

Natural Climate Contributions:

**Eine Potentialabschätzung für Norddeutschland und eine Einordnung in
Klima-, Agrar- und Forstpolitik.**

Autorenkollektiv (alphabetisch):

Volker Beckmann, John Couwenberg, Antonia Holland-Cunz, Hans Joosten,
Frederike Neuber, Konrad Ott, Friedhelm Taube, Achim Schäfer, Stefan Zerbe.

Institutionen: Universität Greifswald & Christian Albrechts Universität zu Kiel.

Abschlussbericht DBU Förderprojekt **35795/01-33/0**

Laufzeit 1.4.2022-31.7.2023, Abschlusskonferenz Berlin 7. Juli 2023.

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG UND ERGEBNISSE.....	4
1.1 Projektziel	4
1.2 Durchführung.....	4
1.3 Zentrale Ergebnisse.....	4
1.4 Fazit und Ausblick	7
MODUL-BERICHTe	8
MODUL 1: ETHIK.....	8
<i>Einleitung: Die ethische Perspektive</i>	<i>8</i>
1. ERSTER KONTEXT: KLIMAPOLITIK.....	9
1.1 Die globale Ebene	9
1.2 Die nationale Ebene	9
1.3 Vorgriff auf NCC.....	11
2. ZWEITER KONTEXT: KLIMAETHIK	11
2.1 Ziele, Portfolio und Pflichtenhefte.....	11
2.2 Carbon Dioxide Removal.....	12
2.3 Natural Climate Contributions (NCC)	12
3. DRITTER KONTEXT: UMWELTETHIK	13
3.1 Grundlagen	13
3.2 Zukunftsverantwortung, Nachhaltigkeit, Landethik	13
3.3 Die immaterielle Dimension.....	14
3.4 Ergebnis	14
4. VIERTER KONTEXT: NATURSCHUTZ.....	15
5. FÜNFTER KONTEXT: AGRARETHIK	15
5.1 Prinzipien der Agrarethik	15
6. SECHSTER KONTEXT: LANDWIRTSCHAFT.....	16
6.1 Perspektiven der Landnutzung bei NCC	17
6.2 Landwirtschaft und NCC	17
7. FAZIT, INSTRUMENTE UND PROGRAMME	18
7.1 Status von NCC.....	18
7.2 Akteure und Pflichten.....	18
7.3 Aktionsprogramm Naturbasierter Klimaschutz	18
MODUL 2: MOORE	20
<i>Einleitung</i>	<i>20</i>
1. Emissionsminderung und Senkenpotential der Moore Norddeutschlands	24
2. Moorwiedervernässung und Klimawirkung	25
3. Moorwiedervernässung in der Landschaft	30

MODUL 3: WÄLDER.....	31
<i>Ergebnisse</i>	31
MODUL 4: LANDWIRTSCHAFT	35
<i>Einleitung</i>	35
1. <i>Einordnung von NCC-Strategien entsprechend der Klimaberichterstattung in den Sektoren</i>	
<i>Landwirtschaft und LULUC</i>	36
2. <i>Ausgangssituation Schleswig-Holstein</i>	38
3. <i>Handlungsfelder der Annäherung an Klimaneutralität für die Sektoren Landwirtschaft und LULUC</i>	40
<i>Handlungsfeld 1 a: LULUC-Effekte einer Wiedervernässung organischer Böden in SH</i>	40
<i>Handlungsfeld 1 b: Flächenkompensation für Wiedervernässung durch Aufgabe der ineffizienten NaWaRo-</i>	
<i>Nutzungen vom Acker</i>	40
<i>Handlungsfeld 2: Reduktion der Tierhaltung</i>	41
<i>Handlungsfeld 3: Klima- und nährstoff-optimierte Anbausysteme</i>	41
4. <i>Klima- und nährstoff-optimierte Anbausysteme durch Hybridlandwirtschaft regelbasiert umsetzen</i>	42
5. <i>Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung der Projektionen und Schlussfolgerungen</i>	45
MODUL 5: ÖKONOMIE	47
1. <i>Regulatorischer Rahmen</i>	47
2. <i>Zeitlicher Rahmen</i>	48
3. <i>Ökonomische Bewertung und Risiken von naturbasierten Minderungs- und Vermeidungsstrategien</i>	48
4. <i>Potenziale naturbasierter Minderungs- und Vermeidungsstrategien für die Bioökonomie</i>	49
5. <i>Kosten des Nichtstuns müssen von nachfolgenden Generationen bezahlt werden</i>	50
6. <i>Kohärenz von ordnungs- und wirtschaftspolitischen Steuerungsinstrumenten</i>	50
LITERATURVERZEICHNIS	52
ETHIK	52
MOORE	54
WÄLDER	55
LANDWIRTSCHAFT	56
ÖKONOMIE	61
 ANLAGEN.....	 65

Zusammenfassung und Ergebnisse

1.1 Projektziel

Ziel des Projekts war es, ein in sich komplexes „asset“ aus dem Portfolio klimapolitischer Maßnahmen auf einer bestimmten räumlichen Skala (Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern) hinsichtlich seiner empirischen Potentiale, seines normativen Profils und seiner politischen Umsetzbarkeit näher zu untersuchen: *Natural Climate Contributions (NCC)*. Der Terminus „contributions“ ist dem häufig verwendeten Terminus „solutions“ vorzuziehen, da „solutions“ suggerieren könnte, dass dieses „asset“ die globalen Pariser Klimaziele erreichen könnte. Dies ist angesichts der Größenordnung der globalen THG-Emissionen nicht der Fall. Das Projektziel der Potentialanalyse konnte erreicht werden.

1.2 Durchführung

Der Projektantrag wurde am 18.10. 2021 von der DBU bewilligt. Die Projektlaufzeit erstreckte sich über den Zeitraum 1.4.2022 bis 31.7.2023. Projektabschluss war eine eintägige Konferenz in der Landesvertretung von Schleswig-Holstein in Berlin am 7. Juli 2023. Die dort gehaltenen Vorträge sind als Anhang beigefügt.

Es fanden regelmäßige Projekttreffen statt, entweder in Präsenz oder digital. Das Kickoffmeeting fand in Präsenz am 1.7.2022 in Greifswald statt. Ein weiteres Präsenztreffen fand am 19. Oktober in Greifswald statt. Weitere Treffen am 13.1.2023, 6.2.2023, 27.3.2023 und 15.5.2023 fanden digital statt. Auf dem Treffen am 19.6.2023 wurde die Abschlusskonferenz vorbereitet. Auf einem Präsenztreffen im Oktober 2023 wurden die Projektergebnisse und Optionen zu ihrer Publikation diskutiert. Die Teilberichte wurden erst nach Projektende finalisiert.

Die Projektlaufzeit war angesichts der Komplexität der Thematik deutlich zu kurz. Eine dreijährige Projektlaufzeit wäre angemessen gewesen. Daraus erklärt sich die Zeitdauer für die Endfassungen der Teilberichte und des vorliegenden Abschlussberichts.

Die Langfassungen der Teilberichte wurden zu einer Gesamtdatei zusammengefügt. Diese Gesamtdatei umfasst etwa 220 Seiten. Sie könnte als Grundlage für eine Monographie dienen, für deren Publikation sich die Reihe „Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit“ im Metropolis Verlag anbieten würde. Da einige Projektmitarbeiter in oder an der Grenze zum Ruhestand sind, könnte sich 2026 ein Zeitfenster für eine Buchpublikation als weiteres Projektergebnis ergeben.

1.3 Zentrale Ergebnisse

NCC repräsentieren das Portfolio der Maßnahmen *en miniature*: a) Reduktion von Treibhausgasen, b) Anpassung an den Klimawandel, c) Carbon Dioxide Removal durch Anlegung von C-Senken. Die Beurteilung von NCC erfolgt in drei ethischen und politischen Kontexten: a) Klimaethik und Klimapolitik, b) Umweltethik und Naturschutzpraxis, c) Agrarethik und Landwirtschaft. Ethisch fallen NCC unter die Handlungskategorie: „*Es wäre falsch, x zu unterlassen*“. Diese Handlungskategorie impliziert eine Aufforderung an politische Entscheidungsträger, politisch tätig zu werden. Generell kann als Ergebnis festgehalten werden, dass die Potentiale von NCC als Vermittlung von Klimaschutz und einer Transformation der Landnutzungssysteme in Zukunft nicht vernachlässigt werden dürfen.

NCC wirken *katalytisch* auf die Landnutzung. Durch den Ausbau von NCC werden Flächen benötigt, die durch Landnutzungsänderungen gewonnen werden müssen. Diese katalytische Wirkung macht NCC attraktiv für Bestrebungen hinsichtlich einer „Landwende“. Im Forschungsprojekt wurde mit einer „Landwende“ sympathisiert. Die damit verbundenen Wertungen sollten und konnten im Modul „Ethik“ umwelt- und agrarisch expliziert und gerechtfertigt werden.

