeit und eingeschränkten Verwertungsmöglichkeiten für die Dauergrünlandnutzung dürften Erhaltungsaufgaben für das Dauergrünland zunehmend auf Akzep-

tanzprobleme stoßen. Eine Debatte über die Abstockung der Tier- und insbesondere der Wiederkäuerbestände wird diese Problematik noch verstärken.

### **Versorgungssicherheit**

Die Erhaltung der Produktionsfläche und insbesondere der Ackerfläche ist eine wichtige Grundlage für die Versorgung mit Nahrungsmitteln. In der Vergangenheit ist langfristig mehr Ackerland als Grünland durch neue Verkehrs- und Siedlungsfläche verloren gegangen. Die Umwandlung von Grünland in Ackerland hat in der Vergangenheit zu einem Ausgleich der Ackerflächenverluste beigetragen.

### **Andere Umwelteffekte**

Die Erhaltung des Dauergrünlands dient dem Wasser- und Bodenschutz, ist in vielen Regionen wichtig für das Landschaftsbild, und fördert in Verbindung mit Maßnahmen zur extensiven Nutzung die Biodiversität.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

k. A.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Erhaltung und Förderung des Dauergrünlands fördert die grünlandgebundene Tierhaltung. Dauergrünland wird vor allem durch Rinder genutzt. Die Haltung einer Mutterkuh verursacht Methanemissionen in Höhe von jährlich ca. 1,9 t CO<sub>2</sub>-Äq. Die Erhaltung als Dauergrünland verhindert gleichzeitig die Aufforstung oder die Nutzung für schnellwachsende Hölzer, also Maßnahmen, die flächenbezogen einen größeren, positiven Klimaschutzeffekt hätten.

### **Fazit**

Die Kostenwirksamkeit der Grünlanderhaltung auf Mineralböden liegt bei einem Zinssatz von 2 % und einer Pachtdifferenz von 150 € p. a. bei 118 € pro t CO<sub>2</sub>-Äq., bei 5 % Zinsansatz sind es 47 € pro t. Die Emissionswirkungen der grünlandgebundenen Tierhaltung sind dabei nicht berücksichtigt.

Ordnungsrechtliche Auflagen auf Landesebene, etwa im Natur- oder Gewässerschutz, waren in der Vergangenheit nicht bundesweit wirksam (Schramek et al. 2012). Daher kommt den förderrechtlichen Auflagen in der ersten Säule der Agrarpolitik für diese Maßnahme eine hohe Bedeutung zu. Die Dauergrünlanderhaltung ist für die Zeit nach 2020 noch nicht gesichert und hängt von der Ausgestaltung der Gemeinsamen Agrarpolitik post 2020 ab. Bei der Ausgestaltung der Dauergrünlanderhaltung in der GAP nach 2020 ist darauf zu achten, dass keine Regelungslücken und Ankündigungseffekte entstehen, die zu verstärkter Grünlandumwandlung führen können. Die Referenzfläche für das Dauergrünland sollte mit einem Bezugsjahr in der Vergangenheit, z. B. dem Jahr 2015, definiert werden. Die bestehende Einzelflächen-bezogene Verpflichtung zur behördlichen Genehmigung von Umwandlung und nur gegen Nachweis einer Ersatzfläche mit Grün-

landeinsaat sollte fortgeschrieben werden, und auf kohlenstoffreichen Böden sollte generell keine Umwandlung erlaubt sein.

Langfristig hat eine Reduzierung der extensiven, oft wenig wettbewerbsfähigen Tierhaltung auf Grünland und die Aufforstung oder Nutzung für schnellwachsende Hölzer größere Klimaschutzpotentiale, birgt aber Konflikte in Hinblick auf landwirtschaftliche Einkommen und Beschäftigung, Biodiversität und Landschaftsbild. Bezüglich optimierter Klimaschutzstrategien für die heutige Dauergrünlandfläche unter Berücksichtigung verschiedener (Umwelt-)Ziele und in Hinblick auf alternative Grünlandnutzungen ohne bzw. mit weniger Wiederkäuern besteht Forschungsbedarf.

### 3.2.8 Schutz von Moorböden und Reduzierung des Torfeinsatzes als Kultursubstrat

#### 3.2.8.1 Schutz von Moorböden

##### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Emissionen aus Moorböden (Begriff hier vereinfacht für die Gesamtheit „organischer Böden“ verwendet) werden für die deutsche THG-Berichterstattung in Abhängigkeit von der Tiefe der Entwässerung berechnet. Zentrale Maßnahme zum Schutz der Moorböden ist daher eine Erhöhung der Wasserstände zur Torfschonung bzw. bei Wiederherstellung naturnaher Wasserverhältnisse mit Wasserständen von im Jahresmittel ca. 10 cm unter der Bodenoberfläche zur Torferhaltung. Auflagen zur Flächennutzung ohne Veränderung des Entwässerungszustands sind dagegen unwirksam. Die Emissionen können durch Erhöhung des Wasserstands auf bisher landwirtschaftlich genutzten Moorböden je nach Ausgangs- und Zielsituation um 15 bis ca. 25 t CO<sub>2</sub>-Äq./ha p. a. (konservative Schätzung und inkl. erhöhter Methanemissionen nach Vernässung) vermindert werden. Auch unter sehr nassen Bedingungen erfolgt kein Anstieg der N<sub>2</sub>O-Emissionen, sondern im Gegenteil ein kompletter Stopp. Während die Entwicklung einer moortypischen Vegetation Jahrzehnte dauern kann, ist von einer schnellen Wirkung der erhöhten Wasserstände auf die THG-Emissionen auszugehen, da sich die dafür verantwortlichen Mikroorganismen schnell an die veränderten Umgebungsbedingungen anpassen.

Derzeit wird in Forschungsvorhaben die Auswirkung einer begrenzten Vernässung unter Beibehaltung landwirtschaftlicher Nutzung als Grünland mit Hilfe sog. Unterflurbewässerung auf THG-Emissionen und Erträge erprobt. Dies kann keinen vollständigen Stopp der THG-Emissionen, sondern nur eine Minderung bewirken. Eine Nutzung vollständig vernässter Moorböden durch den Anbau von Schilf, Seggen, Torfmoosen oder Erlen (sogenannte Paludikulturen) steht nicht im Konflikt mit dem Klimaschutz, im Gegenteil, es ergeben sich zusätzliche Chancen für den Klimaschutz durch eine stoffliche oder energetische Nutzung von Biomasse. Genaue Zahlen zur Einsparungsleistung liegen mit Ausnahme von als äußerst günstig zu bewertenden Torfmoosen jedoch noch nicht vor.

### *Umsetzung der Maßnahme*

Alle Länder mit relevanten Flächenumfängen auf Moorboden haben Programme zum Moor(boden)schutz entwickelt und setzen bereits Maßnahmen um. Die Grundlagen für den künftigen Moorbodenschutz sollen laut KSP 2050 durch eine Bund-Länder-Vereinbarung zum Moorbodenschutz, eine Strategie zum „Erhalt von Moorböden (organische Böden)“ sowie eine Folgenabschätzung gelegt werden. Auch die Konkretisierungen zur Verbesserung der Förderung von Paludikulturen, zu Pilotprojekten und zur Forschung für Maßnahmen zum Moorbodenschutz sollten Gegenstand der Bund-Länder-Vereinbarung und der Strategie sein. Umfassende Empfehlungen zum Schutz der Moorböden finden sich in Weingarten et al. (2016). Hintergründe zur Bund-Länder-Vereinbarung und Maßnahmenvorschläge geben Osterburg et al. (2018).

Die Abstimmung und Konkretisierung von Maßnahmen ist derzeit Gegenstand von Fachgesprächen zur Vorbereitung der Bund-Länder-Vereinbarung zum Moorbodenschutz. Ziele sind es, bestehende Moorflächen zu schützen und Anreize für Investitionen in ein moorbodenschonendes Wassermanagement zu schaffen. Dafür sind u. a. Hemmnisse in der agrarpolitischen Förderung abzubauen. Dies betrifft insbesondere den Ausschluss vernässter, bisher landwirtschaftlich genutzter Moorböden von der Beihilfefähigkeit für Direktzahlungen der 1. Säule der GAP und die Bewertung einer Umwandlung von entwässerten Grünlandflächen in Paludikulturen als Grünlandumbruch. Auf der anderen Seite sollen Fördermaßnahmen zur Umsetzung von Projekten zum Moorbodenschutz verstetigt und ausgebaut werden.

### *Finanzbedarf*

Für die Finanzierung von Projekten zum Moorbodenschutz werden hohe Summen erforderlich, wenn aufgrund hoher regionaler und betrieblicher Betroffenheiten Maßnahmen auf freiwilliger Basis oder mit Hilfe von Flächenkauf realisiert werden. Die Bund-Länder-Vereinbarung beschäftigt sich auch mit Fragen der Finanzierung.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Angesichts von THG-Emissionen aus Moorböden in Höhe von insgesamt 47 Mio. t CO<sub>2</sub>, darunter ca. 36 Mio. t aus landwirtschaftlich genutzten Flächen mit einem Umfang von ca. 1,3 Mio. Hektar, weist der Schutz von Moorböden sehr große Minderungspotentiale auf. Zusätzlich entstehen Lachgasemissionen aus der Torfmineralisierung in Höhe von ca. 2,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., die in der Quellgruppe Landwirtschaft berichtet werden. Potentiale gibt es auch in entwässerten Waldmooren und in entwässerten oder suboptimal vernässten, derzeit nicht genutzte Moorböden („Feuchtgebiete“ im THG-Inventar). Im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (BMUB (Hrsg.), 2014) wird unter der Annahme, dass ein Flächenanteil von fünf Prozent der gesamten Moorfläche wiedervernässt wird, ein jährliches THG-Minderungspotential von 1,5 bis 3,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ausgewiesen. Im Klimaschutzgutachten 2016 (Weingarten et al., 2016) werden Minderungspotentiale auf landwirtschaftlich genutzten Moorböden von 7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. (bei Maßnahmen zur Vernässung auf 300.000 Hektar) bzw. 15,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. (bei Maßnahmen zur Vernässung auf 900.000 Hektar) angegeben.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Eine volle Vernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorböden führt dazu, dass die bisherige, „trockene“ landwirtschaftliche Nutzung nicht mehr fortgeführt werden kann. Daher bleiben derzeit oft nur Flächenkauf oder andere Formen der Flächensicherung wie Grundbucheintragungen. Projekte zum Moorbodenschutz können das Flächenangebot am lokalen Bodenmarkt stark verknappen und zu steigenden Flächenkosten führen. Das zeigen die Ergebnisse einer Analyse mit dem Betriebsgruppenmodell FARMIS (s. Anhang 1). Zu Vermeidungskosten von ca. 10 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. (ohne Investitionen in Wasserbau und Kosten des Flächenmanagements) wird die Mehrheit der Flächen für Moorbodenschutz in Nordostdeutschland mobilisiert. Die niedrigen Vermeidungskosten stehen in Zusammenhang mit den dortigen geringen Pachten und einer geringen Viehbesatzdichte. In Nordwestdeutschland werden Moorböden dagegen intensiver und vor allem für die Milchproduktion genutzt. Hier müssen aufgrund der höheren Produktivität und Wirtschaftlichkeit dieser Nutzung deutlich höhere Flächenprämien für den Moorbodenschutz angeboten werden. Alternative Konzepte zu Paludikulturen, die den Landwirten weiterhin Einkommen ermöglichen würden, können derzeit noch nicht wirtschaftlich bewertet werden.

### **Beschäftigungseffekte**

Lokal können bei Anhebung der Wasserstände in Moorböden aufgrund dadurch eintretender Einschränkung der landwirtschaftlichen Nutzung negative Beschäftigungseffekte auftreten.

### **Sozialverträglichkeit**

Aufgrund der starken Eingriffe in das Eigentum, die mit einer Anhebung des Wasserstands einhergehen, können große Akzeptanzprobleme entstehen. Von Wasserstandsanhebungen sind häufig alle Flächennutzungen eines hydrologisch zusammenhängenden Gebietes betroffen, und technisch mögliche „Insellösungen“ verursachen höhere Kosten. Die Kultivierung von Moorböden wird als landeskulturelle Leistung gesehen, die nun für den Klimaschutz rückgängig gemacht werden soll. Die Situation wird dadurch erschwert, dass einzelne Regionen und Betriebe besonders hohe Moorbodenanteile aufweisen und von Klimaschutzmaßnahmen stark betroffen wären. Wenn nach den kostengünstigsten Standorten für den Moorbodenschutz gesucht wird, fällt die Wahl auf besonders extensiv genutzte, strukturschwache Gebiete, in denen die Flächenkosten besonders gering sind (vgl. Anhang 1). Die Anhebungen des Wasserstands können i. d. R. nur mit Einverständnis aller betroffener Flächeneigentümern und -nutzer realisiert werden. Wichtig ist daher eine die Akzeptanz fördernde, freiwillige Umsetzung von Moorbodenschutzprojekten mit entsprechender Finanzierung. Durch die Entwicklung von Paludikulturen als „nassen Nutzungsformen“ können Wertschöpfungspotentiale für eine klimaschonende Moorbodennutzung entwickelt werden.

### **Versorgungssicherheit**

Bei Vernässung von Moorböden sind diese i. d. R. nicht mehr für die Nahrungsproduktion geeignet.

### **Andere Umwelteffekte**

Der Schutz von Moorböden hat positive Auswirkungen auf die Gewässer und die Biodiversität. Im Hinblick auf Paludikulturen ist nach Lösungen zu suchen, um die Synergien mit Naturschutzzielen zu nutzen und Konflikte (z. B. Einwanderung geschützter Arten) so weit möglich zu minimieren.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Eine generelle Wasserstandsanhhebung in Moorböden hilft, Moorbrände und die damit zusammenhängende Luftverschmutzung zu vermeiden.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Landnutzungsänderungen auf Moorböden können zwar Leakage-Effekte nach sich ziehen, aufgrund der sehr hohen THG-Emissionsvermeidungen pro Hektar können diese die Netto-Wirkung von Moorbodenschutz aber kaum schmälern.

### **Fazit**

Die Vermeidungskosten von Moorschutzprojekten mit Naturschutzzielen werden von Drösler et al. (2012) mit 27 bis 107 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. angegeben. Vermeidungskosten für Paludikulturen können noch nicht beziffert werden. Die Modellanalysen (Anhang 1) zeigen ebenfalls z. T. sehr geringe zu erwartende Vermeidungskosten. Diese können jedoch aufgrund von Akzeptanzproblemen deutlich höher ausfallen.

Um den Moorbodenschutz in relevantem Umfang vorantreiben zu können, müssen Beteiligungsmodelle entwickelt werden, durch die Flächeneigentümer und -nutzer für Beiträge zum Klimaschutz honoriert werden. Ferner müssen moorbodenerhaltende nasse Bewirtschaftungsmöglichkeiten einschließlich der Verarbeitung und Vermarktung neuer Produkte (erneuerbare Leichtbau- und Dämmstoffe, Torfersatzstoffe, etc.) entwickelt und in die Praxis umgesetzt werden, die in strukturschwachen Räumen Wertschöpfung ermöglichen. Dazu besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Ferner sind eine Integration der Ziele des Moorbodenschutzes in das agrarpolitische Fördersystem und die Auflage eines Bundesprogramms oder eines Fonds zur Finanzierung von Projekten notwendig. Die Anforderungen an die Flächennutzung, vor allem aber an das Wassermanagement in Mooregebieten müssen weiterentwickelt werden. Dazu ist insbesondere eine Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes zu empfehlen, um für wasserbauliche Maßnahmen in Mooregebieten eine Verpflichtung zur Gebietsausweisung vergleichbar zu Überschwemmungsgebieten und zu Investitionen in Wasserrückhalt und Wasserstandsmanagement einzuführen.

### 3.2.8.2 Reduzierung des Torfeinsatzes als Kultursubstrat

#### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Die Reduzierung des Torfeinsatzes im Erwerbsgartenbau, auf den über 50 % der Torfverwendung in Deutschland entfallen, ist derzeit nicht vollständig möglich. Durch Zuschlagstoffe kann aber die verwendete Menge reduziert werden. Durch die Entwicklung von Torfersatzstoffen, z. B. aus dem Anbau von Torfmoosen oder der Nutzung von Holzfasern und Komposten, soll perspektivisch ein vollständiger Ersatz ermöglicht werden. Im Hobby- und Friedhofsgartenbau sowie dem Garten- und Landschaftsbau bestehen mehr Möglichkeiten, den Torfeinsatz kurzfristig und deutlich stärker zu reduzieren.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Laut Koalitionsvertrag der Bundesregierung soll eine Strategie zur Minderung des Torfeinsatzes im Gartenbau beitragen. Für die Entwicklung der Strategie hat BMEL die Federführung und hat erste Branchengespräche durchgeführt. Im KSP 2050 werden Beratungs- und Informationsmaßnahmen zur Minderung des Torfeinsatzes im Hobbygarten- sowie im Garten- und Landschaftsbau und die Anpassung von Vergaberichtlinien für öffentliche Aufträge im Garten- und Landschaftsbau genannt. Des Weiteren soll ein Forschungsprogramm zu Torfersatzstoffen aufgelegt werden. Die Maßnahme sollte mit den künftigen Entwicklungen des (bereits genehmigten) Torfabbaus in Deutschland abgestimmt werden. Sobald quantitativ und qualitativ ausreichende Mengen an Torfersatzstoffen unter Marktbedingungen bereitgestellt werden können, sollte darüber hinaus geprüft werden, inwieweit ein vorgezogener Ausstieg aus dem Torfabbau möglich ist. Eine Erhöhung von Torfimporten oder der Exporte von in Deutschland abgebautem Torf sollte vermieden werden.

#### *Finanzbedarf*

Dieser besteht vor allem für Forschungs- und Entwicklungsprojekte, Innovationsförderung und Modell- und Demonstrationsvorhaben.

#### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

In Weingarten et al. (2016) wird mit einer THG-Minderung zwischen 1 und 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bei 100 % Verzicht auf Torf im Hobby- und Landschaftsgartenbau und 50 % Reduzierung der Torfverwendung im Erwerbsgartenbau gerechnet. Diese Minderung wird in der Quellgruppe LULUCF in der Unterkategorie gemanagte Feuchtgebiete berichtet. Ob dieses Potential bis 2030 realisiert werden kann, hängt u. a. davon ab, ob die Entwicklung von Torfersatzstoffen erfolgreich verläuft und ausreichende Mengen an alternativen Ausgangssubstraten erschlossen werden können. Die Maßnahme ist für das deutsche THG-Inventar nur dann wirksam, wenn der Torfabbau in Deutschland entsprechend der veränderten Nachfrage reduziert wird.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Der Rückgang des Torfeinsatzes betrifft die Torf- und Erdenwerke und die Gemüse- und Zierpflanzenproduktion sowie Baumschulen. Die Auswirkungen hängen davon ab, ob geeignete Ersatzsubstrate zu vergleichbaren Preisen entwickelt werden können.

### **Beschäftigungseffekte**

Nicht abschätzbar.

### **Sozialverträglichkeit**

Die Reduzierung des Torfeinsatzes soll auf freiwilliger Basis stattfinden und stößt auf eine grundsätzliche Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit dem Thema. Ein vollständiger Ausstieg ist in einigen Teilbranchen des Erwerbsgartenbaus aber noch nicht denkbar.

### **Versorgungssicherheit**

k. A.

### **Andere Umwelteffekte**

Bei Einstellung des Torfabbaus werden weniger Moorflächen zerstört, aber auch keine Flächen mehr nach Torfabbau einer Wiedervernässung zu Naturschutzzwecken zugeführt.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

k. A.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Deutschland ist sowohl Importeur von Torf als auch Exporteur. Beschränkungen des Torfabbaus könnten steigende Importe zur Folge haben. Eine Einschränkung des Torfeinsatzes im Inland kann, wenn die inländische Substratindustrie ihre Verarbeitungskapazitäten weiter nutzt, eine Erhöhung der Exporte von Substraten nach sich ziehen und zu vermehrten Importen von auf Torf basierenden Gartenbauprodukten.

### **Fazit**

Eine einseitige Einschränkung des Torfabbaus in Deutschland würde zu Produktionsverlagerungen oder verstärkten Importen führen. Daher sollte eine Strategie zur Minderung des Torfeinsatzes an der Substitution von Torf in Kultursubstraten und als Bodenverbesserer ansetzen. Diesen Weg verfolgt auch Niedersachsen, das Bundesland mit der höchsten Bedeutung für den Torfabbau. Im Programm Niedersächsische Moorlandschaften wird jedoch kein verbindliches Ziel zum Ausstieg aus dem Torfabbau gesetzt, der Schwerpunkt liegt im Bereich Torfersatz im Gartenbau (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, 2016). Zusätzlich können Deklarationsregeln zum Torfgehalt von Substraten und Vergaberichtlinien für öffentliche Aufträge die Einführung und Vermarktung torffreier Substrate unterstützen.

### 3.2.9 Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder und Holzverwendung

Maßnahmen in Wäldern entwickeln ihre volle Wirkung oft erst nach mehreren Jahrzehnten wenn nicht Jahrhunderten. So sind Wiederbegründungsmaßnahmen heute mit Kosten verbunden, denen der entsprechende Nutzen erst viel später entgegensteht. Dieser Nutzen kann in nutzbarem Holz, wertvollen Lebensräumen oder einer hohen Kohlenstoffspeicherung bestehen. Auch heutige Nutzungsentscheidungen können kurzfristig ganz andere Wirkungen entfachen als langfristig. Der Verzicht auf Nutzung beispielsweise sichert kurzfristig den Erhalt der Kohlenstoffsенке Wald. Langfristig führt der Verzicht auf regelmäßige Verjüngung unserer Wälder aber zu einer niedrigeren Kohlenstoffsенке, einfach weil jüngere Wälder produktiver sind als ältere. Nachhaltige Forstwirtschaft erfordert daher immer einen langen Betrachtungszeitraum von mindestens einer Bestandesgeneration zwischen 60 und mehr als 100 Jahren. Maßnahmen im Wald nur kurzfristig zu betrachten, wie im Klimaschutzplan 2050 vorgesehen, ist daher grundsätzlich nicht angemessen. Zur Beantwortung der vorliegenden Fragestellung wird trotzdem versucht, sinnvolle kurzfristige Maßnahmen bis zum Jahr 2050 vorzuschlagen, die sich in insgesamt vier Untermaßnahmen gliedern. Auf deren langfristige Wirkung wird zum Teil explizit hingewiesen.

#### 3.2.9.1 Anpassung der Wälder an den Klimawandel

##### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Der Wald in Deutschland wird nachhaltig bewirtschaftet. Für die „Quellgruppe“ Landnutzung und Forstwirtschaft wurde kein Minderungsziel vereinbart, insbesondere, da dieser Sektor derzeit eine Senke ist. Zur Erhaltung und gegebenenfalls Verbesserung der Senkenwirkung sieht der Klimaschutzplan 2050 Maßnahmen vor, die das Potenzial der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und der damit eng verbundenen Holzverwendung (CO<sub>2</sub>-Senke Wald, C-Minderung durch Speicher- und Substitutionswirkung nachhaltig erzeugter Holzprodukte) erweitern. Durch den in der BWI 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 dokumentierten aktuellen Trend zum „älter werden lassen“ des Waldes, insbesondere beim Laubholz, wird mittelfristig die Senkenleistung jedoch abnehmen, da ältere Bestände weniger CO<sub>2</sub> aus der Luft entnehmen und als Zuwachs in Holz festlegen als junge und mittelalte. Hierdurch ist langfristig die Aufrechterhaltung der Senkenfunktion und die Einhaltung der Verpflichtungen nach dem Übereinkommen von Paris gefährdet. Gleichzeitig steigt das Risiko, durch natürliche Störungen (Sturm, Witterungsextreme, Kalamitäten) Teile dieser Senke zu verlieren. Die aktuellen Schäden in den Jahren 2018 und 2019 mit ca. 105 Mio. m<sup>3</sup> Schadholzvolumen machen dieses Risiko deutlich. Ein einfaches „weiter wachsen lassen“ der Bestände ist vor diesem Hintergrund riskant und eine umfangreichere Verjüngungsaktivität als in den letzten Jahren sowie eine aktive Erhöhung der Anpassungsfähigkeit durch entsprechende Maßnahmen bei der Verjüngung und Pflege der Bestände ist angeraten.

Um den angestrebten Waldumbau zu unterstützen, stehen mit GAK und Waldklimafonds zwei Instrumente zur Verfügung, die im Privat- und Kommunalwald anfallenden Mehrkosten für den

Waldumbau mit klimaangepassten, wuchsstarken, überwiegend heimischen Baumarten aufzufangen.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Im GAK sind in Zusammenarbeit mit den Bundesländern Fördertatbestände zu etablieren, die die Förderung von Bestandesbegründung mit klimaangepassten, wuchsstarken, überwiegend heimischen Baumarten erlauben. Die finanziellen Mittel müssten hierfür angepasst werden. Es ist zudem zu prüfen, ob auch die Mittel des Waldklimafonds aufgestockt und für den aktiven Waldumbau genutzt werden können.

#### *Finanzbedarf*

Bei einer geschätzten Verjüngungsfläche von jährlich ca. 110.000 ha, wären davon ca. 73.000 ha im über GAK und Waldklimafonds förderfähigen Körperschafts- und Privatwald. Für die planmäßige Verjüngung von dort befindlichen Nadelholzbeständen mit klimaangepassten, wuchsstarken, überwiegend heimischen Baumarten wäre mit jährlichen durch den Baumartenwechsel begründeten förderbaren Mehrkosten in Höhe von 88 Mio. € zu rechnen. Wenn man davon ausgeht, dass die Hälfte der zu verjüngenden Laubholzbestände ebenfalls mit klimaangepassten Provenienzen verjüngt werden müssen, wären hierfür förderbare Mehrkosten in Höhe von jährlich 97 Mio. € zu veranschlagen. Insgesamt würden die förderbaren jährlichen Mehrkosten der planmäßigen Verjüngung bei rund 185 Mio. € liegen. Der Förderbedarf erhöht sich erheblich, wenn klimabedingt vermehrt außerplanmäßige Kalamitäten auf großer Fläche auftreten und diese wiederbestockt werden müssen.

#### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Bei dieser Maßnahme kann keine spezifische zusätzliche Minderung beziffert werden, sondern die Sicherung der zukünftig erwarteten CO<sub>2</sub>-Senkenfunktion der Wälder in Deutschland bzw. eine die Minderung einer möglichen CO<sub>2</sub>-Quellenfunktion durch umfassende klimawandelbedingte Waldschäden. Diese Senkenfunktion entspricht der für Deutschland festgelegten Referenzlinie der Klimaschutzleistung von Wäldern. Aller Voraussicht nach wird der zu erwartende Rückgang des Nadelholzangebots zugunsten von mehr Laubholz aus dem Waldumbau zu einem Rückgang der Erzeugung und der Verwendung von langlebigen Nadelholzprodukten aus heimischen Wäldern führen, was mittel und langfristig negative Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Senkenfunktion der langlebigen Holzprodukte haben wird, da realistische Optionen für die Konversion größerer Mengen von Laubholz in langlebige Produkte derzeit noch nicht in Sicht sind.

#### **Wirtschaftliche Effekte**

Durch den erhöhten Bedarf an Forstpflanzen resultieren kurz- bis mittelfristig Umsatzsteigerungen im Bereich des Forstbaumschulgewerbes sowie bei Forstdienstleistern. Dem gegenüber stehen negative wirtschaftliche Folgewirkungen. Diese entstehen dadurch, dass sich durch die o.a. Maßnahme das Baumartenspektrum verschiebt und nicht mehr der heutigen zu 70 % auf Nadelholz beruhenden Holzverwendung entspricht. Produktionsverlagerungen und Umsatzrückgänge durch Anpassungsprozesse in der Holzverarbeitenden Industrie sind sehr wahrscheinlich.

### **Beschäftigungseffekte**

Durch den erhöhten Forstpflanzenbedarf kann kurz- bis mittelfristig mit geringen Beschäftigungseffekten im Forstbaumschul- sowie Forstdienstleistungsgewerbe gerechnet werden. Im Falle eines veränderten Baumartenspektrums mit erhöhtem Laubbaumanteil, das den hohen Anteil von Nadelholz (70 %) an der derzeitigen Holzverwendung vermindert, ist aufgrund von Anpassungsprozessen in der Holzverarbeitenden Industrie mit geringerem Personalbedarf bis hin zum Totalverlust von Arbeitsplätzen bei Produktionsverlagerung in Ausland zu rechnen. Betroffen sind hier insbesondere die ländlichen Räume.

### **Sozialverträglichkeit**

Die Förderung des Waldumbaus mit öffentlichen Geldern ist von gesamtgesellschaftlichem Interesse. Dieser sichert den Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung der heimischen Wälder, ihre CO<sub>2</sub>-Senkenleistung sowie die Bereitstellung von Holz und den vielfältigen Ökosystemleistungen.

### **Versorgungssicherheit**

Aufgrund des Waldumbaus mit überwiegend heimischen Baumarten ist mit einem verringerten Angebot an Nadelholz zu rechnen. Die derzeitige Nachfrage könnte nicht mehr mit heimischem Nadelholz gedeckt werden. Zunehmende Importe von Nadelrohholz sowie Halb- und Fertigwaren wären die Folge.

### **Andere Umwelteffekte**

Durch die Maßnahme wird die Resilienz der Wälder erhöht, ihr Fortbestand sichergestellt und damit auch ihre vielfältigen Ökosystemleistungen wie Grundwasserneubildung, Luftreinhaltung, Lawinen- und Erosionsschutz, Biodiversität, etc. erhalten.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Die Maßnahme trägt zu Erhalt der vielfältigen positiven Auswirkungen des Waldes auf die menschliche Gesundheit bei. Wälder sind wichtige Erholungsräume und fördern erwiesenermaßen das Wohlbefinden. Darüber hinaus dämpfen sie im Sommer durch die kühlende Wirkung ihrer hohen Wasserverdunstung Temperaturspitzen und reduzieren damit die Hitzebelastung. Die große Nadel- und Blattoberfläche macht sie zudem zum bedeutendsten natürlichen Luftfilter. Durch sie wird die Belastung durch Feinstäube deutlich reduziert.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Maßnahme hat Wechselwirkungen mit den Maßnahmen 9.2 und 9.3, da die Klimaanpassung der Wälder durch Baumartenwechsel unmittelbare Auswirkungen auf das zukünftige Rohholzangebot hat. Die durch Maßnahme 9.2 und 9.3 zu erreichende CO<sub>2</sub>-Speicherleistung in Wald lässt sich nur erreichen, wenn der Waldumbau mit zwachsstarken (Nadel)baumarten erfolgt. Der aus Maßnahme 9.3 resultierende Mehrbedarf an Rohholz müsste, wenn überwiegend mit heimischen Laubbaumarten verjüngt wird, entweder durch Importe oder vermehrten Einsatz von Laubholz gedeckt werden.

Indirekte Wechselwirkungen wegen des sich durch Baumartenwechsel in Art und Umfang ändernden Rohholzangebots bestehen mit den Sektoren Energie, industrielle Verarbeitung, Bauen, Abfallwirtschaft.

