www.oeko.de

Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 - Landwirtschaft und Forstwirtschaft / Landnutzung

Arbeitspaket 1.2 im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit:
Wissenschaftliche Unterstützung „Erstellung und Begleitung des Klimaschutzplans 2050“
(FKZ UM 15 41 1860)

Darmstadt, den 21.03.2016

Autorinnen und Autoren

Landwirtschaft
Kirsten Wiegmann und
Margarethe Scheffler
Öko-Institut e.V.

Forst / Landnutzung
Dr. Klaus Hennenberg
Öko-Institut e.V.

Büro Berlin
Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0
info@oeko.de
www.oeko.de

Fraunhofer ISI
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Ansprechpartnerin Barbara Schlomann
Telefon +49 721 6809-136
www.fraunhofer.de

IREES GmbH
Schönfeldstraße 8
D-76131 Karlsruhe
Ansprechpartner: Felix Reitze
Telefon +49 721 915696-0
www.irees.de

Inhaltsverzeichnis

2.1. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor Landwirtschaft 9
2.1.1. Rahmenannahmen 9
2.1.2. Entwicklung von Indikatoren in der Landwirtschaft 11
2.1.2.1. Landwirtschaftliche Nutzfläche 11
2.1.2.2. Veränderung des Flächenbedarfs für Bioenergie und stoffliche Nutzung 12
2.1.2.3. Veränderung des virtuellen Flächensaldos (Import und Export) 13
2.1.2.4. Höhe der Stickstoffgaben, Flächensalden und Ausnutzung 13
2.1.2.5. Vergärung von Wirtschaftsdüngern 15
2.1.2.6. Inlandsnachfrage und Ernährungsgewohnheiten 16
2.1.2.7. Nutztierbestand 17
2.1.3. Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien in der Landwirtschaft 18
2.2. Ableitung transformativer Pfade in der Landwirtschaft 21
2.2.1. Unsichere Annahmen der abgeleiteten Pfade 22
2.3. Transformationsbedarf bis zum Jahr 2030 in der Landwirtschaft 23
3.1. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor LULUCF 26
3.1.1. Rahmenannahmen 26
3.1.2. Entwicklung von LULUCF-Indikatoren (inklusive Forstwirtschaft) 27
3.1.3. Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien im LULUCF-Sektor35
3.2. Ableitung transformativer Pfade im LULUCF-Sektor 37
3.3. Transformationsbedarf bis zum Jahr 2030 im LULUCF- 38
3.3.1. Erhalt von Moorböden 38
3.3.2. Erhalt und Extensivierung von Dauergrünland 39
3.3.3. Reduktion des Flächenverbrauchs durch Siedlungen 40
6.1. Detaildaten im LULUCF-Sektor im Jahr 2012 44
6.2. Detailbetrachtung zur Flächenumwandlung von Grünland und Gehölzen zu Ackerland im Jahr 2012 45
- **Szenarien-Annahmen in Klimaschutzszenarien 2050 (LULUCF) 46**
6.3. Flächenänderungen in Klimaschutzszenarien 2050 (LULUCF) 47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Ergebnisse der Treibhausgasemissionen der untersuchten Szenarien	18
Abbildung 3-1	Anteilige Verteilung der Senken (a) und Quellen (b) im LULUCF-Sektor	29
Abbildung 3-2	Szenarienvergleich für 2030 und 2050	35
Abbildung 6-1	Flächenänderungen der LULUCF-Flächentypen für die drei Szenarien in Klimaschutzszenarien 2050	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1	THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF Jahr 2012	7
Tabelle 1-2	Berücksichtigte Studien und Szenarien	8
Tabelle 2-1	Tierbestandsänderungen in den einzelnen Szenarien	18
Tabelle 2-2	Übersicht über die Ausgestaltung der wichtigsten Treibergrößen in den einzelnen Szenarien	20
Tabelle 2-3	Veränderungen der einzelnen Emissionsquelle im Vergleich 2050 zum Startjahr	20
Tabelle 2-3	Veränderungen der einzelnen Emissionsquellen im Vergleich 2030 zum Startjahr	20
Tabelle 3-1	LULUCF-Kategorien sowie Kategorien für den Szenarienvergleich	28
Tabelle 3-2	Zusammenfassung der Ergebnisse aus Klimaschutzszenarien 2050 für den LULUCF-Sektor	31
Tabelle 3-3	Zusammenfassung der Ergebnisse aus Treibhausgas-neutrales Deutschland (THGND) für den LULUCF-Sektor	33
Tabelle 3-4	Zusammenfassung der Ergebnisse aus Modell Deutschland (MD) für den LULUCF-Sektor	34
Tabelle 3-5	Transformative Pfade zur THG-Reduktion im LULUCF-Sektor in Deutschland	37
Tabelle 6-1	Flächenanteile der LULUCF-Kategorien, Emissionsfaktoren und Senken/Quellen-Funktion der Flächen	44
Tabelle 6-2	Flächenumwandlung von Grünland und Gehölzen zu Ackerland sowie die damit verbunden THG-Emissionen	45
Tabelle 6-3	Maßnahme der drei Szenarien im Vorhaben Klimaschutzszenarien 2050	46

Methodische Vorbemerkung

Dieses Papier basiert auf Vorarbeiten, die noch nach den Berechnungsvorschriften erstellt worden, die bis 2014 für die Berichterstattung der landwirtschaftlichen Emissionen und der Emissionen im LULUCF-Sektor verwendetet wurden. Mittlerweile werden die Emissionen nach den IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories von 2006 erstellt, die mit geringeren Emissionsfaktoren rechnen. Auf diese Weise kommt es zu Abweichungen nach unten zwischen den Angaben in diesem Papier und neueren Berechnungen. Die betrifft sowohl die bereits geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 sowie den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Für den LULUCF-Sektor kommt hinzu, dass die Datengrundlage zur Bestimmung von Ackerland und Grünland auf organischen Böden geändert wurde, so dass bei den 2015er Berechnungen die Summe der THG-Emissionen auf Ackerland niedriger und auf Grünland höher liegen. Die Aussagen sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

1. Einleitung

Erfolgreicher Klimaschutz muss alle relevanten Emissionsquellen in der Planung von Maßnahmen berücksichtigen, denn allein eine Versorgung mit regenerativen Energien wird nicht ausreichen um ambitionierte Minderungsziele für Treibhausgasemissionen in Höhe von 80 bis über 90 % in die Tat umzusetzen. Aus diesem Grund bezieht der Klimaschutzplan alle Quellgruppen mit ein, die im jährlich erstellten Nationalen Inventarbericht (NIR) zum Treibhausgasinventar beschrieben werden. So auch die „Landwirtschaft“ (Quellgruppe 4) und „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (Land Use, Land Use Change and Forestry = LULUCF; Quellgruppe 5).

Die gemeinsame Darstellung der beiden Sektoren in einem Papier wurde gewählt, weil die landwirtschaftliche Flächennutzung einen engen Bezug zum sog. LULUCF-Sektor aufweist.

Die Emissionen beider Sektoren und die gesamten Deutschen Treibhausgasemissionen im Jahr 2012 sind in Tabelle 1-1 dargestellt.

Tabelle 1-1 THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF Jahr 2012

	THG-Emissionen (Mio t CO_2-Äq.)	Anteil an LWS	Anteil an gesamt
Landwirtschaft (total)	**69,5**	**100%**	**7%**
N2O aus Böden	40,9	59%	
N2O aus Wirtschaftsdünger	2,8	4%	
CH4 aus Verdauung	20,8	30%	
CH4 aus Wirtschaftsdünger	5,0	7%	
LULUCF (total)	**-3,5**		
Landwirtschaftliche Böden	41,8		4%
Forstwirtschaft	-51,8		
restliche Flächen (Siedlung, Feuchtgebiete, übriges Land)	6,4		
Landwirtschaft und LULUCF (total)	**66,0**		**7%**
nur Landwirtschaft plus die landwirtschaftliche Böden unter LULUCF	***111,3***		***12%***
THG Emissionen in DE (total)	**939,1**		**100%**

Quelle: UBA (2014b; CRF-Tabellen); *positiver Wert = Quelle; negativer Wert = Senke

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Die Aussagen sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

In diesem Papier werden Szenarien aus vier Studien miteinander verglichen. Deren Kernideen (storyline) werden in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** kurz vorgestellt.

Tabelle 1-2 Berücksichtigte Studien und Szenarien

1. BMUB-Klimaschutzszenarien 2050 (Öko et al. 2015) - 2. Runde *(Zieljahr 2050)*

Für die Landwirtschaft und dem LULUCF-Sektorwerden hier die Daten der zweiten Modellierungsrunde genutzt.[1]

a) **Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (KSZ – AMS):**
Entspricht dem Ist-Stand der energie- und klimapolitischen Rahmensetzungen. Es berücksichtigt alle Maßnahmen, die bis Oktober 2012 ergriffen worden sind und schreibt deren Wirkung wird bis ins Jahr 2050 fort.

b) **Klimaschutzszenario 80 (KSZ – KS 80):**
In diesem Szenario sollte bis zum Jahr 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 80 % gegenüber 1990 erreicht werden.

d) **Klimaschutzszenario 90 (KSZ – KS 90):**
In diesem Szenario sollte bis zum Jahr 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 90 % gegenüber 1990 erreicht werden.

c) **Klimaschutzszenario 95 (KSZ – KS 95)**
In diesem Szenario sollte bis zum Jahr 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 95 % gegenüber 1990 erreicht werden.

2. UBA-Projektionsbericht (2015) *(Zieljahr 2035)*

Der UBA-Projektionsbericht berücksichtigt nur die Landwirtschaft, nicht aber den LULUCF-Sektor.

a) **Mit-Maßnahmen-Szenario (PB 2015 – MMS)**
Dieses Szenario berücksichtigt alle bis zum 31. August 2014 eingeführten oder maßgeblich geänderten klima- und energiepolitischen Maßnahmen.[2]

b) **Mit weiteren Maßnahmen-Szenario (PB 2015 – MWMS)**
Gegenüber dem PB 2015 – MMS berücksichtigt dieses Szenario auch die zusätzlichen Maßnahmen aus dem Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (und im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz) von Dezember 2014.

3. Treibhausgasneutrales Deutschland des Umweltbundesamtes (THGND; UBA 2014a) *(Zieljahr 2050)*

Beide Szenarien skizzieren ein treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Der Bereich der Ernährung ist dabei der einzige Bereich, für den auch Verhaltensänderungen bzw. veränderte Konsummuster angenommen wurden. Es wurden für die Landwirtschaft folgende zwei Sektorszenarien betrachtet (keine Differenzierung für den LULUCF-Sektor):

a) **Konventionell (THGND konv.)**
In diesem Szenario werden die bestehenden Strukturen der deutschen Landwirtschaft fortgeschrieben.

b) **20 % Ökologische Landwirtschaft (THGND Öko20 %)**
In diesem Szenario wird eine Ausdehnung des ökologischen Landbaus auf 20 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche angenommen, dabei wird das Verhältnis zwischen Acker- und Grünland von 1:1 der ökologisch bewirtschafteten Fläche wei-terhin aufrechterhalten.

4. Modell Deutschland (WWF 2009) *(Zieljahr 2050)*

a) **Referenzszenario (MD – Ref)**
Das Referenzszenario beschreibt eine Entwicklung der *„Welt, wie wir sie kennen“*, wobei Veränderungen in den Konsumgewohnheiten wesentlich durch demografische und technologische Entwicklungen beeinflusst werden.

b) **Innovationsszenario (MD – Inno)**
Im Innovationsszenario wird ein ambitioniertes Emissionsziel (ca. 95%) erreicht. Dafür tragen Verbrauchssektoren intensiv durch Effizienzmaßnahmen und z. T. starke technische Umstellungen zur Zielerreichung bei.

Die BMUB-Klimaschutzszenarien 2050 behandelten in der ersten Modellierungsrunde auch noch ein Zielszenario mit einer 90 % Minderung. Dieses ist in der Ausgestaltung der Szenarioannahmen zwischen dem 80% und dem 95% Minderungsszenario angesiedelt. Da es nach der ersten Modellierungsrunde nicht mehr weiterentwickelt wurde, sondern dafür das Szenario mit 95 %-Minderung eingeführt wurde, weicht es methodisch etwas von den anderen Szenarien dieser Studie ab. In diesem Papier wird es nur in der Ergebnisdarstellung miterwähnt.

2. Landwirtschaft

2.1. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor Landwirtschaft

2.1.1. Rahmenannahmen

Für die die **sozioökonomische Rahmendaten** wird betrachtet, in welcher Weise die Annahmen für die Fortführung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU[1] (GAP) getroffen wurden bzw. ob diese näher beschrieben werden. Weiterhin wird dargestellt, ob übergeordnete Versorgungsziele formuliert werden (Selbstversorgungsziele für bestimmte Produkte, Exportziele bzw. eingeschränkter Export o.ä.) oder ob bestimmte umweltpolitische Auflagen oder Ziele zur Veränderung der Produktionsweise in den Szenarien führen und ob Auswirkungen des Klimawandels auf das Produktionsniveau dargestellt werden. Eine weitere wichtige Rahmenannahme betrifft die verfügbare Agrarfläche in Deutschland.

Außerdem soll an dieser Stelle dargestellt werden, ob in den Szenarien ein sektorales Minderungsziel formuliert wurde.

Nicht von der Hand zu weisen ist das Auftreten indirekter Landnutzungseffekte in diesem Sektor – diese sind vor allem durch den sogenannten *indirect landuse change* (iLUC) im Zusammenhang mit der Diskussion um die Biokraftstoffpolitik der EU prominent geworden. Indirekte Effekte können durch veränderte Nachfrage, Produktionsstruktur und Außenhandel auftreten, die nicht durch die Logik der nationalen Berichterstattung erfasst sind[2]. Sie können negativ wie positiv wirken (z.B. Ausdehnung der Flächennutzung durch Bioenergie oder auch ökologischen Landbau oder Verringerung von Lebensmittelabfällen). Daher wird auch ausgewertet, ob indirekte Effekte in den Studien adressiert sind und ob es das Ziel gibt, sie möglichst klein zu halten.

BMUB-Klimaschutzszenarien:
In allen drei Szenarien dieser Studie wurde eine Fortschreibung der GAP angenommen. Explizite Versorgungsziele wurden nicht formuliert, aber es wurde in den Szenarien KSZ-KS 80 und KSZ-KS 95 angenommen, dass der Selbstversorgungsgrad für tierische Produkte nicht über 100 % liegt, damit keine direkten oder indirekten öffentlichen Transferzahlungen für den Export tierischer Produkte geleistet werden. Unter anderem dadurch sinkt das Produktionsvolumen für --- tierische Produkte. Auf diese Weise werden aus dem Futterbau Flächen frei, die aber weiterhin in der landwirtschaftlichen Nutzung verbleiben, beispielsweise zur Realisierung von Extensivierungsmaßnahmen, für den Energie- oder Industriepflanzenbau oder für den Export. Inwiefern der Klimawandel sich auf das Ertragsniveau auswirkt, wurde im Rahmen der BMUB-Klimaschutzszenarien nicht betrachtet, da für den Pflanzenbau keine Produktionsziele formuliert wurden. Für die Tierhaltung wurden Tierzahlen und Leistungswerte (z.B. die Milchleistung) fortgeschrieben. Als Basis für das KSZ-AMS diente hier das vorletzte Baseline Szenario des Thünen-Instituts (2012) bis 2020[3].

[1] Dies umfasst v.a. die Milch- und Zuckermarktreform, sowie eine Ausweitung von umwelt- und klimarelevanten Aspekte, wie sie im Rahmen der Health Check Beschlüsse von 2008 und der GAP Reform von 2014 mit dem sog. „Greening“ erfolgt sind.

[2] Dies trifft prinzipiell auch auf den Außenhandel der anderen Sektoren zu, aber in diesem Sektor sind zusätzliche Aspekte wie Welternährung/Hunger und Biotop-/Artenverlust und Verluste von C-Speichern relevant.

[3] Eine Anpassung auf die jüngste Baseline erfolgt mit der Berechnung der dritten Runde im Herbst 2015. Hier liegen die Tierzahlen etwas geringer als in der jüngsten Baseline, vergleiche Kap. 2.1.2.7 KSZ-2050-mit dem PB-beide Szenarien.

Beide Minderungsszenarien (KSZ KS80 und -KS95) gehen von einer verbesserten N-Effizienz und einer gesteigerten Güllevergärung aus. Zusätzlich wird der Anteil des Ökologischen Landbaus gesteigert und die Tierzahlen reduziert. Im KSZ KS80 sind alle Maßnahmen weniger stark umgesetzt worden als im KSZ KS95.

Für den Sektor ist im Rahmen der Szenarioanalyse kein Zielwert formuliert worden.

UBA-Projektionsbericht:
Ziel des Projektionsberichts ist es, eine möglichst treffsichere Projektion der zu erwartenden THG-Emissionen vorzunehmen, die auf bereits beschlossenen politischen Maßnahmen zurückgehen. Daher werden hier nur Annahmen getroffen, die keine grundsätzliche Veränderung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen beschreiben – es sei denn, diese sind bereits politisch beschlossen. Es wird daher eine Fortschreibung der GAP angenommen. Bis ins Jahr 2023 entsprechen die Annahmen denen des Baseline-Szenarios des Thünen-Instituts (2014), und für die Zeit bis 2035 wurden die meisten Annahmen beibehalten. Das MWMS weist zusätzlich zum MMS eine Verschärfung der Düngeverordnung auf, sowie die Steigerung des Anteils der ökologischen Landwirtschaft auf (14 % bis2035) womit die Reduktion im Einsatz mineralischer N-Dünger einhergeht.

Für den Sektor ist im Rahmen der Szenarioanalyse kein Zielwert ausgewiesen worden.

UBA-Treibhausgasneutrales Deutschland:
Bezüglich einer Veränderung der GAP sind keine Aussagen getroffen worden. Für die Szenariorechnungen werden die Erträge und Tierleistungen auf Grundlage der „Baseline-Projektion“ des Thünen-Instituts (2014) fortgeschrieben (bis 2023). Angesichts möglicher Einbußen durch den Klimawandel erfolgt die weitere Schätzung bis 2050 konservativ. Frei werdende Futterbauflächen durch Produktionsrückgänge in der Tierhaltung werden weiterhin im Pflanzenbau für die menschliche Ernährung behalten.

Für die Landwirtschaft ist im Rahmen der Szenarioanalyse ein Emissionsziel in Höhe von 35 Mio t CO_2-eq. formuliert worden, das entspricht einer Minderung von knapp 50 %. Die Emissionen aus der Quellgruppe LULUCF sollen im Jahr 2050 auf null gesenkt werden, wovon zum Teil auch die Landwirtschaft betroffen ist (vergleiche Kapitel 3 dieses Sektorpapiers).