NCC sind einmal Maßnahmen zur *Emissionsreduzierung*. Hier liegen die größten Potentiale in der Wiedervernässung trocken gelegter Moore. Die Wiedervernässung von Mooren ist eine der wenigen verbliebenen Maßnahmen, die substantielle CO₂-Einsparungen zu vergleichsweise geringen volkswirtschaftlichen Opportunitätskosten erwarten lässt. Obwohl Moore auch ein Senkenpotenzial aufweisen, ist es wichtiger, kurzfristig ihre Emissionen zu stoppen. Langfristig sollten Moore kühlend wirken. Eine Wiedervernässung kann nur erfolgreich sein, wenn die Entwässerung der Einzugsgebiete eingestellt oder deutlich verringert wird. Benötigt wird ein Raumordnungsplan für Wasser in der Landschaft, der festlegt, wo Grundwasserneubildung stattfindet, wo (Trink-)Wasser entnommen wird und wo Wasservorräte in der Landschaft belassen werden. Die Wiedervernässung von Mooren wird voraussichtlich auf Widerstände treffen, da durch diese Maßnahmen bestimmte Landnutzungen fortfallen, Wasserschäden an Gebäuden auftreten und ggf. u.a. der Bestand an Mücken zunehmen könnten. Es kommt darauf an, in der breiten Bevölkerung Vorbehalte proaktiv auszuräumen.

Die Wiedervernässung der Moore kann mit drei besonderen Schwerpunkten versehen werden: a) Naturschutz und Förderung von Biodiversität, b) Paludikultur (einschließlich ökologischer Beweidung nasser Standorte) und c) der Installation von PV-Anlagen auf Moorstandorten. Die Methanemissionen der Moore können und sollten reduziert werden.

Der Beitrag der Wälder zur C-Sequestrierung ist mit Unsicherheiten behaftet. NCC-Potentiale liegen in folgenden Bereichen: a) Waldmehrung, b) Erhöhung der C-Vorräte, c) Vermeidung von C-Freisetzung und d) C-Fixierung in langlebigen Holzprodukten. Holzkraftwerke sind abzulehnen; die energetische Nutzung von Holz sollte eingeschränkt werden (Schwachholz). Waldmehrung trägt kurzfristig nur unwesentlich zu den klimapolitischen Zielen bei. Der Klimanutzen der Aufforstung ist langfristiger Art: In späteren Wachstumsphasen können Bäume zu negativen Emissionen beitragen, sofern Deutschland sein Nettonull-Ziel bis 2045 erreicht. Die Vermehrung der Waldfläche sollte den Zielen des ökologischen Waldumbaus entsprechen; also auch freie Sukzession zulassen. Ein Waldmanagement mit dem Ziel der Entwicklung von klimaresilienten Mischbeständen kann nur bei niedrigen Schalenwildichten erreicht werden.

Der klimaschutzpolitisch vorgegebenen Betrachtungszeitraums bis zu den Jahren 2040-2050 ist für die Planung waldbaulicher Maßnahmen und deren Umsetzung sehr kurz. Forstliche Maßnahmen zur Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald können in diesem Zeitraum in den meisten Fällen lediglich begonnen werden und sind beim Waldumbau zunächst mit einer Verringerung der Kohlenstoffvorräte verbunden, wenn Wälder mit hohen Kohlenstoffvorräten in vorratsarme junge Wälder umgewandelt werden. Wälder sind langsam und langfristig akkumulierende, aber auch möglicherweise schnell freisetzende Kohlenstoffspeicher. NCC in Wäldern heißt auch Vorsorge gegen rasche Freisetzungen treffen (Klimaresilienz).

Fleischerzeugung sollte prioritär auf Weideflächen erfolgen. Grünlandfutter sollte zur zentralen Futterquelle für die Wiederkäuerernährung werden. Für Milch und Rindfleisch werden in dieser Projektion primär Dauergrünlandfutter und anteilig Reststoffe der pflanzlichen Erzeugung auf dem Acker bereitgestellt. Durch Reduktion des Futtermittelanbaus werden Ackerflächen für die menschliche Ernährung frei. Das Paradigma hin zu einer Kreislaufwirtschaft, die in der Tierernährung neben Grasland nahezu ausschließlich Reststoffe der pflanzlichen Erzeugung einsetzt, könnte bis 2040 weitgehend umgesetzt werden.

Die derzeitige Förderung des Energiepflanzenanbaus auf Ackerflächen (Biodiesel, Biogas) ist ökonomisch ineffizient. Mit Agro-Photovoltaik (Agri-PV) können gegenüber der Biogasproduktion

zehn- bis zu dreißigfache Energieerträge je ha realisiert werden. Agro-PV-Anlagen sind nicht grundsätzlich abzulehnen, sollten aber auf Ackerflächen mit geringen Bodenwertzahlen beschränkt werden. Ackerflächen sollten prinzipiell nicht zum Siedlungsbau vernutzt werden. NCC schließt auch den Schutz fruchtbarer Böden vor Versiegelung ein.

NCC kann auch durch Kohlenstofffestlegung in Böden gewährleistet werden. Über das Anbauverhältnis bestimmter Kulturarten, das Niveau der Stickstoffdüngung, den Einsatz von Zwischenfrüchten und die Optimierung von Agrar-Anbausystemen können weitere Bausteine für NCC hinzugefügt werden. Eine 5- bis 6-gliedrige Fruchtfolgen mit hohem Anteil von Leguminosen, die je zur Hälfte nach Standards in Anlehnung an den ökologischen Landbau und nach Standards des konventionellen Landbaus erfolgt, könnte eine bessere Kreislaufwirtschaft gewährleisten. Ein zentrales Element dieses Ansatzes sind zweijährige Klee-Gras-Kräuter-Systeme zur Wiederkäuerernährung, die in Anlehnung an den ökologischen Landbau bewirtschaftet werden. Der Silomaisanbau kann bis 2040 zu 80% einerseits durch Klee gras-Systeme und andererseits durch Körnermais substituiert werden, wobei eine Größenordnung von unter 40 Tsd. ha Silomais verbleibt.

Ein besonderes Augenmerk innerhalb einer NCC-Strategie sollte dem Wasserhaushalt gelten. Das alte Paradigma einer Entwässerung sollte im Klimawandel durch das einer Bindung von Wasser und Feuchtigkeit in der Landschaft abgelöst werden. Sinnvoll wäre ein Raumordnungsplan für Wasser in der Landschaft.

Zum Abbau der vorhandenen Hemmnisse bei der Wiedervernässung und der Umstellung auf Paludikultur benötigen die landwirtschaftlichen und die weiterverarbeitenden Betriebe, ähnlich wie bei der politisch gewünschten Förderung des Ökolandbaus oder der Markteinführung der erneuerbaren Energien, für eine Übergangsphase entsprechende finanzielle Anreize und eine flankierende Förderung für noch nicht rentablen Produktionsverfahren (Paludikultur).

Nach ordnungspolitischen Grundsätzen gehören zu den Instrumenten mit dynamischer Anreizwirkung solche, die den Wettbewerb als Entdeckungsverfahren aktivieren und die (einzelwirtschaftlichen) Interessen auf die Erreichung der wirtschafts- und umweltpolitischen Ziele richten. Obwohl ein nationaler Zertifikatehandel für THG-Emissionsrechte aus der Entwässerung von Moorböden, Aufforstung und Landnutzungsänderungen noch nicht umsetzungsreif ausgearbeitet ist, erscheint eine mittelfristige Einführung grundsätzlich sinnvoll. Ein Zertifikatehandel ist effizienter als das Bonus-Malus-System, setzt das Verursacherprinzip um, verursacht keinen fiskalischen Finanzbedarf und könnte bei Grundeigentümern und den Landbewirtschaftenden auf Akzeptanz stoßen. Entsprechend den politisch vorgegebenen Zielmarken würde die Anzahl der Emissionszertifikate im Zeitablauf sinken. Dadurch würden sich die CO₂-Preise an den tatsächlichen Vermeidungskosten ausrichten und die landwirtschaftlichen Betriebe bekämen einen Anreiz, die entwässerungsbasierte Moornutzung auf eine klimafreundliche Nutzung umzustellen. Über flankierende ordnungsrechtliche Instrumente muss gesondert diskutiert werden.

Auf politischer Ebene ist es geboten, das Aktionsprogramm „Natürlicher Klimaschutz“ (ANK) fortzusetzen und zu beschleunigen. Hierbei sollten Bürokratisierungshürden abgebaut werden und der Fokus auf die Praxismaßnahmen gerichtet werden. Landeigentümer wie Kirchen und Kommunen könnten selbst NCC produzieren oder entsprechende Pachtverträge anbieten. Es bedarf zur raumkonkreten Gestaltung der Integration von NCC der Landesplanung.

Damit sind Handlungsziele für die Gewinnung von NCC hinreichend bestimmt. Wiedervernässung der Moore, klimaresilienter Waldumbau, Futtermittelgewinnung auf Grünland, Raumordnungsplan für Wasser, Fortsetzung des ANK etc. stellen strategische Fragen nach politischen Maßnahmen auf Bundes- und Landesebene. Die Zeit für die zielkonforme Anpassung ordnungs-, planungs- und förderrechtlicher Rahmenbedingungen ist knapp bemessen. Mit der Zielverfolgung sollte so schnell wie möglich begonnen werden. Die Handlungsaufforderung an die Politik enthält einen Dringlichkeitsbezug. Die momentane Dominanz der Außen- und Sicherheitspolitik könnte sogar als

Chance genutzt werden, NCC-Politiken unverzüglich einzuleiten. Die Umsetzung des EU-Restoration Law dürfte Synergien zu NCC-Politiken aufweisen, die es zu nutzen gilt.