## Fazit

Förderung der Bestandesbegründung mit klimaangepassten, zuwachsstarken überwiegend heimischen Baumarten erhält die CO<sub>2</sub>-Senkenleistung der Wälder und sichert deren nachhaltige Bewirtschaftung. Die Maßnahme ist sozialverträglich, hat positive Umwelteffekte und positive Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und führt zu mehr Umsatz und Beschäftigung im Forstbaumschul- und Forstdienstleistungsgewerbe. Dem gegenüber stehen im Falle eines erhöhten Laubholzangebots durch notwendige Anpassungsprozesse aufgrund des resultierenden veränderten Rohholzangebots mittelfristig Umsatzeinbußen und geringerer Personalbedarf in der Holzverarbeitenden Industrie.

### 3.2.9.2 Nadelholzoptimierte Veränderung der Baumartenzusammensetzung

#### Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung

Die Baumartenzusammensetzung in Deutschland spiegelt die unterschiedlichen Klima- und Standortverhältnisse, Eigentümerziele und Ansprüche der Gesellschaft an Ökosystemdienstleistungen wider. In vielen Fällen werden aber die Möglichkeiten zur Holzerzeugung und damit durch Kohlenstoff-Fixierung im Holz nicht vollständig ausgeschöpft. Die aktuellen Waldschäden nach den Trockenjahren 2018 und 2019 und begleitendem Befall durch Schaderreger betreffen besonders zuwachsstarke und vorratsreiche Fichtenbestände. Auch in den Folgejahren ist noch mit erheblichen weiteren Schäden zu rechnen. Das zukünftig fehlende CO<sub>2</sub>-Speicherungspotenzial heutiger und zukünftig geschädigter Wälder kann voraussichtlich nur teilweise durch neubegründete Wälder ausgeglichen werden. Neben der Anpassung an den Klimawandel ist daher der Aufbau produktiver Wälder mit hoher CO<sub>2</sub>-Speicherleistung zur Erhaltung der Klimaschutzleistung der Waldbestände bzw. zur Minderung von möglichen CO<sub>2</sub>-Nettoemissionen in der Zukunft von hoher klimapolitischer Bedeutung. Produktive und anpassungsfähige Nadelbaumarten wie z. B. die heimische Weißtanne und die nicht-heimische Douglasie und Küstentanne sind auf den gleichen Standorten ertragsstärker als Laubbaumarten und binden häufig mehr Kohlenstoff im Holz. Gleichzeitig wird Nadelholz bevorzugt bei der Erzeugung von Holzprodukten eingesetzt und trägt daher stärker zur erwünschten Erhöhung des Holzproduktespeichers bei (vgl. Maßnahme 9.3). Ein statisch-komparativer Vergleich der heutigen Waldbestockung von 44,5 % Laubholz / 55,5 % Nadelholz (Stand 2012) mit einem Nadelholzscenario (30 % Laubholz / 70 % Nadelholz) gleichen Alters zum jetzigen Zeitpunkt ergibt langfristig ein sehr hohes zusätzliches Klimaschutzpotential von 28 bis 56 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr (Weingarten et al., 2016). Die Gesamtwirkung ist aber nur schrittweise über Waldumbau zu erreichen, da sich die Veränderung der Baumartenanteile aufgrund der begrenzten Verjüngungsflächen (s. unten) nur langsam vollziehen kann. Zusätzlich ist der Effekt der zusätzlichen C-Speicherleistung in näherer Zukunft durch das geringere Wachstum in jüngeren Beständen noch deutlich geringer als in der langfristigen Betrachtung.

Wie in Maßnahme 9.1. stehen mit GAK und Waldklimafonds zwei Instrumente zur Verfügung, die im Privat- und Kommunalwald anfallenden Mehrkosten für den Waldumbau mit klimaangepassten, wuchsstarken, überwiegend heimischen Baumarten aufzufangen. Dabei ist darauf zu achten,

dass nicht-heimische Nadel-Baumarten mit heimischen Nadel- und Laubbaumarten gemischt werden und in der Summe 50 % nicht übersteigen.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Im GAK sind in Zusammenarbeit mit den Bundesländern Fördertatbestände zu etablieren, die die Förderung von Bestandesbegründung auch von heimischen, klimaangepassten Nadelbaumarten (Weißtanne, Gemeine Kiefer) sowie nicht-heimischen Nadelbaumarten (Douglasie, Küstentanne) möglichst in Mischung mit heimischen Laubbaumarten berücksichtigen. Eine Anpassung und ggf. Aufstockung der Mittel wären zu prüfen.

#### *Finanzbedarf*

Bei einer geschätzten Verjüngungsfläche von jährlich ca. 110.000 ha, wären davon ca. 73.000 ha im über GAK und Waldklimafonds förderfähigen Körperschafts- und Privatwald gelegen. Um langfristig den Anteil von 70 % Nadelholz zu erreichen, muss in den kommenden Jahrzehnten sowohl die bisher mit Nadelholz bestockte planmäßige Verjüngungsfläche als auch 45 % der bisher mit Laubholz bestockten planmäßigen Verjüngungsfläche mit klimaangepassten Nadelholzbaumarten verjüngt werden. Dieser Baumartenwechsel verursacht jährlich förderbaren Mehrkosten in Höhe von rund 54 Mio. €. Wenn man wie in Maßnahme 9.1 annimmt, dass insgesamt die Hälfte der zu verjüngenden Laubholzfläche an die Klimaveränderung angepasst werden muss, müssen zusätzlich weitere 5 % der jährlichen Laubholzverjüngungsfläche mit klimaangepassten Laubholzprovenienzen verjüngt werden. Hierfür wäre mit jährlich förderbaren Mehrkosten in Höhe von rund 9 Mio. € zu rechnen. Insgesamt würden die förderbaren jährlichen Mehrkosten für die planmäßige Verjüngung mit überwiegend klimaangepassten, besonders zuwachsstarken Nadelholzarten bei rund 63 Mio. € liegen.

#### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Der rechnerische Mehrzuwachs der akkumulierten Verjüngungsfläche mit veränderter Baumartenzusammensetzung von 70 % Nadelbäumen und 30 % Laubbäumen (gegenüber BWI 2002-2012: Laubbäume 53 % und Nadelbäume 44 %) wirkt bereits zwischen 2020 und 2030 als zusätzliche Speicherleistung (nur lebende Biomasse der Wälder). Bei einem Zuwachs der Nadelbäume in der ersten Altersklasse von  $7,55 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  gegenüber dem der Laubbäume von  $3,91 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (BWI 2002-2012) beträgt der Mehrzuwachs in den ersten 10 Jahren durch die Verschiebung der Bauartenanteile  $0,85 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Damit ergibt sich für diesen Zeitraum eine Erhöhung der Speicherleistung gegenüber dem Status quo von  $0,96 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CO}_2\text{-Äq. je ha Verjüngungsfläche}$ , für die gesamte akkumulierte Verjüngungsfläche also insgesamt ca. 5,8 Mio. t  $\text{CO}_2\text{-Äq. bis 2030}$ . Das langfristige zusätzliche  $\text{CO}_2$ -Speicherungspotenzial über das Jahr 2100 hinaus ist aber sehr viel höher und nähert sich einem Potenzial von 28 bis 56 Mio. t  $\text{CO}_2\text{-Äq. pro Jahr}$ . Angesichts der aktuellen und zu erwartenden zukünftigen Waldschäden ist das langfristige zusätzliche  $\text{CO}_2$ -Speicherungspotenzial je nach zukünftiger Schadentwicklung auch als Verminderungspotenzial zukünftiger Netto-  $\text{CO}_2$ -Emissionen aus Wäldern anzusehen.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Durch den erhöhten Bedarf an Forstpflanzen resultieren kurz- bis mittelfristig Umsatzsteigerungen im Bereich des Forstbaumschulgewerbes sowie bei Forstdienstleistern. Durch das stärkere Angebot von Nadelholz ergeben sich auch positive wirtschaftliche Folgen. Diese entstehen dadurch, dass sich durch die o.a. Maßnahme das Baumartenspektrum verschiebt und mehr gesuchtes Nadelholz verwendet werden kann. Temporäre Umsatzsteigerungen in der Holzverarbeitenden Industrieliegen deshalb im Bereich des Möglichen.

### **Beschäftigungseffekte**

Durch den erhöhten Forstpflanzenbedarf kann kurz- bis mittelfristig mit geringen Beschäftigungseffekten im Forstbaumschul- sowie Forstdienstleistungsgewerbe gerechnet werden. Durch zusätzliches Nadelholzangebot ist mit einer vorübergehenden Stärkung der Holz- und verarbeitenden Industrie zu rechnen und mit mehr Beschäftigung.

### **Sozialverträglichkeit**

Der Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder, ihre CO<sub>2</sub>-Senkenleistung sowie Erhöhung der bereitgestellten Rohholzmenge bei gleichzeitiger Bewahrung wesentlicher anderer Ökosystemleistungen ist sozialverträglich. Die Förderung einer Baumartenveränderung hin zu mehr Nadelholz führt aber mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Interessenkonflikten mit naturschutzorientierten Akteuren. Die Konflikte können durch eine konsequente Begründung von Mischbeständen mit einer entsprechenden Sicherstellung von Ökosystemdienstleistungen gemindert werden. Gefahren durch eine spontane weitere Ausbreitung von nicht-heimischen Baumarten und Verdrängung heimischer Baumarten sind zu beachten und ggf. zu begrenzen.

### **Versorgungssicherheit**

Vorerst ist mit einem ausreichenden Angebot an Nadelholz zu rechnen und eine Versorgung der heimischen Holzverwender ist sichergestellt. Je nach Schadentwicklung der Fichtenbestände in den nächsten Jahren und Jahrzehnten kann es aber mittelfristig zu einer Verknappung des Nadelholzangebots kommen, solange die neu begründeten Nadelholz-Mischbestände noch nicht die Hiebsreife erreicht haben.

### **Andere Umwelteffekte**

Durch die Maßnahme wird bei Einbeziehung klimatoleranter Nadelbaumarten die Resilienz der Wälder erhöht (vgl. Maßnahme 9.1), ihr Fortbestand sichergestellt und damit auch ihre vielfältigen Ökosystemleistungen wie Grundwasserneubildung, Luftreinhaltung, Lawinen- und Erosionsschutz etc. erhalten. Im Vergleich zu heute werden sich die Wälder aber weniger naturnah entwickeln.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Die Maßnahme trägt zu Erhalt der vielfältigen positiven Auswirkungen des Waldes auf die menschliche Gesundheit bei (vgl. Maßnahme 9.1). Wälder sind wichtige Erholungsräume und fördern erwiesenermaßen das Wohlbefinden. Darüber hinaus dämpfen sie im Sommer durch die kühlende Wirkung ihrer hohen Wasserverdunstung Temperaturspitzen und reduzieren damit die Hitzebelastung. Die große Nadel- und Blattoberfläche macht sie zudem zum bedeutendsten na-

türlichen Luftfilter. Dadurch wird die Belastung durch Feinstäube für die menschliche Gesundheit deutlich reduziert

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Maßnahme hat Wechselwirkungen mit den Maßnahmen 9.1 und 9.3, da die Klimaanpassung der Wälder durch Baumartenwechsel unmittelbare Auswirkungen auf das zukünftige Rohholzangebot hat. Die durch Maßnahme 9.3 zu erreichende CO<sub>2</sub>-Speicherleistung in Wald lässt sich nur erreichen, wenn der Waldumbau mit zuwachsstarken (Nadel)baumarten erfolgt. Der aus Maßnahme 9.3 resultierende Mehrbedarf an Rohholz könnte überwiegend mit heimischen Nadelbaumarten gedeckt werden. Vermehrte Importe wäre nicht erforderlich.

Indirekte Wechselwirkungen wegen des sich durch Baumartenwechsel in Art und Umfang ändernden Rohholzangebots bestehen mit den Sektoren Energie, industrielle Verarbeitung, Bauen, Abfallwirtschaft.

### **Fazit**

Förderung der Bestandesbegründung mit besonders zuwachsstarken heimischen und nicht heimischen Nadelbaumarten erhöht die CO<sub>2</sub>-Senkenleistung der Wälder und verbessert die Rohholzversorgung mit Nadelholz. Die Maßnahme ist noch sozialverträglich, erhält die wesentlichen positiven Umweltleistungen und positiven Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Sie führt zu mehr Umsatz und Beschäftigung. Nachteile sind sehr wahrscheinliche Interessenkonflikte mit Naturschutzakteuren im Hinblick auf die Ausweitung des Anbaus nicht-heimischer Baumarten und die Verringerung der Anteile heimischer Laubbaumarten.

## **3.2.9.3 Verstärkte Verwendung klimafreundlicher Baustoffe wie Holz**

### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Der Großteil des stofflich genutzten Holzes wird im Bausektor verwendet. Der Gebäudebereich wiederum ist für einen großen Anteil der THG-Emissionen verantwortlich. Dies beinhaltet neben den direkt dem Gebäudesektor zuordenbaren THG-Emissionen auch die indirekten THG-Emissionen, die mit der Strom- und Wärmebereitstellung für Gebäude in Verbindung stehen. Insgesamt beläuft sich der Anteil des Sektors global auf ca. 19 % aller THG-Emissionen weltweit (IPCC 2014); in Deutschland entfielen im Jahr 2014 knapp 30 Prozent aller THG-Emissionen allein auf den Gebäudebereich (BMW i 2015). Mit der von der Bundesregierung initiierten Energieeffizienzstrategie soll der Energieverbrauch und die damit einhergehenden Treibhausgasemissionen bei der Nutzung von Gebäuden gesenkt werden (BMW i 2015). Mit zunehmender Energieeffizienz in der Betriebsphase über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden treten die mit der Herstellungs- und Entsorgungsphase von Gebäuden verbundenen Emissionen in den Vordergrund und können einen Anteil von deutlich über 50 % erreichen (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2019, König 2017, Hafner und König 2017).

Über ein im Rahmen des Waldklimafonds gefördertes Projekt („THG-Holzbau“, FKZ 28W-B-3-054-01) konnte auf Basis der hierfür geltenden europäischen und internationalen Normen (EN 15804,

EN 15978, EN 16485 und ISO 21930) nachgewiesen werden, dass bei der Reduktion des Primärenergieaufwandes und der Treibhausgasemissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase die verwendeten Materialien und die Konstruktionsart eine wichtige Rolle spielen (Hafner et al. 2017, Hafner und Rüter 2018). Mittels der vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) und dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) in der Baustoffdatenbank ÖKOBAUDAT bereitgestellten normkonformen Ökobilanzdatensätze für Bauprodukte konnte belegt werden, dass je nach Konstruktionsart bei Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) zwischen 35 und 56 % und zwischen 9 und 48 % bei Mehrfamilienhäusern (MFH) der in der Herstellungs- und Entsorgungsphase der Gebäudekonstruktion anfallenden THG-Emissionen eingespart werden können.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Um das nachgewiesene Einsparpotential des klimafreundlichen und nachwachsenden Baustoffs Holz zu nutzen, soll die Holzbauquote unter der Annahme einer Realisierung des prognostizierten Wohnungsneubaubedarfs (BBSR Wohnungsmarktprognose 2050, BBSR 2015) bis 2030 für EZFH auf 55 % und für MFH auf 15 % gesteigert werden. Dies betrifft ausschließlich die Verwendung von Holz für die tragende Konstruktion von Wohngebäuden.

Für die Umsetzung der beschriebenen Maßnahme kommen folgende mögliche Instrumente in Frage:

- Steigerung der Verwendung klimafreundlicher Baustoffe über eine Anknüpfung an die im Koalitionsvertrag zum Schwerpunkt-Bereich „Bauen und Wohnen“ genannten Maßnahmen „Weitere Förderung sozialer Wohnungsbau durch Bund in 2020/2021“ und „Steuerliche Förderung von mehr Wohneigentum“
- Weiterentwicklung der bestehenden KfW-Förderung (Berücksichtigung der „grauen Energie“ von Bauprodukten) (vgl. DUH 2019)
- Umsetzung des Handlungsfeldes „Bauen mit Holz in Stadt und Land“ der Charta für Holz 2.0

#### *Finanzbedarf*

Abschätzungen zur Größenordnung eines Finanz- bzw. Förderbedarfs liegen nicht vor. Analysen für den Wohnungsneubau zeigen zudem, dass Preise die Wahl des Baustoffs nicht wesentlich beeinflussen. Ein solcher Preiszusammenhang konnte bislang nur für den Nicht-Wohnungsneubau nachgewiesen werden (Jochem et al. 2016). Im Wohnungsneubau spielen offenbar andere Faktoren (z. B. mangelndes Wissen über die technischen Eigenschaften von Holzprodukten und deren Einsatzmöglichkeiten bei Entscheidern und Planern) eine wichtige Rolle. Als Folgemaßnahme (oder: als zumindest flankierende Maßnahme) ist daher eine Marketing- oder Imagekampagne zur Förderung des Holz(wohn)baus (bzw. zur Verwendung von Holzbauprodukten) in Erwägung zu ziehen (vgl. Weimar und Jochem 2013). Besonderer Fokus könnte hier auf Bauherren und Architekten liegen. Diese Imagekampagne hätte gleichzeitig den Effekt, dass auch Personen, die Modernisierungsmaßnahmen planen, über die Leistungsfähigkeit des Bau-

stoffs Holz informiert werden. Dies ist von besonderer Relevanz, da etwa zwei Drittel des gesamten Bauvolumens in Deutschland in Form von Bauleistungen an bestehenden Gebäuden erfolgen. Außerdem ist ein Ausbau der Studienangebote mit Bezug zum Holzbau erforderlich. Durch Anpassungen der Curricula in den Ausbildungsgängen Architektur, Bauingenieurwesen muss bewirkt werden, dass die Kenntnisse über die Chancen und Möglichkeiten des modernen Holzbaus verbessert werden.

### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Pro Gebäude ergibt sich je nach Konstruktion eine Minderung in Höhe von 77 bis 207 kg CO<sub>2</sub>-Äq. m<sup>2</sup> BGF für EZFH und 18 bis 178 kg CO<sub>2</sub>-Äq. m<sup>2</sup> BGF für MFH. Bei einer Steigerung der Verwendung von Holz allein in den konstruktiven Elementen neu errichteter Wohngebäude und somit einer Steigerung der Holzbauquote bis 2030 auf 55 % für EZFH und 15 % für MFH ist eine Minderung in Höhe von 1,43 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr bzw. insgesamt 21,48 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. deutschlandweit bis 2030 möglich.

### **Wirtschaftliche Effekte**

Insgesamt ist von einer Anregung des Wohnungsbaus auszugehen. Ein verstärkter Holzbau wird sich positiv auf Wirtschaftszweige des Cluster Forst und Holz auswirken, die Holzbauprodukte herstellen oder in diesem Zusammenhang Dienstleistungen erbringen.

Gesamtwirtschaftlich ist die Maßnahme als pareto-optimal einzuschätzen, da es vermutlich nicht erheblich ist, welche Baustoffe und damit welche Wirtschaftszweige an einer erhöhten Aktivität des Wohnungsbaus teilhaben.

### **Beschäftigungseffekte**

Eine Anregung des Wohnungsbaus wird vermutlich zu mehr Beschäftigung im Bausektor und den vorgelagerten Wirtschaftszweigen führen. Eine Steigerung des Holzbaus würde für die holzbasiereten Wirtschaftszweige positive Beschäftigungseffekte bewirken. Zu beachten ist in diesen Zusammenhang, dass genug Fachkräfte zur Verfügung stehen bzw. ausgebildet werden.

### **Sozialverträglichkeit**

Die Förderung des sozialen Wohnungsbaus ist von gesamtgesellschaftlichem Interesse. Der Bedarf an günstigem Wohnraum wird wie prognostiziert auch in Zukunft hoch bleiben (vgl. BBSR 2015).

### **Versorgungssicherheit**

Bei einer Umsetzung der Maßnahme zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel (Kap. 3.2.9.1) mit einem Waldumbau zu mehr Laubwaldbeständen ist mit einem verringerten Angebot an Nadelholz zu rechnen. Die derzeitige Nachfrage könnte nicht mehr mit heimischem Nadelholz gedeckt werden. Eine Steigerung des Nadelholzanteils (Kap. 3.2.9.2) könnte im Gegensatz hierzu den zukünftig höheren Nadelholzbedarf abdecken.

### **Andere Umwelteffekte**

Direkte andere Umwelteffekte sind nicht zu erwarten. Die Auswirkungen der notwendigen Holzproduktion sind in den Maßnahmen 9.1 und 9.2 umfassend beschrieben.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Für alle Bauweisen (Massivbau, Holzbau, vorgefertigt oder Errichtung vor Ort) wird derzeit versucht, durch die entsprechenden Bauproduktenrichtlinien die Abgabe von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten so zu limitieren, dass deren Konzentration in der Raumluft von Wohn- und Bürogebäuden soweit limitiert wird, dass negative Einflüsse auf die menschliche Gesundheit ausgeschlossen werden können. Holz als biogener Rohstoff emittiert Stoffe, die in die Summenparameter für VOC einfließen. Seit Jahren laufen Bemühungen, Prüfverfahren festzulegen und zu optimieren sowie Grenzwerte zu setzen, die den Besonderheiten von nachwachsenden Rohstoffen und den daraus hergestellten Bauprodukten Rechnung tragen.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Realisierung einer erhöhten Holzbauquote (55 % für EZFH und 15 % für MFH) geht mit einem über den Szenarienzeitraum steigenden Mehrbedarf an jahresdurchschnittlich 1,9 Mio. m<sup>3</sup> Nadelrohholz einher, was einer Reduktion von ca. 2,5 Mio. Vfm im Wald bedeutet. Geht man davon aus, dass der Mehrbedarf an Rohholz aus heimischer nachhaltiger Bewirtschaftung stammen soll, verringert sich die zu erwartende Senkenwirkung des Waldes in Deutschland bis 2030 um knapp 1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr, was ca. 2 % Anteil der Gesamtspeicherleistung der Wälder umfasst.

Weitere Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen sind möglich. Zum einen kann es durch verringerten Anbau von Nadelhölzern (s. Kap. 3.2.9.1) mittel- bis langfristig zu einem geringeren inländischen Angebot von Nadelholz kommen. Da Produkte für den Holzbau bislang jedoch vornehmlich aus Nadelhölzern hergestellt werden, könnte dies bei gleichbleibender oder sogar steigender Nachfrage nach Holzbauprodukten zu erhöhten Importen von Nadelrohholz und weiter verarbeiteten Nadelholzprodukten führen. Zugleich würde jedoch auch die technisch mögliche Verwendung von Bauprodukten aus Laubholz wirtschaftlich attraktiver werden, so dass die Nachfrage in der Folge auch wieder aus heimischen Ressourcen gedeckt werden könnte. Im Gegensatz hierzu kann eine forcierte Steigerung des Nadelholzangebots (s. Kap. 3.2.9.2) einen höheren Bedarf an Bauholzprodukten abdecken, ohne dass Änderungen in der Struktur der Holzverarbeitenden Industrie zu erwarten wären.

### **Fazit**

Die verstärkte stoffliche Nutzung von Holz im Baubereich trägt zum Klimaschutz bei und hat positive wirtschaftliche und soziale Effekte. Der zukünftige Mehrbedarf an Rohholz sollte mit Maßnahmen zur Bewirtschaftung der heimischen Wälder (Anpassung der Wälder an den Klimawandel und Nadelholzoptimierte Veränderung der Baumartenzusammensetzung) abgestimmt werden.

### 3.2.9.4 Internationale nachhaltige Waldbewirtschaftung und Waldschutz

#### Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung

Deutschland fördert die nachhaltige Bewirtschaftung und den Wiederaufbau degradierter Wälder als aktiver Unterstützer und zum Teil auch als Initiator entsprechender Prozesse auf internationaler Ebene. Dazu zählen z. B. die Mitwirkung beim Waldforum der Vereinten Nationen (UNFF) mit dem Maßnahmenpaket „Strategischer Plan der Vereinten Nationen für Wälder 2017 - 2030“ und die Agenda für eine nachhaltige Entwicklung (SDG) mit ihren 17 Zielen.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

Der Bekämpfung des illegalen Holzeinschlags aus borealen Wäldern dient auch die EU-Holzhandels-Verordnung (EU Timber Regulation - EUTR) und die BMEL-Initiative zum Global Timber Tracking Network (GTTN).

Das Bundesumweltministerium (BMUB) unterstützt mit der Internationalen Klimaschutzinitiative (IKI) auch in borealen Partnerländern, besonders in Russland, die praktische Umsetzung von Klima- und Biodiversitätsschutz. Die Arbeit der IKI konzentriert sich besonders auf Klimaschutz durch die Minderung von Treibhausgasemissionen, die Anpassung an die Folgen des Klimawandels und den Erhalt natürlicher Kohlenstoffspeicher und den Aufbau neuer Speicher durch Waldrestauration (*Forest Restoration*). (Weiteres siehe Waldbericht der Bundesregierung 2017)

Nach dem Vorbild der IKI könnten weitere bilaterale Projekte helfen, Ursachen von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Wäldern zu senken. Hierzu ist ein Ansatz wie die Förderrichtlinie des BMEL denkbar. Ein weiterer globaler Ansatz sind internationale Anstrengungen zur Waldrestauration im Rahmen der Bonn Challenge und New York Declaration on Forests von 2014 (350 Mio. ha Restauration bis 2030), die durch regionale Programme wie African Forest Landscape Restoration Initiative (AFR100) flankiert werden.

#### *Finanzbedarf*

Bei dieser globalen Aufgabe ist derzeit ein Finanzbedarf nicht abschätzbar.

#### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

In den Tropen wurden im Zeitraum 2000 bis 2007 jährlich 3-4 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente durch Entwaldung freigesetzt. Für 2015 - 2017 erhöhte sich die Menge auf 4,9 Mrd. t.

Eine Quantifizierung von CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen durch vermiedene Entwaldung bzw. vermiedene Walddegradierung liegt für die gesamte boreale Zone bislang nicht vor. Dieses soll durch die 2018 gegründete International Boreal Forest Research Association (IBFRA) geschehen. Gegenwärtig soll dazu unter der Leitung Schwedens eine internationale wissenschaftliche Arbeitsgruppe einberufen werden.

Klimaschutz im internationalen Waldbereich kann aus deutscher Sicht vordringlich durch verschiedene politische Prozesse gestärkt werden. Die Bundesregierung gehört zu den wichtigsten Akteuren in nahezu allen Prozessen, setzt sich aber gleichzeitig für mehr Kohärenz in der internationalen Waldpolitik ein, um die Gesamtwirkung der Maßnahmen zu erhöhen. Neben den bekannten Prozessen spielt für Entwicklungsländer REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and

enhancement of forest carbon stocks in developing countries) und zunehmend Bonn Challenge/New York Declaration on Forests die wichtigste Rolle. Mit dem Programm sollen (a) eine Minderung von Emissionen aus Entwaldung, (b) die Minderung von Emissionen aus Walddegradierung, (c) der Erhalt der Kohlenstoffspeicher in Wäldern, (d) eine nachhaltige Waldbewirtschaftung, (e) die Vergrößerung der Kohlenstoffspeicher in Tropenwäldern und (f) die Wiederherstellung von Wäldern und Waldsenken sichergestellt werden. Hinzu kommen Waldzertifizierungssysteme und Maßnahmen gegen illegalen Holzhandel wie FLEGT oder die Europäische Holzhandelsverordnung. Für Tropenwälder wird das Einsparpotenzial für 2018 auf 7,1 Mrd. t CO<sub>2</sub>-Äq. geschätzt (WRI 2018).

Für das boreale Waldland Kanada wurde langfristig ein Minderungspotenzial von jährlich 1,18 Mrd. t CO<sub>2</sub>-Äq. errechnet.

Maßnahmen, die von den borealen Ländern vorangetrieben werden könnten, sind z. B. die Intensivierung der Forstwirtschaft (Waldumbau, Anbau schnellwüchsiger Baumarten, Senkung von Umtriebszeiten etc.) und die Waldrestoration. Ferner sollten Waldbrand und Insektenkalamitäten eingedämmt werden. Ein verbesserter Forstschutz, z. B. durch Überwachung, effiziente Waldfeuerwehren und technische Maßnahmen können Beiträge zur Vermeidung von weiterer CO<sub>2</sub>-Freisetzung darstellen. Weiterhin können Wiedervernässung von Mooren zur CO<sub>2</sub>-Senkenfunktion beitragen.

### **Wirtschaftliche Effekte**

In den Tropen würde sich die Wertschöpfung im Sektor Forst und Holz erhöhen. Tropenholz aus nachhaltiger Bewirtschaftung würde eine höhere Marktakzeptanz erhalten. In der borealen Zone werden volkswirtschaftliche Effekte durch verringerte Waldbrände und Insektenkalamitäten eintreten, indem Werte in Form von Wald und Holz gesichert werden. Hier dürfte eine intensivierte Forstwirtschaft zu einem höheren Rohholzangebot führen. Marktpreise für Nadelholzsortimente könnten fallen. Be- und Verarbeitungsmaschinen würden in den Tropen und der borealen Zone stärker nachgefragt. Illegaler Holzeinschlag und Handel würden eingedämmt.

### **Beschäftigungseffekte**

Eine intensivierte Forstwirtschaft und eine Waldvermehrung wird zu einer höheren Beschäftigungsquote im Forst- und Holzsektor der Tropen und der borealen Zone führen. Besonders in der temperierten Zone könnte sie abnehmen.

### **Sozialverträglichkeit**

Eine Intensivierung der Forstwirtschaft und Waldrestoration muss mit der indigenen Bevölkerung einvernehmlich durchgeführt werden (Bsp. *Model Forest* in CAN und Tropen). Illegaler Holzeinschlag würde reduziert. Aufforstungen können Verdrängungseffekte z. B. für die Landwirtschaft bewirken.

### **Versorgungssicherheit**

Die Versorgungssicherheit mit Holz und Holzprodukten weltweit könnte durch eine Intensivierung der Forst- und Holzwirtschaft erhöht werden. Die Verwendung fossiler Energieträger und die Substituierung von Holzprodukten durch energieintensivere Materialien ließen sich verringern.

Werden Landwirtschaftsstandorte aufgeforstet, entsteht Konkurrenz bei der Nahrungsmittelproduktion.

### **Andere Umwelteffekte**

Andere positive Umwelteffekte umfassen eine geregelte Landnutzung, sauberes Wasser, verbesserte Luftqualität, Erosionsvermeidung, Sicherung der Biodiversität und Bodenqualität. Die Resilienz des Ökosystems wird erhöht oder mindestens erhalten. Die wichtigen Klimafunktionen durch Albedo (Einstrahlungsrückstrahlung der Vegetation) und Evaporation (Verdunstung) werden gesichert.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Ein wichtiger Faktor für die Gesundheit ist die Luftverbesserung: Die aus Waldbränden stammende Feinstaubbelastung wird durch eine Verringerung von Waldbränden reduziert. Der Zugang zu sauberem Wasser verbessert ebenfalls die Lebensqualität und Gesundheit.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Zu den vielfältigen positiven Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen gehören Armutsbekämpfung, Ernährungssicherung und Erhalt der Biodiversität. Vermehrte Aufforstungen führen ggf. aber auch zu Verdrängungseffekten für andere Landnutzungsformen, z. B. Nahrungsmittelproduktion der Landwirtschaft

### **Fazit**

Das CO<sub>2</sub>- Minderungspotenzial in der Tropen- und der borealen Zone ist groß. Deutschland und die Bundesregierung können auf Länder in diesen Zonen allerdings nur durch internationale und bilaterale Abkommen bzw. Projekte einwirken. Für Tropenländer kommen bilaterale Projekte z. B. zur nachhaltigen Waldbewirtschaftung und die Förderung internationaler Prozesse wie REDD+, Bonn Challenge / New York Declaration on Forests, AFR100 etc. in Betracht, um der CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Wäldern entgegen zu wirken und neue Kohlenstoffsinken zu schaffen.