Bezüglich des Anteils ökologischer Landwirtschaft an der Produktion trifft das Szenario THGND-konv keine explizite Aussage, er ist vielmehr „Bestandteil der Abbildung der gesamten deutschen Landwirtschaft“[4]. Im Szenario THGND-öko20 % wird dagegen ein Flächenanteil von 20 % Ökolandbau bis 2050 erreicht.

Die beiden Szenarien THGND des UBA werden nicht nur anhand der direkten Emissionen bewertet, sondern es fließen auch weitere Aspekte wie der Vorleistungseinsatz, Versorgungsbilanzen und die damit zusammenhängenden kumulierten Emissionen und Ressourcenansprüche in die Bewertung mit ein. Auf diese Weise können die Vorteile des Ökologischen Landbaus[5] in Bezug auf die THG-Emissionen abgebildet werden.

[4] Für das Basisjahr der Modellierung liegt der Anteil ökologischer Landwirtschaft zwischen 6 und 7 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Davon ausgehend wird offenbar mit nur einer moderaten Steigerung gerechnet, da keine strukturelle Anpassung der Flächennutzung in diesem Szenario erfolgt.

[5] Hierzu zählen vor allem der Verzicht auf Stickstoffmineraldünger und Pflanzenschutzmittel und die Nutzung betriebseigener Futtermittel

WWF-Modell Deutschland:

In dieser Studie sind die Aspekte zur Szenarienformulierung für die Landwirtschaft nur in aggregierter Form getroffen worden.

Für das Referenzszenario wird unterstellt, dass durch die Entkopplung der tierbezogenen Direktzahlungen die Tierbestände weiterhin leicht sinken. Durch eine Reform der gemeinsamen Agrarpolitik und die Förderung des ökologischen Landbaus können Reduktionen im Stickstoffdüngereinsatzes erreicht werden. Im Innovationsszenario werden dagegen gezielt Maßnahmen zur Reduktion klimaschädlicher Emissionen aus der Landwirtschaft adressiert. Dazu gehört v.a. eine Stickstoffstrategie, die u.a. ordnungsrechtliche Maßnahmen vorsieht. Der Anteil des Ökolandbaus wird im Referenzszenario nicht näher erwähnt, im Innovationsszenario steigt sein Anteil bis 2020 auf 20 % bis 2030 auf 25 %.

Frei werdenden Flächen durch den Rückgang im Tierbestand[6] werden für Extensivierungsmaßnahmen, Bioenergie oder heimische Eiweißfutterpflanzen, ein Teil für den Naturschutz verwendet. Versorgungsziele sind nicht ausgewiesen worden und es finden auch keine Angaben zum Ertragsfortschritt und Auswirkungen des Klimawandels statt.

Für den Sektor ist im Rahmen der Szenarioanalysen kein Zielwert ausgewiesen worden.

Weitere Rahmenannahmen betreffen die Leistungsdaten für die Landwirtschaft. Zu den wichtigsten zählen die Verbreitungsanteile der verschiedener Produktionssysteme (ökologisch, konventionell, evtl. integriert) und deren Entwicklung über die Zeit. Den Produktionssystemen werden typische Hektarerträge (Pflanzenbau) und Tierleistungen(Tierhaltung) unterstellt. Weiterhin ist relevant, ob und in welchem Maße die Güllevergärung und deren Potenzialerschließung berücksichtigt werden und wie die Wirtschaftsdüngerlagerungs- und Ausbringungssysteme in den Szenarien definiert worden sind.

2.1.2. Entwicklung von Indikatoren in der Landwirtschaft

Die energiebedingten Emissionen (beispielsweise durch die Verwendung von Kraftstoffen oder durch die Wärmenutzung für Trocknungsprozesse) fallen nicht in die Berichtspflicht des Landwirtschaftsektors sondern in die des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistung. Daher sind es vor allem die Emissionen von CH_4 und N_2O sowie CO_2-Emissionen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten und den Veränderungen der C-Speicher (Boden und Vegetation) im LULUCF-Sektor. Energetische Indikatoren sind daher für dieses Sektorpapier nicht notwendig, aber es werden andere landwirtschaftsspezifische Indikatoren abgeleitet und für die betrachteten Studien dargestellt.

2.1.2.1. Landwirtschaftliche Nutzfläche

Die wichtigsten Veränderungen in der Größe der landwirtschaftlichen Nutzfläche entstehen durch:

- Wiedervernässung von Moorstandorten

[6] Eigene Anmerkung: Dieser kann angesichts der aufgeführten Emissionen eine Größenordnung von etwa 10 % nicht übersteigen.

- Ausdehnung von Siedlungs- und Verkehrsflächen
- Wiederaufnahme der Nutzung von Brachflächen

KSZ-2050

Die Reduktion der landwirtschaftlichen Nutzfläche durch Siedlung und Verkehrsflächen fließen im KSZ-KS80 und KSZ-KS95 ein.

UBA-Projektionen

In den UBA-Projektionen wird die Reduktion der landwirtschaftlichen Nutzfläche nicht berücksichtigt. Dies führt zu einer Überschätzung der Emissionen von der Produktionsfläche um diesen Prozentanteil.

UBA THGND – beide Szenarien:

Durch Wiedervernässung gehen 420.000 ha Ackerland und 633.000 ha Grünland aus der Nutzung. Weitere 180.000 ha Ackerland auf Moorböden werden in extensives Grünland umgewandelt.

Die Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsfläche führt zur Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF) um ca. 8 % bis 2050 (434.500 ha).

Flächenstilllegung sinkt auf 200.000 ha, im ökologischem Landbau wird die Brachenfläche für Kleegras verwendet, das der legumen N-Bindung und als Futtergrundlage für die Rinderhaltung dient.

Insgesamt wird die LF bis 2050 um ca. 24% reduziert.

WWF-Modell Deutschland – beide Szenarien:

Der Flächenverbrauch kann vom Startjahr bis ins Jahr 2020 von ca. 110 ha/Tag auf 30 ha/Tag reduziert werden. Die Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsfläche führt somit zur Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF) um etwa 440.000 ha (Acker- und Grünlandflächen).

Außerdem wird der Ackerbau auf Moorstandorten bis ins Jahr 2050 auf null reduziert. Dies ist dürfte zu ähnlichen Flächenrestriktionen führen, wie sie für die UBA-THGND-Szenarien oben aufgeführt wurden.

2.1.2.2. Veränderung des Flächenbedarfs für Bioenergie und stoffliche Nutzung

Sowohl in den ***KSZ-2050*** als auch im ***Projektionsbericht*** wird der Flächenbedarf für Bioenergie und stoffliche Nutzung bisher bestimmt. Die Nachfrage nach Biomasse aus den anderen Sektoren wurde im Abgleich mit verschiedenen Potenzialstudien festgelegt. Mittels einer eigenen Potenzial Analyse wurde die einheimisch verfügbare Biomasse bestimmt und damit eine Vorgabe gesetzt wieviel Biomasse in den anderen Sektoren eingesetzt werden darf. Als Anbaufläche stehen je nach Szenario 1,5 bis 2 Mio ha zur Verfügung. Der Großteil der Biomasse wird jedoch aus Abfall und Reststoffen gewonnen. Das aktuelle Niveau der Erzeugung von Biomasse auf landwirtschaftlichen Flächen ist abgebildet.

UBA THGND – beide Szenarien:

Bis 2050 gibt es angesichts des Ausbaus der anderen erneuerbaren Energien keinerlei Bioenergienutzung aus Anbaubiomasse mehr, auch nicht für Kraftstoffproduktion. Die stoffliche Nutzung landwirtschaftlicher Erzeugnisse wird im Umfang von 2007 festgehalten.

WWF-Modell-DE

Die Nutzung der Bioenergie ist im Modell Deutschland lediglich in einem Exkurs beschrieben. Das Flächenpotenzial wird mit 4 Mio ha angenommen.

2.1.2.3. Veränderung des virtuellen Flächensaldos (Import und Export)

Unter virtuellen Flächensalden wird diejenige Fläche verstanden, die zur Produktion der Agrargüter notwendig ist, die in den Außenhandel gelangen oder über den Außenhandel importiert werden. Erst die Einbeziehung dieser Flächen gibt Aufschluss darüber, welchen Pro-Kopf-Bedarf an landwirtschaftlicher Nutzfläche ein Land tatsächlich hat. Angesichts der steigenden Weltbevölkerung wird laut Alexandratos & Bruinsma. (2012) die weltweit pro Kopf verfügbare Ackerfläche von ca. 0,24 im Jahr 2005/2007 auf ca. 0,18 ha im Jahr 2050 zurückgehen.

Die einzige Studie, die den virtuellen Flächensaldo mit in die Analyse einbezogen hat, ist UBA-THGND. Angesichts der Annahme einer Diätenveränderung der Deutschen Bevölkerung mit einer deutlichen Reduktion im Fleischverbrauch auf, können bis 2050 größere Mengen Fleisch exportiert werden. Für die beiden Szenarien sehen die Ergebnisse im Detail folgendermaßen aus:

THGND-konv (UBA):

Im Jahr 2050 wird für das Szenario THGND-konv ein virtueller Flächenexport für pflanzliche Produkte in Höhe von 3,39 Mio ha ermittelt (ggü. einem Import von 2,82 Mio ha im Jahr 2007). Für tierische Produkte ergibt sich ein virtueller Export in Höhe von 1,32 Mio ha, statt 0,33 Mio ha in 2007. Der Flächenexport beträgt -4,71 Mio ha (ggü. einem Import in Höhe von 2,49 Mio ha in 2007).

THGND-öko20 % (UBA):

Im Jahr 2050 wird für das Szenario THGND-öko20 % ein Flächenexport für pflanzliche Produkte in Höhe von 2,40 Mio ha ermittelt (ggü. einem Import von 2,82 Mio ha im Jahr 2007). Für tierische Produkte ergibt sich ein virtueller Export in Höhe von 2,79 Mio ha, statt 0,33 Mio ha in 2007. Der Flächenexport beträgt -5,19 Mio ha (ggü. einem Import in Höhe von 2,49 Mio ha in 2007).

2.1.2.4. Höhe der Stickstoffgaben, Flächensalden und Ausnutzung

Von der Höhe der Stickstoffgaben und deren Ausnutzung hängt ab, wie hoch die Stickstoffüberschüsse in Böden ausfallen. Geringere N-Überschüsse führen zu verringerten direkten und indirekten[7] Lachgasemissionen aus gedüngten Böden.

[7] Indirekte Emissionen entstehen durch Lachgasbildung infolge des Austrags von Nitrat und Ammoniak.

Für die Basisjahre der hier ausgewerteten Studien (2005 bis 2012) lagen die Bilanzüberschüsse[8] für Stickstoff bei etwa knapp 100 kg-N/ha., bezogen auf die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF). Damit überschreitet der Wert sowohl die 80 kg N/(ha*a), die in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung festgelegt ist als auch das vom UBA empfohlene Langfristziel von 50 kg N/(ha*a).

KSZ-2050-AMS

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass das Niveau der Mineraldüngergaben auf den konventionellen bewirtschafteten Flächen unverändert. Der N-Saldo wurde nur abgeschätzt, er sinkt insgesamt in diesem Szenario auf etwa 80 kg-N/ha.

KSZ-2050-KS80

Die Mineraldüngergaben sinken angesichts von 20 % Ökolandbau auf 84 kg-N/ha. Durch die sinkenden Tierzahlen sinkt der Wirtschaftsdüngerinput, wobei davon ausgegangen wird, dass dies vor allem für Entlastung in Gebieten mit intensiver Viehhaltung sorgt. Der N-Saldo sinkt schätzungsweise insgesamt in diesem Szenario auf etwa 40 kg-N/ha.

KSZ-2050-KS95

Durch 25 % ökologische Landwirtschaft werden über Mineraldünger nur noch durchschnittlich 61 kg-N/ha auf die LF aufgebracht. Die Tierzahlen sinken noch stärker als im KS-80-Szeanrio, so das der N-Saldo insgesamt schätzungsweise auf etwa 20 kg-N/ha sinkt. Dieser Wert ist allerdings sehr gering und könnte auf einzelnen Standorten bereits mit Ertragseinbußen einhergehen.

PB-2015-MMS

Der mineralische Stickstoffdüngereinsatz bleibt bis zum Jahr 2035 bei konstant 98 kg-N/ha landwirtschaftlich genutzter Fläche. *PB-2015-MWMS*

PB-2015-MMS

Durch die Novelle der Düngeverordnung und den Ausbau der ökologischen Landwirtschaft sinkt bis 2020 der mineralische Stickstoffdüngereinsatz von 98 kg-N/ha auf 78 kg-N/ha[9]. Bis 2035 bleibt er dann konstant bei diesem Wert.

Der Stickstoffsaldo wurde für beide Szenarien des Projektionsberichts nicht ermittelt.

THGND-konv (UBA):

Steigerung der N-Ausnutzung (Verhältnis von N im Erntegut zu N im ausgebrachten Dünger)

- von N-Mineraldünger von 80 auf 90 %
- von Wirtschaftsdünger-N von unter 30 auf 60 %
- von leguminoser N-Bindung von 20 auf 40 %

Insgesamt reduziert sich in diesem Szenario der N-Saldo von 98 kg-N/ha (2007) auf 45 kg-N/ha LF.

[8] ausgewiesen als nationale Hoftorbilanz

[9] Einsparung von 20 kg N pro ha entsprechend der Annahmen des Aktionsprogramms Klimaschutz.

THGND-öko20 % (UBA):

Wegfall der N-Mineraldüngung für die Flächen mit Ökolandbau
Ausgleich der N-Bilanz durch leguminose N-Bindung bei einer N-Ausnutzung von knapp 60 %.
Insgesamt reduziert sich in diesem Szenario der N-Saldo von 98 kg-N/ha (2007) auf 51 kg-N/ha LF.

WWF Modell Deutschland - beide Szenarien

Durch eine N-Effizienzstrategie und Extensivierungsmaßnahmen (u.a. der Ausbau der ökologischen Landwirtschaft) können in beiden Szenarien v.a. die N-Mineraldüngergaben gesenkt werden und damit sinken die N_2O-Emissionen von landwirtschaftlichen Böden. Im Referenzszenario werden die N_2O-Emissionen bis 2050 um 7 % gegenüber 2005 gemindert, im Innovationtsszenario um 35 %.

MD-Inno

Es wird davon ausgegangen, dass der N-Überschuss je Hektar von ca. 110 kg-N/ha im Basisjahr (2005) auf 80 kg-N/ha bis 2010 und auf 40 kg-N/ha im Jahr 2020 gesenkt werden kann.

2.1.2.5. Vergärung von Wirtschaftsdüngern

Die Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen führen zu einer deutlichen Verminderung der Methanemissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung. Bei der Ausbringung kann es dagegen durch die veränderten Eigenschaften zu höheren Ammoniakemissionen kommen, die jedoch durch einarbeitende Ausbringungstechniken begegnet werden kann.

KSZ-2050

In den KSZ-Szenarien weisen die einzelnen Szenarien eine immer stärker gesteigerte Vergärung der verfügbaren Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen auf:

- KSZ-2050-AMS: 30 %
- KSZ-2050-KS80: 50 %
- KSZ-2050-KS95: 70 %

UBA-Projektionen – beide Szenarien

Die Güllevergärung steigt bis zum Jahr 2035 auf 25% des verfügbaren Potenzials bei sowohl Rinder- als auch Schweinegülle an.

UBA THGND – beide Szenarien:

Vergärung von Wirtschaftsdüngern und gasdichte Lagerung der Gärreste - hierdurch wird eine Minderung von bis zu 80 % der THG-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung angenom-

men. Es ist keine Angabe zur Potenzialerschließung genannt worden (*eigene Anmerkung entspricht aber etwa 75%)*.

WWF-MD-Inno

Die verstärkte Vergärung der Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen wird unterstellt, es sind jedoch diesbezüglich keine Werte einzeln aufgeführt.

2.1.2.6. Inlandsnachfrage und Ernährungsgewohnheiten

Die treibenden Größen der inländischen Nachfrage sind:

- Bevölkerungsgröße
- Veränderung der Diäten
- Reduktion von Lebensmittelabfällen

Es muss jedoch angesichts der weltweiten Nachfrage nach Nahrungsmitteln und Agrargüter nicht von einer Kopplung von Inlandsnachfrage und Produktion ausgegangen werden, da Überschüsse auch auf dem Weltmarkt verkauft werden können. Dies trifft sowohl für tierische als auch pflanzliche Erzeugnisse zu. Die hohe globale Nachfrage führt dazu, dass Extensivierungsmaßnahmen oder eine Verringerung der Produktion mit erhöhten Opportunitätskosten verbunden sind (UBA 2013a) und ohne flankierende Maßnahmen betriebswirtschaftlich unattraktiver werden.

KSZ 2050 – alle Szenarien

In den KSZ-2050-Szenarien findet die Bevölkerungsentwicklung keine Berücksichtigung für die Nachfrage. Die anderen Annahmen wurden wie folgt getroffen:

KSZ-AMS: keine veränderten Ernährungsgewohnheiten

KSZ-KS80: Reduktion des Fleischverzehrs um 40 % angenommen, ebenso erfolgte eine Reduktion des Milchverzehrs

KSZ-KS95: Auch wird eine Veränderung der Diät gemäß der DGE Empfehlungen dargestellt, diesmal wird das untere Spektrum mit einem 60 % geringeren Fleischkonsum abgebildet.

Für die beiden Szenarien mit den geänderten Diäten ist eine differenzierte Betrachtung für die Milcherzeugung erst für die letzte Modellierungsrunde ab Herbst vorgesehen. Hier hat bisher eine pauschale Senkung der Rinderbestände stattgefunden.

Es wird vereinfacht davon ausgegangen, dass sich die reduzierte Inlandsnachfrage auch auf das Produktionsniveau auswirkt.

UBA-Projektionen

In beiden Szenarien werden keine veränderten Ernährungsgewohnheiten unterstellt.

UBA THGND – beide Szenarien:

Der Bevölkerungsrückgang in Deutschland bis 2050 beträgt hier etwa 12 %. Beide Szenarien gehen von einer veränderten Diät der Bevölkerung auf Grundlage der Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung aus. Dies geht mit einem deutlich geringeren Verzehr von tierischen Lebensmitteln, insbesondere Fleisch, aus:

Die Reduktion des Fleischverbrauchs liegt in der Größenordnung von 75 % (bzw. 78 % durch gleichzeitige Reduktion der Lebensmittelabfälle). Milch und Eier werden in vergleichbarer Größenordnung wie heute verzehrt, aber auch hier wird eine leichte Reduktion durch die Verminderung der Lebensmittelabfälle erreicht.