NCC haben eine immaterielle Dimension. NCC könnten eine veränderte gesellschaftliche Aufmerksamkeit für „gute“ Landnutzung wecken. In urbanisierten Zivilisationen stehen viele Menschen der Natur gleichgültig und unaufmerksam gegenüber. „Landwende“ bedeutet auch, der Land- und Forstwirtschaft mehr Aufmerksamkeit und nicht zuletzt denen, die sie betreiben, mehr Anerkennung zuzuwenden.

NCC allein werden den Klimawandel nicht aufhalten können, aber sie können in Verbindung mit Reduktionsstrategien zur Erreichung des Ziels „net zero 2045“ beitragen. Weiterhin wirken NCC positiv als Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und können als wirkungsvolles Instrument für die klimapolitischen und klimaethischen Forderungen betrachtet werden.

Die nachfolgenden Modul-Berichte vertiefen und erläutern die zentralen Forschungsergebnisse. Da es sich um ein interdisziplinäres Forschungsprojekt handelte, kamen unterschiedliche disziplinäre Methoden zu Einsatz. Das Methodenspektrum war entsprechend breit und wird in den einzelnen Modul-Berichten spezifisch dargelegt.

1.4 Fazit und Ausblick

Es wurden im Projekt erstmalig die Potentiale von NCC synoptisch und synergistisch erforscht. Generell kann festgehalten werden, dass die Potentiale von NCC als Vermittlung von Klimaschutz und einer Transformation der Landnutzungssysteme in Zukunft nicht vernachlässigt werden dürfen. Diese Potentiale sollten auf dem Wege hin zu einer Klimaneutralität und einer naturverträglichen Landnutzung ausgeschöpft werden. NCC sind unverzichtbar für eine nachhaltige Entwicklung im Klimawandel. Über den hierzu nötigen Einsatz rechtlicher und ökonomischer Instrumente muss letztlich politisch entschieden werden. Das Modul „Ökonomie“ liefert hierzu Hinweise und Vorschläge. Das Verhältnis zwischen dem theoretischen und dem praktischen Potential von NCC ist letztlich von politischen Entscheidungen abhängig.

Die Methoden der Potentialabschätzung betreffs Moore, Wälder und Landwirtschaft können auf andere Gebiete und größere Skalen übertragen werden. Die Erforschung von NCC erfordert einen interdisziplinären Ansatz, der in Zukunft durch transdisziplinäre Elemente ergänzt werden könnte. Es wäre sinnvoll, die NCC-Potentialanalyse im Kontext von EU-Forschungsprojekten weiterzuverfolgen. Hierfür könnte das Nature Restoration Law der EU einen politischen und rechtlichen Rahmen bieten.

Modul-Berichte

Modul 1: Ethik

Zuwendungsempfänger: Christina-Albrechts-Universität Kiel Philosophisches Seminar Lehrstuhl für Philosophie und Ethik der Umwelt	Geschäftszeichen: 35795/01-33-0
Vorhabenbezeichnung: Natural Climate Solutions - Eine Potenzialabschätzung für Norddeutschland	
Modul 1: Die ethische Perspektive	
Bearbeiter: Antonia Holland-Cunz, Dr. Frederike Neuber, Prof. Dr. Konrad Ott	
Laufzeit des Vorhabens: 1.4.2022 – 31.7.2023	
Berichtszeitraum: 1.6.2022– 31.7.2023	

Einleitung: Die ethische Perspektive

In der philosophischen Ethik unterscheidet man die Ebenen 1) der Normenlogik, 2) der Metaethik, 3) der eudaimonistischen Ethik, 4) der Moraltheorien (Ott 2001) und 5) der sog. Bereichsethiken (auch: angewandte Ethik, siehe Nida-Rümelin 2005). Bereichsethiken sind nicht scharf gegeneinander abgegrenzt, sondern vielfältig vermittelt. Die Umweltethik (Krebs 1997, 1999, Ott 2008, 2010, 2020a, Ott, Dierks, Voget-Kleschin. 2016) und die Klimaethik (Gardiner et al. 2010, Gardiner 2011, Baatz & Ott 2016, 2017, Ott 2021a) sind anerkannte Bereichsethiken. Dies gilt auch für die (in Deutschland zu wenig betriebene) Agrarethik (Ott & Voget 2011). Jeder Bereichsethik ist ein politisches Handlungsfeld zugeordnet.

Die „*Natural Climate Contributions*“ (NCC), die Thema des folgenden Beitrags sind, sind eine Form der Landnutzung, die einen solchen Vermittlungs- und Überschneidungsbereich konstituiert. NCC vermitteln, grob und vorläufig gesagt, Klima- und Naturschutz. NCC können nicht isoliert als Landnutzungsoptionen, sondern nur *kontextuell* analysiert werden. Es geht im Folgenden darum, NCC auf ethisch reflektierte und normativ orientierende Weise in die sechs Kontexte von a) 1) Klimaethik und a) 2) Klimapolitik, von b) 1) Umweltethik und b) 2) Naturschutz und c) 1) Landnutzungswandel und c) 2) Agrarethik einzuordnen.

1. Erster Kontext: Klimapolitik

1.1 Die globale Ebene

Mit der globalen Zielsetzung („well below 2°C“) ist 2015 in Paris ein langjähriger Diskussions- und Verhandlungsprozess zu einem Abschluss gekommen, Art 2 der UNFCCC zu interpretieren, der auffordert, die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen (THG= GHG) in einem ungefährlichen Bereich zu stabilisieren („*stabilization (...) at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system*“; hierzu schon Ott et al. 2004). Angesichts der Risiken des Klimawandels wäre es wünschenswert, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur (GMT) gegenüber vorindustriellen Temperaturen (1750) auf 1.5°C GMT zu begrenzen. Die Zielsetzungen des sog. „*tolerable window approach*“ wurden seit 1992 verschärft: vom ursprünglichen 2°C -Ziel, zum „well below 2°C“ und von da zum 1.5°C -Ziel.

Die globalen Emissionen verstoßen eklatant gegen die Bestimmung von Art 2 UNFCCC. Die GMT hat sich mittlerweile um fast 1.5°C gegenüber 1750 erhöht. Es wird mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit einen „*overshoot*“ an THG-Konzentrationen geben, der allerdings längerfristig durch negative Emissionen ausgeglichen werden *könnte*. NCC sind eine Option für langfristig negative Emissionen.

Die Internationale Energie Agentur (IEA) glaubt, dass der Höhepunkt der globalen Emissionen in den nächsten Jahren erreicht sein könnte (IEA 2023). Auch China könnten den „*peak*“ noch vor 2030 erreichen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass nach diesem Höhepunkt ein starker Rückgang zu erwarten ist. Dauerhaft hohe Emissionen oberhalb von 30 Gt sind wahrscheinlicher. Wir stehen global erst am Anfang des Endes des fossilen Zeitalters.

Die Konsequenzen des Klimawandels werden extrem negativ sein. Dies gilt besonders für die Länder des globalen Südens. In wenigen Jahrzehnten könnten zwei Milliarden Menschen in Erdstrichen leben, in denen die Durchschnittstemperatur bei knapp 30°C liegen könnte. Massive Migrationsbewegungen sind zu befürchten und es wird einen erbitterten moralischen Kampf um die Bedeutung des Wortes „Klimaflüchtling“ geben (Ott 2020b). Die zweite Jahrhunderthälfte könnte so katastrophal werden, dass Formen des Solar Radiation Management als „*buying-time*“-Strategie eingesetzt werden könnte (Neuber & Ott 2020).

Den Ländern des Globalen Südens müsste es im langfristigen Selbstinteresse darum gehen, eigene substantielle „*Nationally Determined-Contributions*“ (NDC) zu leisten. Die jetzigen NDCs reichen nicht einmal für ein 2°C-Ziel. Die NDC vieler Länder des Globalen Südens sind an die Bedingung ausreichender Anpassungshilfen gekoppelt. Somit ist es für diese Länder kurzfristig rational, ihre NDC schwach zu halten, mehr Anpassungsgelder zu fordern und die eigene Position im Kampf um die zukünftige Verteilung dieser Gelder zu verbessern (Heubach 2022). Deutschland zahlt großzügig in diese „*Adaptation-Facilities*“ (AF) ein (6.39 Mrd. € anno 2022). NCC-Potentiale im globalen Süden sollten durch AF gefördert werden. In der ethischen Reflexion erweist sich das Kriterium der Vulnerabilität als ambivalent, da es (falsche) Anreize an Akteure im globalen Süden setzt, sich als besonders vulnerabel zu präsentieren

1.2 Die nationale Ebene

Die EU hat 2019 klimapolitisch beschlossen, bis zum Jahre 2050 ein „Netto-Null“-Kontinent zu werden. Damit leistete die EU ihren Beitrag zum Globalziel „well below 2°C“. Der Ausdruck „*net zero*“

bezieht sich dabei auf alle GHG, nicht nur auf CO₂. „GHG net zero“ ist synonym mit „klimaneutral“. Die historischen Emissionen werden nicht erfasst, die Neutralität bezieht sich nur auf die Zukunft.