## **3.2.10 Vermeidung von Lebensmittelabfällen**

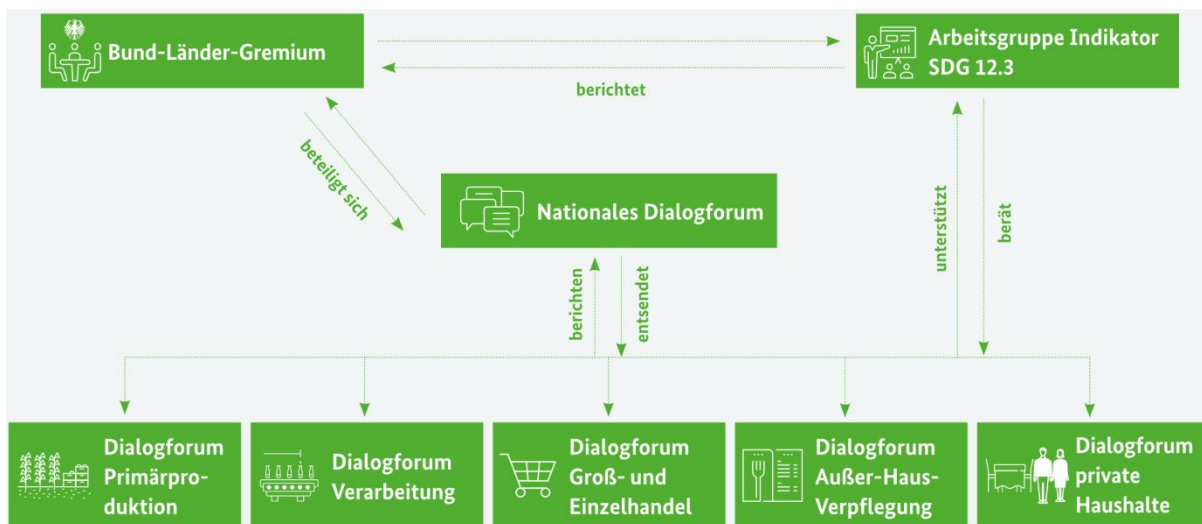
### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Bereits seit 2012 betreibt das BMEL intensive Verbraucheraufklärung zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen. Während bisher die Konsumentinnen und Konsumenten im Fokus der Initiative standen, sollen die Aktivitäten zukünftig auf die gesamte Wertschöpfungskette ausgeweitet werden (BMEL, 2019). Staatlich geförderte Forschungsprojekte untersuchen sowohl technische Lösungen als auch sozioökonomische Fragestellungen und vernetzen nationale und internationale Partner miteinander sowie die Wissenschaft mit Praxisakteuren.

Mit der ´Nationalen Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung´ hat sich die Bundesregierung erneut zur Erreichung der globalen Nachhaltigkeitsziele (SDGs) und zum SDG-Target 12.3 bekannt, das eine Halbierung der Lebensmittelabfälle auf Verbraucher- und Einzelhandelsebene vorsieht sowie eine nicht weiter spezifizierte Reduzierung in allen andern Bereichen

(BMEL, 2019). Bei der Umsetzung dieser Strategie steht ein Nationales Dialogforum an zentraler Stelle, das mit einem Bund-Länder-Gremium sowie fünf sektorspezifischen Dialogforen kommuniziert. Eine Arbeitsgruppe 'Indikator SDG 12.3' bereitet das Monitoring und die Berichterstattung auf nationaler Ebene (KSP 2050) sowie für die EU-Berichterstattung vor (s. Abbildung 2).

**Abbildung 2:** Struktur für die zukünftige Zusammenarbeit



Quelle: BMEL, 2019.

### Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff

Der Wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz (WBAE) beim BMEL geht von einem theoretischen THG-Einsparpotenzial bei vollständiger Reduzierung vermeidbarer Lebensmittelabfälle (LMA) in Privathaushalten in Höhe von 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr aus (Weingarten et al., 2016). Eine Schätzung des UBA (2016) geht von einem Vermeidungspotenzial von 19 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr aus. Unter Effizienzgesichtspunkten kann eine 50 %-ige Vermeidung von LMA angestrebt werden und auch Bryngelsson et al. (2016) schätzen eine Halbierung als realistisch ein. Das Thünen-Institut berechnete im Rahmen des Forschungsprojektes REFORWAS ein 50 %-Reduktionspotenzial von 16,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr, wobei etwa die Hälfte in Privathaushalten eingespart werden kann (Schmidt et al. 2019). Somit liegen Einsparpotenziale von Treibhausgasemissionen im privaten Konsumbereich bei etwa sechs bis 9,5 Millionen Tonnen jährlich. Hinzu kommen Maßnahmeneffekte, die nur den Produktions- und Handelsbereich betreffen. Zur Schätzung dieser Effekte gibt es derzeit noch keine valide Datengrundlage.

### Wirtschaftliche Effekte

Allein die Fördermittel des Bundes für diesen Bereich belaufen sich derzeit auf 16 Mio. €. Hinzu kommen europäische Forschungsgelder und Aktivitäten der Länder sowie private Investitionen. Informationen zum nationalen Investitionsbedarf zur Zielerreichung und zu volkswirtschaftlichen Auswirkungen liegen nicht vor.

### **Beschäftigungseffekte**

Durch Bildungsmaßnahmen werden zusätzliche Arbeitskräfte benötigt. Andererseits werden Arbeitskräfte frei, wenn Verluste eingespart und dadurch weniger Mengen produziert werden. Eine Bilanz mit Aussagen zum Nettoeffekt ist aufgrund von fehlenden Informationen derzeit nicht möglich.

### **Sozialverträglichkeit**

Das Thema Lebensmittelabfälle erfährt in der Bevölkerung eine hohe Zustimmung und auch produzierende sowie verarbeitende Unternehmen und der Einzelhandel sind bereits für dieses Thema sensibilisiert. In den o.g. Dialogforen werden Zielmarken mit den Akteuren vereinbart und an gemeinsamen Lösungsansätzen gearbeitet. Hemmnisse treten bei Unternehmen v.a. dann auf, wenn Maßnahmen ineffizient sind und Mehrkosten z. B. durch höheren Arbeitsaufwand verursachen. Eine Analyse der Beschäftigungssituation insgesamt kann derzeit aufgrund fehlender Daten noch nicht erfolgen.

### **Versorgungssicherheit**

Bei einer Reduzierung der Lebensmittelverschwendung entstehen neue Möglichkeiten für die Versorgungssicherheit, da Ressourcen wie Landfläche und Energie eingespart und für andere Nutzungen frei werden. Eine notwendige Überproduktion wird es aber weiterhin geben, da nicht alle Verluste entlang der Wertschöpfungskette verhindert werden können. Durch Lagerhaltung und internationale Handelswege ist die Nahrungsmittelversorgung heutzutage in Deutschland sicher gegeben.

### **Anderer Umwelteffekte**

Bislang sind nur positive Umwelteffekte bekannt und somit werden anderer Umweltziele durch diese Maßnahme mehr oder weniger unterstützt. Eine quantitative Schätzung der globalen und nationalen Wirkungen steht noch aus.

### **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

Unter der begründeten Annahme, dass die Umweltbelastungen bei geringerem Lebensmittelabfallaufkommen zurückgehen, sind positive Gesundheitswirkungen wahrscheinlich. Wenn Abfallmengen durch mehr Verzehr reduziert werden, wird die ohnehin schon problematische Überernährung der deutschen Bevölkerung weiter fortschreiten.

### **Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Die Maßnahme kann eine Verringerung der Produktionsmengen in der Landwirtschaft, die durch Maßnahmen zur Senkung der N-Überschüsse und durch die Ausweitung des ökologischen Landbaus ausgelöst werden können, durch Verlustvermeidung in der Verarbeitung, Vermarktung und

im Verbrauch kompensieren. Neben den durchweg positiven Wirkungen einer reduzierten Ressourcennutzung durch geringeres Abfallaufkommen, ist ein marginaler Mehraufwand für die Substitution von organischen Düngern (Kompost, Biogassubstrat) zu erwarten.

Die Schätzung des CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzials zeigt den Bruttoeffekt eines realistischen Einsparpotenzials. Ein Nettoeffekt, der z. B. den Landnutzungswandel infolge geringerer Nahrungsmittelproduktion berücksichtigt, wurde bislang noch nicht geschätzt.

In Anlehnung an Untersuchungen von Alfredsson (2002), Grabs (2014) und Bjelle (2016) muss ein Rebound-Effekt postuliert werden. D.h., dass die physischen und monetären Einsparungen bei Nahrungsmitteln, die insbesondere in Privathaushalten realisiert werden könnten, zu Mehrausgaben und CO<sub>2</sub>-Emissionen in anderen Bereichen führen.

### **Fazit**

Durch die Reduzierung von Lebensmittelverschwendung können CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Größenordnung von rund sechs bis zehn Millionen Tonnen jährlich eingespart werden; dies allein im privaten Konsumbereich, der ungefähr die Hälfte des Abfallaufkommens ausmacht (Schmidt et al., 2019).

Ein seitens der EU verpflichtendes Monitoring der Lebensmittelabfälle startet spätestens in 2020 (KOM, 2019). Ab diesem Berichtsjahr wird sowohl für die Abfallrahmenrichtlinie an die EU als auch für den Indikator Lebensmittelabfälle und -verluste in Deutschland im Fortschrittsbericht der Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) 2020 berichtet. Konzepte zum Monitoring und ein Fahrplan zur Zielerreichung samt Zieldefinitionen werden im Rahmen der Dialogforen zur Nationalen Strategie ausgearbeitet.

Allerdings fordern die EU und die DNS nur einen Indikatorwert auf Basis der Frischmasse. Für eine Nachhaltigkeitsbewertung müssen dringend die ökologischen und ökonomischen sowie die sozialen Auswirkungen eines entsprechenden Maßnahmenpakets analysiert werden, dafür sind differenzierte Datengrundlagen und Analysen erforderlich.

Zusätzlich zum Aufbau eines statistischen Erfassungssystems zum Monitoring der Entwicklung der Lebensmittelverluste sollten Programme zur Bewusstseinsbildung und für eine nachhaltige Ernährung für Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung entwickelt und in Zusammenarbeit mit den Ländern, Verbraucherzentralen etc. umgesetzt werden. Eine systematische Umsetzung an Behörden, Universitäten, Schulen, Kindergärten und in Unternehmen könnte eine große Breitenwirkung entfalten und könnte mit einer Zertifizierung der teilnehmenden Einrichtungen einhergehen.

### 3.2.11 Weitere Maßnahmen

Im Folgenden werden drei weitere Maßnahmen aus dem KSP 2050 aufgegriffen und diskutiert.

#### 3.2.11.1 Ausrichtung der agrarpolitischen Förderung auf die klimapolitischen Beschlüsse der EU

Die Gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP) zielt neben der Stärkung des Umwelt- und Klimaschutz jedoch auch auf eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit sowie einer Stärkung des ländlichen Raums ab. Die Förderpolitik GAP soll jedoch laut KSP 2050 noch stärker auf die klimapolitischen Beschlüsse der EU ausgerichtet werden. Mit der aktuellen Novellierung des Gesetzes über die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) sollen auch Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen gestärkt werden. Hierbei handelt es sich um eine politische Maßnahme, deren Wirkungspotential nicht abgeschätzt werden kann.

Röder et al. (2013) haben für die Integration von Klimaschutz und Klimaanpassung in die Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2013 Empfehlungen vorgelegt, die auch für die nächste Reform der GAP nach 2020 und für die Ausgestaltung der GAK relevant sind. Die folgenden Empfehlungen und Aspekte sollten in der Diskussion zur Weiterentwicklung der GAP und der GAK berücksichtigt werden:

- Die Integration von Klimaschutzzielen in die GAP sollte in Verbindung mit einer grundsätzlichen Überprüfung und Neuausrichtung der Instrumente der GAP stehen, mit dem Ziel, einen möglichst wirksamen, ergebnisorientierten Einsatz der öffentlichen Fördermittel zu erreichen (vgl. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, 2010 und 2011, Grethe et al. 2018).
- In diesem Zusammenhang sind auch die Berechnungsansätze der EU-Kommission zum Nachweis, dass mindestens 20 % der EU-Mittel für Klimaschutz verwendet werden, kritisch zu überprüfen (vgl. Europäischer Rechnungshof, 2016). In der Periode 2021 bis 2027 soll der Anteil auf 25 % angehoben werden. Dieser Mittelanteil sollte für Maßnahmen eingesetzt werden, für die quantifizierbare Beiträge zum Klimaschutz nachgewiesen werden können.
- Neben der stärkeren Ausrichtung von Fördermaßnahmen auf Klimaschutzziele sollten Maßnahmen mit potenziell negativen Auswirkungen auf den Klimaschutz kritisch analysiert, verändert oder gestrichen werden.
- Grundsätzlich ist zu entscheiden, welche Maßnahmen möglichst flächendeckend im Rahmen der bisherigen 1. Säule umgesetzt werden sollen, etwa als Teil der Ecoschemes und der Umweltkonditionalitäten, und inwieweit Maßnahmen und Finanzierung der 2. Säule gestärkt werden sollen. Zur Stärkung der 2. Säule sollte von der Möglichkeit Gebrauch gemacht werden, Mittel aus der 1. in die 2. Säule zu transferieren (Fährmann et al. 2018).

- Weiterhin bieten sich Möglichkeiten, Klimaschutz stärker in die Fördervoraussetzungen zu integrieren, die im Rahmen der Umweltkonditionalitäten (bisher: Cross Compliance) oder Bedingungen für den Erhalt von Fördermaßnahmen der 2. Säule zur Entwicklung des Ländlichen Raums festgelegt werden.
- Die derzeitige Umsetzung des Greenings in Deutschland verhindert weitgehend eine weitere Umwandlung schutzwürdiger Grünlandflächen in Ackerland. Eine Fortsetzung des bestehenden Grünlanderhalts nach 2020 ist aber keineswegs gesichert. Daher ist frühzeitig zu analysieren, wie die Erhaltung der Grünlandflächen nach 2020 fortgeschrieben werden soll (vgl. Kap. 3.2.7).
- Der Schutz von Moorböden sollte stärker in der GAP verankert werden. Nasse und damit torfschonende oder -erhaltende Nutzungen und Flächenpflege dürfen nicht mehr von flächenbezogenen GAP-Förderungen ausgeschlossen werden. Im Rahmen der Umweltkonditionalitäten sollten in der GAP nach 2020 Mindestauflagen für das Management von Moorböden verankert werden, und in der 2. Säule sollten Programme und Maßnahmen zur Umsetzung von Moorschutzprojekten auf Grundlage der bisher gemachten Erfahrungen verstärkt werden.

Die Umsetzung und Ausgestaltung der Fördermaßnahmen in der 2. Säule, über die ein Großteil der bisherigen Förderung stattfindet, fällt in der Zuständigkeit der Länder. Der Bund hat nur begrenzt, z. B. über die GAK, eigene Gestaltungsmöglichkeiten. Er hat über Bundes- oder Sonderrahmenprogramme die Möglichkeit, innerhalb der Vielzahl der vom Bund kofinanzierten Maßnahmen Schwerpunkte zu setzen. Es können zweckgebundene Mittel bereitgestellt und für die Länder günstigere Bedingungen der Kofinanzierung angeboten werden. Im Folgenden finden sich Beispiele, wie der Bund eine stärkere klimaschutzpolitische Fundierung der Programme der Länder unterstützen kann:

- Überprüfung und Erweiterung der über die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ vom Bund kofinanzierten Maßnahmen in Hinblick auf den Klimaschutz. Dabei sollten alle Maßnahmenoptionen und nicht nur die „Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen“ berücksichtigt werden, und potenziell negative Auswirkungen von Maßnahmen auf den Klimaschutz sollten minimiert werden.
- Der Nachweis und die Quantifizierung der THG-Emissionsminderung von ELER-Maßnahmen sollte unterstützt werden, um eine bundesweit abgestimmte Bewertung derjenigen ELER-Maßnahmen zu ermöglichen, die zum Klimaschutz beitragen.
- Die Schaffung eines Fördergrundsatzes zum „Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft“, eines Sonderrahmenplans mit abgegrenztem Budget oder erhöhte Kofinanzierungssätze des Bundes für den Klimaschutz würden es erlauben, die Umsetzung von Maßnahmen in den Länderprogrammen gezielter zu unterstützen. Um eine Lenkungswirkung auf die Länderprogramme zu entfalten, muss diese Weiterentwicklung der GAK rechtzeitig vor der nächsten Förderperiode und der dann anstehenden Neuprogrammierung abgeschlossen werden.

- Programme, die auf Bundesebene abgestimmt und gezielt unterstützt werden, könnten z. B. gezielt Maßnahmen zur Modernisierung des Wirtschaftsdüngermanagements, zur gasdichten Abdeckung von Gülle- und Gärrestlagern und für den Schutz von Moorböden eingesetzt werden. Um abzusichern, dass die Fördermittel flächendeckend wirksam werden, kann die Förderung mit einer frühzeitig angekündigten Anpassung gesetzlicher Standards verbunden werden, wie dies bzgl. der Standards für die Gülleausbringung durch die im Jahr 2017 beschlossene Novelle der Düngeverordnung der Fall ist. Eine Kofinanzierung könnte z. B. auch an die Bedingung gebunden werden, dass Länderprogramme zur vollständigen “klimaschutzpolitischen Sanierung” des Biogasanlagenbestandes aufgestellt werden. Soweit die Förderung einer Anpassung an neue gesetzliche Standards dient, sollte sie zeitlich begrenzt und degressiv gestaffelt werden.
- Viele Länder setzen eine Förderung der Betriebsberatung zum Ressourcen- und Klimaschutz um oder planen dies. Die Erfahrungen aus diesen Anstrengungen sollten gebündelt und für die Weiterentwicklung der Beratungsansätze und ggf. eines Umweltaudits genutzt werden.
- Der Bund kann die Länder beim Aufbau von Innovations-Netzwerken im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft unterstützen. Aktivitäten zum Klimaschutz könnten z. B. im Bereich der Beratung zur Verbesserung der Ressourceneffizienz (z. B. in den Bereichen Energie, Düngung, Fütterung), zu torfschonender Moornutzung oder zur klimaschutzoptimierten Biogasproduktion gefördert und bundesweit koordiniert werden. Zur Europäischen Innovationspartnerschaft gehört auch eine Verknüpfung von Praxis und Beratung mit der Forschung. Dazu sollte die Kooperationen mit anderen EU-Regionen durch Institutionen auf der Bundesebene vermittelt und die Verknüpfung mit Forschungsprojekten unterstützt werden. Geeignet sind hierfür z. B. ERA-Net-Projekte (s. z. B. <http://www.eragas.eu/>).

Bezüglich finanzieller Fragen der Förderung von Klimamaßnahmen im Rahmen der GAP müssen die weiteren Verhandlungen zum mehrjährigen Finanzrahmen abgewartet werden. Von großer Relevanz in der nationalen Ausgestaltung wird dann vor allem auch die Grüne Architektur sein.

### **3.2.11.2 Entwicklung innovativer Klimaschutzkonzepte im Agrarbereich und Rolle der Bioökonomie**

Diese Maßnahme zielt auf die Unterstützung der Agrarforschung ab, um klimaschützende agrarische Produktions- und Nutzungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung aller vor- und nachgelagerten Bereiche zu entwickeln. In diesem Rahmen können die in diesem Bericht aufgeführten Maßnahmen unterstützt und ggf. neue Maßnahmen entwickelt werden. Neben technischen Fragen sind auch die Möglichkeiten für die Politik zur Unterstützung der Umsetzung und Verbreitung klimafreundlicher Produktionsmethoden zu untersuchen.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die Bioökonomie zu „innovativen Klimaschutzkonzepten im Agrarbereich“ gehört. Die stoffliche und energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus der Landwirtschaft wird nachgelagerten Sektoren zugeordnet. Diesbezüglich besteht aber Klärungsbedarf zu den klimaschutzpolitischen Zielen und zur Abbildung der Zielbeiträge. Im KSP 2050 wird auf die Grenzen des Beitrags der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe zu künftigen Klimaschutzzielen hingewiesen (BMUB, 2016, S. 63). Eine Definition der künftigen Rolle der Bioenergie steht aber noch aus. Bezüglich stofflicher Nutzungen von Biomasse wird im KSP 2050 mehrfach auf das Konzept der Bioökonomie verwiesen, es fehlt aber eine Konkretisierung.

Bezüglich der Abbildung von sektorübergreifenden Substitutionseffekten besteht noch Entwicklungsbedarf. Für den Einsatz erneuerbarer Energien gibt es etablierte Quantifizierungsansätze für die THG-Minderungswirkungen (Memmler et al., 2014; BMWi, 2017). Für stoffliche Nutzungen nachwachsender Rohstoffe fehlen bisher derartige, systematische Bewertungen.

### **3.2.11.3 Reduzierung des Anstiegs der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2020 auf 30 ha pro Tag**

#### **Beschreibung der Maßnahme und politischer Instrumente zur Umsetzung**

Die Begrenzung des Anstiegs der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf unter 30 Hektar pro Tag ist in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie als Ziel 11.1.a enthalten. Zusätzlich wurde der Indikator 11.1.b/c „Freiraumverlust und Siedlungsfläche“ aufgenommen (Bundesregierung, 2016). Diese Maßnahme ist Teil des MMS-Szenarios im Projektionsbericht 2019 (Bundesregierung, 2019). Diese Maßnahme muss im Bereich der Flächennutzungs- und Bauplanung sowie Siedlungswirtschaft umgesetzt werden und dient dem Schutz land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen.

#### *Umsetzung der Maßnahme*

In der Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung, 2016) und im Klimaschutzgutachten (Weingarten et al., 2016) werden die folgenden politischen Maßnahmen genannt: Stärkung der Innenentwicklung, Ausbau vor Neubau, Wiedernutzung von Siedlungs- und Industriebrachen, Konzentration und Verdichtung der Bebauung, Entsigelung nicht mehr notwendiger Siedlungsflächen, Reform der Grundsteuer, Fortentwicklung von Infrastrukturkostenrechner sowie Bewusstseinsbildung, Information und Sensibilisierung.

#### **Minderung von Treibhausgasemissionen bzw. Einbindungen von Kohlenstoff**

Für das MMS-Szenario des Projektionsberichts 2019 wird mit einer Minderungswirkung von 0,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 im Vergleich zu einer Fortschreibung des bisherigen Anstiegs der Siedlungs- und Verkehrsfläche gerechnet.

**Wirtschaftliche Effekte**

Eine Verknappung des Baulands hat tendenziell negative Wirkungen auf die Bau- und Wohnungswirtschaft.

**Beschäftigungseffekte**

Eine Verknappung des Baulands hat tendenziell negative Wirkungen auf die Beschäftigung in der Bau- und Wohnungswirtschaft.

**Sozialverträglichkeit**

Eine Verknappung des Bauland hat tendenziell negative Wirkungen auf Preisentwicklungen in der die Bau- und Wohnungswirtschaft.

**Versorgungssicherheit**

Die Bewahrung von land- und forstwirtschaftlichen Produktionsflächen bildet langfristig die Grundlage für Versorgungssicherheit.

**Andere Umwelteffekte**

Die Erhaltung von Offenland dient auch Zielen des Boden-, Gewässer- und Biodiversitätsschutzes.

**Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit**

k. A.

**Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, Sektoren, globale und Leakage-Effekte**

Eine langfristig fortgesetzte Umwandlung von land- und forstwirtschaftlichen Produktionsflächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen verursacht Leakage-Effekte.

**Fazit**

Eine Steuerung des Anstiegs der Siedlungs- und Verkehrsfläche ist von der Bundesebene aus nur schwer möglich, es besteht keine alleinige Zuständigkeit eines Ressorts und es bestehen unterschiedliche Ziele (Neubau günstiger Wohnungen, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, Bewahrung der land- und forstwirtschaftlichen Produktionsflächen). Als Hemmnis wirken die hohen Anreize insbesondere auf der kommunalen Entscheidungsebene, durch Ausweisung von Bauland die Regionalentwicklung zu fördern und wirtschaftliche Vorteile zu erzielen.

## 4 Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen

### 4.1 Ergebnisse der Folgenabschätzung im Überblick

Ergebnisse zur Zielstellung und zu den Trends der Emissionen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Auf Basis der für 2014 im KSP 2050 ausgewiesenen Emissionen im Bereich Landwirtschaft müssen die jährlichen Emissionen bis 2030 noch um 11 bis 14 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. vermindert werden.
- Die aktuellen Daten der THG-Berichterstattung aus dem Jahr 2019 weisen für das Jahr 2014 für den KSP 2050-Sektor Landwirtschaft aufgrund methodischer Verbesserungen 1,5 Mio. t mehr Emissionen aus, als im KSP 2050 für die Festlegung der Minderungsziele zugrunde gelegt wurde. Damit erhöht sich der Minderungsbedarf nach Zieldefinition im KSP 2050 mit den aktuellen Emissionsdaten auf 13 bis 16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.
- Der LULUCF-Bereich entwickelt sich im Zeitraum zwischen 2016 und 2020 von einer Senke in eine Quelle für Treibhausgase.
- Da erwartet wird, dass die Netto-Emission im LULUCF-Bereich kurzfristig Größenordnungen von 10 bis 30 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erreicht, und weil Maßnahmen in der Landnutzung nicht kurzfristig umgesetzt werden können, ist das Ziel im KSP 2050, durch zusätzliche Maßnahmen den LULUCF-Bereich als Netto-Senke zu erhalten, kurz- bis mittelfristig nicht realistisch erreichbar.
- Für den LULUCF-Bereich wurden auf der EU-Ebene klimapolitische Ziele festgelegt, die mit den Zielen des KSP 2050 nicht übereinstimmen. Dies führt zu Intransparenz und kann Zielkonflikte nach sich ziehen, was durch Klarstellungen im Rahmen der Weiterentwicklung des KSP 2050 vermieden werden sollte.

Für die Abschätzung der THG-Wirkungen und weiteren Folgen müssen konkrete Annahmen zu Art und Umfang der Maßnahmenumsetzung zugrunde gelegt werden. Soweit möglich wird dabei auf bestehende politische Ziele, Strategien und Instrumente aufgebaut. Die getroffenen Annahmen sind als Ausgestaltungsmöglichkeiten anzusehen, dem vorgesehenen politischen und gesellschaftlichen Abstimmungsprozess zum Maßnahmenprogramm soll damit nicht vorgegriffen werden.

- Zentrale Maßnahme für eine Minderung der Lachgasemissionen ist die Umsetzung des düngerechtl. Pakets 2017 mit der Novelle der Düngeverordnung und der Einführung einer Stoffstrombilanz, auf deren Grundlage die Erstellung von Stickstoffbilanzen zur Bewertung der Düngung und Fütterung vorgeschrieben ist. Ziel für den Klimaschutz ist eine sektorale Verbesserung der N-Effizienz. Während im Düngerecht eine zunehmende Fokussierung auf nitratbelastete Gebiete mit erhöhten Düngestandards stattfindet, soll die Stoffstrombilanz künftig für die meisten Landwirtschaftsbetriebe gleichermaßen gelten. Daher kommt der Fortschreibung der Stoffstrombilanz eine wichtige Rolle für den Klimaschutz zu.

- Aufbauend auf das Luftreinhalteprogramm zur Umsetzung der neuen NEC-Richtlinie sollte ein Investitions- und Förderprogramm zur Unterstützung der notwendigen Anpassungen aufgelegt werden. Erwogen werden muss daher die frühzeitige Festlegung neuer Standards mit langen Übergangszeiten und Förderangeboten, letztere ggf. degressiv gestaffelt.
- Zur Gülle- und Lagerung in Biogasanlagen sind trotz Aufwand für Gülletransporte größere Anlagen wirtschaftlicher als die derzeit geförderten Güllekleinanlagen, was für eine Förderung von Gemeinschaftsanlagen spricht. Dem stehen die derzeitigen EEG-Förderbedingungen entgegen. Da der Großteil der Methanemissionen aus Gülle stammt, sollte der Fokus hierauf liegen, und nicht allgemein auf Wirtschaftsdünger.
- Maßnahmen, die auf eine Emissionsminderung in der Tierhaltung abzielen, sind entscheidend für einen ambitionierten Klimaschutz in der Landwirtschaft. Laut KSP 2050 soll bis zum Jahr 2021 eine Gesamtstrategie zur Verringerung der Emissionen in der Tierhaltung entwickelt werden. Dazu müssen produktspezifische Minderungsoptionen, Minderungen durch einen Abbau bzw. Umbau von Tierbeständen und Konsumänderungen, sowie Minderungsoptionen und Möglichkeiten bei der Futtermittelbereitstellung diskutiert und umgesetzt werden.
- Die Ausdehnung des ökologischen Landbaus wird primär zur Umsetzung anderer Umweltziele (Biodiversität, Gewässerschutz) angestrebt. Bei einer Ausdehnung des Flächenanteils bis 2030 auf 20 % der gesamten LF gehen die Treibhausgasemissionen um 1,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. zurück. Hinzu kommen unter Berücksichtigung eines Ackerflächenanteils von ca. 50 % etwa 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. die durch Humusaufbau gebunden werden könnten und 0,7 bis 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. durch den Rückgang in der Produktion von N-Mineraldüngern. Die addierte Wirkung von 3,8 bis 4,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. wird durch Verlagerungseffekte verringert, so dass die Netto-Klimaschutzwirkung einer Ausweitung des ökologischen Landbaus geschmälert oder aufgehoben werden kann. Zum Beispiel kann allein der Produktionsrückgang bei Getreide mit THG-Emissionen in Höhe von 2,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bewertet werden, die durch zusätzliche Importe von Getreide als Ausgleich der verringerten Produktionsmenge verursacht würden.
- Die Berücksichtigung der Teilquellgruppe 1.A.4.c für direkte energiebedingte Emissionen im Sektor Landwirtschaft ist mit erheblichen Unsicherheiten verbunden und erscheint nicht zielführend. Daher sollte die Zuordnung der Teilquellgruppe 1.A.4.c (Energieeinsatz in der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei) zum Sektor Landwirtschaft noch einmal grundsätzlich diskutiert werden. Maßnahmen mit hohen Vermeidungskosten wie der verstärkte Einsatz von Biotreibstoffen sollten nicht allein aufgrund des sektoralen Ziels für die Landwirtschaft umgesetzt werden. Unabhängig davon sollte das Bundesprogramm Energieeffizienz fortgeführt werden.
- Die Veränderung der Bodenkohlenstoffvorräte in der deutschen Landwirtschaft sollen durch eine Wiederholung der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft des Thünen-Instituts festgestellt und damit für die Emissionsberichterstattung verfügbar gemacht werden. Erst auf dieser Basis kann beurteilt werden, welche Veränderungen der Kohlenstoffvorräte in mineralischen Ackerböden auftreten. Bisher ist nicht gesichert, ob die bisher angenommene stabile Situa-

on (keine Netto-Veränderung) bestätigt werden kann, oder ob ein Kohlenstoffverlust oder eine Anreicherung festgestellt werden wird.