Die Reduktion der Lebensmittelabfälle bis 2050 wird mit 50 % angesetzt – diese werden durch Maßnahmen bei den Endverbrauchern, also Großkunden und Haushalten, erreicht.

MD-Ref

Im Referenzszenario werden keine veränderten Konsumgewohnheiten unterstellt. Inwiefern eine geringere Nachfrage durch die sinkende Bevölkerungszahl sich auf die Produktion auswirkt, ist nicht dokumentiert.

MD-Inno

Auch in diesem Szenario wird eine Veränderung der Diät gemäß der DGE Empfehlungen dargestellt. Der Fleischkonsum sinkt um zwei Drittel, der Verzehr von Milchprodukten sinkt um 22% (in Milchäquivalenten) und der Eierkonsum nimmt um 40% ab.

2.1.2.7. Nutztierbestand

Eine maßgebliche Größe für das Emissionsniveau der Landwirtschaft ist die Anzahl der gehaltenen Nutztiere, insbesondere Rinder und andere Wiederkäuer. Welche Annahmen die einzelnen Szenarien treffen, ist in der nachfolgenden Tabelle aufgestellt.

Tabelle 2-1 Tierbestandsänderungen in den einzelnen Szenarien

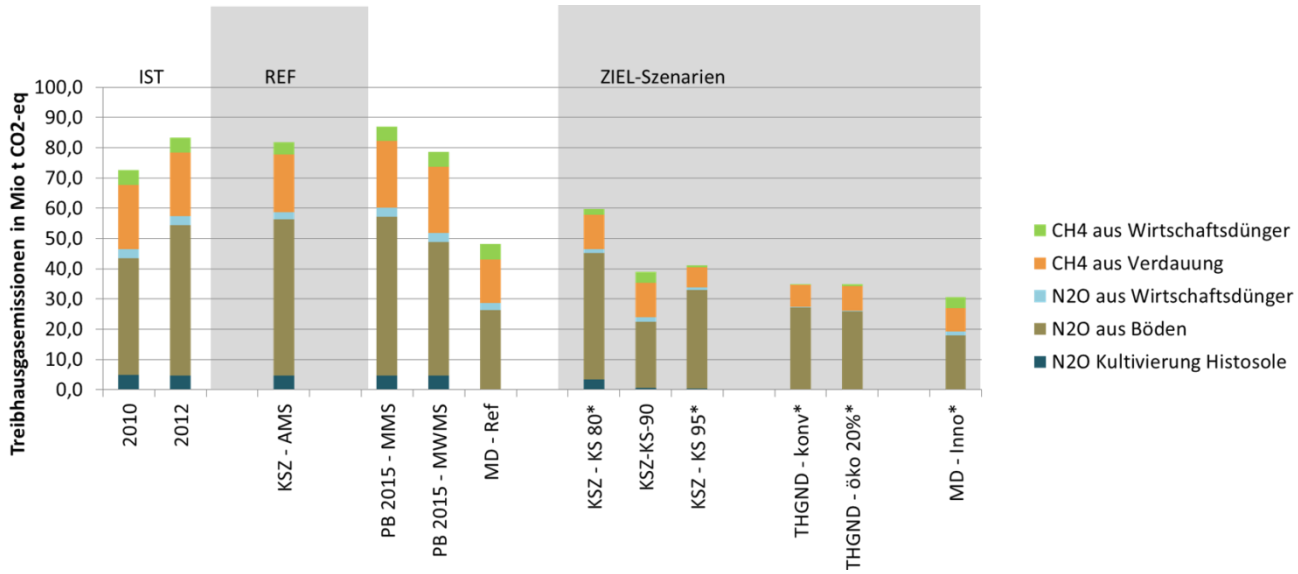
	IST	REF-Szenarien				ZIEL-Szenarien				
	2012	KSZ-2050 AMS	PB-MMS	PB-MWMS	MD-Ref	KSZ-2050 KS-80	KSZ-2050 KS-95	THGND-konv.	THGND-öko20%	MD-Inno
Milchkühe	100%	86%	103%	103%	k.A.	50%	28%	62%	62%	87%
übrige Rinder	100%	87%	104%	104%	k.A.	51%	30%	0%	0%	43%
Schweine	100%	109%	99%	99%	k.A.	64%	37%	45%	89%	38%

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach Angaben in den Studien

2.1.3. Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien in der Landwirtschaft

Abschließend werden die THG-Emissionen dargestellt, die die einzelnen betrachteten Szenarien für die Landwirtschaft bis 2050 (bzw. 2035) ermitteln, siehe folgende Abbildung.

Abbildung 2-1 Ergebnisse der Treibhausgasemissionen der untersuchten Szenarien



Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben in den Studien

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Die Aussagen sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

Sämtliche Zielszenarien (mit Stern gekennzeichnet) sehen eine größere Reduktion der Tierbestände vor. Die Emissionen des Projektionsberichts (PB 2015) repräsentieren Referenzszenarien, reichen jedoch nur bis ins Jahr 2035, die anderen bis ins Jahr 2050.

Von den fünf Zielszenarien erreichen die vier Zielszenarien eine Minderung von 50 % oder mehr. Allen Zielszenarien ist gemeinsam, dass zusätzlich zu den herkömmlichen Maßnahmen jeweils auch eine Reduzierung der Tierbestände zugrunde gelegt wurde. Das KSZ-2050-KS80 das einzige

Zielszenario das keine 50 % Minderung erreicht. Dies liegt am geringeren Gesamtreduktionsziel, wodurch der Landwirtschaftssektor weniger strenge Vorgaben erfüllen muss. Umgekehrt liegen den Szenarien für den Projektionsbericht aufgrund der neu berechneten Baseline des Thünen-Instituts (2014) erhöhte Tierzahlen zugrunde. Entsprechend liefern diese Szenarien die höchsten Emissionswerte.

Alle Szenarien greifen auf dasselbe Set an Minderungsstrategien zurück, nämlich

- **Verringerung der Stickstoffüberschüsse** durch eine gesteigerte Ausnutzung und durch verminderte Stickstoffgaben im Pflanzenbau.
  Diese sind durch verbesserte Düngesysteme zu erreichen oder auch durch Extensivierungsmaßnahmen. Letzteres ist in allen Szenarien durch eine Steigerung des Anteils der ökologischen Landwirtschaft dargestellt.

- **Verminderte Emissionen in der Tierhaltung**
  In allen Szenarien werden die Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung durch deren flächendeckende Vergärung in Biogasanlagen abgebildet. Weitere Maßnahmen, wie optimierte Fütterungs- und Haltungsverfahren oder Leistungssteigerungen, wurden teilweise explizit beziffert, teilweise finden sie nur implizit durch Fortschrittsannahmen Niederschlag in den Berechnungen. Als weiteres Element ist auch Bestandsabbau Nutztiere gewählt worden.

- Eine verbesserte Biomasseausnutzung auf der Nachfrageseite (wie beispielsweise die Kaskadennutzung von Biomasse) findet in keiner der Studien über die Modellierung der Landwirtschaft Beachtung. Offenbar herrscht die Annahme vor, dass freiwerdende Flächen für andere landwirtschaftliche Optionen genutzt werden – entweder zur Erzeugung anderer Agrarprodukte oder zur Schaffung von Extensivierungsmöglichkeiten. Der Effekt ressourceneffizienter Biomassenutzung ist somit eher auf der Nutzungsseite zu quantifizieren, v.a. durch geringere Belastungen in der Vorkette für Recyclingprodukte/Kaskadennutzungen.

Ein weiterer Aspekt ist das Auftreten von Leakage Effekten, wie sie z.B. durch Extensivierungsmaßnahmen oder gesteigerte Importströme von Agrargütern (z.B. Futtermittel) auftreten können. Dadurch induzierte globale Landnutzungsveränderungen können Treibhausgase in anderen Ländern freisetzen und werden trotzdem in der nationalen Treibhausgasbilanz als Emissionsrückgänge erfasst. Daher sollten Szenarien zu THG-Emissionen in der Landwirtschaft auch stets zum Ziel haben diese Leakage Effekte entweder zu vermeiden oder durch eine Erweiterung des Bilanzrahmens diese in irgendeiner Weise auch zu quantifizieren – beispielsweise wie in den THGND Szenarien mit den virtuellen Flächensalden geschehen.

Die folgenden beiden Tabellen geben noch einmal einen Überblick über die Ausgestaltung der Szenarien und die daraus resultierenden Emissionen.

Tabelle 2-2 Übersicht über die Ausgestaltung der wichtigsten Treibergrößen in den einzelnen Szenarien

		Startjahr	REF				ZIEL					
Entwicklung folgender Größen:		**Start**	**KSZ - AMS**	**PB - MMS**	**PB - MWMS**	**MD Ref**	**KSZ - KS 80**	**KSZ - KS 90**	**KSZ - KS 95**	**THGND - konv**	**THGND - öko 20%**	**MD - Inno**
landwirtschaftliche Nutzfläche	%	100%	95%	95%	94%	k.A.	93%	92%	89%	91%	91%	k.A.
Flächensalden für Stickstoff	kg/ha	98	80	98	78	k.A.	50	k.A.	25	45	51	40
Güllevergärung Anteil von Potenzial	%	20%	30%	30%	30%	k.A.	50%	"hoher Anteil"	70%	100%	100%	"hoher Anteil"
Anzahl Milchkühe	%	100%	86%	103%	103%	k.A.	50%	46%	28%	62%	62%	87%
Anzahl - Rinder	%	100%	87%	104%	104%	k.A.	51%	52%	30%	0%	0%	43%
Anzahl - Schweine	%	100%	109%	99%	99%	k.A.	64%	45%	37%	45%	89%	38%
Produktion im Pflanzenbau	%	keine vergleichende Angabe möglich										
Milchleistung	%	100%	124%	124%	124%	k.A.	124%	130%	124%	131%	125%	k.A.
Gesamtreduktion THG	**%**	**100%**	**98%**	**104%**	**94%**	**58%**	**72%**	**47%**	**49%**	**42%**	**42%**	**37%**

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben in den Studien

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Die Aussagen sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

Tabelle 2-3 Veränderungen der einzelnen Emissionsquelle im Vergleich 2050 zum Startjahr

		Start	REF				ZIEL					
Änderung ggü. Startjahr	CO_2-eq	**2012**	**KSZ - AMS**	**PB - MMS**	**PB - MWMS**	**MD Ref**	**KSZ - KS 80**	**KSZ - KS 90**	**KSZ - KS 95**	**THGND - konv**	**THGND - öko 20%**	**MD - Inno**
N2O Kultivierung Histosole	Mio t	4,7	98%	100%	100%	0%	72%	11%	7%	0%	0%	0%
N2O aus Böden	Mio t	49,6	104%	106%	89%	53%	84%	44%	66%	55%	52%	36%
N2O aus Wirtschaftsdünger	Mio t	3,0	82%	102%	100%	77%	45%	52%	26%	7%	7%	44%
CH4 aus Verdauung	Mio t	21,1	90%	104%	104%	69%	54%	54%	32%	35%	39%	36%
CH4 aus Wirtschaftsdünger	Mio t	4,9	87%	98%	98%	105%	38%	75%	15%	8%	14%	76%
Gesamt	**Mio t**	**83,3**	**98%**	**104%**	**94%**	**58%**	**72%**	**47%**	**49%**	**42%**	**42%**	**37%**

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Die Aussagen sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

Tabelle 2-4 Veränderungen der einzelnen Emissionsquellen im Vergleich 2030 zum Startjahr

Änderung bis 2030 ggü. Startjahr		Start	REF				ZIEL (Erreichung für Zwischenziele)					
Änderung ggü. Startjahr	CO_2-eq	**2012**	**KSZ - AMS**	**PB - MMS**	**PB - MWMS**	**MD Ref**	**KSZ - KS 80**	**KSZ - KS 90**	**KSZ - KS 95**	**THGND - konv**	**THGND - öko 20%**	**MD - Inno**
N2O Kultivierung Histosole	Mio t	4,7	98%	100%	100%	100%	87%	20%	56%	k.A.	k.A.	33%
N2O aus Böden	Mio t	49,6	76%	97%	89%	43%	93%	65%	84%	k.A.	k.A.	36%
N2O aus Wirtschaftsdünger	Mio t	3,0	82%	102%	102%	77%	69%	68%	53%	k.A.	k.A.	60%
CH4 aus Verdauung	Mio t	21,1	90%	104%	104%	69%	77%	77%	66%	k.A.	k.A.	51%
CH4 aus Wirtschaftsdünger	Mio t	4,9	87%	98%	98%	105%	71%	99%	48%	k.A.	k.A.	90%
Minderung bis 2030	**Mio t**	**83,3**	**82%**	**99%**	**94%**	**58%**	**86%**	**68%**	**75%**	**k.A.**	**k.A.**	**44%**
zum Vergleich: Gesamtminderung bis 2050	*Mio t*	*83,3*	*98%*	*104%*	*94%*	*58%*	*72%*	*47%*	*49%*	*42%*	*42%*	*37%*
Minderung um …% bis 2030			18%	1%	6%	42%	14%	32%	25%	k.A.	k.A.	56%
Minderung um …% bis 2050			2%	-4%	6%	42%	28%	53%	51%	58%	58%	63%

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Die Aussagen sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

Die Referenzszenarien führen – mit Ausnahme der Rechnungen aus dem Modell Deutschland[10] – zu THG-Emissionen im Landwirtschaftssektor, die in der Relation sich nicht wesentlich vom heutigen Emissionsniveau unterscheiden. Erst die Szenarien mit einem weitgehenden Reduktionsziel erreichen Minderungen, in der Größenordnung von bis zu 50 % (auch hier bildet das Modell Deutschland eine Ausnahme). Diese wird in allen Fällen aber nur erreicht, weil *gleichzeitig* zu sämtlichen technischen Maßnahmen auch die Tierbestände reduziert wurden. Um diesen Schritt ohne Leakage-Effekt zu erreichen, muss sich die Nachfrage nach tierischen Produkten in entsprechendem Umfang reduzieren. Sollte dies erreicht werden sollen, ist dies nur durch umfassende und frühzeitig eingeführte Maßnahmen auf der Nachfrageseite denkbar. Und ein anrechenbarer Effekt wird daraus nur, wenn gleichzeitig mit einer sinkenden Nachfrage auch die Produktionskapazitäten abgebaut werden. Selbst wenn langfristig die deutsche Bevölkerung ihr Ernährungsverhalten verändern würde, ist damit bezüglich der weltweiten Nachfrageentwicklung nach tierischen Produkten und deren Umwelteffekten noch keine Aussage getroffen worden. Aber unabhängig aller Inventarlogik macht es in der globalen klimapolitischen Wahrnehmung einen Unterschied, ob Deutschland auf den „frei werdenden Flächen“ Tiere oder Pflanzen produziert und diese dem Weltmarkt zur Verfügung stellt.

Für die Landwirtschaft lassen sich damit zwei **robuste Strategien** zur THG-Minderung identifizieren; nämlich:

1. Verringerung der Stickstoffüberschüsse
2. Verminderte Emissionen in der Tierhaltung.

Alle hier untersuchten Szenarien führen zu Produktionsrückgängen, begründet durch Extensivierungsmaßnahmen und eine kleiner werdende landwirtschaftliche Nutzfläche (durch Schutzmaßnahmen für Moore und Moorböden und durch weitere Abzüge durch Siedlung und Infrastruktur). Durch die reduzierten Tierbestände sinkt die Produktion tierischer Produkte. Sofern hier eine gute Ausbalancierung mit der Milchwirtschaft stattgefunden hat, sollte aber noch das Produktionsniveau erreichen, dass eine Versorgung der Bevölkerung gemäß den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung möglich ist.

2.2. Ableitung transformativer Pfade in der Landwirtschaft

Zur Umsetzung der robusten Strategien sind verschiedene strukturelle Entwicklungsschritte (Systemanpassungen) nötig, diese werden als **transformative Pfade** bezeichnet und können auf verschiedenen Ebenen ansetzen, beispielsweise bei

- Infrastruktur
- Technologie
- Verhaltensweisen (z.B. zur Begrenzung Reboundeffekte).

[10] Die Studie Modell Deutschland“ war die erste, die „vom Ziel her dachte“ und stellt die Annahmen für den Landwirtschaftssektor eher überschlägig dar und greift nicht auf eine differenzierte Modellierung zurück. Daher werden Ihre Ergebnisse hier nicht im Detail diskutiert.

1. **Beschreibung der transformativen Pfade zur Verringerung der N-Überschüsse:**

- **Optimierung der Stickstoffdüngung und Anbausysteme:**
  Dieser Pfad umfasst ein breites Spektrum an Möglichkeiten. Das Zusammenspiel von Fruchtfolge, Standort und Witterung muss durch gute Planung und zeitlich wie räumlich möglichst aufgelöste Bedarfsanalysen. Hierfür sind sowohl gut geschulte Landwirte als auch Technologien (z.B. precision farming, Verwendung von Nitrifikationsinhibitoren) und ein ordnungsrechtlicher Rahmen (Düngegesetzgebung, Hoftorbilanzen) und politische Anreize notwendig.

- **Ausweitung der ökologischen Landwirtschaft:**
  Durch den Verzicht auf Mineraldünger und durch vermehrten Humusaufbau und Zwischenfrüchte führt die ökologische Landwirtschaft im Schnitt zu einer besseren Bindung von Stickstoff. Die Flächenbindung der Tierhaltung verhindert außerdem große Nährstoffimporte und –überschüsse.

- **Optimierung der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern:**
  Die gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern (oder deren Vergärung in einer Biogasanlage) und die Anwendung von Ausbringungstechniken die mit einer unverzüglichen Einarbeitung in den Boden verbunden sind, führen zu einer Reduktion gasförmiger Stickstoffverluste bei den Wirtschaftsdüngern.

2. **Beschreibung der transformativen Pfade zur Verminderung der Emissionen aus der Tierhaltung**

- **Optimierte Fütterungsverfahren:**
  Diese betreffen einerseits eine bessere Stickstoffausnutzung, aber langfristig möglicherweise auch Verfahren zur Reduktion des Methanausstoßes von Wiederkäuern.

- **Steigerung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern:**
  Hierdurch wird eine Emissionsquelle für das klimaschädliche Methan aus den Wirtschaftsdüngern deutlich reduziert.

- **Abbau der Viehbestände:**
  Durch einen Abbau der Viehbestände sinkt das Niveau der direkten Emissionen. Andererseits werden Futterflächen frei, die für den Anbau anderer Produkte oder für Extensivierungsmaßnahmen genutzt werden können. Insgesamt wird auf diese Weise der Druck auf die weltweit knapper werdenden Agrarflächen gesenkt und damit das Risiko klimaschädlicher Landnutzungsveränderungen.