Die westlichen Demokratien sollten die globale Vorreiterrolle übernehmen (Lieven 2020, S. 144). Deutschland hat in der Klimapolitik den grundsätzlich richtigen Weg eingeschlagen, ist aber auf diesem Weg nicht schnell genug. Dass Deutschland klimaneutral werden soll, ist mittlerweile (abgesehen von AfD und BSW) unstrittig. Das Ziel der Klimaneutralität soll bis 2045 erreicht sein. Einzelne Länder wie etwa Schleswig-Holstein könnten (vielleicht) schon früher THG-neutral sein (2040). Ab 2050 sollte Deutschland negative Emissionen erzeugen. NCC sind ein Beitrag zur Klimaneutralität.

Die deutschen Klimaziele 2022 sind knapp erreicht worden: 2022 reduzierten sich die THG um 1.9% auf 746 Millionen Tonnen. Dies ist eine Reduktion um 40.4% gegenüber 1990. 2023 sanken die Emissionen auf nunmehr 46% gegenüber 1990, nämlich auf 672 Mio. Tonnen. 2023 gingen die Treibhausgase um mehr als zehn Prozent im Vergleich zum Vorjahr zurück. Im Jahre 2024 sanken die CO₂-Emissionen um weitere 3.4% auf 649 Mio t. Damit wurden die nationalen Minderungsziele bis 2030 um 81 Mio t übererfüllt (FAZ vom 15. März 2025, S. 19). Deutschland emittiert mit 1.1 % der Weltbevölkerung noch ca. 1.8% der globalen Emissionen (2022). Dies wäre im Verlaufsplan eines egalitären und teleologischen pro-Kopf-Kriteriums (Meyer 1999).

Deutschland nutzt seine Energie effizient. Die Wirtschaftsleistung der Tonne CO₂ beträgt 5.100 \$. Japan erwirtschaftet 4.200 \$, die USA 4.000 \$, China 1.500 \$, Russland 1.100 \$. Das BIP Deutschlands ist seit 1990 um ca. 40% gewachsen, während die Emissionen um 46% gesunken sind. Dies bedeutet aber auch, dass die Opportunitätskosten weiterer Reduktionen zunehmen werden. Die Bevölkerung Deutschland ist zudem 2023 auf offiziell 84.7 Millionen Einwohner*innen angestiegen. Der Atomausstieg darf bei dieser Bilanz nicht vergessen werden. Deutschland hat also bei steigendem BIP, bei wachsender Wohnbevölkerung und bei Atomausstieg fast 50% der CO₂-Emissionen reduziert. Es wird mehr Strom aus Windkraft als aus Kohle erzeugt. Das ist eine erfreuliche Zwischenbilanz.

Mit Blick auf Deutschland begegnet man so der dialektischen Situation, dass man Deutschland weltweit als eines der wenigen Länder auf gutem Wege sehen könnte, wohingegen man unter anderen Prämissen berechnen kann, dass Deutschland sein „carbon budget“ vollständig (1.5°C) oder weit vor 2040 (1.75°C) aufgebraucht haben dürfte (SRU 2020, 2022, 2024). Der Grund für die negative Bewertung der deutschen Klimapolitik liegt vor allem an der Verschärfung der Berechnungsgrundlagen weg von einem langen Zielkorridor (bis 2050), wie ihn der SRU (2002) konzipiert hat, hin zu einem auf der Grundlage eines pro-Kopf-Kriteriums und eines 1.5°C bzw. 1.75°C Zieles berechneten nationalen „carbon budget“ (SRU 2020, 2022, 2024). Nach den neuesten Berechnungen (SRU 2024) ist das deutsche „carbon budget“ für das 1.5°C-Ziel praktisch aufgebraucht. Laut SRU verbleiben ca. 250 Gt Globalbudget und davon stehen Deutschland 1.1% zu.

Wesentlich für die SRU-Berechnungen ist das pro-Kopf-Verteilungskriterium, das von Ott mehrfach gerechtfertigt wurde (Ott 2012, 2021). Bei seiner Begründung des pro-Kopf Ansatzes stützt sich der SRU (2022) auf Baatz & Ott (2017). Es wird jedoch bei Baatz & Ott (2017) nicht diskutiert, ob dieses Kriterium *teleologisch* oder *kategorisch-präsentisch* (ab 2016) zu verstehen ist. Das teleologische Verständnis konzidiert die Notwendigkeit einer Übergangsperiode, das kategorisch-präsentische Verständnis wendet das pro-Kopf-Kriterium direkt an. Der SRU (2020, 2022, 2024) versteht das pro-Kopf-Kriterium in kategorisch-präsentischem Sinn. Das nationale „budget“ wird aus dem globalen „budget“ abgeleitet. Deutschland erhält so viel „budget“ wie sein Anteil an der Weltbevölkerung 2016 war, nämlich 1.1 %. Diese Ableitung eines nationalen aus einem globalen Budget sollte kritisch reflektiert werden. Geden et al. (2023) halten es für ausreichend, wenn die EU am „net zero“ Ziel bis 2050 festhält und Deutschland dieses Ziel früher erreicht.

1.3 Vorgriff auf NCC

Ein Sorgenkind der Klimapolitik bleibt der Verkehrssektor. Hier gibt es wirksame Instrumente: *Kerosinbesteuerung und Tempolimit*. Auch ein Verbot von Flügen unterhalb von 500 km Distanz kommt in Betracht. Das zweite Sorgenkind bleibt der Gebäudesektor, insbesondere der Altbestand an schlecht isolierten Mietwohnungen. Die Landwirtschaft emittiert 56.3 Mio t (2019) und 55.5 Mio t (2022) GHG und trägt damit 7.4% zu den nationalen GHG-Emissionen bei. Die Landwirtschaft wird noch nach 2045 ein Emittent von Residualemissionen sein. Man sieht in den einschlägigen Graphiken auch das Potential für geringe negative Emissionen. Damit nähern wir uns der Landnutzungsseite.

Durch *Senken-Politik* kann ein „carbon budget“ erhöht werden. Eine temporäre Überschreitung kann längerfristig durch negative Emissionen wieder ausgeglichen werden. Hierzu können NCC beitragen.

2. Zweiter Kontext: Klimaethik

2.1 Ziele, Portfolio und Pflichtenhefte

Anhand von fünf Bedingungen kann eine relationale Struktur von Klimaverantwortung expliziert werden (Braun & Baatz 2017): a) naturwissenschaftliche Beschreibbarkeit, b) technisch-praktisches Eingriffspotenzial, c) Kohärenz mit Moralität, d) Gebot zur Kooperation, e) Anerkennungswürdigkeit eines klimaethischen Normsystems.

Hinsichtlich des technisch-praktischen Eingriffspotentials gilt es methodisch, ein *Portfolio* aus 1) Vermeidung und Reduktion von GHG-Emissionen („*abatement*“), 2) Anpassung („*adaptation*“), 3) Entfernung von GHG aus der Atmosphäre (*Carbon Dioxide Removal* (CDR) einschließlich NCC), 4) Eingriffe in die Strahlungsbilanz des Planeten (*Solar Radiation Management* (SRM)) auf unterschiedlichen räumlichen und temporären Skalen zu bestimmen. Braun & Baatz (2017, S. 873) rechnen auch 5) Kompensationsmaßnahmen zum Portfolio. Dem Portfolio und seinen „*assets*“ ist ein Handlungsraum zugeordnet (Braun & Baatz 2017), innerhalb dessen geklärt werden muss, welche Akteure welche Verpflichtungen übernehmen oder von solchen entlastet werden sollen.

Das Portfolio muss klimaethisch bestimmt werden. Mit Christian Baatz habe ich für drastische Reduktionen und für ein teleologisches pro-Kopf-Kriterium bei der Verteilung plädiert (Baatz & Ott 2016). Das Grundkonzept von „*Contraction & Convergence*“ (Meyer 1999) ist also durch Annahmen über CDR und Anpassung zu erweitern. SRM, insbesondere Sulphate Aerosole Injection (SAI) habe ich aus meinem Portfolio entfernt (Ott 2012, 2018, Neuber & Ott 2020). NCC fallen unter CDR. Sie sind ein „*asset*“ im Portfolio, das es näher zu bestimmen gilt.