- Bei Umwandlung von Dauergrünland auf Mineralboden in Ackerland werden durchschnittlich ca. 28 t Kohlenstoff pro Hektar freigesetzt, das entspricht gut 100 t CO<sub>2</sub>/ha. Die Dauergrünlanderhaltung verhindert somit die bei Umwandlung anfallenden Emissionen. Dauergrünlanderhaltung ist eine Maßnahme des Greenings im Rahmen der EU-Agrarpolitik. Eine erfolgreiche Fortführung der Maßnahme erfordert einen bruchlosen Übergang zur neuen GAP nach 2020. Die Dauergrünlanderhaltung sollte weiterhin auf Ebene der Einzelfläche umgesetzt werden, mit einer Verpflichtung zum Nachweis von Ersatzflächen bei Grünlandumwandlung.
- Angesichts von THG-Emissionen aus Moorböden in Höhe von insgesamt 47 Mio. t CO<sub>2</sub>, weist der Schutz von Moorböden sehr große Minderungspotentiale auf. Je nach zugrundeliegenden Annahmen und Szenarien werden Minderungswirkungen von 1,5 bis 15,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a. für möglich gehalten. Auch wenn für die Finanzierung von Projekten zum Moorbodenschutz hohe Summen für Maßnahmen auf freiwilliger Basis oder für die Realisierung von Flächenkäufen notwendig sind, können die Vermeidungskosten dennoch konkurrenzfähig zu anderen Maßnahmen sein. Alternative Nutzungskonzepte (Paludikulturen) sollten gestärkt werden.
- Eine Strategie zur Minderung des Torfeinsatzes sollte an der Substitution von Torf als Kultursubstrat und Bodenverbesserung ansetzen.
- Durch die Reduzierung von Lebensmittelverschwendung können CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Größenordnung von etwa fünf bis zehn Millionen Tonnen jährlich eingespart werden; dies allein im Konsumbereich, der ungefähr die Hälfte des Abfallaufkommens ausmacht (Schmidt et al., 2019). Die auf der Konsumseite erzielbaren THG-Minderungen hätten aber keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Höhe der THG-Emissionen der deutschen Landwirtschaft, da es zu Verlagerungseffekten kommen kann. Zusätzlich zum Aufbau eines statistischen Erfassungssystems zum Monitoring sollten Programme zur Bewusstseinsbildung und zur nachhaltigen Ernährung für Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung entwickelt und umgesetzt werden.
- Maßnahmen in der Waldbewirtschaftung sind im Zeitraum bis 2030 nur unzureichend abbildbar, so dass immer auch die langfristigen Effekte bis zum Jahr 2100 und darüber hinaus mit betrachtet werden müssen.
- Eine Steigerung der Widerstandsfähigkeit und Resilienz der Wälder ist mit einer Erhaltung der Produktivität zusammen zu betrachten.
- Kurzfristige Effekte in Deutschland sind durch die Steigerung der Holzverwendung im Bauwesen zu erreichen.
- Ein verstärkter Anteil von klimaangepassten, wuchsstarken Nadelbaumarten in der Verjüngung wirkt sich mittel- bis langfristig besonders stark auf eine Erhöhung der Senkenleistung von Wäldern in Deutschland aus, so dass auf diese Maßnahme ein besonderes Augenmerk gerichtet werden sollte.

Die größten Effekte lassen sich aber auf der internationalen Ebene durch Walderhaltung und Restauration entwaldeter oder degradierter Waldflächen erreichen. Deutschland kann hier nur indirekt über Abkommen, Einfuhrregelungen, Förderung von internationalen Walderhaltungs- und Restaurationsprogrammen sowie durch Steuerung des Konsumverhaltens Einfluss nehmen.

## 4.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen und Kohlenstoffsenken in den Bereichen Landwirtschaft sowie Landnutzung und Forstwirtschaft bis 2030

In Tabelle 5 werden die berechneten Wirkungspotentiale der analysierten Maßnahmen dargestellt und nach den Bereichen Landwirtschaft sowie Landnutzung und Forstwirtschaft summiert. Weitere Wirkungen in anderen Bereichen oder im Ausland aufgrund von Verlagerungs- und Verdrängungseffekten (Leakage) werden nicht dargestellt. Der Transformationspfad zur Emissionsminderung zwischen 2020 und 2030 ist noch nicht untersucht. Aus der Referenzsituation ohne Maßnahmen, die in Kapitel 2.3 beschrieben wird, und den KSP 2050-Zielen für 2030 wird der Minderungsbedarf abgeleitet. Für den Minderungsbedarf und die Maßnahmenwirkungen werden minimale und maximale Werte dargestellt. Den angegebenen, maximalen Maßnahmenwirkungen liegen optimistische Annahmen zum Grad der Maßnahmenumsetzung und Wirksamkeit der Minderung zugrunde. Für den Moorbodenschutz wurden die THG-Minderungspotentiale aus dem Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 übernommen (BMUB (Hrsg.), 2014) unter der Annahme, dass die Angaben sowohl CO<sub>2</sub>- als auch N<sub>2</sub>O-Minderungen enthalten. Die N<sub>2</sub>O-Minderungen werden nach internationalen Anrechnungsregeln in der Quellgruppe Landwirtschaft angerechnet. Über den realisierbaren Umsetzungsgrad bestehen insbesondere beim Moorbodenschutz große Unsicherheiten.

Für den Bereich Landwirtschaft ergeben sich THG-Emissionsminderungen von jährlich ca. 8 bis 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., und damit eine Minderungslücke zwischen 2 und 4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zu den KSP 2050-Zielen für 2030. Nach einer Methodenänderung im Jahr 2019 werden für den Bereich um ca. 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. höhere THG-Emissionen berichtet. Wenn die Zieldefinition des KSP 2050 für die maximalen Emissionen in 2030 so bestehen bleibt, ergibt sich auf Basis der aktuellen Emissionsdaten ein Minderungsbedarf von 13 bis 16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und eine Minderungslücke von bis zu 5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. p. a.

Der Bereich Landnutzung und Forstwirtschaft soll laut KSP 2050 mit Hilfe von Maßnahmen langfristig eine Nettosenke bleiben. Der Bereich wird nach 2020 von einer Senke zur Quelle. Grund für diese Entwicklung ist, dass die Zuwächse der Kohlenstoffsenke in der Forstwirtschaft unter Fortschreibung des momentan üblichen waldbaulichen Nachhaltigkeitsmanagements unter Berücksichtigung der sich verändernden Altersstruktur des Waldes abnehmen, auch wenn sie insgesamt noch eine Senke bleiben. Die Emissionen in den anderen Landnutzungskategorien, insbesondere Ackerland und Grünland, werden dann nicht mehr kompensiert, so dass der LULUCF-Bereich insgesamt zu einer Quelle wird. Durch Maßnahmen im Bereich der landwirtschaftlichen Landnutzung können unter sehr optimistischen Annahmen ca. 9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. THG-Minderungen p. a.

erreicht werden. Die Sicherung der Nettosenke für den gesamten Bereich Landnutzung und Forstwirtschaft kann ohne ambitioniertere Maßnahmen im Bereich Moorbodenschutz bis 2030 damit nicht gewährleistet werden.

**Tabelle 5:** Treibhausgas-Minderungsziele und Minderungswirkungen der Maßnahmen im Jahr 2030

	Bereich Landwirtschaft		Bereich Landnutzung und Forstwirtschaft	
	min.	max.	min.	max.
Referenz 2030 ohne Maßnahmen	72,6	72,6	22,9	22,9
Minderungsziel 2030 (max. Emissionswert)	61,0	58,0	0	0
<b>Minderungsbedarf nach KSP 2050</b>	<b>11,6</b>	<b>14,6</b>	<b>bis zu 22,9</b>	
3.2.1.1 Senkung der Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft	2,7	2,7		
3.2.1.2 Senkung der Ammoniakemissionen der Landwirtschaft	0,8	0,8		
3.2.1.3 Gezielte Verminderung von Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden	k. A.	k. A.		
3.2.2 Vergärung und gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft	2,8	4,4		
3.2.3.1 Senkung der spezifischen, Tier- und Produkt-bezogenen THG-Emissionen	k. A.	k. A.		
3.2.3.2 Abbau und Umbau von Tierbeständen und Reduzierung des Verbrauchs tierischer Lebensmittel	k. A.	k. A.		
3.2.3.3 Klimaschonende Produktion und Verwendung von Futtermitteln	k. A.	k. A.		
3.2.4 Erhöhung des Flächenanteils des Ökologischen Landbaus	0,7	1,8	0,5	1,3
davon ohne "Überlappung" mit 3.2.1.1	0,4	1,2		
3.2.5 Energieeinsparungen und Substitution fossiler Energieträger in der Landwirtschaft	0,7	1,1		
3.2.6 Erhaltung und Aufbau von Humus in mineralischen Ackerböden			k. A.	k. A.
3.2.7 Erhaltung der Dauergrünlandfläche			0	2,6
3.2.8.1 Schutz von Moorböden	0,1	0,3	1,5	3,4
3.2.8.2 Reduzierung des Torfeinsatzes als Kultursubstrat (mit der Folge verringerten Torfabbaus)			0	1,5
<b>Summe der Maßnahmenwirkungen</b>	<b>8,2</b>	<b>12,2</b>	<b>2,0</b>	<b>8,8</b>

k. A.: keine Angabe, da die Konkretisierung der Maßnahmen fehlt oder große Unsicherheiten über die Maßnahmenwirkung bestehen.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Bereich Landnutzung und Forstwirtschaft bestehen in Hinblick auf Trockenjahre und Kalamitäten große Unsicherheiten zur künftigen Entwicklung der Senke der Forstwirtschaft. Die Emissionen der anderen LULUCF-Kategorien werden sich dagegen ohne Maßnahmen nur wenig verändern. Unsicherheiten bestehen bezüglich des möglichen Umsetzungsgrades im Moorbodenschutz. Ob eine Reduzierung der Torfnutzung als Kultursubstrat auch einen entsprechend verringerten Torfabbau in Deutschland zur Folge hat, ist nicht sicher. Auch in Hinblick auf die Entwicklung des Bodenkohlenstoffs in mineralischen Ackerböden und deren Abbildung in der Berichterstattung bestehen Unsicherheiten. Hier sind die Ergebnisse einer Wiederholung der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft abzuwarten.

### 4.3 Empfehlungen

Grundlegende Einschätzungen und Empfehlungen für eine Folgenabschätzung von Klimaschutzmaßnahmen sind im Folgenden aufgeführt.

- Der Fokus des KSP 2050 auf abgegrenzte, nationale Sektoren und die Verengung der Bewertung von Maßnahmen auf sektorbezogene Wirkungen kann zu Fehlentscheidungen führen, wenn Auswirkungen in anderen Emissionssektoren nicht in die Wertung einbezogen werden, oder sektorübergreifende Synergien nicht genutzt werden. Im Klimaschutz müssen die Nettowirkungen von Maßnahmen zur Grundlage der Bewertung gemacht werden, denn eine bloße Verlagerung der Probleme ist nicht zielführend zur Erreichung der globalen THG-Minderungsziele. Deshalb sind sowohl Wechselwirkungen mit anderen, nationalen Sektoren als auch Effekte auf internationaler Ebene in klimapolitische Bewertungen und Entscheidungen einzubeziehen. Im Rahmen der Folgenabschätzung ist hierzu eine kritische Auseinandersetzung notwendig.
- Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl geeigneter Klimaschutzmaßnahmen und für die Prioritätensetzung sind die Vermeidungskosten in €/t CO<sub>2</sub>-Äq., die für die Entscheidungen zum KSP 2050-Maßnahmenprogramm berücksichtigt werden sollten. Für die Ermittlung vergleichbarer und belastbarer Vermeidungskosten zwischen den Sektoren müssen harmonisierte Methoden festgelegt werden. Solche Vorgaben fehlen jedoch für die Folgenabschätzungen zum KSP 2050. Eine Herausforderung besteht darin, dabei weitere Umwelt- und Gesundheitswirkungen zu berücksichtigen.
- Für den LULUCF-Bereich wurden auf der EU-Ebene klimapolitische Ziele festgelegt, die mit den Zielen des KSP 2050 nicht übereinstimmen. Zur Schaffung von Transparenz und zur Abstimmung der Ziele ist es daher erforderlich, die Übereinstimmungen und Unterschiede zwischen den beiden Zielsystemen zu analysieren und Konflikte durch Klarstellungen im Rahmen der weiteren Umsetzung des KSP 2050 zu vermeiden.
- Zur Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen sind auch einheitliche, sektorübergreifende Marktinstrumente (z. B. CO<sub>2</sub>-Bepreisung, Ausweitung des ETS-Systems) zu prüfen, auch in Hinblick auf die Einbeziehung der Landwirtschaft, und aus wissenschaftlicher Sicht zu analy-

sieren. Hier ist zu unterscheiden, ob diese sektorübergreifenden Maßnahmen auf EU oder nationaler Ebene umgesetzt werden können.

- Künftig wird es wichtiger, die THG-Minderungswirkungen von Maßnahmen nachzuweisen. Dafür ist die Abbildung dieser Wirkungen in den THG-Inventaren entscheidend. Für viele Maßnahmen müssen dafür die Datengrundlagen verbessert werden, durch neue statistische Erhebungen relevanter Aktivitätsdaten und die Verfügbarmachung und Nutzung von Verwaltungsdaten wie der Daten zur Agrardieselvergütung oder den Flächennutzungsdaten im integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem der Agrarverwaltung.
- Zu vielen Maßnahmen besteht noch Forschungsbedarf bezüglich Umsetzbarkeit, Wirkung, politischen Instrumenten zur Umsetzung, Vermeidungskosten, Monitoring und Abbildung in der Emissionsberichterstattung.

Für einzelne Handlungsfelder lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

- Für die Stickstoffdüngung und das Wirtschaftsdüngermanagement müssen politische Maßnahmen auf das Ziel einer sektoralen Effizienzsteigerung ausgerichtet werden. Die Bereiche Klimaschutz, Gewässerschutz und Luftreinhaltung müssen integriert betrachtet werden, um Synergien bei der Maßnahmenumsetzung zu nutzen.
- Für die Flächennutzung sollten umfassende Zukunftsszenarien entwickelt werden, um die Entwicklung der Grünlandflächen, der Moorbodennutzung und langfristige Potentiale von Dauergrünlanderhaltung, Aufforstung und Moorbodenschutz zu untersuchen.
- Es sollten Programme zur Reduzierung von Lebensmittelverlusten aufgelegt und verstärkt werden, die in einer möglichst großen Breite von Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung Aktivitäten und Informationsarbeit zur Vermeidung von Lebensmittelverlusten und zu anderen Fragen eines nachhaltigen Lebensmittelkonsums unterstützen. Dies könnte mit einer Förderung der Beschaffung von regionalen und ökologischen Produkten verknüpft werden.
- Eine Steigerung der Stabilität und Resilienz von Wäldern sollte zusammen mit einer Erhaltung der Produktivität und Nutzbarkeit der Wälder betrachtet werden. Weniger produktive Wälder mit geringem nutzbarem Holzaufkommen vermindern die Klimaschutzoptionen durch eine langfristige Holzverwendung (z. B. im Holzbau).
- Ein ausreichender Nadelholzanteil sollte auch bei der Anpassung der Wälder an den Klimawandel berücksichtigt werden. Dabei können heimische Baumarten wie die Weißtanne durch bewährte eingeführte Baumarten wie Douglasie und Küstentanne ergänzt werden. Durch gezielte Mischungen von heimischen Laubbaumarten und nicht-heimischen Nadelbaumarten können ggf. negative naturschutzfachliche Effekte erheblich vermindert werden.
- Die Holzverwendung sollte stärker auf die stoffliche Nutzung (Bauwesen, langlebige Holzprodukte) ausgerichtet werden und die energetische Nutzung vermindert werden, um die Senkenwirkung der Holzverwendung zu optimieren.
- Die Anstrengungen auf internationaler Ebene zur Walderhaltung und –restauration sollten weiter unterstützt und intensiviert werden, weil hier mit Abstand die größten Optionen zum Klimaschutz im Bereich der Landnutzung und Forstwirtschaft liegen.

- Die anstehende Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU und ihre Implementierung in Deutschland sind eine Chance, Klimaschutzmaßnahmen stärker zu integrieren und Hemmnisse für den Klimaschutz abzubauen. Angesichts der hohen Finanzierungsanforderungen sind Mittel der Agrarpolitik für den Klimaschutz zu reservieren.
- Der stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse wird im KSP 2050 wenig Beachtung geschenkt. Die Debatte um die klimaschutzpolitische Ausrichtung der Landwirtschaft, Landnutzung und Forstwirtschaft sollte dafür genutzt werden, die Rolle der Bioökonomie im KSP 2050 zu konkretisieren, die THG-Wirkungen von Biorohstoffen und Bioenergie zu bewerten und Unsicherheiten über die künftige Rolle von Biorohstoffen und Bioenergie abzubauen.

## Literaturverzeichnis

- Alfredsson, E.C. (2004) "Green" consumption—no solution for climate change, *Energy* 29: 513–524.
- Bank Land- und Forstwirtschaft (2016) Diskussion und Vorschläge der Bank Land- und Forstwirtschaft zur Unterstützung und Ausgestaltung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020. Berlin, 06. April 2016.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2019) Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), *UmweltSpezial*, 28 S.
- BBSR (2015) Wohnungsmarktprognose 2030. In: Held T, Waltersbacher M (Eds) Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), BBSR-Analysen KOMPAKT07
- Bjelle, E.L. (2016) The Rebound Effect of a Shift to a Green Lifestyle, Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norwegen.
- BMEL (2017) Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau.
- BMEL (2019) Ökologischer Landbau in Deutschland. Stand: Februar 2019.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2019) Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung, Berlin.
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2016) Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.
- BMUB (Hrsg.) (2014) Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Kabinettsbeschluss vom 3. Dezember 2014.
- BMU (2019) Nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland nach Artikel 6 und Artikel 10 der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe sowie nach §§ 4 und 16 der Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV). <https://www.umweltbundesamt.de/nlrp2019>.
- BMWi (2017) Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (Stand: Februar 2017).
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2015) Energieeffizienzstrategie Gebäude - Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 92 S.
- Bryngelsson D, Wirsenius S, Hedenus F, Sonesson U (2016) How can the EU climate targets be met? A combined analysis of technological and demand-side changes in food and agriculture. *Food Policy* 59: 152-164.
- Bundesregierung (2016) Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016.
- Bundesregierung (2019) Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Im Internet:[https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14\\_lcds\\_pams\\_projections/projections/envxw7wq/](https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxw7wq/)
- Christensen B (2017) Assessing Carbon Footprint of Fertilizers, at Production. Fertilizers Europe, Webinar (Vortrag), 5<sup>th</sup> October 2017.
- Christensen B, Brentrup F, Six L, Pallière C, Hoxha A (2014) Assessing the Carbon Footprint of fertilizers at production and full life cycle. International Fertiliser Society, Proceedings 751, Paper presented to the International Fertiliser Society at a Conference in London, UK, on 3rd July 2014.

- Ciais P, Sabine C, Bala G, Bopp L, Brovkin V, Canadell J, Chhabra A, DeFries R, Galloway J, Heimann M, Jones C, Le Quéré C, Myneni R B, Piao S, Thornton P (2013) Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.
- DESTATIS (2015) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehbestand - Fachserie 3 Reihe 4.1 - 3. Mai 2015.
- DESTATIS (2016a) Fachserie 3 Reihe 2.2.2, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben / Agrarstrukturerhebung.
- DESTATIS (2016b) Fachserie 3 Reihe 2.1.6 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Eigentums- und Pachtverhältnisse. Agrarstrukturerhebung 2016.
- DESTATIS (2018a) Fachserie 4 Reihe 8.2 Produzierendes Gewerbe: Düngemittelversorgung. Wirtschaftsjahr 2017/2018.
- DESTATIS (2018b) Fachserie 4 Reihe 8.2 Produzierendes Gewerbe: Düngemittelversorgung. 3. Vierteljahr 2018.
- DESTATIS (2019) Fachserie 4 Reihe 8.2 Produzierendes Gewerbe: Düngemittelversorgung. 4. Vierteljahr 2018.
- Deutsche Umwelthilfe e.V. (2019) Weiterentwicklung der KfW-Förderung – Graue Energie von Bauprodukten berücksichtigen, Berlin, 4 S.
- Don A, Flessa H, Marx K, Poeplau C, Tiemeyer B, Osterburg B (2018) Die 4-Promille-Initiative "Böden für Ernährungssicherung und Klima" - Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 112.
- Drösler M, Augustin J, Bergman L, Förster C, Fuchs D, Hermann J-M, Kantelhardt J, Kapfer A, Krüger G, Schaller L, Sommer M, Schweiger M, Steffenhagen P, Tiemeyer B, Wehrhan M (2012) Beitrag ausgewählter Schutzgebiete zum Klimaschutz und dessen monetäre Bewertung. BfN Skripten 328. BfN, Bonn.
- Europäischer Rechnungshof (2016) Spending at least one euro in every five from the EU budget on climate action: ambitious work underway, but at serious risk of falling short. Special report No 31/2016.
- Fährmann B, Grajewski R, Bergschmidt A, Fengler B, Franz K, Pollermann K, Raue P, Roggendorf W, Sander A (2018) Der ELER in der Gemeinsamen Agrarpolitik nach 2020 : wie bewerten EvaluatorInnen die europäischen Verordnungsentwürfe? Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 107
- Flessa H, Grief JM, Dittert K, Ruser R, Osterburg B, Poddey E, Wulf S, Pacholski A (2014) Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft : Empfehlungen für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft. Berlin: Senat der Bundesforschungsinstitute des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, 63 p, ForschungThemenheft 1/2014
- Flessa H, Müller D, Plassmann K, Osterburg B, Techen A-K, 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. Braunschweig: vTI, Landbauforsch Völknerode SH 361.
- FNR (Hrsg.) (2015) Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen - Status Quo in Deutschland. Schriftenreihe Band 36, Gülzow 2015.

- 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 October 30, 2012 109 (44) 18226-18231; <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>
- Grabs J (2014) The Rebound Effects of Switching to Vegetarianism - A Microeconomic Analysis of Swedish Consumption Behavior, Master's thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Grethe H, Arens-Azevedo U, Balmann A, Biesalski HK, Birner R, Bokelmann W, Christen O, Gaulty M, Knieirim U, Latacz-Lohmann U, Martinez J, Nieberg H, Offermann F, Pischetsrieder M, Qaim M, Renner B, Spiller A, Taube F, Voget-Kleschin L, Weingarten P (2018) Für eine gemeinwohlorientierte Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2020: Grundsatzfragen und Empfehlungen [online]. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 105 p, Ber Landwirtschaft SH 225, zu finden in <<http://buel.bmel.de/index.php/buel/issue/view/225>> [zitiert am 04.07.2018],
- Grünberg J, Nieberg H, Schmidt TG (2010) Treibhausgasbilanzierung von Lebensmitteln (Carbon Footprints): Überblick und kritische Reflektion. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res 60(2):53-72
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Freibauer A, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B (2018) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2016 : report on methods and data (RMD) submission 2018. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 57
- Hafner A, König H (2017) Lebenszyklusanalyse. In: Kaufmann H., Krötsch S., Winter S. (Eds). Atlas Mehr-geschossiger Holzbau. 1. Auflage (12. Juni 2017) S 24-29. Detailverlag München
- Hafner A, Rüter S (2018) Method for assessing the national implications of environmental impacts from timber buildings - an exemplary study for residential buildings in Germany. Wood and Fiber Science 50(Special Issue): 139-154.
- Hafner A, Rüter S, Ebert S, Schäfer S, König H, Cristofaro L, Diederichs S, Kleinhenz M, Krechel M (2017) Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden - Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau). Ruhr-Universität Bochum, Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Projektbericht Waldklimafonds 28W-B-3-054-01. BMEL/BMUB, 153 S.
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, Stechow C, Zwickel T (Eds) Cambridge University Press, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC, 1454 S.
- Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Laggner A, et al (2018) Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 64, DOI:10.3220/REP1542818391000 [
- Jochem D, Janzen N, Weimar H (2016): Estimation of own and cross price elasticities of demand for wood-based products and associated substitutes in the German construction sector. J Cleaner Prod 137:1216-1227
- Kätterer T, Bolinder M A, Thorvaldsson G, Kirchmann H (2013) Influence of ley-arable systems on soil carbon stocks in Northern Europe and Eastern Canada. Grassland Science in Europe, Vol. 18, 47-56.
- KOM - EUROPÄISCHE KOMMISSION (2019) DELEGIERTER BESCHLUSS (EU) .../... DER KOMMISSION vom 3.5.2019 zur Ergänzung der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Ra-

tes im Hinblick auf eine gemeinsame Methodik und Mindestqualitätsanforderungen für die einheitliche Messung des Umfangs von Lebensmittelabfällen, Brüssel.

- Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (2019) Abschlussbericht. Beschluss vom 26.01.2019.
- König H (2017) Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden: Lebenszyklusanalyse mit Berechnung der Ökobilanz und Lebenszykluskosten. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, Endbericht, 595 S.
- KTBL (2011) UN ECE-Luftreinhaltekonvention – Task Force on Reactive Nitrogen. Systematische Kosten-Nutzen-Analyse von Minderungsmaßnahmen für Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft für nationale Kostenabschätzungen. Agra-Europe 50/11.Dokumentation 1-24.
- Memmler M, Schrempf L, Hermann S, Schneider S, Pabst J, Dreher M (2014) Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2013. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Climate Change 29/2014.
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2016) Programm Niedersächsische Moorlandschaften
- Osterburg B (2016) Schutz landwirtschaftlicher Böden vor Überdüngung. Handb Bodenkunde(41. Erg.):1-28
- Osterburg B, Kätsch S, Wolff A (2013) Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 13.
- Osterburg B, Rüter S, Freibauer A, Witte T de, Elsasser P, Kätsch S, Leischner BC, Paulsen HM, Rock J, Röder N, Sanders J, Schweinle J, Steuk J, Stichnothe H, Stümer W, Welling J, Wolff A (2013) Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 11.
- Osterburg B, Tiemeyer B, Röder N (2018) Hintergrundpapier zum Moorbodenschutz und zur torfschonenden und -erhaltenden Moorbodennutzung als Beitrag zum Klimaschutz. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 20 p, Thünen Working Paper 105.
- Poeplau C, Don A, Vesterdal L, Leifeld J, Wesemael B van, Schumacher J, Gensior A (2011) Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biol* 17(7):2415-2427.
- Repenning J, Schumacher K, Bergmann T, Blanck R, Böttcher H, Bürger V, Cludius J, Emele L, Jörß W, Hennenberg K, Hermann H, Loreck C, Ludig S, Matthes F, Nissen C, Scheffler M, Wiegmann K, Zell-Ziegler C, Fleiter T, Sievers L, Pfaff M, Thamling N, Rau D, Hartwig J, Welter S, Lösch O, Wirz A (2019) Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI, Prognos, M-Five, IREES, FiBL. Endbericht. Berlin, 3.1.2019.
- Röder N, Osterburg B, Kätsch S (2013) Faktencheck Agrarreform: Integration von Klimaschutz und Klimaanpassung in die Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2013. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 11.
- Rösemann C, Haenel H-D, Dämmgen U, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Freibauer A, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B, Fuß R (2019) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2017: report on methods and data (RMD) submission 2019. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 432 p, Thünen Rep 67
- Rösemann C, Haenel H-D, Dämmgen U, Freibauer A, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B (2017) Calculations of gaseous and particulate emissions from Ger-

- man agriculture 1990 - 2015 : report on methods and data (RMD) submission 2017. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 46.
- Ruser R, Schulz R (2015) The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) release from agricultural soils—a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2015, 178, 171–188. DOI: 10.1002/jpln.201400251
- Schmidt TG, Baumgardt S, Blumenthal A, Burdick B, Claupein E, Dirksmeyer W, Hafner G, Klockgether K, Koch F, Leverenz D, Lörchner M, Ludwig-Ohm S, Niepagenkemper L, Owusu-Sekyere K, Waskow F (2019) Wege zur Reduzierung von Lebensmittelabfällen - Pathways to reduce food waste (REFOWAS) : Maßnahmen, Bewertungsrahmen und Analysewerkzeuge sowie zukunftsfähige Ansätze für einen nachhaltigen Umgang mit Lebensmitteln unter Einbindung sozio-ökologischer Innovationen. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 290 p, Thünen Rep 73
- Schramek J, Osterburg B, Kasperczyk N, Nitsch H, Wolff A, Weis M, Hülemeyer K (2012) Vorschläge zur Ausgestaltung von Instrumenten für einen effektiven Schutz von Dauergrünland. Bonn: Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten 323.
- Thiesen, Joan & S. Christensen, Torben & G. Kristensen, Thomas & Huulgaard, Rikke & Brunoe, Brit & K. Gregersen, Trine & Thrane, Mikkel & Weidema, Bo. (2008). Rebound effects of price differences. *The International Journal of Life Cycle Assessment.* 13. 104-114. 10.1065/lca2006.12.297.
- Thomsen I K, Olesena J E, Møller H B, Sørensen P, Christensen B T (2013) Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 58, March 2013, 82-87. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.006>
- UBA – Umweltbundesamt (2016) Entwicklung von Instrumenten zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen, 85/2016, Dessau.
- UBA (2017a) Deutsche Emissionsberichterstattung, 2017 für das Jahr 1990 bis 2015. Common Reporting Format. 11.01.2017. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau. Im Internet: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/10116.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/10116.php)
- UBA (2017b) German Informative Inventory Report. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau. Im Internet: <http://iir-de.wikidot.com/1-a-4-c-ii-agriculture-forestry-mobile>
- UBA (2019) Deutsche Emissionsberichterstattung, 2019 für die Jahre 1990 bis 2017. Common Reporting Format. Inventory 2017, Submission 2019 v1, GERMANY. 13.04..2019. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau. Im Internet: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/deu-2019-crf-12apr19.zip>
- UBA (Umweltbundesamt) (2018) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016. Umweltbundesamt - UNFCCC-Submission. Climate Change 12/2018.
- Weimar H, Jochem D (eds) (2013) Holzverwendung im Bauwesen - Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 356 S, Thünen Rep 9
- Weingarten P, Bauhus J, Arens-Azevedo U, Balmann A, Biesalski HK, Birner R, Bitter AW, Bokelmann W, Bolte A, Bösch M, Christen O, Dieter M, Entenmann S, Feindt M, Gauly M, Grethe H, Haller P, Nieberg H, Osterburg B, Rüter S, et al (2016) Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung : Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz und des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und

Landwirtschaft. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 479 p, Ber Landwirtsch SH 222.

Wiesmeier M, Hübner R, Spörlein P, Geuß U, Hangen E, Reischl A, Schilling B, von Lützw M, Kögel-Knabner I (2014). Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. *Global Change Biology* 20, 653-665.

Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik (2010) EU-Agrarpolitik nach 2013 - Plädoyer für eine neue Politik für Ernährung, Landwirtschaft und ländliche Räume. Gutachten des Beirats für Agrarpolitik, verabschiedet im Mai 2010.

Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik (2011) Kurzstellungnahme zur Mitteilung der Europäischen Kommission über die Ausgestaltung der Gemeinsamen Agrarpolitik bis 2020. Veröffentlichung des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik vom 20. Januar 2011.

Witte T de (2012): Entwicklung eines betriebswirtschaftlichen Ansatzes zur Ex-ante-Analyse von Agrarstrukturwirkungen der Biogasförderung - angewendet am Beispiel des EEG 2009 in Niedersachsen. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 248, 61 p, Göttingen, Univ, Diss, Landbauforsch SH 366.

## **Anhang 1: Folgenabschätzung für die Maßnahmenoptionen Senkung der Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft sowie Schutz von Moorböden: Sozioökonomische Abschätzungen mit FARMIS**

Julian Braun, Frank Offermann

### **A1.1 FARMIS-Modellbeschreibung**

Das „Farm Modelling Information System“ (FARMIS) ist ein komparativ-statisches, nicht-lineares Programmiermodell, das landwirtschaftliche Aktivitäten auf Betriebsgruppenebene detailliert abbildet (Schleef 1999; Bertelsmeier 2005; Deppermann et al. 2014 Ehrmann 2017; Offermann et al., 2018). Sektorkonsistente Ergebnisse werden durch Aggregation der Betriebsgruppenkennzahlen mithilfe von gruppenspezifischen Hochrechnungsfaktoren erzeugt. Den Modellkern bildet eine Standard-Optimierungsmatrix, die in ihrer gegenwärtigen Struktur 27 Ackerbauaktivitäten und 15 Tierproduktionsverfahren beinhaltet. Im Rahmen des linearen Teils der Zielfunktion wird das Betriebseinkommen optimiert. Das Modell berücksichtigt dabei unterschiedliche Ressourcen- und Politikrestriktionen, die im Wesentlichen die Landnutzung, Arbeitskräfte, Pflanzenernährung, Produktion, Fütterung, Subventionen und die Jungtierbilanzierung umfassen.

Für die vorliegende Studie basiert die Modellspezifizierung auf Buchführungsabschlüssen des deutschen Testbetriebsnetzes (TBN) für die Wirtschaftsjahre 2012/13, 2013/14 und 2015/16 sowie Informationen aus der Datensammlung des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft eV (KTBL). Zentrale Ergebnisse des Modells sind die Umfänge der landwirtschaftlichen Aktivitäten (Landnutzung und Tierzahlen), Produktion, Vorleistungsverwendung und Faktoreinsatz, und die daraus abgeleiteten Einkommen und Umweltindikatoren. Die Schichtung der im TBN vorhandenen Betriebe erfolgt nach Wirtschaftsregion, Hauptproduktionsrichtung, Bewirtschaftungsform und Größenklasse. Aus der Schichtung ergeben sich 642 Betriebsgruppen in insgesamt 63 Wirtschaftsregionen (Offermann et al. 2018).

Um innerhalb der ökonomischen Untersuchungen mit FARMIS auch ökologische Indikatoren auf Betriebsebene berücksichtigen zu können, wurde das Modell bereits um Nährstoff-, Energie- und Humusbilanzen, Ammoniak- und THG-Emissionen mehrfach weiterentwickelt (Schleef 1999; Ehrmann 2017; Braun 2019). Die Implementierung der THG-Berechnungsmethodik in FARMIS orientiert sich an den Ausarbeitungen von (Haenel et al. 2016), die sich im Wesentlichen auf die Methodik der IPCC Guidelines (1996, 2006) beziehen und in einigen Bereichen methodische Weiterentwicklungen verwenden. Die Ergebnisse der THG-Berechnungen mit FARMIS werden mit GAS-EM abgeglichen, sodass eine sektorale Konsistenz der THG-Bilanzen sichergestellt ist. Durch die komplementäre Verwendung von FARMIS kann die Heterogenität der ökonomischen Auswirkung einer THG-Vermeidungsmaßnahme auf unterschiedliche Betriebstypen sichtbar gemacht werden. Technische Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in der Produktion werden im Modell

über exogene Abschätzung der Effizienzwirkung und Kosten implementiert. Produktionswirksam werden diese Maßnahmen über die Abbildung der Veränderung der Kosten in den Szenarien.

Für die vorliegende Szenarienanalyse ist insbesondere die Abbildung von Auswirkungen der THG-Minderungsstrategien im Bereich der Stickstoffeffizienz und des Moorschutzes relevant.

Für die Abbildung von Strategien im Bereich des Moorschutzes wurden die Acker- und Grünlandflächen in FARMIS in mineralische und organische Flächen unterteilt (Braun, 2019). Dies setzt die Implementierung von exogen abgeschätzten relativen Flächenanteilen drainierter organischer Landwirtschaftsflächen auf Gemeindeebene voraus. Unter der Annahme, dass jede Betriebsgruppe einer Gemeinde die gleichen relativen Flächenanteile organischer Böden wie die gesamte Gemeinde besitzt, können diese Informationen über die Datengrundlage der Arbeit von Röder und Osterburg (2012) abgeleitet und als Annäherung für die betrieblichen Flächenanteile in der vorliegenden Analysen verwendet werden.<sup>1</sup> Der Handel von Flächen erfolgt über im Modell abgebildete Pachtmärkte, die sich für den Flächentransfer zwischen den Betriebsgruppen auf die Wirtschaftsregion begrenzt (Bertelsmeier 2005).

Des Weiteren werden zur THG-Berechnung aus organischen Böden belastbare Abschätzungen zu landnutzungsspezifischen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen für verschiedene Intensitätsstufen notwendig. Aufgrund der Abhängigkeit zwischen Intensität der THG-Emissionen und dem vorherrschenden Grundwasserstand wird angenommen, dass die Entwässerungstiefe eine bestimmte Landnutzungsintensität induziert (Drösler et al. 2011). Die dazu notwendigen Abschätzungen der Emissionsfaktoren werden den aktuellen Forschungsergebnissen von Tiemeyer et al. (2016) entnommen (vgl. Tabelle A1.1).

**Tabelle A1.1:** THG-Emissionen organischer Böden nach Nutzungskategorie

Nutzungskategorie	THG-Emissionen in t CO <sub>2</sub> äq/ ha a
Acker	34,9
Grünland trocken	33,5
Grünland teilvernässt	21,7
Naturnah / Renaturiert	7,4

Quelle: Eigene Darstellung nach Tiemeyer et al. (2016)

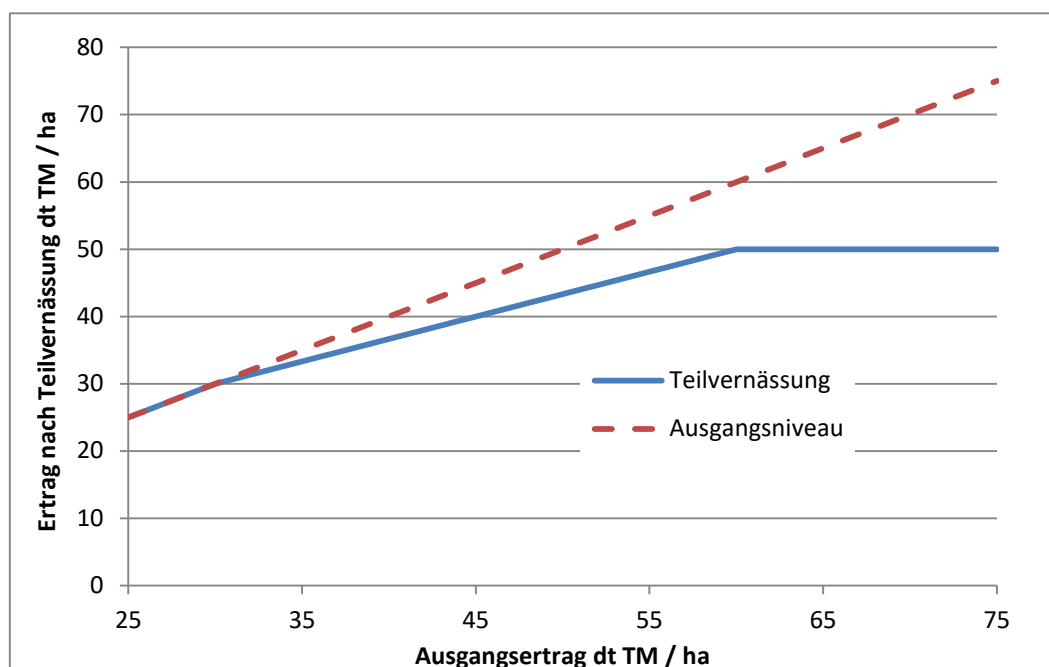
Die THG-Berechnung für drainierte organische Böden erfolgt differenziert für Acker- und Grünlandflächen. Die während der Bewirtschaftung der organischen Flächen entstehenden CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O- und CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in einem CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionsfaktor zusammengefasst. Dabei werden

<sup>1</sup> Die Daten beruhen zum einen auf der Moorflächenabgrenzung der geologischen Übersichtskarte im Maßstab 1:200000 (GUEK 200) und zum anderen auf der Bestimmung der Landnutzung über das digitale Basis-Landschaftsmodell (DLM) und der Agrarstrukturerhebung (ASE).

die Emissionsfaktoren als gewichtete Mittelwerte aus der Summe der Intensitätsstufen der Grünland- bzw. Ackerverfahren und den entsprechenden Emissionsfaktoren berechnet und mit dem Umfang der bewirtschafteten organischen Böden (exkl. Brache) multipliziert (Braun, n. v.). Die landnutzungsspezifischen THG-Emissionen können in den Szenarien als Ansatzpunkt für politische Instrumente zur THG-Minderung (z. B. Besteuerung der Emissionen oder Förderung einer Reduktion der Emissionen) genutzt und im Modell mit der Zielfunktion verknüpft werden. So kann der Anreiz für eine Wiedervernässung der Böden, die renaturiert oder nur als extensives Grünland genutzt werden können, in Abhängigkeit von den betrieblichen und regionalen Wettbewerbsverhältnissen und Nachfrage nach landwirtschaftlichen Flächen modellendogen abgebildet werden.

Die Teilvernässung führt zu Ertragseinbußen, deren Ausprägung vom Ertragspotential intensiv bewirtschafteter Flächen abhängt. Für die Modellanalysen wurde unterstellt, dass bei Ausgangserträgen von mehr als 30 dt TM/ha zunehmende Ertragsverluste zu verzeichnen sind, und der Maximalertrag auf teilvernässten Flächen bei 50 dt TM/ha liegt (Abbildung A1.1).

**Abbildung A1.1:** Annahmen zur Ertragswirkung einer Teilvernässung des Grünlands



Quelle: Eigene Annahmen.

Es wurde zudem unterstellt, dass aufgrund eingeschränkter Befahrbarkeit und düngerechtlicher Beschränkungen der Ausbringung auf wassergesättigte Böden auf den (teil-)vernässten Flächen keine Wirtschaftsdüngerausbringung möglich bzw. zulässig ist.

Die Abbildung der Effekte und Kosten von über die DÜV hinausgehenden Maßnahmen zur Reduzierung von gasförmigen Stickstoffemissionen baut auf den Abschätzungen von KTBL (2011) auf (Tabelle A1.2).

**Tabelle A1.2:** Minderungseffekte und Kosten von über die DÜV hinausgehenden Maßnahmen zur Reduzierung von gasförmigen Stickstoffemissionen

	Minderungs- wirkung in kt NH <sub>3</sub> p.a.	Minderungs- kosten € pro kg NH <sub>3</sub>	Minderungs- kosten € pro kg N
<b>N1: weitere, bekannte Maßnahmen</b>			
Schleppschlauch statt Breitverteiler auf unbestelltem Ackerland	6,9	2,0	2,4
Sofortige Einarbeitung flüssiger Wirtschaftsdünger auf unbestelltem Ackerland (< 1 Std.)	6,7	0,4	0,5
Sofortige Einarbeitung fester Wirtschaftsdünger auf unbestelltem Ackerland (< 1 Std.)	16,8	1,0	1,2
Nicht fest abgedeckte Außenlager werden mit Folie abgedeckt	9,6	1,5	1,8
Abluftreinigung in BImSchG genehmigungspflichtigen Ställen (ab 2.000 Mastschweine, 750 Sauen, 40.000 Masthähnchen)	14,9	5,0	6,1
<b>N2: Weitergehende, teure und z.T noch zu entwickelnde Maßnahmen</b>			
AHL-N-Dünger wird durch Harnstoff mit Urease-Inhibitoren und Kalkammonsalpeter ersetzt	12,0	1,0	1,2
Auf bestelltem Acker und Grünland nur Injektions-/Schlitztechniken bzw. Ansäuerung	49,1	2,5	3,0
50% der Unterflurlagerung wird durch Außerlager mit Folieabdeckung ersetzt	2,5	0,5	0,6
Abluftreinigung in weiteren Ställen (ab 1.000 Mastschweine, 500 Sauen, 40.000 Masthähnchen, 40.000 Puten)	19,2	5,0	6,1

Quelle: Eigene Berechnungen und Annahmen, aufbauend auf KTBL (2011).

Für die Abbildung im Modell wurden die zusätzlichen Kosten je nach Maßnahme auf die Güllelagerung und -ausbringung, die Stallplätze<sup>2</sup> (annualisiert über den Aufwand für Abschreibungen) oder den Preis für mineralischen Stickstoff (Urease-Inhibitoren) umgelegt. Zudem wurden die jeweils zu erwartenden Verbesserungen der Stickstoffnutzungseffizienz abgebildet. Die sich ergebenden Veränderungen in der Wirtschaftlichkeit und relativen Vorzüglichkeit unterschiedlicher Produktionsverfahren führen in den Szenariorechnungen modellendogen zu weiteren Anpassungen der Produktionsstruktur und der Produktionsintensität.

<sup>2</sup> Aufgrund der für diese erste Abschätzung verwendeten Schichtung der Betriebsgruppen aus der Thünen-Baseline 2017-2027 ( Offermann et al. 2018) kann die Umlegung der Abluftreinigungskosten auf große Ställe nur näherungsweise abgebildet werden.

### *Diskussion der Annahmen und Modellbegrenzungen*

Das Modell FARMIS beruht auf einer detaillierten Abbildung ökonomischer Wirkungszusammenhänge der landwirtschaftlichen Produktion und einer Vielzahl von Politikinstrumenten. Das Modell wurde in mehrjähriger Entwicklung spezifiziert, wird stetig weiterentwickelt und hat sich im Rahmen vielfältiger Politikanalysen bewährt. Trotzdem ist es aufgrund von spezifischen Modelleigenschaften und eingeschränkter Datenverfügbarkeit unvermeidbar, dass die Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen nur vereinfacht abgebildet werden können. Die wichtigsten Punkte diesbezüglich sind im Folgenden dargestellt:

- Die landwirtschaftliche Nutzung organischer Böden ist auf einem relativ hohem regionalen Aggregationsniveau abgebildet. Hydrologische Zusammenhänge der Wiedervernässung (Gebiets- statt Schlagvernässung) werden nicht explizit abgebildet.
- Es ist zu erwarten, dass sich durch die Flächenverknappung Pachtpreise regional erhöhen werden. Die Höhe dieses Pachtpreisanstiegs ist jedoch aufgrund der vielen Einflussfaktoren auf dem landwirtschaftlichen Bodenmarkt schwer abzuschätzen. Betrieben mit vielen Pachtflächen dürften daher tendenziell stärker negativ betroffen sein als durch den in diesem Bericht verwendeten Einkommensindikator ausgewiesen.
- Im der Modellabbildung orientiert sich die Entscheidung zur Vernässung organischer Böden an statischen ökonomischer Rentabilitätsrechnungen. Weitergehende Aspekte (Psychologie; Inertia; strategische Aspekte), die einer Akzeptanz der Vernässung entgegen stehen, sind nicht explizit abgebildet.

## **A1.2 Szenarien**

**Baseline** = Thünen – Baseline 2017, Novellierung der Düngeverordnung

**N1** = Weitere bekannte Maßnahmen zur Reduzierung gasförmiger Stickstoffemissionen (Schleppschlauch statt Breitverteiler auf unbestelltem Ackerland; Sofortige Einarbeitung flüssiger Wirtschaftsdünger auf unbestelltem Ackerland (< 1 Std.); Sofortige Einarbeitung fester Wirtschaftsdünger auf unbestelltem Ackerland (< 1 Std.); Nicht fest abgedeckte Außenlager werden mit Folie abgedeckt; Abluftreinigung in BImSchG genehmigungspflichtigen Ställen (ab 2.000 Mastschweine, 750 Sauen, 40.000 Masthähnchen)

**N2** = Weitergehende, teure und z. T. noch zu entwickelnde Maßnahmen Reduzierung gasförmiger Stickstoffemissionen (AHL-N-Dünger wird durch Harnstoff mit Urease-Inhibitoren und Kalkammonsalpeter ersetzt; Auf bestelltem Acker und Grünland nur Injektions-/Schlitztechniken bzw. Ansäuerung; 50 % der Unterflurlagerung wird durch Außerlager mit Folienabdeckung ersetzt; Abluftreinigung in weiteren Ställen (ab 1.000 Mastschweine, 500 Sauen, 40.000 Masthähnchen, 40.000 Puten)

**O1** = Vernässung von 10 % der organischen landwirtschaftlich genutzten Flächen (Subvention für Vernässung; Teilvernässung möglich bei geringeren Subventionen: die Subventionshöhe orientiert sich an der Höhe der Reduzierung der THG-Emissionen ggü. der bisherigen Nutzung der drainierten Flächen).

**O2** = Vernässung von 20 % der organischen landwirtschaftlich genutzten Flächen (Subvention für Vernässung; Teilvernässung möglich bei geringeren Subventionen)

### A1.3 Ergebnisse

#### *Maßnahmen zur Reduzierung von gasförmigen Stickstoffemissionen*

Die zusätzlichen Maßnahmen zu Reduzierung der gasförmigen Stickstoffemissionen führen insgesamt zu einer deutlichen Einsparung von mineralischen Stickstoffdüngern (N1: -3,0 kg N/ha LF; N2: -7,2 kg N/ha LF) im Vergleich zum Baseline-Szenario<sup>3</sup>.

Die zusätzlichen Kosten für Wirtschaftsdüngerausbringung und Abluftreinigung führen ggü. dem Baseline-Szenario zu einer leichten Reduktion der Schweinefleischproduktion (Tabelle A1.3). Dieser negative Produktionseffekt muss bei der Gesamtbewertung des Treibhausgasminderungseffektes berücksichtigt werden.

**Tabelle A1.3:** Sektorale Produktionswirkungen verschiedener Szenarien zur THG-Minderung

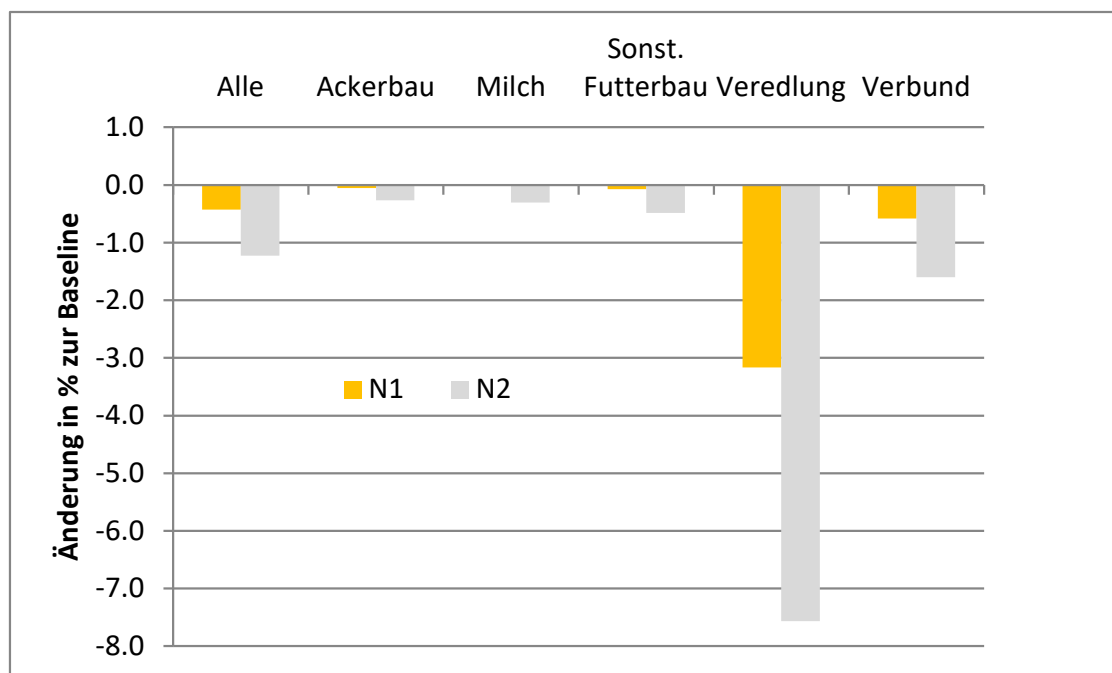
	BASELINE	N1	N2	O1	O2	N2+O2
	1000 t	Änderung in % zur Baseline				
<b>Getreide</b>	45134	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2
<b>Raps</b>	5041	0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5
<b>Zuckerrüben</b>	25753	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2
<b>Milch</b>	37421	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
<b>Rindfleisch</b>	1165	0.1	0.1	-0.1	-0.3	-0.2
<b>Schweinefleisch</b>	4791	-0.7	-1.7	0.0	0.0	-1.7

Quelle: FARMIS (2018).

Die zusätzlichen Kosten für Wirtschaftsdüngerausbringung und Abluftreinigung führen im Schnitt aller Betriebe zu einem Rückgang der Betriebseinkommen um 0,4 % (N1) bzw 1,2 % (N2). Besonders belastet werden die Veredlungsbetriebe, deren Einkommen um 3 % (N1) bzw. 7 % (N2) sinken.

<sup>3</sup> Im Baselineszenario sinkt der sektorale Flächenbilanzsaldo für Stickstoff von 69 kg/ha LF im Zeitraum 2014/16 bis zum Jahr 2027 bereits um 16 % auf rund 58 kg N pro ha LF (Offermann et al. 2018).

**Abbildung A1.2:** Änderungen der Betriebseinkommen in den Szenarien zur Reduzierung von Stickstoffemissionen



Quelle: FARMIS (2018).

### Subventionen für die (Teil-)Vernässung drainierter organischer Böden

Im folgenden Abschnitt werden die betrieblichen Auswirkungen von zwei Szenarien zur THG-Emissionsreduzierung durch die Wiedervernässung drainierter organischer Flächen untersucht. Als exogen vorgegebene Ziele wird eine Wiedervernässung eines Anteils von 10 % (Szenario A) bzw. 20 % (Szenario B) der organischen landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland unterstellt. Dabei wird angenommen, dass für die THG-Minderung aus wiedervernässten organischen Flächen Subventionen gewährt werden. Unterstellt wurde, dass auch vollvernässte Flächen weiterhin die Flächenprämie aus der ersten Säule der EU-Agrarpolitik erhalten, dafür jedoch eine Mindestpflege (Mulchen) durchgeführt werden muss. Die Subventionen werden je t eingespartes CO<sub>2</sub>-Äquivalent gezahlt; je Hektar fällt der Subventionsbetrag daher für vollständig wiedervernässte Flächen gut doppelt so hoch aus wie für teilvernässte Flächen (vgl. Tabelle A1.1). In der Modellanwendung wird die Subventionshöhe solange variiert, bis die vorgegebenen Ziele erreicht werden<sup>4</sup>. Die Modellanalysen bilden damit die Wirkungsweise einer bundesweiten Ausschreibung von THG-Minderungen durch die (Teil-)Wiedervernässung organischer Böden ab. Dabei wurde unterstellt, dass Investitions- und laufende Kosten für Änderungen des Wasserstandes nicht von den Landwirten getragen werden müssen. Mögliche Auswirkungen fortfortschreitender Boden-degradation durch Moorsackung wurden nicht bewertet.

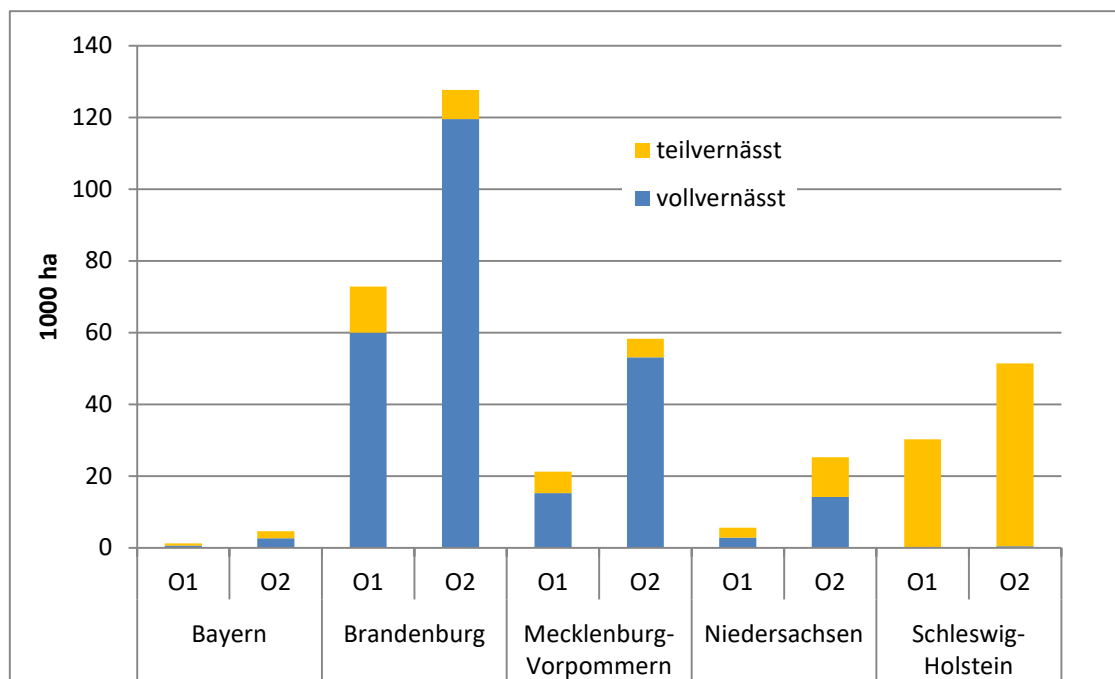
<sup>4</sup> Für die Berechnung der Zielerreichung wurde der Umfang teilvernässter Flächen entsprechend des niedrigeren THG-Einsparungspotenzials geringer bewertet.

Nach den Modellergebnissen erfolgt eine Wiedervernässung von ca. 10 % der organischen landwirtschaftlich genutzten Flächen bei Subventionen von 8 €/t eingesparten CO<sub>2</sub>-Äq. (das entspricht 209 €/ha vollvernässte Fläche bzw. 94 €/ha Teilvernässung), was einem jährlichen Subventionsbedarf von 24 Mio. € entspricht. Insgesamt werden im Szenario O1 91.000 ha vollvernässt und 55.000 ha teilvernässt.

Eine Wiedervernässung von ca. 20 % der organischen landwirtschaftlich genutzten Flächen erfolgt bei Subventionen von 11 €/t eingesparten CO<sub>2</sub>-Äq. (das entspricht 287 €/ha vollvernässte Fläche bzw. 130 €/ha Teilvernässung), was einem jährlichen Subventionsbedarf von knapp 69 Mio. € entspricht. Insgesamt werden im Szenario O2 205.000 ha vollvernässt und 75.000 ha teilvernässt. Im Vergleich zu Szenario 1 steigt der relative Anteil vollvernässter Flächen, was v.a. auf die größere absolute Differenz des Subventionsbetrags je ha im Vergleich zu teilvernässter Flächen zurückzuführen ist.

Zu den Ländern mit größeren landwirtschaftlich genutzten Moorflächen gehören Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Bayern, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Abbildung A1.3 zeigt die Verteilung der wiedervernässten Flächen in diesen Bundesländern. Auffallend sind die hohen Umfänge vollvernässter Flächen in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, die mit den niedrigen Pachtpreisen in der Baseline sowie vergleichsweise niedrigere Wiederkäuer-Bestandszahlen zu erklären sind. In Schleswig-Holstein werden in der Modellanalyse bei den untersuchten Subventionshöhen Flächen ausschließlich teilvernässt. Hier führt die hohe Milchproduktionsdichte im Baselineszenario zu hohen Grenznutzen des verbleibenden nutzbaren Grünlandaufwuchses, der höher ausfällt als die Differenz zur Subvention vollvernässter Flächen. In Niedersachsen werden trotz des hohen Umfangs organischer Böden nur vergleichsweise wenige Flächen wiedervernässt, was den Nutzungsdruck in der Baseline (Milchproduktion sowie Düngerverordnung) widerspiegelt. Bei höheren Subventionsraten nimmt im Gegensatz zu der Situation in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern der Anteil an teilvernässten Flächen in Niedersachsen kaum ab, was darauf hindeutet, dass der von einer Flächenverknappung ausgehende Anstieg des Grenznutzens einer Grünlandnutzung hier höher ist, als der zunehmende Subventionsbetrag für vollvernässte Flächen.

**Abbildung A1.3:** Umfänge wiedervernässter Flächen nach Bundesländern



Quelle: FARMIS (2018).

Das durch die Vernässung von organischen Grünlandflächen rückläufige Grundfutterangebot wird teilweise durch eine Zunahme des Ackerfutterbaus sowie durch die Intensivierung der Graslandnutzung auf mineralischen Böden ausgeglichen. Nach den Modellergebnissen ist dieser Intensivierungseffekt besonders ausgeprägt in Brandenburg, welches in der Baseline durch einen hohen Anteil extensiv genutzten Graslands charakterisiert ist.