2.2.1. Unsichere Annahmen der abgeleiteten Pfade

Lagerung, Ausbringung und Vergärung von Wirtschaftsdüngern: Bei der Güllevergärung entweicht zwar auch beim Betrieb von Biogasanlagen eine Restmenge Methan und es ist nicht wirtschaftlich für kleinere Betriebe eine Biogasanlage zu errichten, aber diese Effekte sind in den Bi-

lanzierungsansätzen bereits berücksichtigt. Wichtig ist, dass die ausgebrachten Gärreste zügig in den Boden eingearbeitet werden, um Ammoniakemissionen zu verhindern.

Die Ausweitung der **ökologischen Landwirtschaft** ist mit einem geringeren Produktionsniveau verbunden. Wenn gleichzeitig ein hoher Flächenbedarf besteht, z.B. angesichts einer hohen Tierproduktion oder wegen eines hohen Bedarfs an industriell genutzten Pflanzen oder Energiepflanzen, besteht die Gefahr von Leakage Effekten. Dieser Effekt tritt streng genommen bereits durch den Import von ökologischen Lebensmitteln auf, in Kombination mit einem verringerten Konsum tierischer Lebensmittel kann diese Gefahr reduziert (bzw. ausgeschlossen werden). Gleichzeitig hat der ökologische Landbau aber in Bezug auf andere Umweltaspekte positive Wirkungen, die auch in die Betrachtung miteinbezogen werden müssen (beispielsweise auf die Biodiversität oder die Ressourceninanspruchnahme und Gewässerqualität, da diese Wirtschaftsweise stärker an der Kreislaufwirtschaft orientiert ist).

Von den **optimierten Fütterungsverfahren** geht keine große Unsicherheit für die Szenarioergebnisse aus, da diese nur ein geringes Potenzial besitzen und auch nicht in allen Studien explizit berücksichtigt worden sind.

Angesichts der eher aggregiert getroffenen Annahmen zur **Optimierung der Stickstoffdüngung** sind die hier dargestellten Effekte trotzdem mit Unsicherheiten behaftet – zumal es sich hierbei um ein relativ großes Reduktionspotenzial der vorgestellten Szenariostudien handelt. Insgesamt ist aber eine Optimierung in diesem Bereich technisch gut möglich (was auch der Trend der vergangenen Jahre zeigt). Steigende Energiepreise und vor allem ambitionierte rechtliche Rahmenbedingungen gelten daher als Schlüsselfaktor für den Erfolg dieses Pfads.

Mit großer Unsicherheit ist die Wirkung der **Reduktion der Tierbestände** zu bewerten. Einerseits ist dies der Pfad mit der größten Wirkmächtigkeit, andererseits hängt dieser von mehreren Rahmenbedingungen ab, die nicht allein durch einzelne politische Entscheidungen zu beeinflussen sind. Es bedarf mit Sicherheit großer Anstrengungen, die Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung (ohne vorherrschende Knappheit) nachhaltig zu verändern. Hierzu sind lang angelegte Bildungsprogramme für alle Bevölkerungsgruppen notwendig. Weiterhin bedarf es einer gewissen staatlichen Einflussnahme, um trotz weltweit steigender Nachfrage nach Fleisch und Milchprodukten, den Bestand der Nutztiere hierzulande zu verkleinern. Andererseits besteht bereits durch die Europäischen Agrarzahlungen ein gutes Netz an Lenkungsmöglichkeiten.

Angesichts der global begrenzten Agrarflächen gibt es ein begrenztes Potenzial für die Pflanzenproduktion von der alle weiteren Nutzungen abhängen. Daher wirkt die verstärkte Nachfrage aus anderen Bereichen nach biogenen Substitutionsstoffen (z.B. als Baustoffe, Verpackungsmaterial, chemische Grundstoffe etc.) stets auf das gesamte System. Insofern ist die Nachfrage nach biogenen Materialien mit Ausnahme der Ernährung immer eine sektorübergreifende Fragestellung.

2.3. Transformationsbedarf bis zum Jahr 2030 in der Landwirtschaft

Vor dem Hintergrund der vorangegangen Darstellungen werden für den Transformationsbedarf bis zum Jahr 2030 vier Meilensteine vorgeschlagen und dazu mögliche Instrumente für deren Realisierung:

Meilenstein-1: Verringerte N-Salden auf 50kg/ha für die gesamte LF

In Deutschland sind viele Gebiete von hohen Stickstoffeinträgen betroffen, insbesondere die Viehhaltungsregionen mit einem hohen Überschuss durch Wirtschaftsdünger. In der Folge weisen rund

die Hälfte aller Messstellen für die Nitratbelastung von Oberflächengewässern und Grundwasser eine Grenzwertüberschreitung aus (EU-KOM 2015). Die zentrale Gesetzgebung für die Regelung der Düngerausbringung ist in Deutschland die Düngeverordnung, doch werden hier formulierte Ziele und Grenzwerte verfehlt[11]. Damit ergibt sich, dass nicht nur strengere Umweltvorgaben notwendig sind, sondern vor allem auch die Überwindung des Umsetzungs- und Vollzugsdefizits eine wichtige Aufgabe für die Zukunft ist (SRU 2015).

Die Menge und Art und Weise der Stickstoffgabe beeinflusst die Emission von Ammoniak und Lachgas, zwei Gase die zum Treibhauseffekt beitragen. Wird die Stickstoffeffizienz erhöht, entstehen geringere Stickstoffverluste in die Umwelt und für die gleiche Ernte sind geringere Stickstoffgaben notwendig. Hierfür sollte eine ambitionierte Novelle der Düngeverordnung erfolgen, die auf einer besseren und vollständigen Bilanzierungsmethode basiert12, mit kontrollierbaren Angaben. Hier sollte zunächst die Stickstoffbilanz auf Basis einer Hoftorbilanz erfolgen. Ergänzend ist dann eine Differenzierung durch Flächenbilanzen sinnvoll, um punktuelle Belastungen zu reduzieren. Schrittweise sollten dann strengere Ziele für den N-Saldo festgelegt werden. Die Ausbringungsobergrenzen müssen dabei sämtliche ausgebrachten Düngestoffe erfassen, mineralische wie organische, und die Leguminosenbindung berücksichtigen und Sperrfristen müssen präziser gefasst werden. Für einen wirksamen Vollzug sollte die Kontrolle zu weiten Teilen auf Buchhaltungsdaten basieren, die Bilanzen mit Ihren Bezugsgrößen entsprechend aufgebaut sein (SRU 2015).Bei nicht fachgerechter Düngung müssen Sanktionen leichter durchgesetzt werden können, wie beispielsweise eine Überschussabgabe oder die kostenpflichtige und verpflichtende Beratung und bei weiteren Verstößen Strafzahlungen. Hierbei bedarf es einer engen Abstimmung zwischen der Gesetzgebung des Bundes und der Ausführung und Kontrolle von Seiten der Bundesländer.

Als preissteuerndes Instrument könnte eine Stickstoffabgabe/-steuer eingeführt werden, mit deren Einnahmen eine verbesserte Ausbildung und Fortbildung von Landwirten finanziert werden können. Ein weiterer Schritt liegt in der Anreizpolitik zur Begrenzung von Applikationsraten und zum Einsatz von verbesserten Applikationstechniken (precision farming, Injektionsverfahren für Wirtschaftsdünger). Beispielsweise durch die Kopplung von Umweltzielen an Direktzahlungen und das Austarieren bzw. die Bündelung von Ausgleichzahlungen im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen, so dass Einhaltung naturschutzfachlicher wie auch wasserwirtschaftlicher Zielvorgaben möglich ist. Hierfür ist eine genauere Berücksichtigung standortspezifischer Voraussetzungen notwendig, das bedeutet also eine stärkere Regionalisierung der Agrarumweltmaßnahmen. Außerdem sollte eine engere Einbeziehung von Klimaschutzaspekten in die Vergabe von EU-Agrarmitteln erfolgen, wie die Verwendung von Leguminosen oder Techniken zur Steigerung der Humusbildung und Aspekte der Kreislaufwirtschaft (Schließen von Stoffkreisläufen).

Meilenstein-2: Optimierte Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und Steigerung der Güllevergärung

In direkter Ergänzung zum ersten Meilenstein ist der zweite Meilenstein zu sehen. Dieser betrifft zum einen ordnungsrechtliche Mindeststandards zur gasdichten Lagerung von Wirtschaftsdüngern und zur Anwendung injizierender Ausbringungsverfahren zur unverzüglichen Einarbeitung (Sanktionen) von Wirtschaftsdüngern und Gärresten. Weiterhin sollte eine möglichst hohe Quote für eine Potenzialerschließung bei der Güllevergärung angestrebt werden. Hierzu sind gezielte Anreize zur

[11] Sie dient auch der Umsetzung der Nitratrichtlinie 91/676/EWG in deutsches Recht, derentwegen die EU ein Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland angestrengt hat.

[12] So dass sämtliche N-Bezüge eines Betriebs (Futterzukauf, organische und mineralische Düngestoffe, symbiontische Fixierung und andere N-Quellen) erfasst werden und den N-Exporten gegenüber gestellt werden können.

Güllevergärung beispielsweise über das EEG oder andere Förderprogramme (z.B. Investitionsförderung) insbesondere für Kleinanlagen erforderlich.

Meilenstein-3: Ausbau der ökologischen Landwirtschaft auf einen Anteil von 25%

Für eine Bewertung des Ökolandbaus in Bezug auf die Klimawirksamkeit sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen, wie die Stickstoffeffizienz, die Kohlenstoffbindung, das Produktionsniveau sowie die Einlösung anderer Anforderungen wie artgerechte Tierhaltung, Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und der Biodiversität etc. Angesichts eines geringeren Düngeniveaus setzen ökologisch bewirtschaftete Flächen insgesamt weniger Lachgas frei. Ökologisch bewirtschaftete Böden weisen tendenziell höhere Humusgehalte auf und gelten somit als Kohlenstoffsenken - nämlich 0,2 bis 0,3 % mehr Kohlenstoff als in konventionell bewirtschafteten Böden, was ca. 35 bis 50 t CO2 pro Hektar entspricht (KTBL, 2009). Weiterhin dient die ökologische Milchwirtschaft dem Grünlanderhalt und sichert auf diese Weise eine weitere wichtige Kohlenstoffsenke, das Dauergrünland .

Durch Verzicht auf Mineraldüngung, Pestizide und geringen internationalen Futterzukauf kommt es dauerhaft zu Energie- und THG-Einsparungen vor allem in der Vorkette der Produktion. Auf den Betrieben führen der geringere Tierbesatz, geringere N-Düngung und der Einsatz von Leguminosen statt N-Düngern zu niedrigeren THG-Emissionen. Bei höherem Flächenanspruch sind die produktbezogenen THG-Emissionen in Pflanzenbau und Tierhaltung im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft in der Regel vermindert oder gleichauf. Jedoch ist dies stark standort- und managementabhängig. Die flächenbezogenen THG-Emissionen sind im Ökologischen Landbau geringer. (Thünen-Report 11, 2013, S. 83).

Laut der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung soll der Flächenanteil des Ökologischen Landbaus in Zukunft 20 % betragen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein weiterer Ausbau auch aus Sicht des Klimaschutzes zu unterstützen. Der ökologische Landbau hat zudem positive Effekte in den Bereichen Gewässerschutz und Biodiversität. Entsprechend sinnvoll ist ein Ausbau der Förderprogramme zur Umstellung auf und Beibehaltung der ökologischen Wirtschaftsweise und Anreize über Vergabe von EU-Agrarmitteln.Neben dem Setzen von Anreizen zur Umstellung und der Förderung mit öffentlichen Mitteln zum Nachteilsausgleich (wie ELER und GAK[13]), ist die Forschungsförderung für den Ökolandbau ein besonders relevanter Punkt. Insbesondere im Bereich der Züchtung für robuste Nutzpflanzen und Zweinutzungsrassen bei den Nutztieren liegen wichtige Aufgaben, aber auch bei der Optimierung von Anbau- und Haltungsverfahren zu Verbesserung der Kohlenstoff- und Stickstoffeffizienz im ökologischen Landbau und zu Klimaanpassungsmaßnahmen.

Für die großflächige Ausweitung des Ökolandbaus auf 25 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist neben der Anhebung der Förderung und der Forschungsintensivierung auch die Ausbildung und Beratung erheblich zu stärken. Um die Betriebe ökologisch und wirtschaftlich nachhaltig zu führen bedarf es ausreichender Beratungs- und Ausbildungsstrukturen um die Qualifizierung der Landwirte zu gewährleisten.

[13] ELER - Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes und und GAK - Gesetz über die Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes

Meilenstein-4: Reduktion des Tierbestands nach Tierart

Der Transformationsbedarf zur Reduktion des Tierbestands besteht sowohl auf der Nachfrage- als auch auf der Angebotsseite. Beispielsweise könnte die Formulierung eines Reduktionsziels bis 2018, in Verbindung mit einem Ziel zum reduzierten Verzehr für Fleisch bzw. Produkte tierischer Herkunft ein Ziel der erfolgreichen Bürgerbeteiligung sein.

Auf der Nachfrageseite sind Informations- und Bildungskampagnen/-programme für Kindergärten, Schulen, Betriebe, Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung und Gastronomie bezüglich der Klimawirkungen der Ernährung und zu gesunder Ernährung zu sehen, um ein besseres Verständnis der Zusammenhänge der Felder Ernährung – Gesundheit- Umwelt zu erlangen und daraus eine Verhaltensänderung abzuleiten. Darüber hinaus sind schon seit längerem preissteuernde Instrumente in der Diskussion, wie etwa die Erhöhung des Mehrwertsteuersatzes auf tierische Nahrungsmittel, Verbrauchersteuern auf Produkte mit gesättigten Fettsäuren oder eine Ressourcensteuer auf Futtermittel. Bei einer Preiserhöhung um wenige Prozent besteht die Gefahr, dass der Preisanstieg so gering ist, dass er teilweise durch produktionsseitige Effizienzsteigerungen kompensiert werden könnte. Im Zusammenhang mit der Tierhaltung besteht daher die Gefahr, dass sich unter Umständen die Haltungsbedingungen für die Tiere noch weiter verschlechtern, die Auswirkungen auf die Nachfrage aber minimal sind. Geeigneter ist daher eine Verkettung eines solchen Instruments mit der gleichzeitigen Einführung von strengeren Auflagen zum Tierwohl, die gleichzeitig eine Reduktion der Bestandsdichte und im zweiten Schritt der Tierzahl insgesamt zur Folge hätten. Diese könnten einerseits durch ordnungsrechtliche Beschränkungen der flächenbezogenen Viehdichte erreicht werden. Ein weiterer Ansatzpunkt bildet aber auch die Förderpolitik, beispielsweise für Auflagen für die Aufenthaltsqualität für die Tiere beim Neubau von Ställen, die sich in der Konsequenz auf die regionale Viehdichte auswirken könnte. Denkbar ist weiterhin das Setzen gezielter Anreize zum Bestandsabbau von Nutztieren, beispielsweise durch eine Maßnahme wie etwa die Einführung von „Aussteigerprämien“ für Tierhalter aus der Intensivtierhaltung.

3. LULUCF inklusive Forstwirtschaft

3.1. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor LULUCF

3.1.1. Rahmenannahmen

Im Grundzug entsprechen die Rahmenannahmen im LULUCF-Sektor denen, die in Kapitel 2.1.1 für die Landwirtschaft beschrieben wurden. Der Landwirtschaftssektor und der LULUCF-Sektor stehen über die landwirtschaftliche Fläche in einer engen Beziehung zueinander. Im LULUCF-Sektor werden die Emissionen aus **landwirtschaftlichen Böden** berücksichtigt. Der Landwirtschaftssektor deckt die Emissionen aus der übrigen landwirtschaftlichen Produktion (Tierhaltung, Düngergabe) ab. Dabei werden Emissionen wie Lachgas, die durch Stickstoffdüngung entstehen, der landwirtschaftlichen Produktion und damit dem Landwirtschaftssektor zugeschlagen. Als Abweichung von dieser Logik werden Emissionen aus der Anwendung von Karbonat-haltigem Dünger dem LULUCF-Sektor zugerechnet.

Bei der **Forstwirtschaft** sind die relevanten Größen Baumartenzusammensetzung (mindestens Nadel- & Laubholz) nach Altersklassen, jährliche Zuwachs-, Ernteraten /-mengen nach Baumarten

& Holzsortimenten (Rundholz, Schwachholz, Durchforstungsholz), Umsetzung von Schutzkonzepten (z.B. Schutz von Altbäumen und Totholz, Schutzwald, etc.), Umbau der Waldbestände von Nadel- hin zu Laubwald und die Verwendung des entnommenen Holzes (stofflich, energetisch) bzw. Substitutionseffekte. Ein wichtiger C-Speicher ist zudem der Waldboden.

Bei den **Landnutzungsveränderungen** muss nach Flächentypen (vorher/nachher) differenziert werden und eine langjährige Bilanz erfolgen. Betrachtet werden sollten die Flächentypen aus der Nationalen THG-Berichterstattung. Ebenfalls Änderungen zwischen den Flächentypen als auch die Emissionsfaktoren für die Landnutzungstypen sollten sich auf die Werte der Berichterstattung beziehen.

3.1.2. Entwicklung von LULUCF-Indikatoren (inklusive Forstwirtschaft)

Im LULUCF-Sektor treten THG-Emissionen in Abhängigkeit von der Landnutzung und insbesondere durch die Veränderung der Landnutzung auf. Diese führt zu Veränderungen in der Fläche je Landnutzungskategorie (z.B. Umbruch von Grünland zu Ackerland) sowie zu einer Änderung der Emissionsfaktoren je Flächeneinheit. Im Hinblick auf die Forstwirtschaft resultiert aus forstwirtschaftlichen Nutzungsmustern (Umtriebszeiten, Baumartenzusammensetzung, Schutzflächen, etc.), ob eine Waldfläche als Nettoquelle oder Nettosenke fungiert bzw. welche Emissionsfaktoren Waldflächen zuzuordnen sind. Dabei handelt es sich um ein komplexes Zusammenspiel zahlreicher Faktoren wie dem Baumwachstum, Absterbe- und Zerfallsprozessen, Erntemengen, etc. entlang der Zeitachse.[14] Die Methode zur Ableitung der Flächenänderungs- und Emissionsfaktoren sowie Unsicherheiten zu den Faktoren, die sich insbesondere aus der Heterogenität von Standortbedingungen ergeben, werden ausführlich in UBA (2014b) beschrieben.