Die Klimaethik ist *dialektisch* insofern, als sie einerseits ein „*perfect moral storm*“ (Gardiner 2011) und andererseits schlicht ist. Zur klimaethischen Grundlegung a) der Rechtfertigung individueller Verpflichtungen und b) nationaler Vorreiterrollen genügt ein schlichter Kantianismus: „*Handle nach einer Maxime, die sich zur Grundlage einer globalen Klimapolitik eignet*“. Diese Maxime lautet schlicht: „*Werde selbst GHG-neutral so bald wie möglich*“. Abgekürzt: „*net zero asap!*“. Wenn alle Länder so (ähnlich) handelten wie Länder, die möglichst rasch klimaneutral werden wollen (2045-2050), bliebe die Welt um 2060 in einem „*tolerable window*“ zwischen 1.5°C und 1.8°C und könnte danach durch CDR und NCC, also durch negative Emissionen den temporären „*overshoot*“ rückgängig machen. Der Ausdruck „so bald wie möglich“ enthält Annahmen über Mögliches und Zumutbares in einer hochgradig nicht-idealen Welt. *Daher ist dieser kantische Ansatz zugleich deontologisch, zielorientiert und klugheitsethisch*. Die baldige THG-Neutralität ist Ziel, das zugleich Pflicht ist.

Auch individuell gilt dieser schlichte Kantianismus: Individuen sind verpflichtet, im Kontext zumutbarer Lebensstiländerungen ihre Emissionen zu reduzieren. Ethisch gesehen, handelt es sich

hierbei um *unvollkommene Unterlassungspflichten*. Als Faustformel mag das Individualziel gelten, kurzfristig den TGH-Wert eines durchschnittlichen Erdenbürgers zu erreichen: 4.8 t (China: 8.1, USA: 15.5), um diesen Wert dann allmählich weiter zu reduzieren.

2.2 Carbon Dioxide Removal

Die meisten Klimamodelle kommen zu dem Ergebnis, dass Carbon Dioxide Removal (CDR) Maßnahmen unerlässlich zur Erreichung der Klimaziele sind (Geden & Schenuit 2020, Gasser et al. 2015). Dies gilt auch für das EU-„net-zero“-Ziel. CDR kann kein Ersatz für Emissions-Reduktionen sein, sondern tritt ergänzend hinzu. CDR sind in ihrer langfristigen Wirkung unsicherer als GHG-Reduktionen und könnten auf globaler Ebene Landkonflikte hervorrufen. Wenn die EU jedoch frühzeitig negative Emissionen produziert, könnten Länder des Globalen Südens mehr Zeit für ihr „net zero“ erhalten (Geden & Schenuit 2020, S. 32). Zu dem mittelfristigen „net-zero“-Ziel, zu dem negative Emissionen beitragen, tritt dann ein längerfristiges Ziel dauerhafter negativer Emissionen hinzu: „net zero asap & negative emissions in the longer run“.

Es gibt etliche CDR Technologien (Klepper & Thrän 2019), Die bekanntesten sind *Direct Air Carbon Capture and Storage* (DACCS) (Batres et al. 2021) und (BECCS) (Smith et al. 2016). BECCS kombiniert die Verbrennung von pflanzlicher Biomasse mit CO₂-Abscheidung und unterirdischer Verpressung. Durch BECCS könnte *theoretisch* der Atmosphäre so viel CO₂ entzogen werden, dass nach einer Phase des „overshoot“ die GMT wieder auf ein verträgliches Maß abgesenkt wird (1.5°C). Für großmaßstäbliches BECCS im Gt-Bereich benötigt man allerdings große Flächen fruchtbaren Landes (mit oder ohne Bewässerung). BECCS ist auf der globalen Ebene daher kritisch zu sehen. BECCS kann als eine Form des „large scale land aquisitions“ (LaSLA) interpretiert und entsprechend politisiert werden. Anderson & Peters (2016, S. 183) bezeichnen großmaßstäbliches BECCS als ein „unjust and high-stake gamble“. Gleichwohl wäre es falsch, BECCS aus dem Klima-Portfolio herauszunehmen. BECCS ist eine Option für Länder mit (noch) relativ geringer Landnutzungskonkurrenz. BECCS und DACCS sind letztlich industrielle Technologien. Auch großmaßstäbliche Ozean-CDR-Pläne sind „large scale industries“ (Oschlies et al. 2023). Über die marinen Optionen informiert der „World Ocean Review 2024“ (Maribus 2024). Marine CDR-Optionen werden im Folgenden nicht weiter betrachtet.

2.3 Natural Climate Contributions (NCC)

NCC sind aus klimaethischer Sicht interessant, weil sie das *gesamte* Portfolio der möglichen Maßnahmen *en miniature* repräsentieren: a) Reduktion von Treibhausgasen, b) Anpassung an Klimawandel und c) Carbon Dioxide Removal (CDR). Der WBGU (2021, S. 85) betont diese und weitere „Mehrgewinne“ über die CDR-Wirkung hinaus. Diese Mehrgewinne fallen vor allem im Naturschutz an. *NCC symbolisieren repräsentativ das gesamte Anliegen des Klimaschutzes.*

Es liegt mittlerweile eine erste Welle an Literatur zu NCC vor (Anderson et al. 2019, Griscom et al. 2017, Lal et al. 2018, Paustian et al. 2016, Rumpel et al. 2018, Zomer et al. 2016, Zomer et al. 2017, Wang et al. 2024). Reise et al. (2022, S. 22) beschreiben NCC als „aligned with natural ecosystems“. NCC sind poly-funktional, aber keine Wunderwaffen. Ihre Potentiale sind begrenzt, sie wirken langsam und erfordern Geduld. NCC erbringen zeitlich befristete Senken, keine endgültigen Speicher. *Sie sind ein natur-affiner Multi-Impuls-Ansatz, der katalytisch auf eine veränderte Landnutzung wirkt.* Damit stehen sie im Kontext auch des Naturschutzes und der Umweltethik. NCC sind nicht nur „ein Tropfen auf einen heißen Stein“, der sofort verdunstet (durch austrocknende und schwelende Moore, brennende Wälder und versteppende Böden), sondern könnten ein kontinuierlicher Strom der C-Fixierung, der Kühlung, der Förderung resilienter ökologischer Systeme und Biozönosen sowie des menschlichen Wohlbefindens werden. Die globalen Potentiale von NCC sind spekulativ, da die

Differenz zwischen theoretischen und praktisch erreichbaren Potentialen von vielen Unwägbarkeiten abhängt. NCC-Potentiale sollten nicht nur global modelliert, sondern auch „*bottom up*“ abgeschätzt werden. Dies war Projektaufgabe, die erfüllt werden konnte.

3. Dritter Kontext: Umweltethik

3.1 Grundlagen

Die Umwelt- oder (synonym) Naturethik als ein mittlerweile etabliertes Feld der praktischen Philosophie (Ott, Dierks, Voget-Kleschin 2016) rekonstruiert in kritisch-reflexiver Einstellung die wesentlichen Argumentationsmuster, die diskursrational zum Schutz von natürlichen Entitäten und zur nachhaltigen Nutzung der Naturgüter geltend gemacht werden können (Krebs 1999, Ott 2010).

Geschützt werden soll, was aufgrund seiner Werthaftigkeit des Schutzes würdig und aufgrund bestimmter Umstände schutzbedürftig ist. Die Umweltethik setzt bei ihren argumentativen Bemühungen ontologisch voraus, dass die Rede von Natürlichkeit sinnvoll bleibt (Lie 2016), obschon in der heutigen Welt viele Naturwesen graduell überformt sind. Natur ist insofern ein Skalenbegriff zwischen den Polen „Wildnis“ und „Artefakt“. Die Grade der Überformung sind durch den sog. Hemerobiegradienten bestimmbar. Generell gilt, dass der Hemerobiegradient erhöht und verringert werden kann. NCC verringern ihn häufig und sind damit „renaturierend“.

Man kann die Werthinsichten der Natur sieben Argumentationsmustern zuordnen (Ott 2020a): 1) Angewiesenhetswerte und instrumentelle Werte, 2) kulturelle und eudaimonistische Werte, 3) Zukunftsverantwortung und Nachhaltigkeit, 4) Tugenden und biophile Einstellungen, 5) moralische Selbstwerte (Physiozentrik), 6) neue „ökosophische“ Weltbilder (Tiefenökologie) und 7) religiöse Traditionen. Diese sieben Kategorien schließen einander nicht aus, können also in unterschiedlichen Variationen vertreten werden. Im Folgenden wird 3) mit Blick auf NCC näher untersucht.

3.2 Zukunftsverantwortung, Nachhaltigkeit, Landethik

In intergenerationeller Perspektive geht es um die Kunst, in Ansehung von Natur langfristig zu denken (Klauer et al. 2013), und um die Frage, auf welche Naturausstattung Mitglieder zukünftiger Generationen legitime Ansprüche haben könnten. Diese Frage führt in Theorien und Konzepte von *Nachhaltigkeit* (Daly 1996, Ott & Döring 2011). In einer Grundkonzeption von Nachhaltigkeit, die auf Schutz und Förderung der Naturkapitalien großen Wert legt (sog. „starke“ Nachhaltigkeit), stellt der Naturschutz eine wesentliche Dimension dar (Ott 2015). In Ott & Döring (2011) sind Landnutzung und Klimaschutz zwei paradigmatische Anwendungsfelder starker Nachhaltigkeit. Zur Anwendung kommt dabei ein Konzept von Naturkapitalien (Vorräte, nicht-lebendige und lebendige Fonds), denen unterschiedliche Regeln zugeordnet werden, darunter auch eine Investitionsregel. NCC werden von der Investitionsregel gefordert, die Renaturierung zu einer regelbasierten Verpflichtung macht.