**Tabelle A1.4:** Intensivierungseffekte in den Szenarien zur Vernässung organischer Böden

	Baseline	O1	O2	O1	O2
	Anteil intensiv genutztes Grünland auf Mineralböden			Ackerfutterflächen Änderung in % zur Baseline	
Schleswig-Holstein	87%	88%	89%	0.4%	0.6%
Niedersachsen	91%	92%	93%	0.1%	0.7%
Bayern	77%	77%	77%	0.0%	0.0%
Brandenburg	28%	38%	44%	3.3%	5.7%
Mecklenburg-Vorpommern	28%	29%	31%	0.9%	3.1%

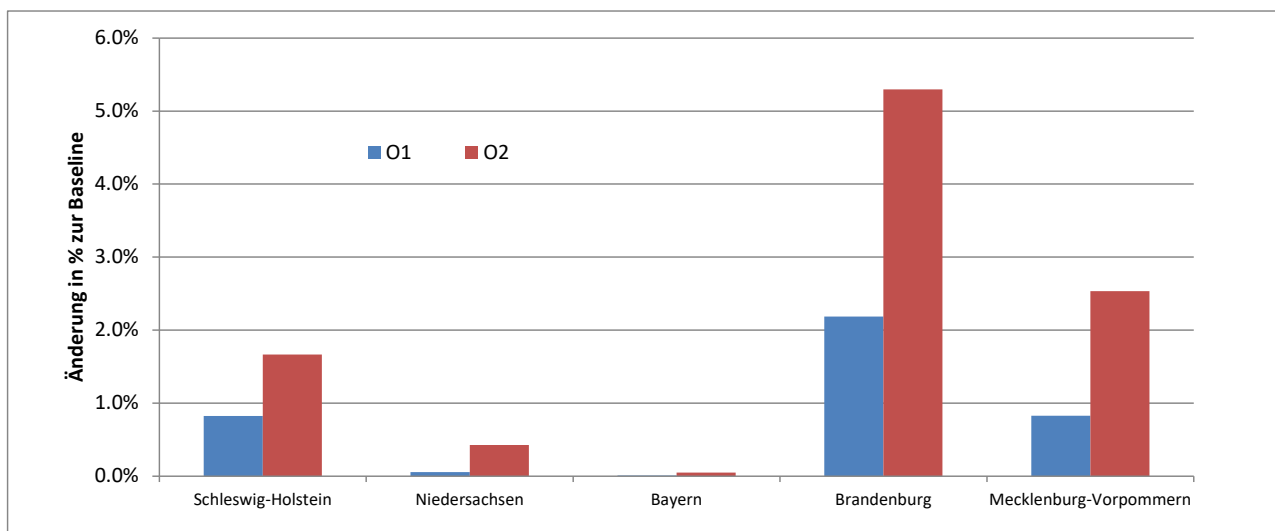
Quelle: FARMIS (2018).

Der Rückgang an nutzbarer Grünlandfläche führt zu einem leichten Rückgang (-0,5 %) der Rinderzahlen (v.a. Mutterkühe, -4,1 % in O1, -4,9 % in O2), sowie einer leichten Zunahme des Ackerfutterbaus (Tabelle A1.4). Ggü. dem Baseline-Szenario kommt es folglich zu einer leichten Reduktion der Produktion von Getreide, Raps, Zuckerrüben und Rindfleisch (Tabelle A1.3). Dieser negative

Produktionseffekt muss bei der Gesamtbewertung des Treibhausgasminderungseffektes berücksichtigt werden.

Von der Subventionierung der Wiedervernässung profitieren vor allem Betriebe und Regionen mit geringer Flächennutzungsintensität und Nutzungskonkurrenz. So steigen die Betriebseinkommen in MV und BB aufgrund der zusätzlichen Subventionen im Schnitt um 1-2 % im Szenario O1 bzw. 2,5- 5 % im Szenario O2.

**Abbildung A1.4:** Änderungen der Betriebseinkommen je AK in den Szenarien zur Vernässung organischer Böden



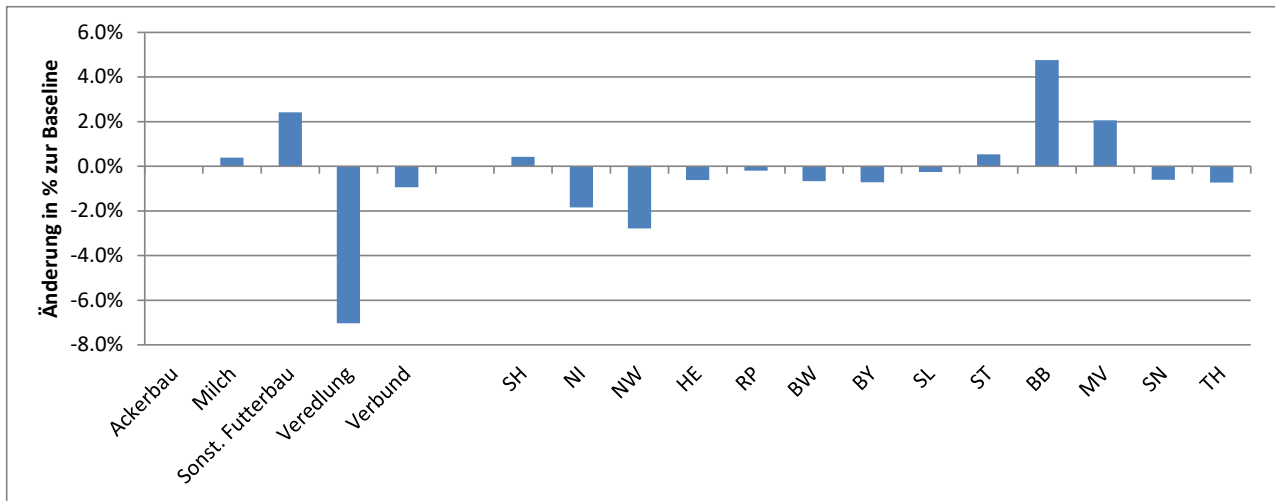
Quelle: FARMIS (2018).

#### *Kombination der Maßnahmen zu Reduzierung von Stickstoffemissionen und Wiedervernässung drainierter organischer Böden (Maßnahmenpaket N2 + O2)*

Die gleichzeitige Umsetzung aller Maßnahmen zu Senkung gasförmiger Stickstoffemissionen sowie der Vernässung von 20 % der organischen landwirtschaftlich genutzten Flächen zeigt, dass die Maßnahmen vorrangig additiv wirken (d.h., wenig Wechselwirkungen bestehen und die Wirkungen daher aufsummiert werden können). Die Produktionswirkungen der Einzelmaßnahmen addieren sich auf (Tabelle A1.2) und somit steigt die Bedeutung der notwendigen Berücksichtigung der Produktionsrückgänge bei der Gesamtbewertung des Treibhausgasminderungseffektes.

Die größten Einkommensrückgänge sind in Veredlungsbetrieben zu erwarten, während sonstige Futterbaubetriebe aufgrund der subventionierten Wiedervernässung in diesem Szenario leicht profitieren.

**Abbildung A1.5:** Änderungen der Betriebseinkommen je AK bei Kombination der Maßnahmen (Maßnahmenpaket N2 + O2)



Quelle: FARMIS (2018).

## A1.4 Literaturverzeichnis

- Bertelsmeier, Marcus (2005): Analyse der Wirkungen unterschiedlicher Systeme von direkten Transferzahlungen unter besonderer Berücksichtigung von Bodenpacht- und Quotenmärkten. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Angewandte Wissenschaft, H. 510).
- Deppermann, A.; Grethe, H.; Offermann, Frank (2014): Distributional effects of CAP liberalisation on western German farm incomes. An ex-ante analysis. In: *European Review of Agricultural Economics*, 2014 (4), S. 605.
- Drösler et al. (2011): Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ 2006-2010. Braunschweig (Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung, 4/2011).
- Ehrmann, Markus (2017): Modellgestützte Analyse von Einkommens- und Umweltwirkungen auf Basis von Testbetriebsdaten. Braunschweig: Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (Thünen Report, 48), zuletzt geprüft am 07.03.2018.
- Haenel, Hans-Dieter; Rösemann, Claus; Dämmgen, Ulrich; Freibauer, Annette; Döring, Ulrike; Wulf, Sebastian et al. (2016): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2014. Report on methods and data (RMD) Submission 2016. Braunschweig (Thünen Report, 39). Online verfügbar unter [http://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn056460.pdf](http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn056460.pdf), zuletzt geprüft am 07.03.2018.
- KTBL (2011) UN ECE-Luftreinhaltekonvention – Task Force on Reactive Nitrogen. Systematische Kosten-Nutzen-Analyse von Minderungsmaßnahmen für Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft für nationale Kostenabschätzungen. Agra-Europe 50/11.Dokumentation 1-24.
- Offermann, Frank; Banse, Martin; Freund, Florian; Haß, Marlen; Kreins, Peter; Laquai, Verena et al. (2018): Thünen-Baseline 2017 - 2027. Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen Report, 56). Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/175089>.
- Röder, Norbert; Osterburg, Bernhard (2012): Reducing GHG emissions by abandoning agricultural land use on organic soils - A cost assessment. Selected Paper prepared for presentation at the International Association of Agricultural Economists (IAAE) Triennial Conference, Foz do Iguaçu, Brazil, 18-24 August, 2012. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig.
- Schleef, Karl-Heinrich (1999): Auswirkungen von Stickstoffminderungspolitik. Modellgestützte Abschätzung der betrieblichen Auswirkungen von Politiken zur Verringerung von Stickstoffüberschüssen aus der Landwirtschaft. Münster: Landwirtschaftsverl. (Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Reihe A, Angewandte Wissenschaft, 482).
- Tiemeyer, Bärbel; Albiac Borraz, Elisa; Augustin, Jürgen; Bechtold, Michel; Beetz, Sascha; Beyer, Colja et al. (2016): High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. In: *Global change biology* 22 (12), S. 4134–4149. DOI: 10.1111/gcb.13303.

## Anhang 2: Einzelbetriebliche Analysen zur Vergärung und gasdichten Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft

Thomas de Witte

Mit Blick auf eine kohärente Klimaschutzstrategie stellt sich die Frage, wie sich die bisherige Förderung der Biogaserzeugung in die Gesamtstrategie eingliedert und wie die Fördermodalitäten für eine höhere klimapolitische Effizienz ggf. weiterzuentwickeln sind. Um diese Frage zu beantworten, wird nachfolgend zunächst knapp der Stand der Biogaserzeugung in Deutschland, der derzeitige Rechtsrahmen sowie die wissenschaftliche Diskussion zur Weiterentwicklung der Biogasförderung beschrieben. Anschließend wird auf Basis von Modellkalkulationen aufgezeigt, was kritische Parameter für die Weiterentwicklung der Biogasförderung sind und ob es eine effiziente klimapolitische Optimierung der Biogasförderung gäbe und wie diese ggf. konzipiert werden müsste.

### A2.1 Bisherige Entwicklung der Biogasförderung und -erzeugung

Die Förderung der Biogaserzeugung erfolgt seit dem Jahr 2000 über das EEG. Seither hat sich der Anlagenbestand sehr stark in Abhängigkeit der Fördermodalitäten im EEG verändert. Zwischen den Jahren 2000 und 2004 stieg die installierte Leistung jährlich um etwa 70 MW an. Es wurden überwiegend Kleinanlagen auf Basis von Wirtschaftsdünger in Kombination mit Reststoffen gebaut (Rendsberg, 2011). Nach Einführung des NawaRo-Bonus in der EEG Novelle 2004 erhöhte sich die jährlich zugebaute installierte Leistung mit etwa 250 MW pro Jahr erheblich. Es wurden überwiegend Anlagen in der Größenordnung von 500 kW auf Basis nachwachsender Rohstoffe (v. a. Maissilage) gebaut. Nach der EEG-Novelle 2009, in der die Vergütungssätze nochmal erhöht wurden, stieg die durchschnittliche jährliche Leistungszubau mit etwa 500 MW/Jahr nochmals erheblich an.

Infolge zunehmender Kritik an der geringen klimapolitischen Effizienz der Biogasförderung sowie zunehmender Nutzungskonkurrenzen wurden in der Novelle 2012 das Bonussystem überarbeitet und mit Einführung der Markt- und Flexibilisierungsprämie erstmalig Anreize für eine stärker strommarktorientierte Betriebsweise geschaffen. Weiterhin wurden zusätzliche Vergütungsvoraussetzungen eingeführt. Hier sind vor allem die Mindestwärmenutzung von 60 % sowie die Begrenzung des Maiseinsatzes auf 60 % zu nennen. Neu eingeführt wurde eine gesonderte Vergütung für sogenannte Güllevergärungsanlagen mit einem Gülleanteil von 80 % und einer maximalen installierten Leistung von 75 kW. Im Ergebnis lag die Veränderung der Stromerlöse typischer Anlagengrößen lediglich im Bereich von -10 bis +5 % (vgl. Gömann et al. 2013). Der starke Rückgang des jährlichen Zubaus zwischen 2012 und 2014 auf jährlich 85 MW lässt sich vor allem anhand deutlich höhere Agrarpreise sowie über die neu eingeführten Vergütungsvoraussetzungen erklären (Gömann et al. 2013).

Um die Kosten für die Verbraucher durch die EEG-Umlage stärker zu begrenzen und um sicherzustellen, dass der weitere Ausbau vor allem auf Basis von Rest- und Abfallstoffen geschieht, wurde das EEG im Jahr 2014 erneut novelliert. In dieser Novelle wurde die Vergütungsstruktur deutlich vereinfacht und abgesenkt. Im Vergleich zum EEG 2012 sank die Vergütung einer typischen 500 kW Anlage um etwa 6 ct/kWh bzw. 30 % (KTBL, 2014). Als Voraussetzung wurde eingeführt, dass Anlagen nur noch die gesetzliche Vergütung erhalten, wenn die Anlagen doppelt überbaut werden und somit flexibel Strom erzeugen können. Um den Zubau zu begrenzen, wurde ein sogenannter Ausbaupfad eingeführt, der den jährlichen Zubau auf 100 MW begrenzen soll. Bei Überschreitung dieses Wertes wird die Vergütung weiter abgesenkt. Die Sondervergütung für Güllekleinanlagen wurde beibehalten.

Mit dem EEG 2017 wurde die Förderung auf ein Ausschreibungsverfahren umgestellt. Neuanlagen mit einer installierten Leistung über 150 kW müssen am Ausschreibungsverfahren teilnehmen. Der Höchstwert der Gebote ist jedoch auf 14,88 ct/kWh begrenzt und liegt damit erheblich unterhalb der Einspeisevergütungen bis 2012. Weiterhin unterliegt der Höchstwert einer jährlichen Degression von 1 %. Betreiber von Bestandsanlagen haben die Möglichkeit vor Ablauf ihrer 20-jährigen Förderperiode eine weitere 10-jährige Förderperiode im Ausschreibungsverfahren zu erwerben. Hierfür können sie frühestens 8 Jahre vor Ablauf der 20-jährigen Förderperiode an dem Ausschreibungsverfahren teilnehmen. Als Teilnahmevoraussetzung müssen sie die Anlage doppelt überbauen und dürfen maximal 50 % Mais und Getreide einsetzen. Im Vergleich zu Neuanlagen gilt für Bestandsanlagen, die sich um eine weitere Förderperiode bewerben ein Gebotsobergrenze von 16,9 ct/kWh. Die Sondervergütung für Güllekleinanlagen wurde beibehalten.

Seit der EEG-Novelle 2014 ist der Anlagenzubau auf jährlich durchschnittlich 235 MW installierte Leistung zurückgegangen und wird zum Großteil durch die zunehmende Flexibilisierung (Überbauung) von Bestandsanlagen hervorgerufen. Die arbeitsrelevante Zusatzleistung ist seit 2014 jährlich lediglich um 17 MW gestiegen und damit nahezu zum Erliegen gekommen. Gleichzeitig hat sich seit 2012 die Anzahl der Güllekleinanlagen deutlich erhöht, so dass Ende 2016 etwa 560 Güllekleinanlagen installiert waren (DBFZ, 2017).

Insgesamt wird deutlich, dass die Politik über die Gestaltung des EEG die Entwicklung des Anlagenbestandes in der Vergangenheit erheblich beeinflusst und verändert hat. Weiterhin werden aufgrund des in 2004 eingeführten NawaRo-Bonus ab 2024 zahlreiche Anlagen auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen aus der 20-jährigen EEG-Vergütung auslaufen. Deren Betreiber werden sich wahrscheinlich zwei bis drei Jahre vorher im Rahmen von Ausschreibungsverfahren um eine weitere Förderperiode bewerben. Der Höhepunkt dieser Entwicklung ist ab etwa 2029 zu erwarten. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die bisherigen Anforderungen für die Teilnahmen an der Ausschreibung klimapolitisch sinnvoll sind und ob im Rahmen einer kohärenten Klimaschutzstrategie auf einen stärkeren Einsatz von Gülle abgezielt werden sollte. Um diese Frage zu beantworten, wird im nächsten Abschnitt der bisherige Diskussionsstand zur Erhöhung von Gülleanteilen im Anlagenbestand wiedergegeben.

## A2.2 Diskussionstand zur Erhöhung des Gülleanteils

Nachdem zuvor die Entwicklung der Biogasförderung und des Anlagenbestandes beschrieben wurde, wird nachfolgend der Diskussionsstand zur Erhöhung des Gülleanteils im Anlagenbestand wiedergegeben. Zunächst werden die grundsätzlichen Kritikpunkte an der Förderung nachwachsenden Rohstoffe zur Biogaserzeugung aufgezeigt und anschließend bisherige Vorschläge zur Erhöhung von Gülleanteilen beschrieben.

In vielen wissenschaftlichen Arbeiten wurden vor allem drei Punkte an der Biogaserzeugung auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen kritisiert und als Ausgangspunkt für eine stärkere Fokussierung auf Gülle- und Reststoffen herangezogen:

- (1) **Hohe Kosten:** Biogasstrom aus nachwachsenden Rohstoffen ist mit Gestehungskosten von 15 bis über 20 ct/kWh mehr als doppelt bis dreimal so teuer wie Strom aus Wind- oder Solaranlagen mit Stromgestehungskosten von 7-8 ct/kWh (Agora, 2013).
- (2) **Geringe klimapolitische Effizienz:** Trotz vergleichsweise hoher CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparungen ergeben sich aufgrund der hohen Stromgestehungskosten hohe CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten für die Biogaserzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen. Vor diesem Hintergrund können bei gleichem Budget mit anderen Technologien deutlich mehr Treibhausgase eingespart werden (vgl. WBA, 2007; WBA, 2011; WBA, 2016).
- (3) **Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion:** Der Anbau von Biomasse für die Biogaserzeugung auf Ackerflächen konkurriert mit dem Anbau von Getreide oder sonstigem Futter für die Tierhaltung. Bei unveränderter Nachfrage führt dies dazu, dass die nicht mehr in Deutschland hergestellten Nahrungsmittel in anderen Teilen der Welt produziert werden und hier zusätzliche CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen durch Intensivierung der Landnutzung oder Inkulturnahme ungenutzter Flächen auslösen (WBA, 2007).

Zahlreiche Autoren haben vor diesem Hintergrund ein Überdenken der bisherigen Förderung gefordert und eine stärkere Fokussierung auf Gülle und Reststoffe empfohlen.

Das Thünen-Institut hat bereits zur EEG-Novelle 2012 Empfehlungen für ein Ausschreibungsmodell für Gülleanlagen gegeben und darauf hingewiesen, dass sie die Gestehungskosten für Gülleanlagen je nach den Rahmenbedingungen erheblich unterscheiden können und bei größeren Gemeinschaftsanlagen mit geringeren CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten zu rechnen ist. Weiterhin wurde darauf hingewiesen, dass auf einzelbetrieblicher Ebene nur ein kleiner Anteil der anfallenden Gülle in Güllekleinanlagen erschlossen werden kann. In größeren Gemeinschaftsanlagen beispielsweise auf Gemeindeebene steigt der Anteil des erschließbaren Güllepotentials erheblich an. Die zu überwindenden Transportdistanzen liegen hierbei im Mittel deutlich unter 5 km (Witte et al. 2011, 171- 177).

Die Bioenergieverbände und der Bauernverband haben in einer gemeinsamen Veröffentlichung Vorschläge zur Weiterentwicklung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes vorgelegt (vgl. BBE et al.,

2018): Darin empfehlen sie hinsichtlich der Weiterentwicklung der Biogasförderung vor allem folgende Punkte:

- a) Es sollte ein Stabilisierungspfad für Biomasse eingeführt werden, um die Bioenergieerzeugung auf dem heutigen Niveau zu halten. Damit Biogasanlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe weiter kostendeckend wirtschaften können, sollte der Höchstwert der Ausschreibungen für Anlagen unter 750 kW von 16,56 ct/kWh auf mindestens 19,56 ct/kWh angehoben werden.
- b) Die Begrenzung der Sondervergütungsklasse für Gülleanlagen auf 75 kW sollte aufgehoben werden, um größere und damit effizientere Anlagen realisieren zu können. Weiterhin sollten Bestandsanlagen, deren erster EEG-Vergütungsanspruch ausläuft, die Möglichkeit bekommen in die Sondervergütungsklasse zu wechseln und damit Anspruch auf einen zweiten Vergütungszeitraum erhalten.
- c) Biogasanlagen, die mindestens 50 % Gülle einsetzen, sollten zusätzlich eine investive Förderung für die Lagerung der Gülle aus Mitteln der GAP erhalten.

Das DBFZ hat im April 2018 ebenfalls eine Stellungnahme zur Weiterentwicklung des EEG vorgelegt. Die dort enthaltenen Empfehlungen decken sich im Wesentlichen mit denen der Verbände (DBFZ, 2018).

Angesichts der klimapolitischen Schwächen von NawaRo-Anlagen ist es jedoch nicht nachvollziehbar, warum derartige Anlagen nach Ablauf der EEG Vergütung für weitere 10 Jahre gefördert werden sollen und parallel eine Sondervergütungsklasse für Gülleanlagen einzuführen. Mit Blick auf die Vermeidung von Treibhausgasen könnte es zielführender sein, den bisherigen Anlagenbestand stärker auf die Vergärung von Gülle auszurichten und in den Ausschreibungsverfahren höhere Gülleanteile vorzuschreiben. Zudem sind für die Ausrichtung auf die Vergärung von Gülle neue Förderinstrumente außerhalb des EEG zu prüfen.

Vor diesem Hintergrund werden im nächsten Kapitel wesentliche Kennzahlen für die klimapolitische Effizienz verschiedener Biogasanlagen anhand von Modellkalkulationen durchgeführt und daraus Schlussfolgerung für die Weiterentwicklung des EEG abgeleitet.

### A2.3 Analysen zur klimapolitischen Effizienz der Güllevergärung

Nachfolgend soll anhand von Modellkalkulationen aufgezeigt werden, wie die klimapolitische Effizienz von unterschiedlichen Anlagentypen zu bewerten ist und unter welchen Bedingungen diese unterschiedlichen Typen realisierbar sind. Es werden im Folgenden Biogasanlagen mit einer Leistung von 75, 150, 250 und 500 kW sowie Gülleanteilen von 0 %, 40 %, 60 %, 80 % und 95 % berücksichtigt. Folgende Kennzahlen werden dabei betrachtet (vgl. Abbildungen A2.1 bis A2.11 sowie die Erläuterungen im Abbildungsteil des Anhangs 2):

- (1) Der **Großvieheinheitenbedarf (GV-Bedarf)** = für die Versorgung von Biogasanlagen mit Gülle muss ermittelt werden, um abschätzen zu können, ob in der Praxis unterschiedlicher Re-

gionen ausreichend Viehbestände vorliegen, um Biogasanlagen mit höherer Leistung und höheren Gülleanteilen betreiben zu können. Dabei ist es nicht erforderlich, dass der GV-Bedarf auf einzelbetrieblicher Ebene anfällt. In viehintensiven Regionen können größere Anlagen ggf. auch als Gemeinschaftsgülleanlagen betrieben werden.

- (2) Das **spezifischen Investitionsvolumen** gibt Auskunft inwiefern sich durch größere Anlagen und veränderte Gülleanteile Kostendegressionseffekte ergeben. Sofern hohe Gülleanteile in größeren Biogasanlagen deutlich geringere spezifische Investitionen ergeben, ist es ggf. sinnvoll die bisherige Förderung von Güllekleinanlagen (<75 kW) anzupassen.
- (3) Die **Netto-Stromgestehungskosten** geben an, zu welchen Kosten Strom in verschiedenen Anlagenkonstellationen bereitgestellt werden kann. Dabei werden mögliche Wärmeerlöse von den Brutto-Stromgestehungskosten abgezogen. Allerdings kann nicht unmittelbar aus den Netto-Stromgestehungskosten auf die Belastung der Verbraucher geschlossen werden. Selbst wenn güllebasierte Biogasanlagen im Vergleich zu maisbasierten Anlagen höhere Stromgestehungskosten aufweisen, kann die Verbraucherbelastung durch güllebasierten Anlagen geringer ausfallen, wenn bei gleicher Verringerung der CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen die Gesamtstromerzeugung sinkt.
- (4) Die **Treibhausgas (THG)-Vermeidung** gibt an, wie stark bei unterschiedlichen Anlagengrößen und Gülleanteilen CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen gegenüber der konventionellen Stromerzeugung verringert werden. Hinsichtlich der Anlagengröße wirken sich unterschiedliche Wirkungsgrade sowie transportbedingte Emissionen auf die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidung aus. Höhere Gülleanteile verringern die CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen in der Tierhaltung und aus der Energiepflanzenproduktion. Bei Rückgang des Anbaus von Silomais als Energiepflanze werden die Flächen anders genutzt, die Emissionen der Landwirtschaft ändern sich dann nur, wenn die N-Düngung effizienter wird.
- (5) Die **THG-Vermeidungskosten** geben an, zu welchen Kosten eine Tonne CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen in der Stromerzeugung eingespart werden können. Biogasanlagen mit geringeren CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten sind klimapolitisch besser zu bewerten, da mit dem gleichen Budget mehr Klimaschutz erreicht werden kann. Jenseits dieser Optimierung innerhalb des Biogassektors ist selbstverständlich noch zu klären, zu welchen THG-Vermeidungskosten alternative Formen der Strombereitstellung und andere THG-Emissionsminderungen z. B. im Agrarsektor möglich sind.

### A2.3.1 Annahmen für die Kalkulationen

Die Kalkulationen werden mit einem Berechnungsmodell durchgeführt, das es ermöglicht, die genannten Kennzahlen unterschiedlicher Anlagenkonstellationen zu vergleichen (vgl. Witte, 2012). Auf diese Weise können systematische Unterschiede zwischen verschiedenen Anlagenkonstellationen identifiziert und analysiert werden. Nachfolgend werden die wesentlichen Annahmen des Berechnungsmodells beschrieben.

### **Annahmen zur Auslegung der Biogasanlagen und dem erforderlichen Investitionsbedarf<sup>5</sup>**

Das Investitionsvolumen der Baugruppen wird auf Basis von Daten des KTBL Biogasrechners interpoliert. Dabei wird zwischen den Baugruppen Fermenter, Gärrestlager, Silolager, BHKW sowie Feststoffeintrag und Flüssigannahme unterschieden.

Für die Auslegung der erforderlichen Fermenter- und Gärrestlagervolumen werden folgende Annahmen getroffen:

- Das benötigte Fermentervolumen für verschiedene Substratzusammensetzungen und Anlagengrößen wird auf eine maximale Raumbelastung von 2.5 kg oTM/m<sup>3</sup> und eine Mindestverweilzeit der Substrate von 30 Tagen ausgelegt (KTBL, 2009).
- Das gasdicht abgedeckte Gärrestlager verfügt über eine Lagerkapazität von 6 Monaten (KTBL, 2009: 188).
- Die Lagerkapazität der Flüssigannahme beträgt drei Tage und der Feststoffeintrag fasst das Volumen einer Tagesration.

In Anlagen mit hohen Gülleanteilen haben die Annahmen hinsichtlich des Investitionsbedarfs für die Lagerung des Gärrest aus Gülle einen erheblichen Einfluss auf das spezifische Investitionsvolumen und damit auf die Stromgestehungs- und THG-Vermeidungskosten. Vor diesem Hintergrund werden zwei Szenarien analysiert. Zunächst wird unterstellt, dass die Biogasanlage die Investitionen für die Lagerung des Gärrest aus Wirtschaftsdünger tragen muss. Aufgrund der Düngeverordnung müssen Tierhalter in viehintensiven Regionen künftig jedoch ohnehin zusätzliche Lagerkapazitäten für Gülle schaffen. Vor diesem Hintergrund wird in einem zweiten Szenario angenommen, dass die Lagerkapazitäten am Standort bisheriger Biogasanlagen errichtet werden und die Tierhaltung die Investitionen der Lagerkapazität trägt. Dementsprechend verringern sich die Kosten der Biogasanlage.

Hinsichtlich der Wärmenutzung wird für alle Anlagentypen unterstellt, dass 70 % der überschüssigen Wärme zu einem Wärmeerlös von 1,5 ct/kWh abgegeben wird. Aufgrund des geringen Wärmepreises werden keine Investitionen für die Wärmeverteilung berücksichtigt, sondern angenommen, dass diese vom Abnehmer getragen werden.

Als Verluste in der Anlage werden 10 % Silierverlust für die Maissilage; 1,5 % Methanverlust durch diffuse Quellen sowie 1 % Transformationsverluste für den Strom unterstellt.

### **Annahmen zu den Rohstoffkosten**

Hinsichtlich der Rohstoffversorgung wird vereinfachend davon ausgegangen, dass der NawaRo-Bedarf ausschließlich durch Maissilage gedeckt wird. Die Ableitung des Maispreises frei Halm ist

---

<sup>5</sup> Nachfolgend werden lediglich die Kernannahmen für das Kalkulationsmodell beschrieben. Eine ausführliche Darstellung des Kalkulationsmodells findet sich bei Witte (2012: S. 49-63).

in Tabelle 1 dargestellt. Obwohl derartige Anlagen gegenwärtige nicht mehr zulässig sind, führt diese Vereinfachung nicht zu keiner substantziellen Verzerrung der Ergebnisse, weil die unterschiedlichen Rohstoffe in aller Regel in einem intensiven Wettbewerb stehen und somit dauerhaft allenfalls geringe Preisunterschiede pro Einheit Energiegehalt bestehen.

Der erforderliche Mindestpreis für Mais wird über die Opportunitätskosten des Weizenanbaus ermittelt. Dabei wird eine Ertragsrelation von 8 t Weizen zu 45 t/ha Silomais sowie ein Preisniveau von 150 €/t Weizen unterstellt.

Es wird davon ausgegangen, dass der Biogasanlagenbetreiber, die aus NawaRo anfallende Gärrestmenge wieder auf dem Feld ausbringt und die Ausbringungskosten trägt. Als Nährstoffpreise werden 0,9 €/kg N; 1,0 €/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sowie 0,7 €/kg K<sub>2</sub>O unterstellt.

Insgesamt ergeben sich Silomaiskosten von 26,8 €/t FM frei Halm. Die Ernte- und Transportkosten werden vom Anlagenbetreiber getragen. Dabei wird von entfernungsunabhängigen Erntekosten in Höhe von 5,5 €/t FM sowie entfernungsabhängigen Transportkosten von 0,36 €/km/t FM ausgegangen (Witte, 2012: 59).

Für die Berechnung der Transportentfernung wird angenommen, dass etwa 10 % der Gesamtfläche für die Substratbeschaffung zur Verfügung stehen. Anschließend werden der erforderlichen Radien für die Transportentfernung abgeleitet. Für die Berücksichtigung des Straßenverlaufs wird die Entfernung nach Luftlinie um 27 % erhöht (Witte, 2012: 59).

**Tabelle A2.1** Kalkulation der Maiskosten frei Halm

		Weizen	Silomais
Ertrag		8,0	45,0
<b>Preis</b>		<b>150,0</b>	<b>26,8</b>
<b>Leistung</b>	<b>€/ha</b>	<b>1.200</b>	<b>1.206</b>
Saatgut	€/ha	81	164
Pflanzenschutz	€/ha	142	51
<b>organische Düngung</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>m<sup>3</sup>GR</b>	<b>33 m<sup>3</sup>GR</b>
N*	kg/ha	0	118
P2O5	kg/ha	0	86
K2O	kg/ha	0	239
Nährstoffwert	€/ha	0	367
<b>Mineralische Düngung</b>			
N	kg/ha	180	100
P2O5	kg/ha	80	20
K2O	kg/ha	60	0
Nährstoffwert	€/ha	284	110
Ausbringung	€/ha	13	3
<b>Kosten mineralische Düngung</b>	<b>€/ha</b>	<b>297</b>	<b>113</b>
Ernte- und Transport	€/ha	150	0
sonst. Arb. Erl. Kosten	€/ha	305	286
<b>Summe Direkt- und Arb.erl.kosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>975</b>	<b>982</b>
Direkt- und Arbeitserl. freie Leistungen	€/ha	225	225

\* Verluste bereits berücksichtigt

Quelle: Eigene Berechnungen.