Wichtige Indikatoren im LULUCF-Sektor (inklusive forstwirtschaftlicher Flächen) sind die Fläche je Landnutzungskategorie, der zugehörige Emissionsfaktor sowie die THG-Emissionen je Landnutzungskategorie, die sich aus den beiden zuerst genannten Größen errechnet. Übergreifend über die berücksichtigten Szenarien war aber lediglich die Auswertung des Indikators THG-Emissionen je Landnutzungskategorie möglich.

Im LULUCF-Sektor werden im Rahmen der THG-Inventare acht Flächenkategorien unterschieden (siehe Tabelle 3-1), von denen insbesondere Wald, Ackerland und Grünland hohe Flächenanteile aufweisen. Hinzu kommen Aktivitäten und Ereignisse, von denen der Einsatz von Kalkdünger und der Torfabbau zu relevanten THG-Emissionen führen. Für den nachfolgenden Szenarienvergleich war es nötig, diese LULUCF-Kategorien leicht verändert zu gruppieren (siehe Tabelle 3-1). Ebenfalls ist herauszustellen, dass die Szenarien in den drei berücksichtigten Studien im LULUCF-Sektor sich auf unterschiedliche Jahre der THG-Berichterstattung beziehen und damit die Werte der Startjahre sich leicht unterscheiden. In den in 2013 veröffentlichten CRF-Tabellen (UBA 2013a) werden zudem erstmals die Kohlenstoffemissionen und -festlegungen des Waldbodens berechnet. Dies geht in der Studie Klimaschutzszenarien 2050 mit ein, fehlt aber in den Szenarien der beiden älteren Studien. Daher werden Ergebnisse aus Klimaschutzszenarien 2050 mit und ohne der CO_2-Einlagerung im Waldboden dargestellt.

Im Rahmen des LULUCF-Monitoring werden die in Tabelle 3-1 genannten Flächenkategorien zudem differenziert nach mineralischen und organischen Böden sowie nach neu umgewandelten (bis

[14] Substitutionseffekte: Je nach der Nutzung von Holz (energetisch, stofflich, mit/ohne Kaskade) und je nachdem, ob und welche fossilen Ressourcen durch Holz ersetzt werden, können unterschiedliche Substitutionseffekte auftreten. Diese Effekte sind aber nicht dem LULUCF-Sektor sondern vielmehr den Sektoren, in denen die Substitution stattfindet (z.B. Holzheizung in Gebäuden, 2. Generation Biokraftstoffe im Verkehr) zu berücksichtigen. Im Rahmen des Vorhabens sollte die Nutzung von Holz (stofflich als Langzeit- oder Kurzzeitspeicher, energetisch, Kaskadennutzung) und die zu erwartenden Effekte Sektor-übergreifend in einem Workshop diskutiert werden.

20 Jahre; synonym „neu“) und verbliebenen Flächen (älter als 20 Jahre; synonym „alt“). Für jede Flächenkategorie werden im THG-Inventar die Flächen im Berichtsjahr und zugehörige Emissionsfaktoren berechnet. Die Emissionsfaktoren sagen aus, wie viel Treibhausgase je Flächeneinheit einer Flächenkategorie in einem Jahr emittiert werden (z.B. 40,3 t CO_2 ha^{-1} a^{-1} für altes Ackerland auf organischen Böden; vgl. Detaildaten in Tabelle 6-1 im Anhang).

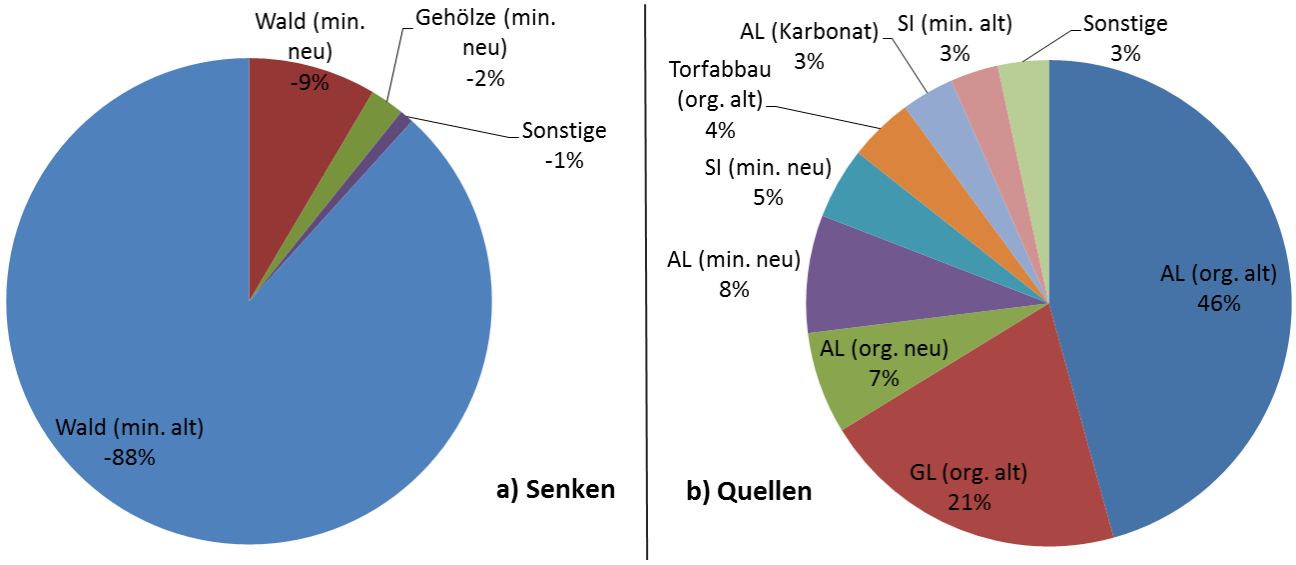
Tabelle 3-1 LULUCF-Kategorien sowie Kategorien für den Szenarienvergleich

CRF-Tabellen		Szenarienvergleich	
LULUCF-Flächenkategorien (Flächenumwandlungen möglich)	**Weitere LULUCF-Aktivitäten/Ereignisse**	**Kategorien für den Szenarienvergleich**	**Übergeordnete Gruppen**
- Wald	- Kalkung im Wald - Feuer	- Wald (ohne Boden min.) - Kalkung Wald - Waldboden (min.)	- Wald
- Grünland (Wiesen, Weiden) - Gehölze (Hecken, Feldgehölze und Strauchbestände)		Grünland+Gehölze	- Landwirtschaft
- Ackerland	- Kalkdünger	- Ackerland - Kalkdünger AL	
- Siedlung		- Siedlung	- Siedlung
- Feuchtgebiete (terrestrisch) - Gewässer	- Entwässerung organischer Böden - Torfabbau	- Feuchtg.+Gew. (ohne Torfabbau) - Torfabbau	- Sonstige
- Sonstiges Land (vegetationslose Flächen wie Felspartien und Eisflächen)		- Sonstige Flächen	

Quelle: eigene Darstellung; CRF = Common Reporting Format (siehe UBA 2014); AL = Ackerland, Feuchtg. = Feuchtgebiete, Gew. = Gewässer.

Im Hinblick auf die Senken ist die Bedeutung der verbliebenen Waldflächen auf mineralischen Böden mit -46,8 Mio. t CO_2-Äq. (88%) gefolgt von neuen Waldflächen (-4,5 Mio. t CO_2-Äq.; 9%) hervorzuheben. Ebenfalls neue Gehölze auf mineralischen Böden fungieren mit -1,2 Mio. t CO_2-Äq. (2%) als Senke (Abbildung 3-1a und Tabelle 6-1).

Abbildung 3-1 Anteilige Verteilung der Senken (a) und Quellen (b) im LULUCF-Sektor



Quelle: eigene Zusammenstellung nach UBA (2014) und detaillierten Daten des Thünen-Instituts. AL = Ackerland; GL = Grünland; Sl = Siedlung; org. = organische Böden; min. = mineralische Böden; alt = alte, verbliebene Flächen (älter 20 Jahre); neu = neue Flächen (bis 20 Jahre).

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Zudem hat sich seit 2015 die Datengrundlage zur Bestimmung von Ackerland und Grünland auf organischen Böden geändert. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Zudem liegt bei den 2015er Berechnungen die Summe der THG-Emissionen auf Ackerland niedriger und auf Grünland höher. Die Aussagen innerhalb eines Flächentyps sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

Als THG-Quelle zeigen im LULUCF-Sektor insbesondere genutzte Flächen auf organischen Böden hohe Emissionswerte: Ackerland (org. alt) mit 22.6 Mio. t CO_2-Äq., Grünland (org. alt) mit 10,2 Mio. t CO_2-Äq., Ackerland (org. neu) mit 3,4 Mio. t CO2-Äq. und Torfabbau mit 2,1 Mio. t CO_2-Äq. In der Summe stellen diese Flächen auf organischen Böden 80% der THG-Emissionen im LULUCF Sektor im Jahr 2012. Als weitere Quellen sind neue Ackerflächen, Karbonatdünger sowie neue und alte Siedlungsflächen hervorzuheben (Abbildung 3-1b und Tabelle 6-1). Dabei ist zudem zu berücksichtigen, dass die neuen Ackerflächen die Flächen beinhalten, die in den letzten 20 Jahren zu Acker umgewandelt wurden. Ausgewählte Detailbetrachtungen zu Flächenänderungen finden sich in Kap. 6.2 im Anhang.

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden drei Studien berücksichtigt, die im Hinblick auf den LULUCF-Sektor in Deutschland dargestellt und für die oben genannten Indikatoren ausgewertete werden (siehe auch **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Klimaschutzszenarien 2050

Im Rahmen des BMU-Vorhabens „Klimaschutzszenarien 2050“ werden in drei Modellierungsrunden die THG-Emissionen der Sektoren der Nationalen Berichterstattung zum Treibhausgasinventar bis zum Jahr 2050 modelliert. Die Ergebnisse der zweiten Modellierungsrunde liegen bereits vor (ÖKO et al. 2015). Dabei werden drei Szenarien berücksichtigt:

- Das Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012) (AMS (2012)): In diesem Szenario werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis Oktober 2012 ergriffen worden sind. Sie werden bis 2050 fortge-

schrieben. Dieses Szenario bildet den Ist-Stand der energie- und klimapolitischen Rahmensetzungen ab.

- Das Klimaschutzszenario 80 (KS 80): In diesem Szenario sollten die im Energiekonzept der Bundesregierung festgelegten Ziele für Treibhausgasemissionen, erneuerbare Energien und Energieeffizienz möglichst erreicht werden, wobei für das Treibhausgasziel der weniger ambitionierte Wert in Ansatz gebracht wird (80% THG-Reduktion).
- Das Klimaschutzszenario 95 (KS 95): In diesem Szenario sollte bis zum Jahr 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 95 % gegenüber 1990 erreicht werden.[15]

Im Rahmen von Klimaschutzszenarien 2050 wurde im LULUCF-Sektor mit Hilfe der *Stocks-Change-Methode* ein Modell entwickelt, das auf den Daten des Treibhausgasinventars basiert (CRF-Tabellen und unveröffentlichte Detaildaten des Thünen-Instituts). In dem Modell werden von einem Jahr zum nächsten über Flächenänderungsfaktoren Übergänge von einer Flächenkategorie zur anderen bestimmt. Zudem werden flächenspezifische THG-Emissionen über Emissionsfaktoren abgebildet. Bei der Modellierung wird nach allen LULUCF-Kategorien inklusive mineralischer und organischer Böden sowie alter und neuer Flächen differenziert (siehe oben). Die Modellierung basiert auf einer Fortschreibung der historischen Daten (Mittelwert der letzten 5 Jahre).

Für Kategorien mit einem hohen Potenzial der THG-Reduzierung (vgl. Werte in Tabelle 6-1 im Anhang) ist in dem Modell implementiert, dass die Flächenänderungs- und Emissionsfaktoren entsprechend der Annahmen in den Szenarien verändert werden können. Maßnahmen beziehen sich vor allem auf den Schutz organischer Böden in der Landwirtschaft. So werden entlang der Zeitachse Acker- und Grünlandflächen auf Moorböden zu terrestrischen Feuchtgebieten, Wäldern oder Gehölzen umgewandelt und andere Flächentypen auf organischen Böden werden nicht zu Acker- oder Grünland. Als weiterer Schutz von Moorböden wird der Torfabbau eingestellt. Zudem wird ein Umbruchverbot von Dauergrünland (Grünland und Gehölze, mineralische und organische Böden) zu Ackerland adressiert. Eine weitere Maßnahme ist die Begrenzung des Flächenverbrauchs für Siedlungen auf 30 ha pro Tag bis zum Jahr 2020 (vgl. Tabelle 6-3 im Anhang).

Diese Maßnahmen werden für die drei Szenarien in unterschiedlicher Intensität umgesetzt. Im Szenario AMS (2012) wird keine dieser Maßnahmen berücksichtigt.[16]. Im Szenario KS 80 werden die landwirtschaftlichen Maßnahmen auf 30% der Fläche angewandt. Im Szenario KS 95 steigt die Umsetzungsrate auf 95% an. Die Maßnahmen zum Flächenverbrauch für Siedlungen und zum Torfabbau werden in den Szenarien KS 80 und KS 95 zu 100% berücksichtigt (siehe Tabelle 6-3).

In der Summe (ohne die Senkenfunktion des Waldbodens) zeigt sich, dass im Szenario AMS (2012) für das Jahr 2030 und 2050 der LULUCF-Sektor als THG-Quelle mit etwa 22 Mio. t CO_2-Äq. zu Buche schlägt (Tabelle 3-2). Durch die getroffenen Maßnahmen in den Szenarien KS 80 und KS 95 reduzieren sich insbesondere für Acker- und Grünland die THG-Emissionen. Dies führt dazu, dass im Szenario KS 80 die THG-Emissionen auf 9,2 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2030 bzw. auf 11,7 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2050 sinken. Im Szenario KS 95 wird der LULUCF-Sektor sogar zu einer Senke von -19,2 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2030 bzw. von -14,9 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2050. Die Abnahme der THG-Emissionen über die Szenarien ist vor allem ein Ergebnis des Schutzes der zuvor landwirtschaftlich genutzten Moorböden und zu einem kleineren Anteil des Umbruchverbots von Dauergrünland (Tabelle 3-2).

[15] Das Szenario KS 95 bezieht sich auf die CRF-Tabellen aus dem Jahr 2013 (2. Modellierungsrunde) und das KS 90 auf die CRF-Tabellen aus dem Jahr 2012. Da sich die CRF-Tabellen dieser beiden Jahre deutlich unterscheiden, wird für den LULUCF-Sektor das Scenario KS 90 nicht dargestellt.

[16] Es ist aber festzuhalten, dass z.B. durch das aktuelle Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung in der dritten Modellierungsrunde des Vorhabens auch im Szenario AMS Maßnahmen zu landwirtschaftlichen Flächen aktiviert werden.

In den Jahren 2030 und 2050 sind die Ergebnisse relativ ähnlich. Das liegt daran, dass die Maßnahmen bereits in 2030 abgeschlossen sind. Für die Waldflächen zeigt sich aber der Effekt, dass sukzessive neue Wald- und Gehölzflächen mit einer hohen CO_2-Bindung nach 20 Jahren zu verbliebenen Wald- und Gehölzflächen mit einer geringeren CO_2-Bindungsrate – vor allem aufgrund von Holzeinschlag – werden. Dies erklärt z.B. die Abnahme der Senkenfunktion im Szenario KS 95 im Jahr 2050 (Tabelle 3-2).

Die Berücksichtigung des Waldbodens als Senke verbessert in allen drei Szenarien die THG-Bilanz im LULUCF-Sektor um ca. 10,5 Mio. t CO_2-Äq. (Tabelle 3-2). Ergebnisse zu Flächenänderungen in den drei Szenarien in Klimaschutzszenarien 2050 finden sich in Kap. 6.3 im Anhang.

Tabelle 3-2 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Klimaschutzszenarien 2050 für den LULUCF-Sektor

Berücksichtigte Kategorien		IST	KSZ - AMS		KSZ - KS 80		KSZ - KS 95	
		2010	2030	2050	2030	2050	2030	2050
		Mio. t CO_2-Äq.						
Wald	Wald (ohne Boden min.)	-23,39	-19,09	-19,14	-20,33	-19,09	-23,01	-18,88
	Kalkung Wald	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	Waldboden (min.)	-9,72	-10,44	-10,45	-10,45	-10,48	-10,45	-10,48
Landwirtschaft	Grünland+Gehölze	8,77	8,48	8,06	5,33	5,48	-1,98	-0,63
	Ackerland	27,03	27,97	28,76	20,59	21,23	3,48	2,76
	Kalkdünger AL	1,64	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Siedlung	Siedlung	2,18	2,51	2,87	2,27	2,26	2,28	0,00
Sonstige	Feuchtg.+Gew. (ohne Torfabbau)	0,08	0,11	0,11	-0,45	0,11	-1,70	0,11
	Torfabbau	2,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sonstige Flächen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	**Total (ohne Waldboden)**	**18,38**	**21,74**	**22,42**	**9,17**	**11,75**	**-19,17**	**-14,88**
	Total (mit Waldboden)	**8,66**	**11,30**	**11,96**	**-1,28**	**1,27**	**-29,62**	**-25,35**

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach ÖKO et al. (2015). IST 2010 nach UBA (2013b). AMS (2012) = Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012); KS 80 = Klimaschutzszenario 80; KS 95 = Klimaschutzszenario 95, min. = mineralisch; Feuchtg. = Feuchtgebiete; Gew. = Gewässer.

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Zudem hat sich seit 2015 die Datengrundlage zur Bestimmung von Ackerland und Grünland auf organischen Böden geändert. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Zudem liegt bei den 2015er Berechnungen die Summe der THG-Emissionen auf Ackerland niedriger und auf Grünland höher. Die Aussagen innerhalb eines Flächentyps sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

Treibhausgas-neutrales Deutschland

Das Umweltbundesamt (UBA) untersucht seit einigen Jahren, wie das Klimaziel „Treibhausgasneutrales Deutschland“ im Jahr 2050 erreicht werden kann. Hierzu wird eine Szenarienanalyse für die Sektoren der Nationalen Berichterstattung zum Treibhausgasinventar durchgeführt, bei der z.T. Modell-gestützt und z.T. durch Experteneinschätzung die Situation im Jahr 2050 berechnet wird. Für den LULUCF-Sektor sind folgende zentrale Annahmen in dem THGND-Szenario getroffen worden:

- Landwirtschaft:
  - Von den ca. 600.000 ha Ackerland auf Moorböden werden 70% (420.000 ha) aus der Nutzung genommen und wiedervernässt bzw. restauriert. Die verbliebenen 30% (180.000 ha) werden zu extensiv bewirtschaftetem Grünland umgewandelt.