Der Grundsatz einer Landethik (Leopold 1949) harmoniert mit „starker“ Nachhaltigkeit. Wenn man Leopolds Landethik als Grundlage einer nachhaltigen Land-Bewirtschaftung auffasst (Norton 2016), und wenn man Leopolds berühmten Grundsatz („A thing is right if it tends to preserve the integrity, stability, and beauty of the biotic community“) konzeptionell auf die Höhe der heutigen Ökologie hebt, dann kann man fordern, dass eine stark nachhaltige Landnutzung auf die umfassende Erhaltung der *Fruchtbarkeit* („Produktivität“), der *Resilienz* und des *Reichtums* („Diversität“) der Naturgüter zu verpflichten ist.

Die *Produktivität* ist die Fruchtbarkeit eines Landes, über deren Veränderung in der Zeit sich wissenschaftliche Aussagen treffen lassen (Bodenwertzahlen, Feuchtigkeitsgehalt, mikrobielle

Verfassung usw.). Fruchtbarkeit ist ein systemischer Wert, da diese Disposition andere Werte hervorbringt (Rolston 1997). Das Konzept der *Resilienz* bezieht sich auf die Fähigkeit von Naturräumen, auf allmähliche Veränderungen, aber auch auf Anomalien und Extrema reagieren zu können. Resilienz lässt sich beeinflussen; so kann der Waldbau vorsorgend gegen Waldbrände agieren und der Wasserhaushalt kann auf Hitzewellen eingestellt werden. *Diversität* kann einmal (naturalistisch) nach der Seite der biotischen Vielzahl interpretiert werden. Diversität kann auch als Chiffre für die Vielfalt eudämonistischer Wertbezüge (Ästhetik, Erholung, Heimat) genommen werden.

NCC können unter dem Konzept differenzierter Landnutzung (Wolfgang Haber), das in der starken Nachhaltigkeit (und Landethik) gründet, näher untersucht werden. NCC-Flächen sind entweder eine neue Flächenkategorie oder sie fallen unter die Kategorien von Naturschutzflächen, Produktionsflächen oder Integrationsflächen. Von besonderem Interesse für NCC und Anpassung sind Gebiete, in denen Schutz und (teilweise neuartige) Nutzungen kombiniert und integriert werden können (etwa PV auf wiedervernässten Mooren oder Beweidung auf feuchtem Grünland). Es bedarf zur raumkonkreten Gestaltung dieser Integration von NCC der Landesplanung (von Haaren 2004, von Haaren et al. 2019).

3.3 Die immaterielle Dimension

NCC haben eine *immaterielle* Dimension. In einer urbanisierten Zivilisation stehen viele Menschen der Natur gleichgültig und unaufmerksam gegenüber. Die Rückkehr der Aufmerksamkeit auf Natur kann auch aus umweltethischer Sicht positive Seiten haben. Landnutzung wird wieder „Urproduktion“ und vielleicht auch wieder „*focal practice*“ (Borgmann 1984). Die sog. „transformative values“ (Norton), die Umwelttugenden und die eudaimonistischen Werte der Natur können gefördert werden, wenn Bürger*innen und vielleicht sogar schulische Initiativen sich an NCC beteiligen. Bürgerschaftliche NCC-Aktivitäten (Aufforstungen, Moorlehrpfade u. dergl.) sollten stimuliert werden.

Deshalb wäre eine reine „Tonnenideologie“ bei NCC falsch. Der Ausdruck „Tonnenideologie“ richtet sich gegen die Möglichkeit, Sinn und Bedeutsamkeit von NCC *ausschließlich* nach C-Speicherung und vermiedenen Emissionen zu bemessen. NCC haben repräsentative, symbolische und transformative Aspekte. Wenn es so etwas wie eine „große Transformation“ zur starken Nachhaltigkeit wird geben können, sind NCC eine Art „Mikrokosmos“ einer solchen Transformation: Klimaschutz, Waldbau, „Landwende“, Aufwertung der „Urproduktion“, Naturverbundenheit.

3.4 Ergebnis

Durch NCC kommen wir unserer Verpflichtung „*net zero asap!*“ nach. Aus Sicht einer stark nachhaltigen Landethik wirken NCC positiv auf allen drei Kriterien: Produktivität, Resilienz und Diversität. Damit bestimmt sich der normative Status von NCC aus den Kontexten von Klima- und Umweltethik heraus: *Es wäre falsch, NCC zu unterlassen*. Das Verbot des Unterlassens impliziert einen Handlungsauftrag. Mit dieser Perspektive ist der Übergang zu den nächsten Kontexten gegeben: dem Naturschutz und der Landwirtschaft.

4. Vierter Kontext: Naturschutz

Der Naturschutz hat mehrere gleichberechtigte Leitlinien (Ott 2015, S. 34): a) Erhalt der Funktionstüchtigkeit des Naturhaushaltes, b) Kulturlandschaftsschutz, c) Habitatschutz, d) Artenschutz und Biodiversität, e) Prozessschutz. NCC fallen unter mehrere dieser Leitlinien. Ich möchte die Leitlinie f) der Renaturierung ergänzen, die allerdings mit anderen Leitlinien gekoppelt werden kann. Das „Re“ in Renaturierung hat die Bedeutung von „*regain*“, nicht von „*return*“ (Ott 2011).

Der Schutz von Naturwesen kann konservierend („*hands off*“) oder interventionistisch („*hands on*“) sein. NCC sind intentional, geplant und interventionistisch. Zerbe & Ott (2021) haben argumentiert, dass Menschen in anthropogen überformte Systeme in renaturierender Absicht zugunsten der Natur eingreifen können (SRU 2024b). Das 2024 verabschiedete „*Nature Restoration Law*“ (NRL) verpflichtet die Staaten der EU, bis 2030 Maßnahmen in Gang zu bringen, die dazu führen, dass 30 % der Ökosysteme auf 20% der Fläche der EU ökologisch aufgewertet bzw. in einen guten Zustand versetzt werden (Ahne 2024). Hier sehe ich große Synergiepotentiale zwischen NCC und NRL. Es ist möglich und zulässig, dass bei einzelnen NCC-Maßnahmen und -Projekten der Wert für den Naturschutz die Bedeutung für den Klimaschutz überwiegt.

NCC sind zum Teil als Naturschutzflächen geeignet (Moore, Wälder, Grünland). Das Globalziel, 30% der Landesfläche unter eine Form des Schutzes zu stellen, wie es Edward O. Wilson und Arne Naess aus umweltethischer Sicht gefordert haben, dürfte in Deutschland im Bereich des Möglichen liegen. Nach dem Konzept differenzierter Landnutzung (Ott und Döring 2011) könnten 10-12% der Landesfläche Naturschutzflächen sein: 3-5% naturnaher Waldbau, 5% der Wälder (1.5%) Bannwälder, 1% Öko-Gärten, 5% extensives Grünland, 1% Küsten und Salzgraswiesen. Ebenfalls – neben den Mooren und der Aufforstungen – zum Portfolio für eine Emissionsreduzierung gehören Wäldchen, Alleen, „Knicks“ und urbane sowie ländliche Baumbestände. Baumpflanzungen sind sowohl C-Speicherung, Anpassung und Naturschutz (etwa Schutz der Vögel der Agrarlandschaft). Baumpflanzaktionen können zu akzeptanzförderlichen „*focal practices*“ werden, die bei den Beteiligten auch den Sinn für weniger populäre Maßnahmen wecken könnte.

Die Moore und der Moorschutz haben sich in den vergangenen Jahren von einem Außenseiterthema des Naturschutzes zu einem Kern von NCC entwickelt. Der Moorschutz ließ sich traditionell natur(schutz)ethisch als musealer Reliktschutz, als Schutz von naturhistorischen Archiven und durch das Differenzargument rechtfertigen (Ott 2015, S. 201-212). NCC ermöglichen nun eine neue Perspektive auf Moore. Unter der NCC-Perspektive können Moorstandorte auch als PV-Standorte, z.T. als ökologische Weideflächen (Wasserbüffel) und für und Paludikultur genutzt werden. Damit stehen sie im Kontext der Landnutzung.

5. Fünfter Kontext: Agrarethik

NCC sind eingebettet in eine umfassendere „Landwende“, zum anderen sind sie ein dynamisches und katalytisches Moment. Über die Sachdimension der Landwirtschaft informiert Hampicke (2013, 2018).

5.1 Prinzipien der Agrarethik

Folgende agrarethische Grundsätze könnten sich (auch aus Sicht der Landnutzer) als allgemein zustimmungswürdig erweisen: 1) Ernährungssicherheit, 2) „starke“ Nachhaltigkeit, 3) Tierwohl, 4) Rawlsianismus in der Gerechtigkeitstheorie, 5) Beiträge der Landwirtschaft zum Klimaschutz und 6)

ein hohes Maß an Freiheit auf Seiten der Landwirte und der Konsumenten. NCC können alle Grundsätze erfüllen oder zu ihrer Erfüllung beitragen.