Für Anlagen mit höheren Gülleanteilen wird angenommen, dass es sich um Gemeinschaftsanlagen handelt und die Gülle nicht unmittelbar an der Anlage anfällt. Für die Abschätzung der Transportentfernung für Gülle wird ein mittleres regionales Güllaufkommen von 8 m<sup>3</sup>/ha Gesamtfläche ausgegangen. Anhand des Wirtschaftsdüngerbedarfs und der damit verbundenen Fläche wurde der Einzugsradius berechnet. Dabei wird unterstellt, dass die Gülle über die gesamte Fläche gleichverteilt anfällt. In der Realität dürften die Betriebe bei einer Dorfstruktur jedoch näher zusammenliegen. In diesem Fall sind die Transportentfernungen eher geringer. Auf der anderen Seite kann die Transportentfernung bei vermehrter Einzelhoflage mit der Berechnungsmethodik auch unterschätzt werden. Die Ableitung der mittleren Transportdistanzen aus dem Einzugsradius erfolgt in gleicher Weise wie bei der Ableitung der Transportentfernung für Maissilage. Wei-

terhin wird unterstellt, dass die Gülle zur Biogasanlage und der anfallende Gärrest vor der Ausbringung wieder zum Ausgangsbetrieb transportiert wird.

### Annahmen zur THG-Bilanzierung

Die beim Substratanbau anfallenden direkten und indirekten Lachgasemissionen werden nach den IPCC Guidelines 2007 berechnet. Die Emissionsfaktoren für Lachgas (296) und Methan (25) richten sich ebenfalls nach den Vorgaben des IPCC (IPCC, 2006).

Für die Emissionen des Maisanbaus wird zunächst unterstellt, dass der gesamte Düngebedarf mineralisch gedeckt wird. Im Gegenzug werden bei der Biogaserzeugung, für die im Gärrest enthaltenden Nährstoffe Gutschriften für vermiedene Emissionen der mineralischen Düngerherstellung berücksichtigt. Weitere für die THG-Bilanzierung berücksichtigte Emissionskoeffizienten finden sich in Tabelle 2.

**Tabelle A2.2** Annahmen für CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen und -gutschriften

Input	CO <sub>2</sub> -Äq.-Emissionen	
N-Dünger	6.469	g CO <sub>2</sub> -Äq/kg
P2O5-Dünger	1.191	g CO <sub>2</sub> -Äq/kg
K2O-Dünger	669	g CO <sub>2</sub> -Äq/kg
CaO-Dünger	298	g CO <sub>2</sub> -Äq/kg
Diesel	3.831	g CO <sub>2</sub> -Äq/kg
Transport Wirtschaftsdünger	144	g CO <sub>2</sub> -Äq/t*km
Vermiedene Emissionen Rindergülle	342	kg CO <sub>2</sub> -Äq/t TM
Vermiedene Emissionen Schweinegülle	1.260	kg CO <sub>2</sub> -Äq/t TM
Emissionen fossiler Strom (70% Steinkohle, 30% Gas)	720	g CO <sub>2</sub> -Äq/kWh
Emissionen fossile Wärmebereitstellung	310	g CO <sub>2</sub> -Äq/kWh

Quelle: GEMIS Datenbank 2010, Treibhausgasberichterstattung.

Als fossile Referenz der Stromproduktion wird ein Mix aus 70 % Steinkohlestrom und 30 % Gasstrom mit Stromgestehungskosten von 5,2 ct/kWh unterstellt.

### A2.3.2 Ökonomische und klimapolitische Kennzahlen von Anlagentypen

Nachfolgend wird beschrieben, wie sich die in Kapitel 3 genannten Kennzahlen zwischen den analysierten Anlagenkonzepten unterscheiden.

### **Veränderung des GV-Bedarfs**

Aus Abbildung A2.1 und Abbildung A2.2 ist ersichtlich, dass der GV-Bedarf mit zunehmenden Gülleanteil exponentiell ansteigt. Insbesondere bei Gülleanteilen über 80 % kommt es zu einem deutlichen Anstieg des erforderlichen GV-Bestandes. Anlagen mit einer Leistung von 75 kW und Gülleanteilen bis 80 % können mit einem Rinderbestand von 180 Großvieheinheiten (GVE) bzw. einem Schweinebestand von 330 GVE betrieben werden; damit sind sie in der Regel einzelbetrieblich realisierbar. Bei größeren Anlagen und höheren Gülleanteilen ist aufgrund des deutlich ansteigenden GV-Bedarfs jedoch davon auszugehen, dass die Anlagen nur als Gemeinschaftsanlagen mit einem Transport der Gülle realisierbar sind. Die erforderlichen GV-Bedarfe von 1.300 Rinder GV oder 2.600 Schweine GV für eine 250 kW Anlage mit einem Gülleanteil von 95 % fallen in vielen Gemeinden aber auf regionaler Ebene an.

### **Entwicklung des spezifischen Investitionsbedarfs**

Der spezifische Investitionsbedarf sinkt bei gleichen Gülleanteilen mit zunehmender Anlagengröße deutlich (vgl. Abbildungen A2.3 und A2.4). Bei Rindergülleanteilen von 80 % betragen die spezifischen Investitionen für eine 75 kW Anlage 8.100 €/kW und sinken auf 5.600 € in einer 250 kW Anlage (-30 %). In einer 500 kW Anlage sind die spezifischen Investitionen mehr als 40 % geringer als in einer 75 kW Anlage mit vergleichbarem Gülleanteil. Hieran wird deutlich, dass sich auch bei Gülleanlagen erhebliche Degressionseffekte ergeben. Vor diesem Hintergrund ist zu vermuten, dass größere gemeinschaftlich betriebene Gülleanlagen zu geringeren Stromgestehungskosten führen. Weiterhin wird anhand von Abbildungen A2.3 und A2.4 deutlich, dass das spezifische Investitionsvolumen bei gleichen Anlagengrößen mit zunehmenden Gülleanteilen steigt. Ursache hierfür sind die notwendigen Investitionen für die Lagerung der Gärreste aus Gülle. Werden diese jedoch nicht in der Biogasanlage berücksichtigt, weil sie zusätzlichen Lagerraumbedarf in der Tierhaltung ersetzen und somit auch von dieser zu tragen sind, sinken die spezifischen Investitionen mit zunehmenden Gülleanteilen. Aufgrund der novellierten Düngeverordnung muss künftig in vielen Regionen zusätzlicher Lagerraum für Gülle geschaffen werden. Hier könnte die Politik für eine Weiterentwicklung der Biogasförderung ansetzen und Investitionszuschüsse für neu geschaffene Güllelager in Gemeinschaftsanlagen einführen.

### **Netto-Stromgestehungskosten**

Die Netto-Stromgestehungskosten (vgl. Abbildungen A2.5 und A2.6) sinken bei gleichen Gülleanteilen mit zunehmender Anlagengröße. Bei Gülleanteilen von 80 % sinken die Stromgestehungskosten zwischen einer 75 kW und einer 250 kW-Anlage um 6 ct/kWh bzw. 25 %. Daran wird wiederum deutlich, dass aus ökonomischer Sicht Gülleanlagen eher als größere Gemeinschaftsanlagen betrieben werden sollten. Innerhalb einer Leistungsgröße steigen die Stromgestehungskosten mit zunehmendem Gülleanteil leicht an. Für eine 200 kW-Anlage mit 95 % Gülle sind die Kosten lediglich 1,3 ct/kWh (8 %) höher als bei einem Gülleanteil von 40 %. Werden die Investitionen für den Lagerraum der Gärreste aus Gülle nicht berücksichtigt (s. o.), sinken die Stromgestehungskosten mit zunehmendem Gülleanteil. In diesem Fall sind die Stromgestehungskosten einer 200-kW Anlage mit 95 % Gülle 1,6 ct/kWh (9 %) geringer als in einer Anlage mit 40 % Gülle.

### THG-Vermeidung

In Abbildung A2.7 und A2.8 sind die CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen und Gutschriften für eine 150-kW Anlage mit unterschiedlichen Anteilen von Rinder- und Schweinegülle dargestellt. An der Abbildung wird zunächst deutlich, dass die Gesamtemissionen in den Anlagen mit zunehmenden Gülleanteilen sinken. Während mit 40 % Rindergülle noch Emissionen von 350 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh verursacht werden, sinkt der Wert bei einem Anteil Rindergülle von 95 % auf 196 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (-44 %). Dies liegt an dem Rückgang der CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen aus dem reduzierten Maisanbau. Der Transport von Wirtschaftsdünger verursacht vergleichsweise geringe CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen. Selbst bei einem Gülleanteil von 95 % beträgt der Anteil transportbedingter CO<sub>2</sub>-Äq.-Emission lediglich 2 %. Vor diesem Hintergrund führen größere Transportentfernungen für Wirtschaftsdünger in Güllegeinschaftsanlagen nicht zu einer wesentlichen Verschlechterung der CO<sub>2</sub>-Äq.-Bilanz.

Hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Äq.-Gutschriften wirken sich die vermiedenen Emissionen in der fossilen Strombereitstellung mit 720 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh am stärksten aus. Sie haben einen Anteil an den Gesamtgutschriften von 55 bis 70 %. Weiterhin ergeben sich je nach Gülleanteil erhebliche Gutschriften aus der Substitution fossiler Wärme sowie aus den vermiedenen Emissionen in der Wirtschaftsdüngerlagerung. Bei geringeren Gülleanteilen haben die Gutschriften aus der Wärmenutzung eine größere Bedeutung, da mehr überschüssige Wärme anfällt. Die Wärmeüberschüsse sinken in Anlagen mit höheren Gülleanteilen. Dafür steigen hier die Gutschriften aus den vermiedenen Emissionen in der Wirtschaftsdüngerlagerung erheblich an. Insgesamt sind die Gutschriften aus der Wirtschaftsdüngerlagerung jedoch größer als die Gutschriften aus der Substitution fossiler Wärme. Somit steigt die Gesamt-THG-Vermeidung von 645 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh in Anlagen mit 40 % Gülle auf 1.110 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh in Anlagen mit 95 % Gülleanteil (+56 %).

Insgesamt ist somit festzuhalten, dass Anlagen mit höheren Gülleanteilen gegenüber überwiegend maisbasierten Anlagen zu deutlich größeren CO<sub>2</sub>-Äq.-Einsparungen führen.

### TGH-Vermeidungskosten

Aus der CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidung und den Netto-Stromgestehungskosten lassen sich die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten ableiten (vgl. Abbildungen A2.9 und A2.10). Sie geben an, zu welchen Kosten eine Tonne CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen mit den verschiedenen Anlagenkonstellationen eingespart werden können. Aus dem Anhang ist ersichtlich, dass die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten in jeder Anlagengröße mit zunehmendem Gülleanteil sinken. Für 500 kW-Anlagen ergeben sich bei Gülleanteilen von 0-60 % unter den hier getroffenen Annahmen zur Wärmenutzung CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten von 130 bis 160 €/t CO<sub>2</sub>-Äq.. Bei geringerer Nutzung der überschüssigen Wärme oder höheren Rohstoffkosten können sich in maisbasierten Anlagen auch deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten im Bereich von über 300 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. ergeben. In Anlagen mit Gülleanteilen über 80 % liegen die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten bei 70 bis 220 €/t CO<sub>2</sub>-Äq.. Dabei sinken die Vermeidungskosten mit zunehmenden Gülleanteil sowie mit zunehmender Anlagengröße. Somit ist festzuhalten, dass die geringsten CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten mit sehr hohen Gülleanteilen (95 %) und in größeren Gemeinschaftsanlagen zu erzielen sind. Auch die notwendigen Gülletransporte ändern dieses Bild nicht. In güllebasierten Anlagen können die Vermeidungs-

kosten nochmal deutlich gesenkt werden, wenn die Investitionen in die Lagerkapazitäten für Gärrest aus Wirtschaftsdüngern von der Tierhaltung getragen werden. In diesem Fall sinken die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten auf 70 bis 90 €/t. Daher ist es mit Blick auf die klimapolitische Effizienz der Biogaspolitik grundsätzlich vorteilhaft größere Anlagen mit hohe Gülleanteilen zu fördern. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll bei einer Weiterentwicklung der Biogasförderung Investitionsanreize in Gemeinschaftslager für Biogasanlagenbetreiber und Tierhalter zu fördern.

Allerdings können die Wirtschaftsdünger auch direkt am Standort der Tierhaltung gasdicht gelagert werden und das anfallende Methan in einer Gasfackel verbrannt werden. In diesem Fall ergeben sich die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten aus der Kostendifferenz zwischen einer offenen und gasdichten Güllelagerung. Anhand der durchgeführten Kalkulationen zur gasdichten Lagerung von Wirtschaftsdüngern ergeben sich je nach Größe des Güllebehälters CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten von 25 bis 90 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. (vgl. Abbildung A2.11). Somit ist in der Regel eine gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern der Nutzung in güllebasierten Gemeinschaftsbiogasanlagen vorzuziehen.

Insgesamt lassen sich aus den durchgeführten Analysen folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- (1) Eine gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern ist klimapolitisch einer Nutzung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen vorzuziehen.
- (2) Wenn der Staat im Rahmen des EEG künftig weiterhin die Stromerzeugung aus Biogas fördern möchte und dabei höhere Gülleanteile anstrebt, sollte die bisherige Sondervergütungsklasse von Güllekleinanlagen bis 75 kW abgeschafft werden. Diese Anlagen verursachen aufgrund der hohen spezifischen Investitionen und der geringeren Wirkungsgrade vergleichsweise hohe THG-Vermeidungskosten. Stattdessen sollte die Förderung auf größere güllebasierte Gemeinschaftsanlagen ausgerichtet werden. Dabei ist zu prüfen, inwiefern Investitionsanreize für gemeinschaftlich betriebene Güllelager an Biogasanlagen geschaffen werden können.

### A2.3.3 Szenarien für die Weiterentwicklung bestehender Biogasanlagen

Nachdem im vorherigen Kapitel anhand von Modellkalkulationen aufgezeigt wurde, dass eine güllebasierte Biogaserzeugung aus ökonomischen und klimapolitischen Gründen eher in größeren Gemeinschaftsanlagen erfolgen sollte, wird nachfolgend der Frage nachgegangen, wie derzeit bestehende typische Anlagenkonzepte umgestaltet werden können, um künftig mit höheren Gülleanteilen betrieben zu werden.

Dabei wird zunächst abgeleitet, welche BHKW-Kapazitäten bei gegebenem Lagervolumen und künftigen Gülleanteilen von mindestens 80 % künftig betrieben werden können. Im nächsten Schritt wird betrachtet, welche zusätzlichen Investitionen für Gärrestlagerkapazitäten notwendig sind, um a) größere BHKW-Kapazitäten und b) höhere Gülleanteile realisieren zu können. Für die künftigen Anlagenkonzepte werden die jährliche Stromproduktion sowie der jährliche Maisbedarf, der benötigte GV-Bedarf für die Versorgung mit Gülle und die daraus resultierenden Transportentfernungen abgeleitet. Für den ökonomischen und klimapolitischen Vergleich der Anlagenkonzepte werden weiterhin die Netto-Stromgestehungskosten, die THG-Vermeidung sowie die THG-Vermeidungskosten kalkuliert. Weiterhin werden die zusätzlich erforderlichen Investitionen und THG-Vermeidungskosten der künftigen Biogasanlagenkonzepte mit denen in einer gasdichten Güllelagerung verglichen.

Als Ausgangspunkt wird eine im aktuellen Anlagenbestand typische Anlagengröße von 500 kW mit einem Anteil von 40 % Schweinegülle unterstellt. Auf Basis der in Kapitel 3.1 beschriebenen Annahmen verfügt die Anlage über ein Fermentervolumen von 3.760 m<sup>3</sup> und einem Gärrestlager-volumen von 6.100 m<sup>3</sup> (vgl. Tabelle 3).

#### **Annahmen zu den künftigen Reparaturkosten bei einer Weiternutzung abgeschriebener Biogasanlagen**

Für Biogasanlagen, die nach einer 20-jährigen Förderperiode weitergenutzt werden sollen, bestehen erhebliche Unsicherheiten bezüglich der künftigen Nutzungsdauer der Behälter und der künftig anfallenden Reparaturkosten. Für die hier durchgeführten Modellkalkulationen wird davon ausgegangen, dass die Betonbauteile wie Fermenter und Gärrestlager ohne zusätzliche Investitionen weiter genutzt werden können. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Reparatur- und Instandhaltungskosten aufgrund des fortschreitenden Alters ansteigen werden. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird eine Verdopplung der Reparaturkosten angenommen.

#### **Ergebnisse**

Für eine Weiternutzung der beschriebenen 500 kW-Anlage nach Ablauf der EEG-Vergütung sind folgende Szenarien mit höheren Gülleanteilen möglich:

- (1) Zunächst ist als Vergleichsgröße zu berücksichtigen, dass die Anlage wie bisher mit einem 500 kW-BHKW und einem Gülleanteil von 40 % betrieben werden kann. In diesem Fall sind

annahmegemäß keinen weiteren Investitionen erforderlich. Es wird lediglich von höheren Instandsetzungskosten ausgegangen.

- (2) Sofern die vorhandenen Lagerbehälter künftig weitergenutzt, der Gülleanteil jedoch deutlich erhöht werden soll, ist es erforderlich die BHKW-Leistung zu reduzieren. Mit dem vorhandenen Gärrestlager könnte ein 100 kW-BHKW mit einem Gülleanteil von 95 % betrieben werden.
- (3) Sofern mit Blick auf realisierbare Größendegressionen ein größeres BHKW angestrebt wird, sinkt der Gülleinput relativ schnell. Mit einem 150-kW BHKW kann nur noch ein Gülleanteil von 85 % realisiert werden, wenn keine zusätzlichen Investitionen für weitere Gärrestlager zu erfolgen sollen.
- (4) Sollen bei Gülleanteilen von 95 % größere BHKW-Kapazitäten installiert werden, ist es erforderlich, zusätzlichen Lagerraum für die Gärreste zu schaffen. Wenn ein 150 kW-BHKW mit 95 % Gülle betrieben werden soll, müssen etwa 3.000 m<sup>3</sup> zusätzlicher Lagerraum geschaffen werden, was zusätzliche Investitionen von 230 Tsd. € verursacht. Dieser Wert steigt auf 12.000 m<sup>3</sup> bzw. 660 Tsd. € in einer 300 kW-Anlage mit 95 % Gülle.

Klimapolitisch sind die hier skizzierten Szenarien wie folgt zu bewerten (vgl. Tabelle 3):

- Wird künftig die betrachtete Modellanlage mit erhöhten Instandhaltungskosten und fehlender Abschreibung für Betonbauteile weiter als 500 kW Anlage betrieben, sinken die Stromgestehungskosten um 7 % von 15,6 ct/kWh auf 14,5 ct/kWh. In der Folge verringern sich auch die THG-Vermeidungskosten um 12 % auf 124 €/t CO<sub>2</sub>äq. Die Gülle- und Maisbedarf ändert sich nicht.
- Ohne zusätzliche Investitionen in neue Gärrestlagerkapazitäten kann die Anlage mit einem 150 kW-BHKW und 85 % Gülle oder einem 100 kW-BHKW und 95 % Gülle betrieben werden. In diesem Fall steigen die Stromgestehungskosten auf 0,29 bzw. 0,23 ct/kWh (+47 bis +85 %). Mit Blick auf die Belastung für Stromkunden ergibt sich für die 150 kW Anlage trotz der höheren Stromgestehungskosten (+47 %) eine Entlastung, da im Gegenzug die Stromerzeugung um 70 % sinkt. Aufgrund der höheren Netto-Stromgestehungskosten steigen die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten beider Anlagen im Vergleich zur weitergenutzten 500 kW Anlage geringfügig an (+7 €/t CO<sub>2</sub>-Äq.). Allerdings führen diese Anlagenkonzepte zu einem deutlich geringeren Maisbedarf. In der 100 kW-Anlage kann der Maisbedarf um mehr als 90 % reduziert werden. Die rechnerischen Transportentfernungen für die Gülle liegen unter 2 km.
- Sofern die vorherige 500 kW-Anlage mit Gülleanteilen von 95 % und BHKWs zwischen 150 und 300 kW weiterbetrieben werden sollen, müssen am Standort zusätzliche Gärrestlagerkapazitäten von 3.000 m<sup>3</sup> bis 12.000 m<sup>3</sup> geschaffen werden, was zusätzliche Investitionen von 230 bis 660 Tsd. € nach sich zieht. Trotz dieser zusätzlichen Investitionen sinken die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten auf knapp 90 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. für die 300 kW Gemeinschaftsanlage. Ursache hierfür ist, dass die Transportentfernungen für die Gülle lediglich um 10 % ansteigen und es daher kaum zu Veränderungen in der CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidung je kWh Strom kommt. Im Gegen-

zug sinken jedoch die Netto-Stromgestehungskosten aufgrund von Größendegressionen auf knapp 20 ct/kWh. Auch hier ist zu berücksichtigen, dass die höheren Stromgestehungskosten im Vergleich zur bisherigen 500-KW-Anlage nicht zu einer Mehrbelastung für die Verbraucher führen, da im Gegenzug die produzierte Strommenge deutlich sinkt.

- Aufgrund der Düngeverordnung müssen in viehintensiven Regionen künftig die zusätzliche Lagerkapazitäten für Gülle geschaffen werden. Vor diesem Hintergrund können die notwendigen Investitionen für neuen Gärrestlageraum von der Tierhaltung getragen werden und müssen nicht der Biogaserzeugung angelastet werden. In diesem Szenario sinken die Netto-Stromgestehungskosten sowie die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten nochmals deutlich ab, so dass im Falle der 300 kW-Anlage mit einem Gülleanteil von 95 % CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten von 75 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. realisiert werden können, die deutlich geringer sind als in kleineren Gülleanlagen oder in bisher typischen Anlagentypen mit 500 kW Leistung und Gülleanteilen unter 50 %.

Die Kalkulationen haben gezeigt, dass sich die CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten der Biogaserzeugung künftig deutlich verringern lassen, wenn Bestandsanlagen mit einem höheren Gülleanteil nach Auslaufen der EEG-Vergütung weitergenutzt werden. Allerdings bestehen auch andere Möglichkeiten, die Methanemissionen in der Tierhaltung zu reduzieren. Es zeigt sich, dass die gasdichte Abdeckung von Güllelagern und das Verbrennen des anfallenden Methans in Gasfackeln mit CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten von 25 bis 40 €/t CO<sub>2</sub>-Äq. deutlich günstiger ist. Auch hier ergeben sich bezüglich der Lagerkapazitäten erhebliche Kostendegressionen. Das anfallende Gas kann, statt es abzufackeln, auch als Heizenergieträger verwendet werden.

**Tabelle A2.3:** Kennzahlen zur klimapolitischen Effizienz für die Weiterentwicklung bestehender Biogasanlagen und der gasdichten Lagerung von Gülle

Leistung	kW	Basis		Alternative Biogasanlagenkonzepte					
		500	500	100	150	150	200	250	300
Gülleanteil	%	40%	40%	95%	85%	95%	95%	95%	95%
jährliche Stromerzeugung	MWh/a	3.960	3.960	792	1.188	1.188	1.584	1.980	2.376
benötigtes Fermentervolumen	m <sup>3</sup>	3.760	3.760	1.176	1.378	1.815	2.382	2.931	3.460
benötigtes Gärrestlagervolumen	m <sup>3</sup>	6.133	6.133	6.115	5.908	9.075	12.387	15.243	18.013
Maisbedarf	t/a	9.825	9.825	708	2.103	1.093	1.432	1.765	2.086
GV Bedarf Schweine	GV	516	516	1.060	940	1.636	2.147	2.643	3.123
Transportentfernung Gülle	km	1,85	1,85	1,97	1,95	2,06	2,13	2,19	2,24
notwendiger Neubau Gärrestlager	m <sup>3</sup>					9.075	12.387	15.243	18.013
erforderliche Zusatzinvestitionen	€					232.000	367.000	511.000	660.000
Netto-Stromgestehungskosten	€/kWh	0,156	0,145	0,29	0,23	0,252	0,229	0,218	0,209
CO <sub>2</sub> -Vermeidung	g CO <sub>2</sub> -Äq/kWh	635	635	1.829	1.336	1.837	1.814	1.792	1.771
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	€/t CO <sub>2</sub> -Äq	140	124	131	131	109	98	93	89
Netto-Stromgestehungskosten ohne Neuinvest. Gärrestlager	€/kWh					0,234	0,208	0,195	0,184
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten ohne Neuinvest. Gärrestlager	€/t CO <sub>2</sub> -Äq					99	86	80	75
<b>Gasdichte Güllelagerabdeckung</b>									
Lagerkapazität	m <sup>3</sup>			2.000	3.000	4.000	6.000	8.000	
Zusatzinvestitionen gasdichte Lagerung	€			125.000	144.000	163.000	225.000	295.000	
Zusatzkosten gasdichte Lagerung	€/m <sup>3</sup> /a			4,2	3,18	2,67	2,4	2,3	
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten (Schweinegülle)	€/t CO <sub>2</sub> -Äq			42	32	26	24	23	

Quelle: Eigene Berechnungen.

## A2.4 Fazit

Bezüglich der künftigen Weiterentwicklung der Biogasförderung haben die Kalkulationen gezeigt, dass eine weitere Förderung maisbasierter Biogasanlagen klimapolitisch wenig zielführend ist. Zum einen ergeben sich in den Anlagen deutlich höhere Treibhausgasvermeidungskosten als in Anlagenkonzepten mit höheren Gülleanteilen. Hinzu kommt, dass bei einer Reduktion des Maisansatzes die Gefahr einer indirekten Landnutzungsänderung verringert wird. Weiterhin ist auch die Vermeidungsleistung in maisbasierten Anlagen in der Regel geringer.

Insgesamt ist aber auch eine güllebasierte Biogaserzeugung klimapolitisch kritisch zu hinterfragen. Die Kalkulationen haben gezeigt, dass es klimapolitisch sinnvoller ist Gülle gasdicht zu lagern und das anfallende Methan in Gasfackeln zu verbrennen.

Wenn die Politik dennoch eine stärkere Güllenutzung in Biogasanlagen fördern und auf diese Weise bestehenden Biogasanlagen eine Anschlussperspektive nach Auslaufen der EEG-Förderung bieten möchte, sollte sie die Förderung so gestalten, dass größere Gemeinschaftsanlagen entste-

hen. Trotz der dann notwendigen Gülletransporte sind größere Anlagenkonzepte aufgrund von Größendegressionen bei den Investitionen klimapolitisch effizienter.

Für eine Weiterentwicklung der Biogasförderung und der Umsetzung der neuen Düngeverordnung ergeben sich nutzbare Synergieeffekte. Viele Tierhalter müssen künftig in zusätzliche Lagerkapazitäten investieren. Die Politik könnte die Tierhalter durch eine investive Förderung gemeinschaftlicher Gärrestlager an bisherigen Biogasstandorten finanziell unterstützen. Gleichzeitig könnten die dann geförderten Gärrestlager neue Biogasanlagenkonzepte mit höheren Gülleanteilen zu deutlich geringeren Kosten und einem deutlich geringeren Förderbedarf ermöglichen.

## A2.5 Literaturverzeichnis

- Rensberg N (2011): Historische Entwicklung und Auswirkung der Biogaserzeugung in Deutschland. In: Nachhaltige Biogaserzeugung in Deutschland – Bewertung der Wirkungen des EEG. Leipzig: DBFZ, abrufbar unter <http://www.fnrserver.de/ftp/pdf/berichte/22003410.pdf>, zitiert am 05.05.2012, S. 15-49
- Gömann H, Witte T de, Peter G, Tietz A (2013) Auswirkungen der Biogaserzeugung auf die Landwirtschaft. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 78 p, Thünen Rep 10.
- KTBL (2014) Finanzielle Förderung von Biogasanlagen gemäß EEG 2014; URL: [https://daten.ktbl.de/downloads/biogas/EEG2014\\_Berechnungsbeispiel.pdf](https://daten.ktbl.de/downloads/biogas/EEG2014_Berechnungsbeispiel.pdf), Abrufdatum: 18.02.2019.
- DBFZ (2017) Anlagenbestand Biogas und Biomethan – Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, URL: <https://www.dbfz.de/referenzen-publikationen/dbfz-reports.html>; Abrufdatum: 18.02.2019.
- Agora (2013) Die Zukunft des EEG – Evolution oder Systemwechsel?; URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/die-zukunft-des-eeg-evolution-oder-systemwechsel/>; Abrufdatum: 18.02.2019.
- WBA (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung: Empfehlungen an die Politik. Berlin: Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, URL: [http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Gutachten\\_WBA.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Gutachten_WBA.pdf?__blob=publicationFile), zitiert am 16.08.2011, 255 Seiten, Abrufdatum: 18.02.2019.
- WBA (2011): Förderung der Biogaserzeugung durch das EEG, Stellungnahme zur geplanten Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/StellungnahmeEEG.html>; Abrufdatum: 18.02.2019.
- WBA (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung, URL: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Klimaschutzgutachten\\_2016.html](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.html), Abrufdatum: 18.02.2019.
- Witte T de, Zimmer Y, Ellsiepen S, Röder N (2011) Wettbewerbsfähige CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten / Verringerung agrarstruktureller Effekte, in: Nachhaltige Biogaserzeugung in Deutschland – Bewertung der Wirkungen des EEG, URL: [www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22003410.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22003410.pdf), Abrufdatum: 18.02.2019.
- BBE, DBV, FvB, FVH (2018) Vorschläge zur Weiterentwicklung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, URL: <https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/de-vorschlaege-der-bioenergieverbaende-zur-weiterentwicklung-des-eeg-2017>, Abrufdatum: 18.02.2019.
- DBFZ (2018): Stellungnahme zum EEG 2017, URL: <https://www.dbfz.de/referenzen-publikationen/statements.html>, Abrufdatum: 18.02.2019.
- Witte T de (2012): Entwicklung eines betriebswirtschaftlichen Ansatzes zur Ex-ante-Analyse von Agrarstrukturwirkungen der Biogasförderung - angewendet am Beispiel des EEG 2009 in Niedersachsen. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 248, 61 p, Göttingen, Univ, Diss, Landbauforsch SH 366.
- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use, URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>; Abrufdatum: 18.02.2019.