  - Die gut 630.000 ha Grünland auf Moorböden werden zu 100% aus der Nutzung genommen und wiedervernäßt bzw. restauriert.
  - Der Umbruch von Grünland wird aufgegeben.
  - Die Verwendung von karbonathaltigem Dünger in der Landwirtschaft liegt in 2050 in der gleichen Größenordnung wie in 2010.
- Forstwirtschaft:
  - Es wird bis 2050 von einer null-Emission der THG-Emissionen im Wald ausgegangen (siehe Details unten). Dabei ist aber noch nicht die Senkenfunktion des mineralischen Waldboden berücksichtigt (vgl. Kap. 0).
- Siedlung:
  - Für den Flächenverbrauch durch Siedlungen wird eine lineare Abnahme von 70 ha/Tag in 2007 auf 30 ha/Tag in 2020 und auf 0 ha/Tag in 2050 angenommen.
- Im Jahr 2050 findet in Deutschland kein Torfabbau mehr statt.

Die Ergebnisse in THGND für das Jahr 2050 sind in UBA (2013a) zusammenfassend dargestellt. Detailanalysen finden sich in Osterburg et al. (2013a; Schwerpunkt Landwirtschaft) und in UBA (2014a; Details zur Forstwirtschaft). In THGND wurden nur für einzelne Aspekte Zeitreihen berechnet, so dass zusammenfassende Ergebnisse lediglich für das Jahr 2050 vorliegen. Zudem wurden keine Flächenbilanzen präsentiert.

Landwirtschaft: Durch den Schutz von Moorböden (Acker- und Grünland) durch Wiedervernässung bzw. Restauration oder extensive Grünlandnutzung und – mit einem kleineren THG-Effekt – durch die Aufgabe des Umbruchs von Grünlandflächen zu Ackerland wurden die THG-Emissionen auf landwirtschaftlichen Flächen von 35,5 Mio. t CO_2-Äq. in 2010 auf 4,0 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2050 im Szenario THGND reduziert. Dies entspricht bei der Annahme einer linearen Umsetzung der Maßnahmen eine Reduktion auf ca. 20,0 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2030. Emissionen durch den Einsatz Karbonat-haltigen Düngers bleiben über den Zeitraum mit 1,5 Mio. t CO_2-Äq. konstant, so dass sich für landwirtschaftliche Flächen eine Emissionen von 5,5 Mio. t CO_2-Äq. im Jahr 2050 ergibt (Tabelle 3-3). Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung ist festzuhalten, dass die Grünlanderhaltung eine Fortführung der Landwirtschaft, vor allem über die Nutzung durch Wiederkäuerhaltung, erlaubt. Die Vernässung bzw. Restauration von Moorböden bedeutet aber einen vollständigen oder zumindest sehr weitgehenden Rückzug der landwirtschaftlichen Produktion von diesen Flächen.

Tabelle 3-3 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Treibhausgas-neutrales Deutschland (THGND) für den LULUCF-Sektor

Berücksichtigte Kategorien		IST	THGND	
		2010	2030*	2050
		Mio. t CO_2-Äq.		
Wald	Wald (ohne Boden min.)	-25,06	-12,50	0,00
	Kalkung Wald	0,06		
	Waldboden (min.)	--	--	--
Landwirt-	Grünland+Gehölze	9,05	20,00	4,00
	Ackerland	26,63		
	Kalkdünger AL	1,64	1,50	1,50
Siedlung	Siedlung	2,55	2,50	2,50
Sonstige	Feuchtg.+Gew. (ohne Torfabbau)	0,16	0,08	0,00
	Torfabbau	2,00	1,00	0,00
	Sonstige Fächen	0,00	0,00	0,00
Total	**Total (ohne Waldboden)**	**17,03**	**12,58**	**8,00**
	Total (mit Waldboden)	**--**	**--**	**--**

* Werte durch lineare Extrapolaton zwischen 2010 und 2050 ermittelt.

Eigenen Darstellung nach UBA (2013a, 2014a) und Osterburg et al. (2013a). IST 2010 nach UBA (2012). THGND = Treibhausgas-neutrales Deutschland.

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Zudem hat sich seit 2015 die Datengrundlage zur Bestimmung von Ackerland und Grünland auf organischen Böden geändert. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Zudem liegt bei den 2015er Berechnungen die Summe der THG-Emissionen auf Ackerland niedriger und auf Grünland höher. Die Aussagen innerhalb eines Flächentyps sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

Forstwirtschaft: Die Auswertung und Interpretation von drei forstwirtschaftlichen Szenarien (Modells WEHAM: (i) Business-as-usual; (ii) 20 % längere Umtriebszeit; (iii) kürzere Umtriebszeit) ergab, dass – unabhängig von den Szenarien – im Jahr 2050 mit einer Null-Emission für die Waldflächen gerechnet werden kann. Mögliche Substitutionseffekte sind in der Betrachtung nicht berücksichtigt, es wird aber angenommen, dass diese Effekte im Zeitverlauf immer kleiner werden, da immer weniger fossile Rohstoffe eingesetzt werden (UBA 2014a).

Des Weiteren wird unterstrichen, dass bei einer nachhaltigen Waldwirtschaft eine Vielzahl von ökologischen, ökonomischen und sozialen Parametern optimiert werden müssen und eine alleinige Ausrichtung auf einen Parameter z. B. ein hoher Kohlenstoffspeicher der Nachhaltigkeit widerspricht (UBA 2014a).

Modell Deutschland

Die Studie Modell Deutschland (WWF 2009) modelliert für alle Sektoren der Nationalen Berichterstattung zum Treibhausgasinventar die THG-Entwicklung bis zum Jahr 2050. Dabei werden zwei Szenarien, das Referenzszenario (*business as usual*) und das Innovationsszenario berücksichtigt. Für den LULUCF-Sektor wurden in Modell Deutschland vier Hauptquellen sowie eine Hauptsenke identifiziert:

- Quelle im LULUCF-Sektor: (i) Ackerbauliche Nutzung von Mooren (42% der Emissionen aus Quellen im LULUCF-Sektor in 2005); (ii) Entwässerung von organischen Grünlandböden (23%); (iii) Entwaldung zur Siedlungsflächengewinnung (20%); (iv) Grünlandumbruch zur Ackerlandgewinnung (11%)

- Senke im LULUCF-Sektor: (i) Einbindung in die Waldbiomasse

In den Szenarien werden die Emissionen ab dem Jahr 2007 für alle Untergruppen fortgeschrieben. Für die genannten Hauptquellen und -senken werden in den Szenarien Änderungen angenommen. Im Referenzszenario werden die Emissionen für die landwirtschaftlichen Flächen wie im Jahr 2007 fortgeschrieben. Die Senkenfunktion des Waldes wird aber reduziert, da mit einer verstärkten Holznutzung gerechnet und eine Änderung in der Baumartenzusammensetzung und der Struktur der Baumaltersklassen angenommen wird. Im Innovationsszenario wird zudem eine leichte Erhöhung der Nachfrage nach Holz angenommen. Für die vier Hauptquellen im LULUCF-Sektor wird angenommen, dass bereits bis 2020 ein signifikanter Anteil an Moorböden (Acker- und Grünland) geschützt werden und dieser Schutz bis 2050 100% erreicht. Der Umbruch von Dauergrünland wird um 33% reduziert und für die Erschließung von Siedlungsflächen weitestgehend auf die Nutzung von Wald verzichtet.

Die Annahmen im Referenzszenario führen zu einer deutlichen Erhöhung der THG-Emissionen im LULUCF-Sektor von 38,0 Mio. t CO_2-Äq. auf 59,3 Mio. t CO_2-Äq., vor allem durch die angenommene Abnahme der Senkenfunktion der Waldflächen (vgl. Tabelle 3-4).

Im Innovationsszenario reduziert sich zwar auch die Senkenfunktion der Wälder, dies wird aber durch eine starke Reduktion der THG-Emissionen auf landwirtschaftlichen Flächen überkompensiert. In der Summe sinken im Innovationsszenario die THG-Emissionen von 38,0 Mio. t CO_2-Äq. auf ca. 12,7 Mio. t CO_2-Äq. (vgl. Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Modell Deutschland (MD) für den LULUCF-Sektor

Berücksichtigte Kategorien		2005	MD - Ref 2030	MD - Ref 2050	MD - Inno 2030	MD - Inno 2050
		Mio. t CO_2-Äq.				
Wald	Wald (ohne Boden min.)	-18,20	-3,30	-3,30	0,10	1,50
	Kalkung Wald					
	Waldboden (min.)	--	--	--	--	--
Landwirtschaft	Grünland+Gehölze	12,90	12,80	12,80	0,40	0,00
	Ackerland	29,40	28,30	28,30	0,80	0,00
	Kalkdünger AL					
Siedlung	Siedlung (Entwaldung)	2,20	11,70	11,70	1,50	1,50
Sonstige	Feuchtg.+Gew. (ohne Torfabbau)	11,70	9,80	9,80	9,80	9,80
	Torfabbau					
	Sonstige Flächen					
Total	**Total (ohne Waldboden)**	**38,00**	**59,30**	**59,30**	**12,60**	**12,80**
	Total (mit Waldboden)	**--**	**--**	**--**	**--**	**--**

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach WWF (2009). AMS (2012) = Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012); KS 80 = Klimaschutzszenario 80; KS 95 = Klimaschutzszenario 95, min. = mineralisch; Feuchtg. = Feuchtgebiete; Gew. = Gewässer.

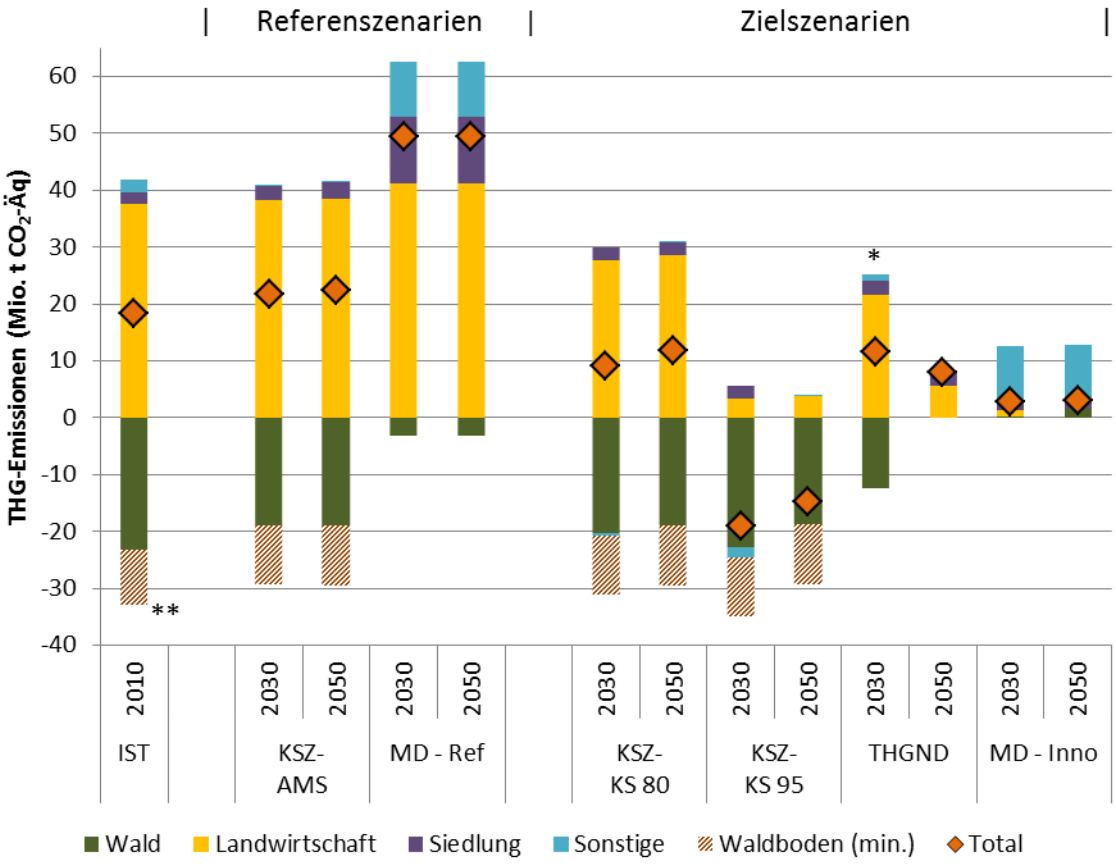
Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Zudem hat sich seit 2015 die Datengrundlage zur Bestimmung von Ackerland und Grünland auf organischen Böden geändert. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Zudem liegt bei den 2015er Berechnungen die Summe der THG-Emissionen auf Ackerland niedriger und auf Grünland höher. Die Aussagen innerhalb eines Flächentyps sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

3.1.3. Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien im LULUCF-Sektor

Im Vergleich der Szenarien zeigt sich ein deutlicher Unterschied in Hinblick auf die zukünftige Senkenfunktion des Waldes. In dem THGND-Zielszenario und in den Referenz- und Zielszenarien in Modell Deutschland wird erwartet, dass die Senkenfunktion des Waldes deutlich abnimmt. In der Studie Klimaschutzszenarien 2050 (KSZ-AMS, KSZ-KS 80, KSZ-KS 95) wird in den Referenz- und Zielszenarien hingegen angenommen, dass der Wald auch zukünftig eine deutliche Senke darstellt (Abbildung 3-2). Zur Senkenfunktion der Wälder in Deutschland besteht vor dem Hintergrund neuer Daten der Bundeswaldinventur 3 und neuen politischen Entwicklungen (z.B. Alt- und Totholzkonzepte sowie FSC-Zertifizierung von Staatsforst in einigen Bundesländern) weiterer Forschungsbedarf.

Im Bereich der landwirtschaftlichen Flächen sind die Ergebnisse der Szenarien der drei berücksichtigten Studien als konsistent einzustufen. Je nachdem, wie stark der Schutz von Moorböden und ein Umbruchverbot für Grünland angenommen werden, reduzieren sich die THG-Emissionen mehr oder weniger stark (Abbildung 3-2). Die konsequente Umsetzung dieses Schutzes in den Szenarien KSZ-KS 95, THGND und MD-Inno führt zu einer deutlichen Reduktion der landwirtschaftlichen Fläche, die lokal (z.B. in Landkreisen in Niedersachsen mit hohen Anteilen an Moorböden) mit sehr deutlichen Veränderungen der landwirtschaftlichen Struktur einhergehen würden.

Abbildung 3-2 Szenarienvergleich für 2030 und 2050



Quelle: Eigene Zusammenstellung nach WWF (2009), UBA (2013a) und ÖKO et al. (2015). IST 2010 nach UBA (2013b). KSZ = Klimaschutzszenarien 2050; AMS (2012) = Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012); KS 80 = Klimaschutzszenario 80; KS 95 = Klimaschutzszenario 95; THGND = Treibhausgas-neutrales Deutschland; MD-Ref = Referenzszenario in Modell Deutschland; MD-Inno = Innovationsszenario in Modell Deutschland; min. = mineralisch.
*Werte wurden durch lineare Fortschreibung ermittelt.
**Waldböden auf mineralischen Böden wurden nur in der Studie Klimaschutzszenarien 2050 (ÖKO et al. 2015) berücksichtigt.

Bei der Berechnung der Werte für die Summe der Emissionen im LULUCF-Sektor (Total) wurde diese Senke nicht berücksichtigt.

Diese Aussagen basieren auf Rechnungen, die noch mit höheren Emissionsfaktoren erstellt wurden. Zudem hat sich seit 2015 die Datengrundlage zur Bestimmung von Ackerland und Grünland auf organischen Böden geändert. Rechnungen die seit 2015 erstellt wurden weisen daher geringere Emissionen aus, sowohl in Bezug auf die geleisteten Treibhausgasreduktionen seit 1990 als auch in Bezug auf den Korridor für zukünftig angestrebte Emissionsminderungen. Zudem liegt bei den 2015er Berechnungen die Summe der THG-Emissionen auf Ackerland niedriger und auf Grünland höher. Die Aussagen innerhalb eines Flächentyps sind aber in der Relation weiterhin alle richtig.

In Hinblick auf THG-Emissionen von Siedlungsflächen ist festzuhalten, dass im Szenario MD-Ref mit sehr hohen Umwandlungsanteilen von Wald hin zu Siedlung sowie hohe Emissionen in den übrigen LULUCF-Kategorien gerechnet wurde (Abbildung 3-2). Dies ist durch die ältere Datenquelle in Modell Deutschland bedingt und diese hohen Emissionen tauchen mit Bezug auf neuere Daten bereits im IST-Zustand in 2010 nicht mehr auf.

Um eine ausgeglichene Flächenbilanz sicherzustellen, wird in den Szenarien KSZ-KS 80, KSZ-KS 95 und THGND eine Reduktion des Flächenverbrauchs für Siedlungsflächen (z.B. Reduktion auf 30 ha pro Tag in 2020) angenommen. Die Flächenbilanz im Projekt Klimaschutzszenarien 2050 (Abbildung 6-1) zeigt eindrücklich, dass ohne diese Flächenbegrenzung die Siedlungsflächen sehr stark zunehmen und vor allem Grünland sehr stark abnehmen würde. Allerdings wird auch deutlich, dass die Flächenbegrenzung einen relativ geringen Einfluss auf die THG-Emissionen hat, da die Flächenumwandlungen hin zu Siedlungen oft mit nur relativ niedrigen THG-Emissionen verbunden sind.

Grundsätzlich ist jede Maßnahme, die verlässlich zu einer Erhöhung der Senken- oder zu einer Verringerung der Quellenfunktion einer Landfläche führt, als robuste Strategie zur Reduktion der THG-Emissionen im LULUCF-Sektor anzusehen. Die analysierten Studien berücksichtigen aber vorrangig die LULUCF-Kategorien, die als große THG-Quelle oder -Senke auftreten, was aus Modellierungssicht sinnvoll ist. Auf der Ebene der Umsetzung sollten aber zudem Maßnahmen mit kleinen THG-Reduktionseffekten berücksichtigt werden, insbesondere dann, wenn sie ohne hohe Kosten und politisch wie technisch einfach umgesetzt werden können.

Auf Basis der analysierten Szenarien lassen sich drei robuste Strategien ableiten, die zu einer signifikanten Reduktion der THG-Emissionen im LULUCF-Sektor beitragen können:

1. **Erhalt von Moorböden (organische Böden):** Wiedervernässung bzw. Restauration von Moorböden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen oder deren Umwandlung zu Wald- oder Gehölzflächen sowie die Verhindern einer Umwandlung von Moorböden anderer Flächenkategorien zu Acker- oder Grünland und der Ausstieg aus dem Torfabbau
2. **Erhalt und Extensivierung von Dauergrünland:** Durch ein Umbruchverbot wird die Umwandlung von Grünland auf mineralischen und insbesondere auf organischen Böden zu Ackerland unterbunden.
3. **Reduktion des Flächenverbrauchs durch Siedlungen:** Deckelung des Flächenverbrauchs für Siedlungen auf 30 ha pro Tag in 2020 und ggf. eine weitere Reduktion bis 2050 als Voraussetzung für ein erfolgreiches Flächenmanagement.