Die Sicherung der globalen Ernährungssicherheit verpflichtet kein Land zu maximaler Nahrungsmittelerzeugung plus Exportorientierung. Deutschland allein kann die globale Ernährungssicherheit so wenig erreichen wie das 1.5°C-Ziel. Hoher Fleischkonsum trägt per se zur Ernährungssicherheit nicht bei; ein Recht auf „bezahlbares“ Fleisch besteht nicht. Die Belegung fruchtbaren Bodens für den Futtermittelanbau der industriellen Tiermast ist agrarisch nicht zu rechtfertigen.

Empfindungsfähigkeit ist Grund für moralische Berücksichtigungswürdigkeit. Tiere sind keine Sachen und dürfen nicht ausschließlich ihres Wohlergehens als Wirtschaftsgüter betrachtet werden (Caspar & Schröter 2003). Dies führt in Debatten um die angemessenen Tierwohlstandards. NCC sind mit Blick auf artenreiches Grünland relevant für eine „humane“ Domestikation (siehe auch Ott 2023a, S. 206f).

In der *Gerechtigkeitstheorie* gilt, dass die schlechtesten Positionen in einem System wirtschaftlicher Kooperation ein menschenwürdiges Dasein ermöglichen sollen. Dies bedeutet, dass NCC nicht zu Lasten der sozial Schwachen gehen darf. Dieses Prinzip scheint hierzulande erfüllt und global erfüllbar. Wie jeder Sektor der Wirtschaft soll die Landwirtschaft faire *Beiträge zum Klimaschutz* leisten. Das Prinzip erfüllen NCC. Die Landwirtschaft darf sich im Lichte agrarischer Prinzipien nicht gegen NCC-Politiken sperren.

Das Prinzip Freiheit der Agrarbetriebe bleibt dabei wichtig, da Klimaschutz einschließlich NCC eine Vielzahl von Verordnungen, Regulierungen etc. auf den Weg bringt. Klimagesetze, Planungsrecht, Boden- und Gewässerrecht, Agrarumweltprogramme, Standards guter fachlicher Praxis, Förderprogramme wie das ANK, FFH-Richtlinie usw. haben ein Ausmaß an Administration erreicht, das kaum noch überschaubar ist. Die Frage ist, ob NCC nur um den Preis weiterer Bürokratisierung der Landnutzung zu haben sind. Die Teilnahme an Förderprogrammen ist für viele Landwirte aufgrund des administrativen Ausmaßes häufig unattraktiv. Dies sollte sich bei NCC nicht fortsetzen. Dies betrifft die Ausgestaltung von ANK-Förderkulissen.

6. Sechster Kontext: Landwirtschaft

Die Produktivität der heutigen deutschen Landwirtschaft könnte höher kaum sein; der Verzicht auf die „grüne“ Gentechnik hat ihr nicht geschadet. Die Anzahl der miternährten Personen liegt pro Vollerwerbsbeschäftigten bei über 120. Weniger als 2% der Bevölkerung produzieren Nahrungsmittel und zwar so, dass die restlichen 98% weniger als durchschnittlich 12-14% ihres Nettoeinkommens für den Kauf von Nahrungsmitteln aufwenden müssen. Und wenn die Preise für Lebensmittel um 10% steigen (wie im Jahre 2022), steigen sie von 14% auf 15,4%. Die Ernteerträge bei den Massenprodukten (Mais, Raps, Getreide, Zuckerrüben, Kartoffeln) dürften kaum mehr steigen; faktisch gehen sie seit 2016 (leicht) zurück. Die hochprozessierten Lebensmittel, die aus diesen Massenprodukten hergestellt werden, sind sehr profitabel, schneiden aber unter ernährungsphysiologischen Aspekten eher schlecht ab (Bosy-Westphal et al. 2023). Die Potentiale für eine diversifizierte Ernährung sind gegeben. Allerdings diversifizieren sich Ernährungsstile (Korthals 2004), so dass auch der Trend zu „*fast food*“, „*convenience food*“ etc. Bestand haben wird. Auch Fleischersatzprodukte sind hoch artifizell.

Das Paradox der Landwirtschaft lautet: Sie ist auf ihre konventionelle Weise höchst erfolgreich, aber zunehmend unbeliebt. Das Paradigma der industriellen Landwirtschaft konkurriert mittlerweile mit „ökologischen“ Landbaukonzepten und Konzepten einer „bäuerlichen“ Landwirtschaft. Dadurch werden die Grenzen zwischen „konventioneller“, „traditioneller“, „ökologischer“ und

„biodynamischer“ Landwirtschaft fließender. Es bildet sich allmählich ein Gradient heraus, dessen Pole die industriell betriebene Intensivlandwirtschaft und der nach Prinzipien der Permakultur bewirtschaftete Betrieb sind. NCC haben das Potential, wünschenswerte Verschiebungen auf diesem Gradienten zu bewirken.

6.1 Perspektiven der Landnutzung bei NCC

Der Versuch, Rahmenbedingungen zu schaffen, innerhalb derer Land- und Forstwirte und Natur- und Klimaschützer Koalitionen miteinander eingehen können, sind bislang trotz vieler Bemühungen erfolglos geblieben. Grund dafür ist im Wesentlichen die Gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP). Die Umwandlung der Subventionen in die Honorierung ökologischer Leistungen ist häufig gefordert, aber nie konsequent umgesetzt worden. Mehr als 50% der Subventionen wird als Flächenprämie ausgezahlt. Dies führt zu wachsenden Betriebsgrößen und einem Rückgang der landwirtschaftlichen Betriebe auf 255.000 im Jahre 2023. Dies ist ein deutlicher Rückgang seit 2010, der den Langfristtrend fortsetzt. Zudem erwerben immer mehr Unternehmen Land, die selber nicht Landwirtschaft betreiben, sondern Land verpachten. Was die Einkommensentwicklung anbetrifft, sollten Landwirte und ihr Verband ehrlich sein. Die Figur des einkommensschwachen Kleinbauern, der um seinen Hof bangt, ist nicht repräsentativ für die Betriebe. Bei einer politisch verordneten Transformation der Landnutzung ist mit Widerständen der Landwirte zu rechnen. In dieser Situation wirkt eine NCC-Strategie, die u.a. großflächige Vernässung von Mooren einschließt und die Futtermittelproduktion in Frage stellt, auf den ersten Blick wie ein „Brandbeschleuniger“. Dies aber ist nicht zwingend. Da NCC im Kontext einer Landnutzung erfolgt, die hoch subventioniert wird, können im Prinzip Mittel umgeschichtet werden, um Landnutzer für die Produktion von NCC zu entlohnen. Die Landwirte wiederum müssen einsehen, dass sie in Zukunft Dienstleistungen für die Gesellschaft erbringen müssen, die über die Produktion von Nahrungsmitteln hinausgehen.

6.2 Landwirtschaft und NCC

NCC braucht Fläche. Diese scheint dann anderswo zu fehlen. Flächennutzungswandel hat es freilich immer gegeben. So wurde früher ein Teil der Ernte als Futter für Last- und Zugtiere eingesetzt. Nachwachsenden Rohstoffe (Mais) für die energetische Nutzung wurde durch Doppelförderung (GAP, EEG) ausgeweitet. Durch Agrarumweltprogramme wurden ebenfalls Flächennutzungen geändert. Eine veränderte Flächennutzung muss nicht notwendig ein ökonomischer Nachteil für Landwirte sein.

Die Wiedervernässung von Mooren kann zu einer Beschleunigung auf dem Weg zum nationalen „net zero“ führen. Allerdings entfallen dann bisherige Nutzungsformen auf degradierten Moorböden, die durch PV auf Moorböden, Paludikultur, Beweidung und C-Zertifikate substituiert werden könnten. Die größte Flächenreserve ist der Futtermittelanbau: Wird die Zahl der Nutztiere halbiert, werden Flächen auch für NCC „frei“. Würden Milch und Fleisch hauptsächlich auf Grünland erzeugt, steht Ackerland für andere Zwecke zur Verfügung: NCC, Randstreifen-Naturschutz, vielleicht mehr Kartoffelanbau usw. Der Fleischkonsum ist mittlerweile rückläufig. Der Anteil der Vegetarier und Veganer steigt in der jüngeren Alterskohorte (unter 35 Jahren) sprunghaft an. Als Richtwert für den pro-Kopf-Verbrauch an tierischen Produkten können die Empfehlungen der DGE dienen. Der Tierbestand sollte sich folglich bis 2040 halbieren, was auch aus Tierwohlgründen und Gesundheitssicht zu begrüßen wäre.