## A2.6 Abbildungen

### Annahmen für die Kalkulationen:

#### Maispreis

- Maispreis frei Halm: 26,4 €/t FM (Nährstoffe im Gärrest werden als Wert berücksichtigt)
- Abgeleitet aus dem Gleichgewichtspreis zu Weizen (8 t Weizenertrag, 45 t Silomaisertrag)
- Gärrest aus NawaRo wird auf das Feld zurück gefahren

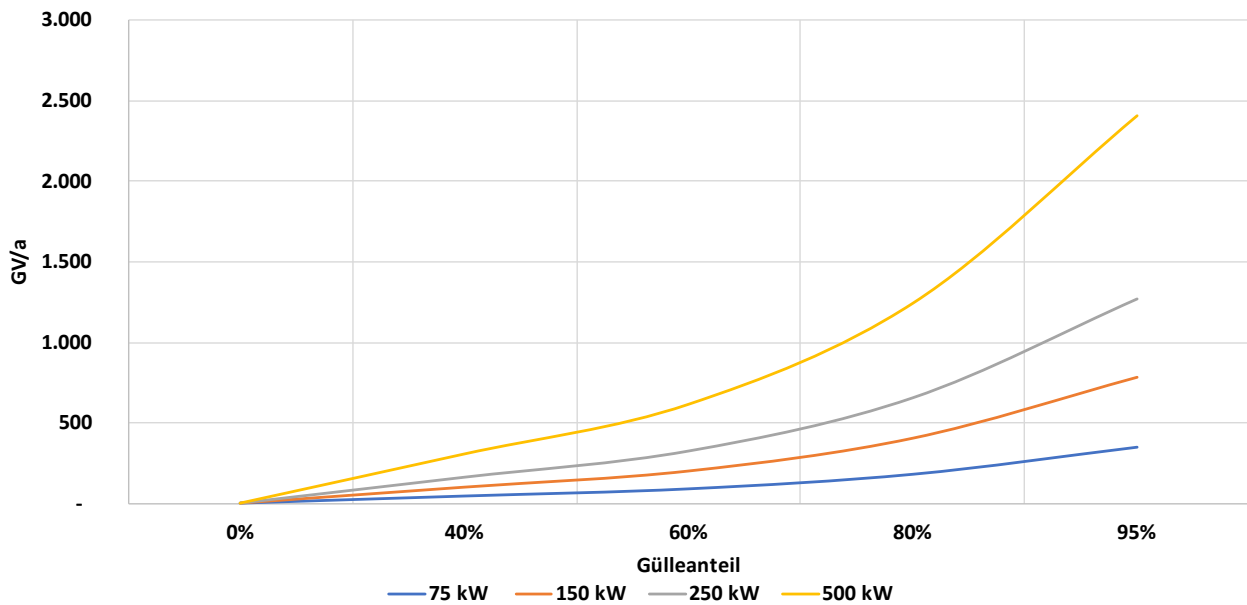
#### Biogasanlagen

- Biogaskalkulator (Exceldatei) dessen Annahmen in Witte (2012) beschrieben sind
- Anlage auf Raumbelastung von 2,5 kg oTS/m<sup>3</sup>/d ausgelegt
- Für alle Anlagen können 70 % der überschüssigen Wärme genutzt werden
- Auslastung: 8.000 h/Jahr, keine Flexibilisierung
- Eigenstrombedarf: 8 % der erzeugten Strommenge (fossiler Stromzukauf unterstellt)
- Kein Gülleanfall an der Anlage kalkuliert
- Regionales Gülleanfall: 8 m<sup>3</sup>/ha LF
- Annahme, dass Wärmeabnehmer Investitionen in Wärmeabnahme tätigt, dafür aber nur 1,5 ct/kWh Wärme zahlt
- Transformationsverluste Strom: 1 %
- Methanverluste diffuse Quellen: 1,5 %
- Siliverluste Maissilage: 10 %

#### CO<sub>2</sub>-Bilanz

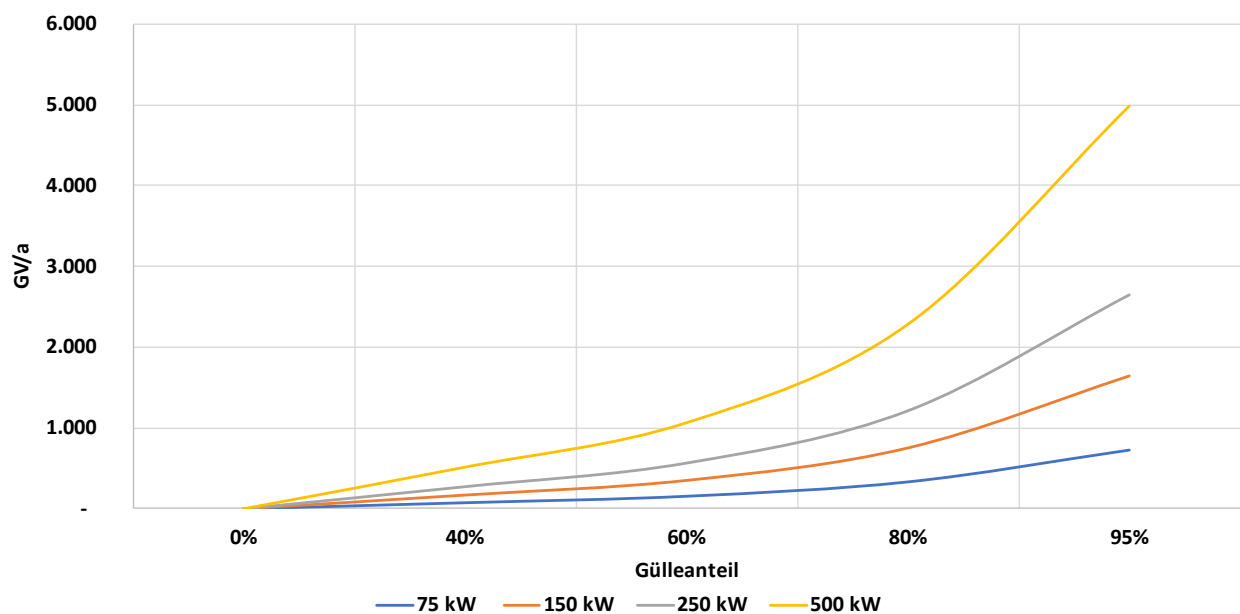
- CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen Maisanbau: 83 kg CO<sub>2</sub>-Äq./t FM
- Substituierter Strommix: 70 % Steinkohle; 30 % Gas: CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidung: 720 g/kWhel
- Substituierte Wärme: Wärmemix Deutschland; CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidung: 310 g/kWhth
- Gutschriften eingesparte Emissionen chemische Düngerherstellung: N: 6,42 kg CO<sub>2</sub>-Äq./kg N; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1,19 kg CO<sub>2</sub>-Äq./kg; K<sub>2</sub>O: 0,67 kg CO<sub>2</sub>-Äq./kg
- CO<sub>2</sub>-Emissionen WD-Transport: 0,114 kg CO<sub>2</sub>-Äq./t\*km
- Kostenannahme fossiler Grundlaststrom: Gas: 5,5 ct/kWh; Steinkohle: 5 ct/kWh
- N-Verluste Gärrest aus Mais im Lager in BGA: 15 %
- N-Verluste Gärrest bei Ausbringung: 30 %

**Abbildung A2.1:** Erforderlicher GV-Bestand Rinder für unterschiedliche Biogasanlagen (inkl. Nachzucht)



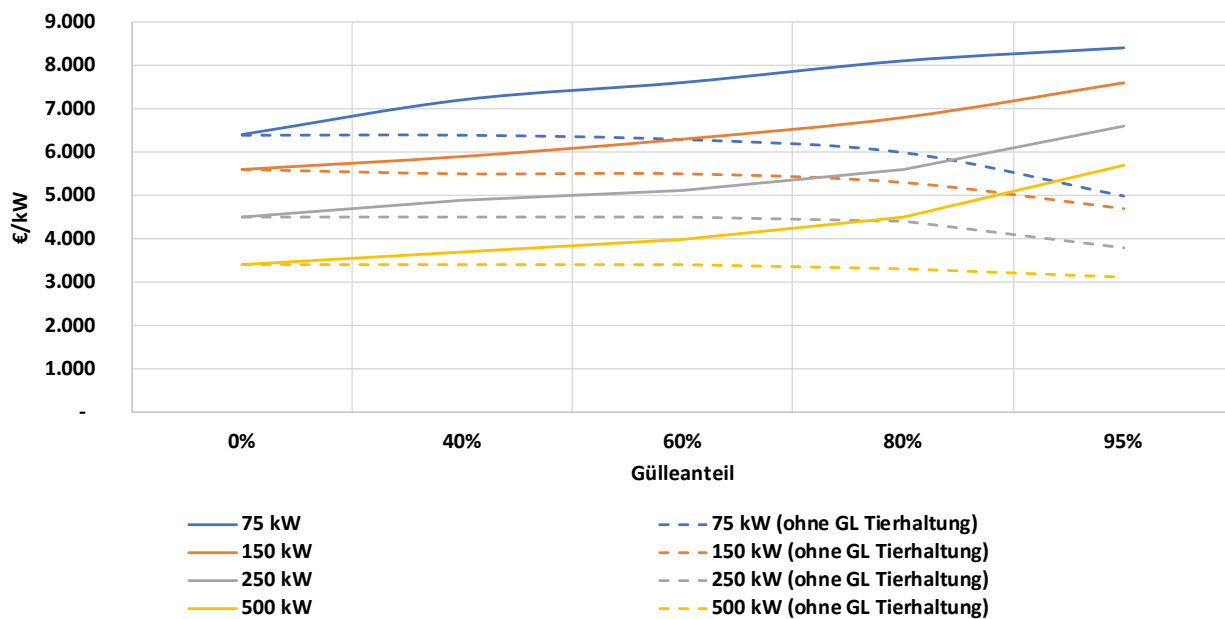
Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.2:** Erforderlicher GV-Bestand Mastschweine für unterschiedliche Biogasanlagen



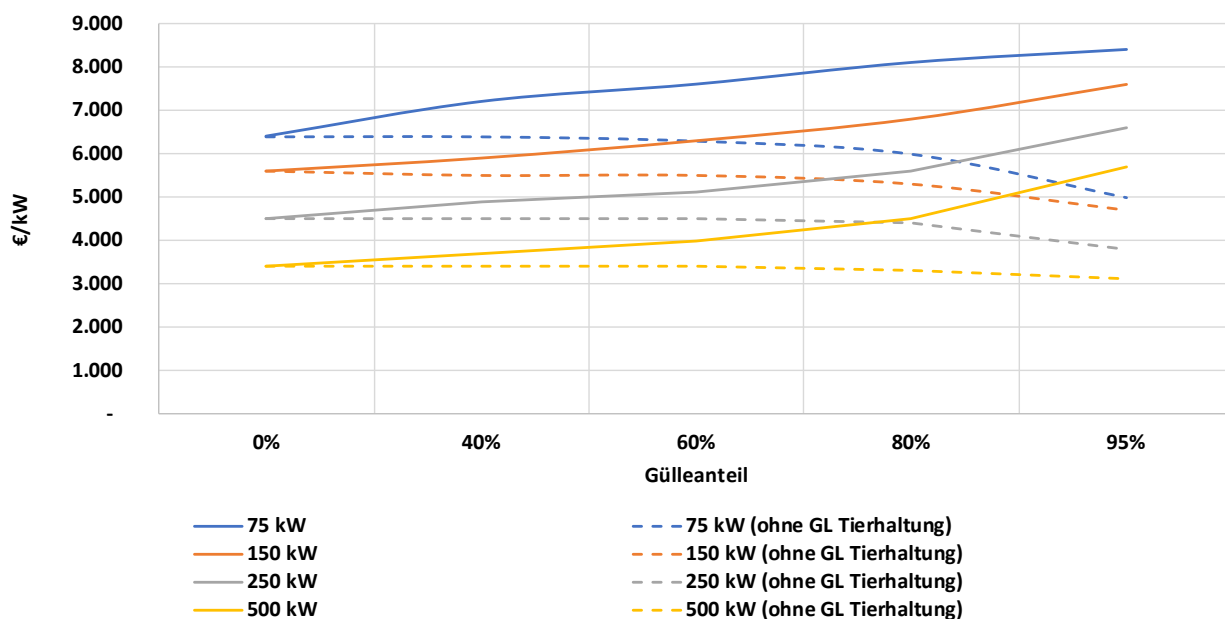
Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.3:** Spezifische Investitionen verschiedener Biogasanalagentypen auf Basis von Rindergülle



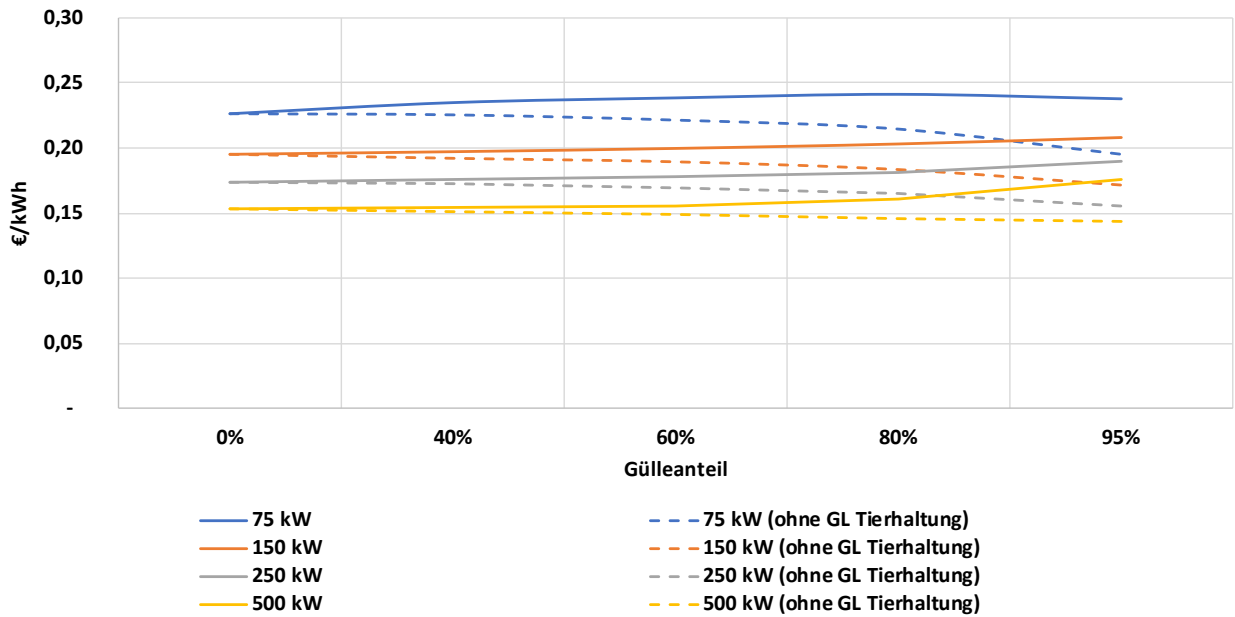
Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.4:** Spezifische Investitionen verschiedener Biogasanalagentypen auf Basis von Schweinegülle



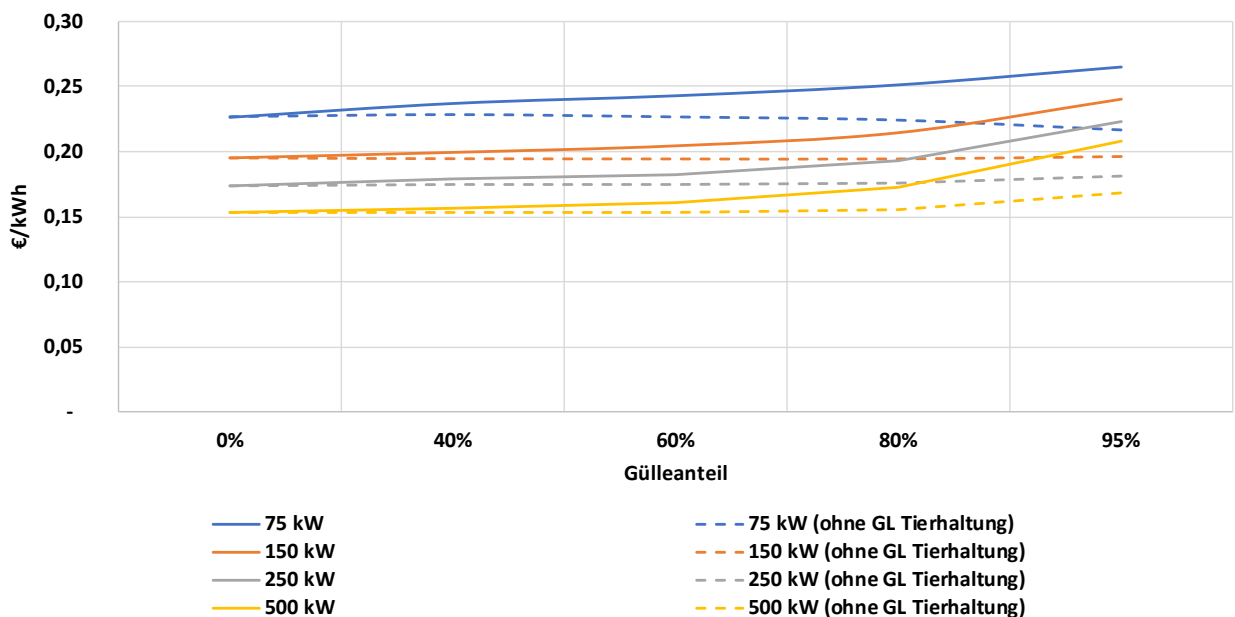
Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.5:** Netto-Stromgestehungskosten verschiedener Biogasanlagentypen auf Basis von Rindergülle



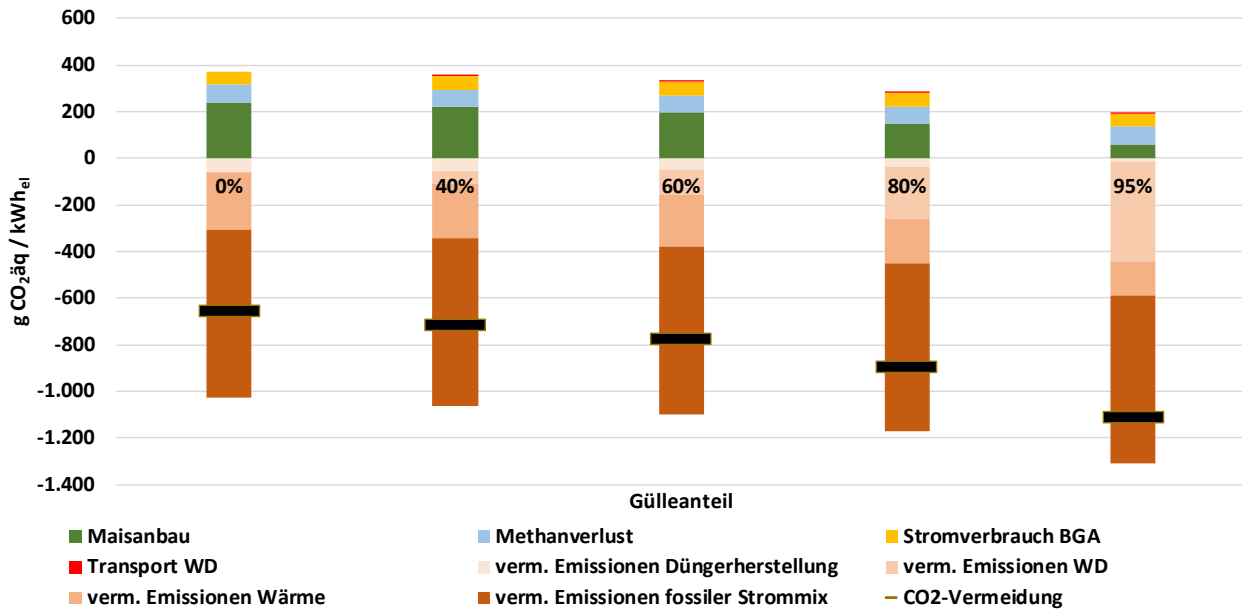
Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.6:** Netto-Stromgestehungskosten verschiedener Biogasanlagentypen auf Basis von Schweinegülle



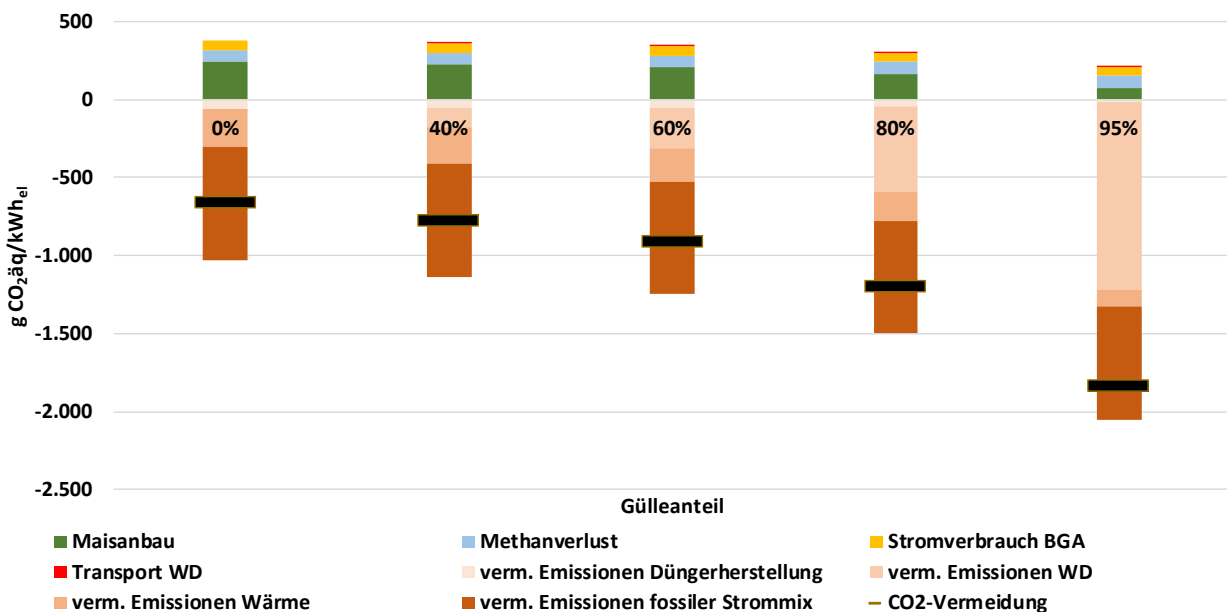
Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.7:** CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen und -Gutschriften für eine 150 kW Biogasanlage auf Basis von Rindergülle



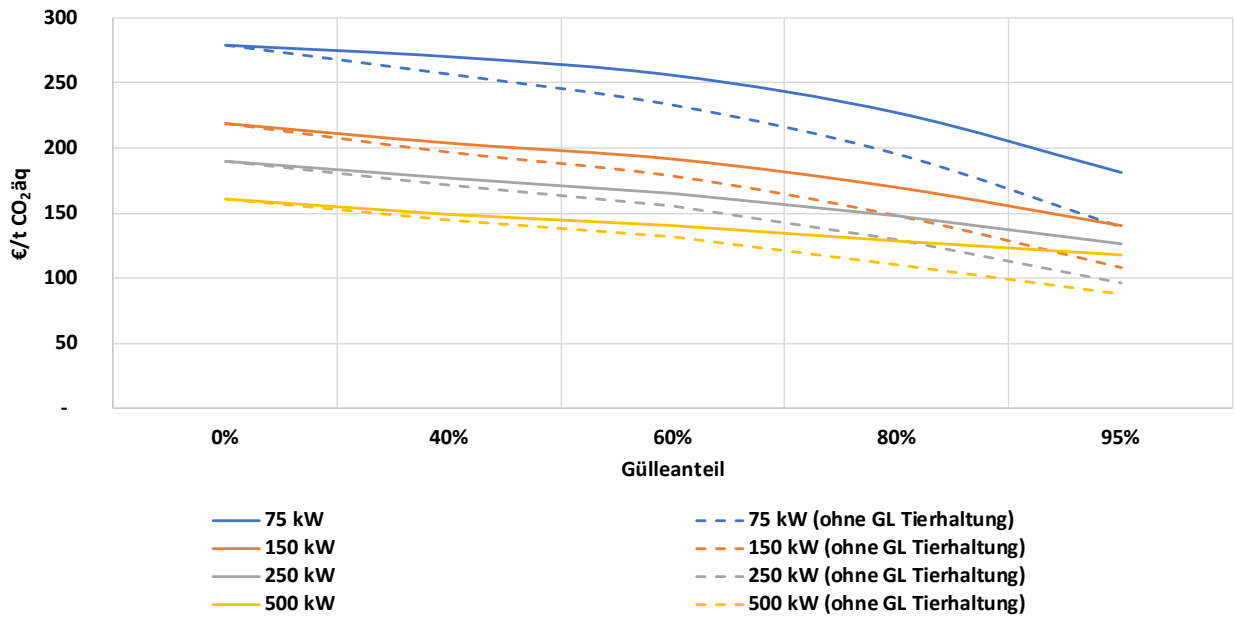
Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.8:** CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen und -Gutschriften für eine 150 kW Biogasanlage auf Basis von Schweinegülle



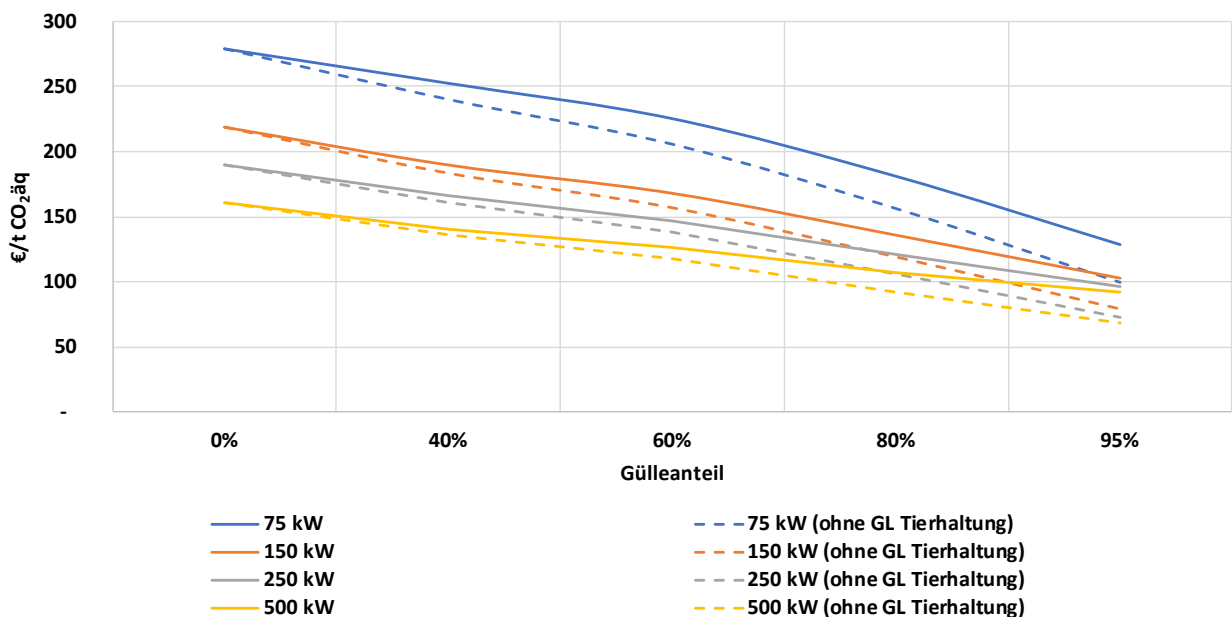
Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.9:** CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten verschiedener Biogasanlagentypen auf Basis von Rindergülle

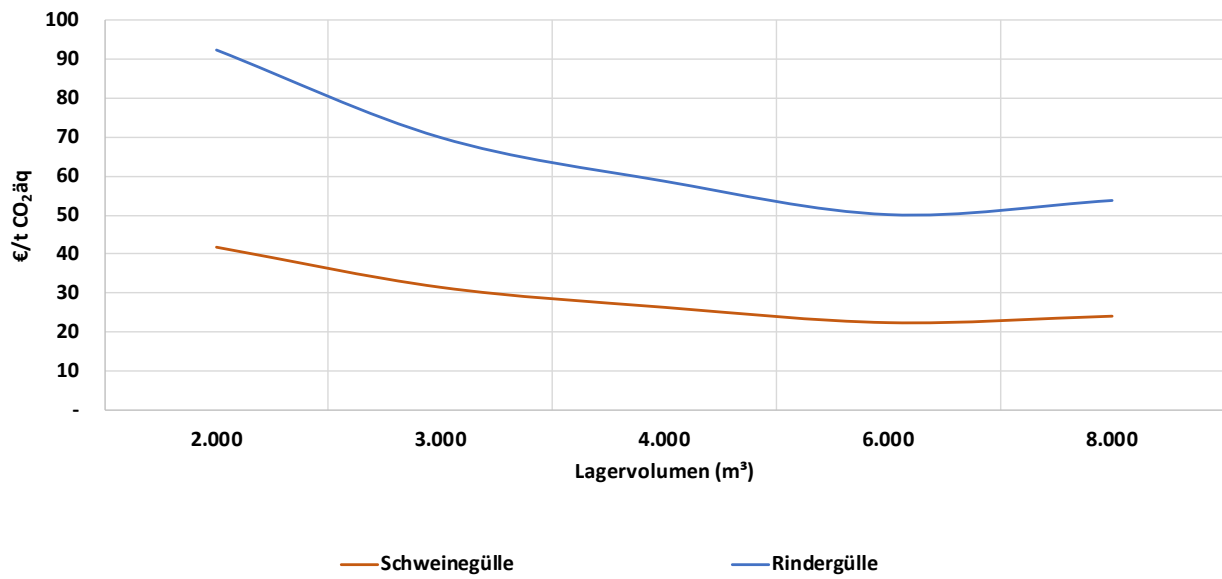


Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.10:** CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten verschiedener Biogasanlagentypen auf Basis von Schweinegülle



Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**Abbildung A2.11:** CO<sub>2</sub>-Äq.-Vermeidungskosten gasdichter Güllelagerung für verschiedene Behältergrößen

Quelle: Eigene Berechnungen, T. de Witte.

**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 Bibliografie; 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.thuenen.de](http://www.thuenen.de)

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

**Zitationsvorschlag – Suggested source citation:**

**Osterburg B, Heidecke C, Bolte A, Braun J, Dieter M, Dunger K, Elsasser P, Fischer R, Flessa H, Fuß R, Günter S, Jacobs A, Offermann F, Rock J, Rösemann C, Rüter S, Schmidt TG, Schröder J-M, Schweinle J, Tiemeyer B, Weimar H, Welling J, Witte T de (2019)**

Folgenabschätzung für Maßnahmenoptionen im Bereich Landwirtschaft und landwirtschaftliche Landnutzung, Forstwirtschaft und Holznutzung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050.

Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 150 p, Thünen Working Paper 137, DOI:10.3220/WP1576590038000

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

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



## Thünen Working Paper 137

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
Germany

[thuenen-working-paper@thuenen.de](mailto:thuenen-working-paper@thuenen.de)  
[www.thuenen.de](http://www.thuenen.de)

DOI:10.3220/WP1576590038000  
urn:nbn:de:gbv:253-201912-dn061835-5