Insbesondere der Strategie zum Schutze des Kohlenstoffspeichers in Moorböden (Acker- und Grünland, Torfabbau) kommt eine hohe Bedeutung im LULUCF-Sektor zu. Zudem spielt die Strategie zum Erhalt von Dauergrünland (auf mineralischen und organischen Böden) eine Rolle. Als weitere robuste Strategie ist die Reduktion des Flächenverbrauchs für Siedlungen zu nennen, die zwar nicht direkt zu hohen THG-Reduktionen führt, aber eine wichtige Voraussetzung für ein nachhaltiges Flächenmanagement zur Umsetzung der anderen Strategien ist.

3.2. Ableitung transformativer Pfade im LULUCF-Sektor

Im LULUCF-Sektor stellen der Schutz und die Erweiterung von Kohlenstoffspeicher die robuste Strategie dar. Beispielsweise unterstreicht das Umweltbundesamt die Bedeutung des Schutzes der Kohlenstoffspeicher im LULUCF-Sektor, da Speicher immer eine potentielle Emissionsquelle sind (UBA 2014a). Aufbauend auf den drei identifizierten robusten Strategien zur Reduktion der THG-Emissionen im LULUCF-Sektor (siehe Kapitel 3.1.3) können acht transformative Pfade spezifiziert werden, die zur Umsetzung bzw. Flankierung der robusten Strategie im LULUCF-Sektor nötig sind (Tabelle 3-5).

Das THG-Reduktionspotenzial der transformativen Pfade wird in Tabelle 3-5 je Flächeneinheit und in der Summe für Deutschland bewertet. Beispielsweise hat ein Umbruchverbot von Dauergrünland auf organischen Böden ein sehr hohes Reduktionspotenzial je Flächeneinheit. In Deutschland befinden sich gut 630.000 ha Grünland auf organischen Böden, von den aber aktuell nur ca. 70 ha pro Jahr umgebrochen werden (20 Jahres-Zeitraum: ca. 1.400 ha), so dass das THG-Reduktionspotenzial als mittel einzustufen ist. Ein besonders hohes THG-Reduktionspotenzial kommt der Einstellung der Ackernutzung auf organischen Böden zu, da durch den Erhalt der Kohlenstoffspeicher in Moorböden mit einer THG-Reduktion von ca. 40 t CO_2-Aq. pro ha und Jahr gerechnet werden und diese Emissionen auf gut 600.000 ha Ackerfläche auf organischen Böden wirksam werden (vgl. Tabelle 6-1). Ein Vergleich zu flächenbezogenen Reduktionspotenzialen im Zusammenhang mit der Bioenergienutzung unterstreicht die Bedeutung dieses transformativen Pfads: Bioenergie vom Acker (inklusive Konversion und Nutzung) führt zu einer THG-Reduktion von 4 bis 23 t CO_2-Äq. je ha und Jahr. Dies zeigt die hohe Effizienz des Schutzes von Moorböden zum Erreichen von Klimaschutzzielen in Deutschland.

Tabelle 3-5 Transformative Pfade zur THG-Reduktion im LULUCF-Sektor in Deutschland

Transformativer Pfad	THG-Reduktion		Nebeneffekte
	je Flächeneinheit	Summe in Deutschland	
1. Ackernutzung auf organischen Böden (Moorböden) wird eingestellt. Die Flächen werden wiedervernässt bzw. restauriert oder zu Wald, Gehölz oder extensivem Grünland umgewandelt.	sehr hoch	sehr hoch	- Abnahme landwirtschaftlicher Fläche - positive Auswirkung für den Naturschutz
2. Grünlandnutzung auf organischen Böden (Moorböden) wird eingestellt. Die Flächen werden wiedervernässt bzw. restauriert oder ggf. zu Wald oder Gehölz umgewandelt.	hoch	hoch	- Abnahme landwirtschaftlicher Fläche - positive Auswirkung für den Naturschutz
3. Umbruchverbot von Dauergrünland auf organischen Böden zu Ackerland	sehr hoch	mittel	- positive Auswirkung für den Naturschutz
4. Umbruchverbot von Dauergrünland auf mineralischen Böden zu Ackerland	mittel	mittel	- positive Auswirkung für den Naturschutz
5. Einstellen des Torfabbaus	sehr hoch	mittel	- positive Auswirkung für den Naturschutz
6. Andere Flächen auf organischen Böden werden nicht zu Ackerland	sehr hoch	mittel	- positive Auswirkung für den Naturschutz
7. Andere Flächen auf organischen Böden werden nicht zu Grünland	hoch	mittel	- positive Auswirkung für den Naturschutz
8. Reduktion des Flächenverbrauchs für Siedlungen (30 ha pro Tag in 2020)	niedrig	hoch	- Vorraussetzung für ein nachhaltiges Flächenmanagement

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

In Hinblick auf die Forstwirtschaft ist es aus Sicht des LULUCF-Sektors sinnvoll, die Senkenfunktion der Waldflächen zu erhalten. Gleichzeitig kann aber auch eine erhöhte Nutzung der Wälder mit einhergehender Reduktion der Senkenfunktion oder sogar eine Reduktion des Holzvorrates (C-Stock) mittelfristig sinnvoll sein, wenn durch die Nutzung der Holzprodukte in anderen Sektoren deutlich höhere THG-Reduktionen erreicht werden können. An dieser Stelle besteht aber noch Forschungsbedarf nicht nur in Hinblick auf die netto THG Bilanz. Es sind vor allem auch potenziell negative Effekte für die Biodiversität und Umweltschutzaspekte zu berücksichtigen. In der Summe ist diese Option deshalb als weniger robust zu bezeichnen, so dass für die Waldflächen keine Strategie in Tabelle 3-5 aufgenommen wurde.

Der Transformationsbedarf in diesen transformativen Pfaden wird in Kapitel 3.3 beschrieben und diskutiert.

3.3. Transformationsbedarf bis zum Jahr 2030 im LULUCF-

3.3.1. Erhalt von Moorböden

Im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung setzt sich die Bundesregierung dafür ein, bis 2050 die Emissionen aus Moorböden zwischen 1,5 bis 3,4 Mio. t CO -Äq. pro Jahr zu reduzieren. Dies entspräche einer neuen Wiedervernässung von ca. 5% der landwirtschaftlich genutzten Moorböden.

Der Erhalt von Moorböden erfordert in den meisten Fällen, dass eine aktuelle landwirtschaftliche Nutzung aufgegeben wird. Insbesondere bei der Ackernutzung wird durch die Bodenbearbeitung die Zersetzung der organischen Substanz stark angeregt, aber auch im Grünland findet eine Zersetzung der organischen Substanz aufgrund der trockenen Bodenbedingungen und der Nutzung statt. Als effektive Maßnahme für den Erhalt von Moorböden kann die Wiedervernässung bzw. Restauration von Moorböden gesehen werden, was aber hydrologische Bedingungen voraussetzt, die ein Anheben des Grundwasserspiegels zulassen. Dies kann z.B. aufgrund der räumlichen Situation nicht oder nur zu hohen Kosten möglich sein. In diesen Fällen erscheint eine Umwandlung der Flächen zu Wald oder Gehölze sinnvoll, da neue Flächen dieser Kategorien ebenfalls niedrige THG-Emissionen zeigen. Welche neue Flächennutzung an einem Standort sinnvoll ist, kann sich zwischen Ackerland und Grünland unterscheiden und muss im Einzelfall entschieden werden. Dabei sind naturschutzfachliche Zielsetzungen bei der Entscheidung zu berücksichtigen. Ggf. ist auch eine Nutzung stark vernässter Moorflächen als Paludikultur zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe möglich. Durch diese Nutzung sinkt aber die THG-Reduktionen sowie deren naturschutzfachlicher Wert im Vergleich zu ungenutzten Flächen (Röder et al. 2013).

Landwirtschaftlich genutzte Moorböden sind in Deutschland vor allem in Norddeutschland und mit kleineren Flächenanteilen auch in Süddeutschland zu finden (vgl. Drösler et al. 2013). Dies bedeutet, dass in den Regionen mit einem hohen Anteil an Moorböden die landwirtschaftliche Nutzung durch den Schutz der Moorböden stark eingeschränkt wird. Die Nutzung der Moorböden kann aktuell für Landwirte – je nach Anteil an ihrer Betriebsfläche – die Existenzgrundlage ihrer Betriebe darstellen. So sind z.B. getätigte Investitionen inklusive solche in die Betriebsinfrastruktur (z.B. Tierställe, Maschinen, Biogasanlage) an die Biomasseproduktion auf den Moorböden gekoppelt. Es ist daher notwendig, für betroffene Landwirte Konzepte zu entwickeln, die einen verträglichen Ausstieg aus der Nutzung von Moorböden ermöglichen. Folgende bestehende Instrumente können nach Osterburg et al. (2013b) Flächenumwandlung zum Schutz von Moorböden unterstützen:

- Förderprogramm zur Wiedervernässung von Mooren im Rahmen von Flurneuordnung, Agrar-Umwelt-Klima-Maßnahmen und investive Förderung. Da die Moorflächen zwischen den Bundesländern ungleich verteilt sind, kann eine Ko-Finanzierung des Bundes z. B. über die „Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" (GAK) möglich sein.
- Förderung von Aufforstung (z.B. über den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER), Neuanlage von Mischwäldern über den Waldklimafonds
- Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme zur Kompensation der Umweltwirkungen

Die Kosten für die Wiedervernässung von Moorflächen werden in der Zusammenstellung in Osterburg et al. (2013b) auf 2 bis 42 EUR/t CO_2-Äq. geschätzt. Werte von 70 EUR/t CO_2-Äq. werden nur in Ausnahmefällen überschritten und es können Extremwerte von 135 EUR/t CO_2-Äq. erreicht werden. Eine Gegenfinanzierung dieser Kosten muss gewährleistet sein.

Je nach Standortbedingungen und aktueller Nutzung können die THG-Emissionen auf landwirtschaftlich genutzten Moorböden vom deutschlandweiten Mittelwert, der in den CRF-Tabellen berichtet wird (vgl. Tabelle 6-1), abweichen. Eine differenzierte Erfassung bzw. Einschätzung der THG-Emissionen je Moorfläche ist eine wichtige Grundlage im für Planungsprozess zum Moorschutz.

In den Szenarien KSZ-KS 95 und THGND wird angenommen, dass in einer Größenordnung von 17.000 ha bis 36.000 ha Ackerland und von 18.000 ha bis 37.000 ha Grünland jedes Jahr aus der Nutzung genommen würden. Dies sind erhebliche Flächen, aber sie lassen auch einen Spielraum, um mit den Flächen zu beginnen, die hohe THG-Einsparpotenziale zeigen, die sich in einer günstigen naturräumlichen Lage befinden, die niedrige Kosten pro t CO_2-Äq. aufweisen und die sich in einer Betriebsstruktur befinden, in der die Aufgabe der Nutzung verkraftbar erschein (z.B. kleiner Anteil an der Gesamtfläche des Betriebs, anstehende Zusammenlegung von Höfen). Dies zeigt, dass Umsetzung des transformativen Pfads „Erhalt von Moorböden“ einen komplexen Planungsprozess und eine gute lokale Datengrundlage erfordert. In diesen Planungsprozess sollte zudem berücksichtigt werden, dass Flächen aus anderen LULUCF-Kategorien nicht in Acker- oder Grünland umgewandelt werden.

Neben dem beschriebenen Transformationsbedarf in der Landwirtschaft ist es zudem erforderlich, Moorflächen nicht weiter abzubauen. In Deutschland werden laut CRF-Tabellen (UBA 2014b) knapp 20.000 ha Moorfläche für den Torfabbau genutzt. Diese Fläche reicht aber nicht aus, um den deutschen Torfbedarf zu decken. Ein Großteil des in Deutschland genutzten Torfs stammt heute aus dem Ausland (Osteuropa, Russland). Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, den Torfabbau in Deutschland per Gesetz zu verbieten. Solange aber die Nachfrage in Deutschland gleich hoch bleibt, führt dies lediglich dazu, dass mehr Torf aus dem Ausland importiert wird. Aus diesem Grund sollte neben dem Torfabbauverbot zudem die Reduktion des Torfverbrauchs in Deutschland adressiert werden. Hierzu schlagen Osterburg et al. (2013b) z.B. ein Verbot des Einsatzes von Torferden im Hobbygartenbau (50% Reduktion im Erwerbsbau), ein Programm zur Erforschung von Torfersatzstoffen, den Verzicht von Torferden bei öffentliche Aufträge im Garten- und Landschaftsbau sowie Beratungs- und Informationsmaßnahmen zur Thema Torfeinsatz im Gartenbau vor.

3.3.2. Erhalt und Extensivierung von Dauergrünland

Der Erhalt von Dauergrünland hat nicht nur eine Bedeutung für den Klimaschutz sondern auch für den Erhalt der biologischen Vielfalt. Im Rahmen der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik wurde

der Erhalt von Dauergrünland zum Bestandteil der Greening-Anforderungen gemacht. Deutschland hat dies mit dem Direktzahlungen-Durchführungsgesetz national umgesetzt. Die neuen Regelungen sind seit Januar 2015 in Kraft getreten. Im Falle einer strikten Umsetzung der neuen Regelungen kann sich der Grünlandumbruch in Deutschland bereits reduzieren. Die nationale Umsetzung und Wirksamkeit der Greening-Anforderung zum Schutz von Dauergrünland kann aber erst in den nächsten Jahren bewertet werden.

Im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung setzt sich die Bundesregierung dafür ein, gemeinsam mit den Ländern die Erhaltung von Dauergrünland durch Umsetzung der Beschlüsse der Gemeinsamen Agrarpolitik- und durch Schwerpunktsetzung bei der Ausgestaltung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen auf Länderebene zu fördern. Die angenommene THG-Reduktion im Jahr 2020 von 1 bis 2 Mio. t CO_2-Äq. entspricht einer sehr deutlichen Reduktion des Grünlandumbruchs.

Auf Ebene der Bundesländer kann über eine entsprechende Verordnung ein Umbruchverbot von Dauergrünland ausgesprochen werden. Dies ist z.B. in Nordrhein-Westfalen[17] und Mecklenburg-Vorpommern[18] bereits der Fall, wo der Grünlandumbruch EU-rechtliche Grenzwerte (fast) erreicht hatte. Dieser Ansatz ist als sehr effektiv einzustufen und sollte vorrangig zur Umsetzung des transformativen Pfads zum Erhalt und Extensivierung von Dauergrünland vorangetrieben werden.

3.3.3. Reduktion des Flächenverbrauchs durch Siedlungen

Die Reduktion der Flächeninanspruchnahme für Siedlungen steht in einem komplexen rechtlichen Umfeld des Baugesetzes und des Raumplanungsrechts auf Bundes-, Länder- und kommunaler Ebene. Laut Brandt et al. (2003) kann aber der Bundesgesetzgeber Maßnahmen zur Reduzierung des Flächenverbrauchs trotz der Garantie der kommunalen Selbstverwaltung vorgeben. Wichtige Ansätze können von Konzepten zu Flächenkontingenten und einem Handel mit diesen Kontingenten bis hin zu strikten ordnungsrechtlichen Maßnahmen (z.B. Mindestflächen, die von Bebauung freizuhalten sind) reichen.

4. Zusammenfassung der transformativen Pfade für die Sektoren Landwirtschaft und LULUCF

Für den **Landwirtschaftssektor** sind die beiden wichtigsten Transformationspfade die „Optimierung der Stickstoffdüngung und Anbausysteme“ und die „Optimierung der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern“. Beide zielen auf eine Reduktion des flächenbezogenen N-Überschuss ab. Einer der wichtigsten Meilensteine zur Umsetzung stellt hier der gesetzliche Rahmen dar, insbesondere eine ambitionierte Novelle der Düngeverordnung.

Ein weiterer wichtiger Tranformationspfad ist die „Reduktion der Tierbestände“. Hierin liegt ein großes Potenzial, auch wenn dieser Pfad von Unsicherheiten geprägt ist. Diese Unsicherheiten liegen in der engen Verflechtung mit der Verbrauchernachfrage nach tierischen Lebensmitteln: Wenn die Nachfrage in Deutschland nach tierischen Lebensmitteln unverändert hoch bleibt, würde ein kleinerer Nutztierbestand zu verstärkten Importen führen, die Umweltlasten wären ins Ausland ausgelagert. Sollte also in diesem Bereich eine Transformation angestrebt werden, muss dieser

[17] Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland (Dauergrünlanderhaltungsverordnung -DGL-VO NRW): https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_vbl_detail_text?anw_nr=6&vd_id=12575&ver=8&val=12575&sg=&menu=1&vd_back=N

[18] Gesetz zur Erhaltung von Dauergrünland im Land Mecklenburg-Vorpommern (Dauergrünlanderhaltungsgesetz - DGErhG M-V): http://www.landesrecht-mv.de/jportal/portal/page/bsmvprod.psml?showdoccase=1&doc.id=jlr-DGr%C3%BCnErhGMVrahmen&doc.part=X&doc.origin=bs

einerseits mit gesetzlich verankerten verbesserten Standards für die Haltungsbedingungen der Tiere einhergehen und andererseits mit der Reduktion der Nachfrage nach tierischen Produkten. Veränderte Haltungsbedingungen wirken sich auf den Preis aus und sind damit indirekt auch eine preissteuernde Maßnahme. Um Änderungen im Verbraucherverhalten zu erreichen, ist ein langer Vorlauf zu bedenken. Entsprechend früh müssten also Maßnahmen eingeleitet werden. Dies gilt gleichermaßen für die Produktionsseite: Veränderungen in der Betriebsstruktur sind oft nur bei Hofübergaben möglich. Und da weiterhin viele Betriebe als Familienbetriebe geführt werden, lohnen sich hohe Investitionen hier oft nur, wenn die Hofnachfolge gesichert ist.

Im **LULUCF-Sektor** ist als wichtigste robuste Strategie der „Erhalt von Moorböden (organische Böden)“ herauszustellen, die sich in mehrere transformativen Pfaden widerspielgelt. In Hinblick auf den Transformationsbedarf wurde identifiziert, dass ein umfassender Planungsprozess zur kontinuierlichen Reduktion von Treibhausgasen vorhandenen Moorböden ins Leben gerufen werden muss. Dabei sollte ein Hauptaugenmerk auf der Umwandlung von landwirtschaftlich genutzten Moorböden zu terrestrischen Feuchtgebieten, Wäldern oder Gehölzen liegen. Der Planungsprozess muss dabei neben einer effektiven THG-Reduktion insbesondere auch Aspekte des Naturschutzes sowie Kosten und eine sozial bzw. wirtschaftlich verträgliche Umsetzbarkeit berücksichtigen.

Die robuste Strategie „Erhalt und Extensivierung von Dauergrünland“ sollte auf Ebene der Bundesländer die Möglichkeit eines Grünlandumbruchverbots diskutiert werden. Die „Reduktion des Flächenverbrauchs durch Siedlungen“ als dritte robuste Strategie verlangt ein umfassendes und restriktives Management von neuen Siedlungsflächen sowie die Entwicklung und Implementierung effektiver Umsetzungsmethoden.

5. Literaturverzeichnis

Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.

Brandt, E., Sanden, J., Lübbert, M. (2003): Verfassungsrechtliche Zulässigkeit neuer übergreifender Rechtsinstrumente zur Begrenzung des Flächenverbrauchs. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Bundesregierung 2015. Projektionsbericht der Bundesregierung 2015.

Drösler, M., Adelmann, W., Augustin, J., Bergman, L., Beyer, C., Chojnicki, B., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Görlitz, S., Höper, H., Kantelhardt, J., Liebersbach, H., Hahn-Schöfl, M., Minke, M., Petschow, U., Pfadenhauer, J., Schaller, L., Schägner, P., Sommer, M., Thuille, A., Wehrhan, M. (2013): Klimaschutz durch Moorschutz. Schlussbericht des BMBF-Vorhabens: Klimaschutz - Moornutzungsstrategien 2006-2010. Freisingen. http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/735500762.pdf.

EU-KOM (European Kommission) (2015): Nitratbelastung im Grundwasser: Kommission fordert Deutschland zum Handeln auf. Pressemitteilung vom 10.07.2014. Download unter (11.11.2015): http://ec.europa.eu/deutschland/press/pr_releases/12542_de.htm

IÖW (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH) (2008): Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. Diskussionspapier des IÖW 66/06 Schriftenreihe des IÖW 186/08. Studie im Auftrag von foodwatch e.V. Gefördert durch Deutsche Wildtier Stiftung, Karl-Ludwig Schweisfurth klef - Karl Linder Education Foundation. Berlin.

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.) (2009): Fachartikel Forschungsbedarf zum Themenkomplex Klimawandel und Ökolandbau – Situation, Anpassungsstrategien. Erstellt im Rahmen eines Fachgespräch im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau, vom 1. bis zum 2. Dezember 2008 in Göttingen. Download unter (am 11.11.2015): https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Oekolandbau/Klimawandel/Klimawandel.pdf

ÖKO (Öko-Institut e.V.), ISI (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung), dezentec, Ziesing, H.J. (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht (2. Modellierungsrunde) zum BMU-Vorhaben.

Osterburg, B., Kätsch, S., Wolff, A. (2013a): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050. Thünen Report 13, Thünen-Institut, Braunschweig.

Osterburg, B., Rüter, S., Freibauer, A., de Witte, T., Elsasser., P., Kätsch, S., Leischner, B., Paulsen, H.M., 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, Braunschweig.

Röder, N., Osterburg, B., Kätsch, S. (2013b): Faktencheck Agrarreform: Integration von Klimaschutz und Klimaanpassung in die Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2013. Thünen Working Paper 11. Thynen-Institut, Braunschweig.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen((2015): Stickstoff: Lösungsstrategien für eine drängendes Umweltproblem. Sondergutachten Januar 2015. Berlin.

Thünen-Institut (2012): vTI-Baseline 2011 – 2021: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Thünen Sonderheft 355, Braunschweig

Thünen-Institut (2014): Thünen-Baseline 2013 – 2023: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Thünen Report 19, Braunschweig.

UBA (Umweltbundesamt) (2012): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2010. UBA, Dessau-Roßlau.

UBA (Umweltbundesamt) (2013a): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Hintergrund, Oktober 2013. UBA, Dessau-Roßlau.

UBA (Umweltbundesamt) (2013b): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2011. UBA, Dessau-Roßlau.

UBA (Umweltbundesamt) (2014a): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Climate Change 07/2014. UBA, Dessau-Roßlau.

UBA (Umweltbundesamt) (2014b): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2012. UBA, Dessau-Roßlau.

6. Anhang 1: Detaildaten

6.1. Detaildaten im LULUCF-Sektor im Jahr 2012

Tabelle 6-1 Flächenanteile der LULUCF-Kategorien, Emissionsfaktoren und Senken/Quellen-Funktion der Flächen

			Fläche		Senke		Quelle		Emissionsfaktor
			1.000 ha	%	Gg CO2-Äq	%	Gg CO2-Äq	%	Mg CO2-Äq/ha
Wald	mineralisch	alt	10.627	29,7	-46.868	88,3			-4,41
	mineralisch	neu	377	1,1	-4.521	8,5			-11,99
	organisch	alt	222	0,6	-141	0,3			-0,63
	organisch	neu	23	0,1	-256	0,5			-11,06
Ackerland	mineralisch	alt	11.997	33,5					
	mineralisch	neu	1.163	3,3			3.873	7,8	3,33
	organisch	alt	561	1,6			22.617	45,7	40,33
	organisch	neu	83	0,2			3.355	6,8	40,27
Grünland G1	mineralisch	alt	4.797	13,4					
	mineralisch	neu	288	0,8			676	1,4	2,35
	organisch	alt	572	1,6			10.178	20,6	17,80
	organisch	neu	20	0,1			444	0,9	22,51
Gehölze G2	mineralisch	alt	170	0,5					
	mineralisch	neu	219	0,6	-1.203	2,3			-5,50
	organisch	alt	14	0,0			34	0,1	2,49
	organisch	neu	9	0,0	-10	0,0			-1,03
Feuchtgebiete	mineralisch	alt	15	0,0					
	mineralisch	neu	20	0,1	-45	0,1			-2,28
	organisch	alt	28	0,1					
	organisch	neu	15	0,0	-42	0,1			-2,79
Gewässer	mineralisch	alt	493	1,4					
	mineralisch	neu	81	0,2			227	0,5	2,80
	organisch	alt	24	0,1					
	organisch	neu	7	0,0			17	0,0	2,59
Torfabbau	mineralisch	alt							
	mineralisch	neu							
	organisch	alt	20	0,1			2.121	4,3	106,79
	organisch	neu							
Siedlung	mineralisch	alt	2.845	8,0			1.582	3,2	0,56
	mineralisch	neu	946	2,6			2.355	4,8	2,49
	organisch	alt	89	0,2			50	0,1	0,56
	organisch	neu	35	0,1			162	0,3	4,63
Sonstiges Land	mineralisch	alt	16	0,0					
	mineralisch	neu							
	organisch	alt	2	0,0					
	organisch	neu							
Ackerland		Karbonat	13.804	38,6			1.737	3,5	0,13
Wald		Karbonat	11.250	31,4			60	0,1	0,01
Waldbrand			11.250	31,4			6	0,0	
TOTAL			**35.780**	**100,0**	**-53.086**	**100,0**	**49.495**	**100,0**	
TOTAL			**35.780**	**100,0**	**-53.086**	**100,0**	**49.495**	**100,0**	

Quelle: eigene Zusammenstellung nach UBA (2014) und detaillierten Daten des Thünen-Instituts. Gg = Gigagramm (1.000 Tonnen); CO_2-Äq = Kohlendioxidäquivalent.

6.2. Detailbetrachtung zur Flächenumwandlung von Grünland und Gehölzen zu Ackerland im Jahr 2012

Die Flächenumwandlung von Grünland zu Ackerland und von Ackerland zu Grünland, inklusive der Emissionsfaktoren und der THG-Emissionen für das Jahr 2012, sind in Tabelle 6-2 zusammengestellt. Es wird besonders deutlich, dass die Umwandlung von Grünland zu Ackerland mit 91.600 ha deutlich höher lag, als die Umwandlung von Ackerland zu Grünland (4.500 ha). Im Vergleich hierzu lag der mittlere Grünlandumbruch in den letzten 20 Jahren lediglich bei 57.200 ha pro Jahr. Aus Sicht der THG-Emissionen fällt die Bilanz ähnlich aus: durch die Umwandlung von Grünland zu Ackerland wurden in 2012 0,55 Mio. t CO_2-Äq. freigesetzt, aber lediglich 0,025 Mio. t CO_2-Äq. der Atmosphäre durch die Umwandlung von Ackerland zu Grünland entzogen. Bei diesen Werten ist zu berücksichtigen, dass das neue Ackerland für 20 Jahre in dieser Kategorie verbleibt. Akkumuliert bedeutet der Grünlandumbruch in 2012 THG-Emissionen innerhalb der nächsten 20 Jahre von 10,9 Mio. t CO_2-Äq. Die kumulativen Emissionen aus dem Grünlandumbruch der letzten 20 Jahren lag im Jahr 2012 mit 6,2 Mio. t CO_2-Äq. deutlich niedriger, was mit der hohen Umbruchrate in 2012 einhergeht.

Tabelle 6-2 Flächenumwandlung von Grünland und Gehölzen zu Ackerland sowie die damit verbunden THG-Emissionen

Flächenumwandlung in 2012: Ackerland zu Grünland						
LULUCF-Kategorie	**Boden**	**Fläche**		**THG-Emissionen**		**EK**
		1.000 ha	**%***	**Gg CO_2-Äq**	**%**	**Mg CO_2-Äq/ha**
Grünland zu Ackerland	Mineralischer Boden	83,0	1,69%	237	0,48%	2,85
	Organischer Boden	5,9	1,02%	237	0,48%	40,00
Gehölze zu Ackerland	Mineralischer Boden	1,4	0,78%	12	0,02%	8,66
	Organischer Boden	1,3	9,74%	62	0,13%	46,58
Summe		**91,6**	**1,61%**	**547**	**1,11%**	
Flächenumwandlung in 2012: Ackerland zu Grünland						
LULUCF-Kategorie	**Boden**	**Fläche**		**THG-Emissionen**		**EK**
		1.000 ha	**%***	**Gg CO2-Äq**	**%**	**Mg CO2-Äq/ha**
Ackerland zu Grünland	Mineralischer Boden	1,8	0,04%	-6	-0,01%	-3,05
	Organischer Boden	0,1	0,02%	2	0,00%	18,48
Ackerland zu Gehölze	Mineralischer Boden	2,5	1,44%	-21	-0,04%	-8,18
	Organischer Boden	0,1	0,59%	0	0,00%	-3,28
Summe		**4,5**	**0,08%**	**-25**	**-0,05%**	

*Anteil bezogen auf die jeweiliege Grünlandfläche in 2011; **bezogen auf die THG-Emissionen in 2012

Quelle: eigene Zusammenstellung nach UBA (2014) und detaillierten Daten des Thünen-Instituts. Gg = Gigagramm (1.000 Tonnen); EK = Emissionsfaktor CO_2-Äq = Kohlendioxidäquivalent.

- **Szenarien-Annahmen in Klimaschutzszenarien 2050 (LULUCF)**

Tabelle 6-3 Maßnahme der drei Szenarien im Vorhaben Klimaschutzszenarien 2050

Flächenkategorie	Maßnahmen	Umsetzung		
		AMS (2012)	KS 80	KS 95
Siedlungen				
Neue Siedlungen (20 Jahre) aus anderen Flächenkategorien	Die Inanspruchnahme von Fläche für Siedlungen wird bis 2020 auf 30,0 ha/Tag reduziert (2010: 90,2 ha/Tag). Keine Sondermaßnahme für Grünland und Gehölze.	--	100%	100%
Feuchtgebiete und Gewässer				
Alte Feuchtgebiete	Der Abbau von Torfmoor wird eingestellt (im Zeitraum von 2015-2020)	--	100%	100%
Grünland				
Altes Grünland (organische Böden)	Grünland auf organischen Böden wird zu Wald (10%), Feuchtgebieten (80%) oder Gehölze (10%) umgewandelt (im Zeitraum von 2015-2030)	--	30%	95%
Neues Dauergrünland (20 Jahre, organische Böden)	Andere Flächenkategorien auf organischen Böden werden nicht zu Dauergrünland umgewandelt (ab 2015 nur noch 5% des Fortschreibungswertes)	--	30%	95%
Ackerland				
Altes Ackerland (organischer Boden)	Ackerland auf organischen Böden wird zu Wald (40%), Feuchtgebieten (50%) oder Gehölze (10%) umgewandelt (im Zeitraum von 2015-2030)	--	30%	95%
Neues Ackerland (20 Jahre, organische Böden)	Andere Flächenkategorien auf organischen Böden werden nicht zu Ackerland umgewandelt (ab 2015 nur noch 5% des Fortschreibungswertes)	--	30%	95%
Neues Ackerland (20 Jahre, organische und mineralische Böden)	Grünland und Gehölze werden nicht mehr zu Acker umgewandelt (ab 2015 nur noch 5% des Fortschreibungswertes)	--	30%	95%

Quelle: ÖKO et al. (2015). AMS (2012) = Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012); KS 80 = Klimaschutzszenario 80; KS 95 = Klimaschutzszenario 95.

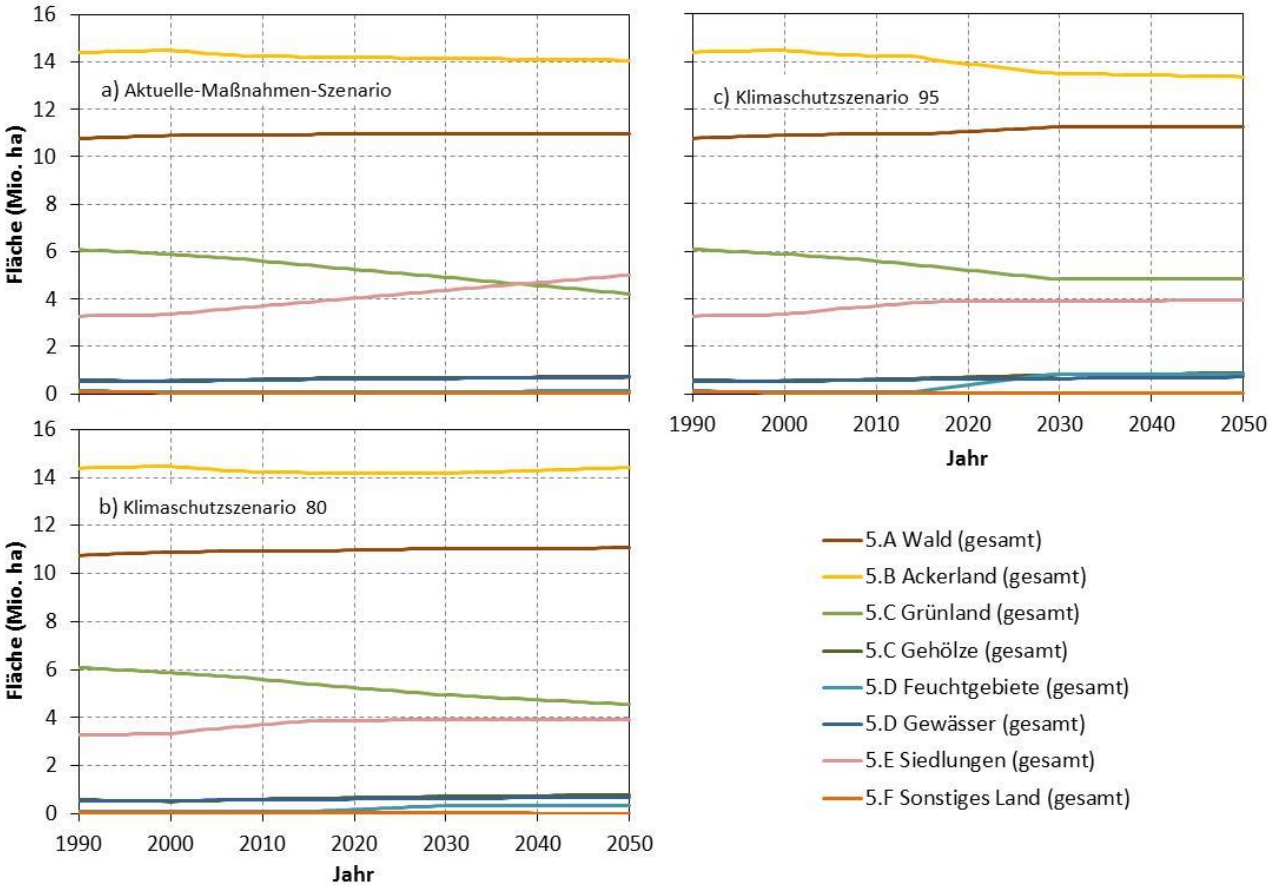
6.3. Flächenänderungen in Klimaschutzszenarien 2050 (LULUCF)

Im Hinblick auf die Veränderung der Flächenanteile der LULUCF-Kategorien zeigt sich, dass im Szenario AMS (2012) insbesondere die Siedlungsfläche deutlich zunimmt. Dies geschieht vor allem auf Kosten von Grünlandflächen. Im Szenario KS 80 und KS 95 stabilisiert sich hingegen der Anteil an Siedlungsflächen ab 2020 durch die getroffene Maßnahme (Reduktion des Flächenverbrauchs auf 30ha pro Tag; siehe Details in Abbildung 6-1).

Im Szenario KS 80 nimmt die Grünlandfläche aufgrund des nur zu 30% umgesetzten Umbruchverbots weiterhin stetig ab. Ein Teil der Grünlandflächen werden aber auch zu Feuchtgebieten, deren Anteil deutlich ansteigt. Im Szenario KS 95 stabilisiert sich durch das Umbruchverbot (95% Umsetzung) der Grünlandverlust ab dem Jahr 2030. In den Jahren davor ist die Abnahme des Grünlands vor allem durch die Umwandlung von Grünland auf Moorböden zu terrestrischen Feuchtgebieten beding. Die Ackerfläche geht im Szenario KS 95 deutlich zurück, da ein signifikanter Anteil an Ackerfläche auf Moorböden in Feuchtgebiete, Wald und Gehölze umgewandelt wird (Abbildung 6-1).

Die Waldfläche bleibt im Szenario AMS (2012) weitestgehend konstant. Im Szenario KS 80 und etwas stärker im Szenario KS 95 steigt die Waldfläche an, da landwirtschaftliche Flächen auf Moorböden in Wald überführt werden.

Abbildung 6-1 Flächenänderungen der LULUCF-Flächentypen für die drei Szenarien in Klimaschutzszenarien 2050



Quelle: ÖKO et al. (2015). AMS (2012) = Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012); KS 80 = Klimaschutzszenario 80; KS 95 = Klimaschutzszenario 95.