7. Fazit, Instrumente und Programme

7.1 Status von NCC

NCC sind eine paradigmatische Option, dem Überschreiten der beiden zentrale „*planetary boundaries*“ entgegenzuwirken: Klimawandel und Biodiversitätsverlust. NCC können daher „doppelt und dreifach“ gerechtfertigt werden. NCC bilden 1) das gesamte Klima-Portfolio „*en miniature*“ ab, 2) schneiden in allen Dimensionen einer stark nachhaltigen Landethik gut ab, 3) sind Investitionen in Naturkapitalien und „*ecosystem services*“, 4) wirken der „Versäulung“ der Handlungsfelder des Klima- und des Naturschutzes entgegen, wirken 5) katalytisch auf eine (wünschenswerte) Transformation der Landnutzung hin, 6) könnten eine veränderte gesellschaftliche Aufmerksamkeit für „gute“ Landnutzung wecken, dienen 7) dem Ziel „*net zero asap*“ und 8) der längerfristigen Produktion negativer Emissionen. Im Klima-Portfolio kommt NCC eine Art von Ehrenplatz zu.

Somit können wir NCC nunmehr ethisch bestimmen. Sie fallen unter die Handlungskategorie: „*Es wäre falsch, x zu unterlassen*“. Dass Unterlassungen, also negative Akte, moralisch falsch sein können (bspw. unterlassene Hilfeleistung), ist in der Ethik weitgehend unstrittig (Birnbacher 1995). Auch für kollektives staatliches Handeln gilt, dass Unterlassungen falsch sein können (Waffenlieferungen an angegriffene Staaten, Nothilfe, humanitäre Interventionen). Damit ist über das gebotene Ausmaß im Einzelfall nichts gesagt. Deshalb ist die Verpflichtung unvollkommen (im Sinne Kants). Die *Verpflichtung, NCC nicht zu unterlassen, ist eine unvollkommene kollektive Handlungspflicht*. Man kann unvollkommene Pflichten als „*commitments*“ begreifen, die sich von strikten Pflichten („*obligations*“) dadurch unterscheiden, dass sie Spielräume belassen. Es soll etwas „in diese Richtung“ unternommen werden. Nähere Bestimmungen sind Mengenziele, Ausmaß, Tempo und Instrumente. Hierzu kann sich die Ethik als solche nur noch bedingt äußern. Sie kann aber angesichts der Situation Dringlichkeit anmahnen. Damit besteht ein *commitment*, NCC-Politik zügig und energisch auf den Weg zu bringen.

7.2 Akteure und Pflichten

Häufig handeln bestimmte Gruppen stellvertretend für das gesamte Kollektiv: Polizisten, Soldaten, Richter, Parlamentarier. Problematisch ist, wenn bestimmte wirtschaftlich tätige Berufsgruppen stellvertretend für das gesamte Kollektiv handeln sollen. Man bürdet dann nämlich Wirtschaftsbürgern die Opportunitätskosten kollektiver Pflichten und Ziele auf. Wenn nun ein Kollektiv aus Staatsbürgern zu der normativen Einsicht kommt, dass x nicht unterlassen werden darf, muss der Staat diejenigen privaten Akteure, die im Sinne dieser Einsicht tätig werden sollen, für ihr x-Tun angemessen ausstatten und honorieren. Wer nun ist überhaupt bin der Lage, x zu tun? Im NCC-Fall sind es die Landnutzer.

7.3 Aktionsprogramm Naturbasierter Klimaschutz

NCC sind mittlerweile in der politischen Förderung. Das BMUV hat 2022 das „*Aktionsprogramm natürlicher Klimaschutz*“ (ANK) aufgelegt und hierfür ursprünglich 4 Mrd € zur Verfügung gestellt, die dann auf 3.5 Mrd € gekürzt werden mussten. Es kommt darauf an, diese Mittel zeitnah effizient zu verausgaben. BMUV bewirbt NCC mit Verweis auf „*ecosystem services*“ und auf Synergien mit FFH-Richtlinie, Vogelschutzrichtlinie, WRRL, DAS sowie den Klimazielen. Es kommt in der näheren Zukunft entscheidend darauf an, dass diese Pilotphase von Beratung, Information, Veranstaltung, Vernetzung usw. zugunsten einer Praxisphase hinter sich gelassen wird. Das ANK sollte in jedem Falle fortgesetzt werden. Hier könnte es zu Synergien mit dem Nature Restoration Law (NRL) kommen, das 2024 von der EU verabschiedet wurde.

NCC haben eine *immaterielle* Dimension. NCC haben repräsentative, symbolische und transformative Aspekte. Wenn es so etwas wie eine „große Transformation“ zur starken Nachhaltigkeit wird geben können, sind NCC eine Art „Mikrokosmos“ einer solchen Transformation: Klimaschutz, Waldbau, „Landwende“, Aufwertung der „Urproduktion“, Naturverbundenheit.

Die Potentiale von NCC auf der globalen Skala sind nur äußerst grob abschätzbar und mit Unwägbarkeiten behaftet. Es ist hierbei zu bedenken, dass viele Gebiete der südlichen Hemisphäre durch Kolonialwirtschaft, „klassische“ Umweltverschmutzung, Entwaldung, Bevölkerungsdruck, „*overtourism*“ usw. ökologisch degradiert sind. Hier könnte es von großem Vorteil sein, dass NCC das gesamte Klima-Portfolio abbilden. NCC sollten daher in die globale Anpassungsfinanzierung aufgenommen werden (WBGU 2021, S. 89).

Modul 2: Moore

Zuwendungsempfänger: Universität Greifswald Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät	Geschäftszeichen: 35795/01-33-0
Vorhabenbezeichnung: Natural Climate Solutions - Eine Potenzialabschätzung für Norddeutschland Modul 2: Moore Bearbeiter: John Couwenberg & Hans Joosten	
Laufzeit des Vorhabens: 1.4.2022 – 31.7.2023	
Berichtszeitraum: 1.6.2022 – 31.7.2023	

Einleitung

Pflanzen nehmen CO₂ auf und speichern den Kohlenstoff (C) in ihrer Biomasse. Wenn sie sterben, werden sie zersetzt und das C wird wieder als CO₂ freigesetzt. In intakten, nassen Mooren herrschen aufgrund der Wassersättigung im Boden anaerobe, reduzierende Bedingungen. Hierdurch wird die vollständige Zersetzung des abgestorbenen Pflanzenmaterials gehemmt, und die Pflanzenreste akkumulieren als Torf. Moore speichern etwa 1 t CO₂ pro Hektar und Jahr – also bedeutend weniger als ein aufwachsender Wald bindet (s. Kap. Wald). Dies liegt vor allem daran, dass nur 5 bis 15 % der ursprünglich aufgebauten Biomasse als Torf gespeichert wird. Im Gegensatz zum Wald können Moore – wenn auch langsam – mit der Torfbildung hochwachsen und so, über Jahrtausende immer mehr Torf ablagern.

Weltweit enthalten Moore etwa 6 Mrd. Tonnen Kohlenstoff (UNEP 2022). Das ist zweimal so viel wie alle überirdischen Biomassen der Welt zusammen oder anderthalbmal so viel, wie in allen (unter- und überirdischen) Waldbiomassen der Welt (Pan et al. 2011, Santoro et al. 2022, Mo et al. 2023). Pro Hektar enthält ein durchschnittliches Moor deutlich mehr Kohlenstoff als andere kohlenstoffreiche Ökosysteme (Joosten et al. 2016, Temmink et al. 2022). Ein durchschnittlicher Hektar Moor in Deutschland enthält viermal mehr C als ein durchschnittlicher Hektar Wald, bei den großen Flusstalmooren in Mecklenburg-Vorpommern mit mächtigen Torfschichten ist es noch einmal deutlich mehr.

Dabei nehmen Moore vergleichsweise kleine Flächen ein. Weltweit sind es etwa 500 Mio km² (UNEP 2022), was nur ein Achtel der Waldfläche entspricht. In Deutschland gibt es etwa 1.3 Mio Hektar Moor, oder 3.6% der Landfläche Deutschlands (Roßkopf et al. 2015). Die Moore sind Teil der organischen Böden, die insgesamt etwa 1.8 Mio Hektar einnehmen (Tegetmeyer et al. 2021, UBA 2023). Beispiele von organischen Böden, die keine Moorböden sind, sind Böden mit geringmächtigen oder stark degradierten Torfauflagen. In Mecklenburg-Vorpommern gibt es 330 000 ha organische Böden, wovon 285 000 ha Moore sind; in Schleswig-Holstein sind es 186 000 ha organische Böden wovon 160 000 ha Moore.

Weltweit sind etwa 88% der Moore ungestört. Etwa ein Zehntel der ungestörten Moore haben aufgehört netto Kohlenstoff zu akkumulieren, weil die natürlichen Bedingungen sich geändert haben. Die 12 % der Moore, die durch Menschen gestört sind, akkumulieren nicht mehr. In Deutschland sind intakte Moore eine Seltenheit. Nur noch etwa 2 % der Moorfläche ist in einem naturnahen Zustand. Die meisten Moore wurden entwässert für Land- und Forstwirtschaft, Torfabbau und Siedlungs- und Straßenbau. Ein geringer Teil (etwa 4 %) wurde bereits wiedervernässt. Auch in Mecklenburg-Vorpommern und in Schleswig-Holstein ist der überwiegende Teil der Moorfläche entwässert (Abb. Moor.1).

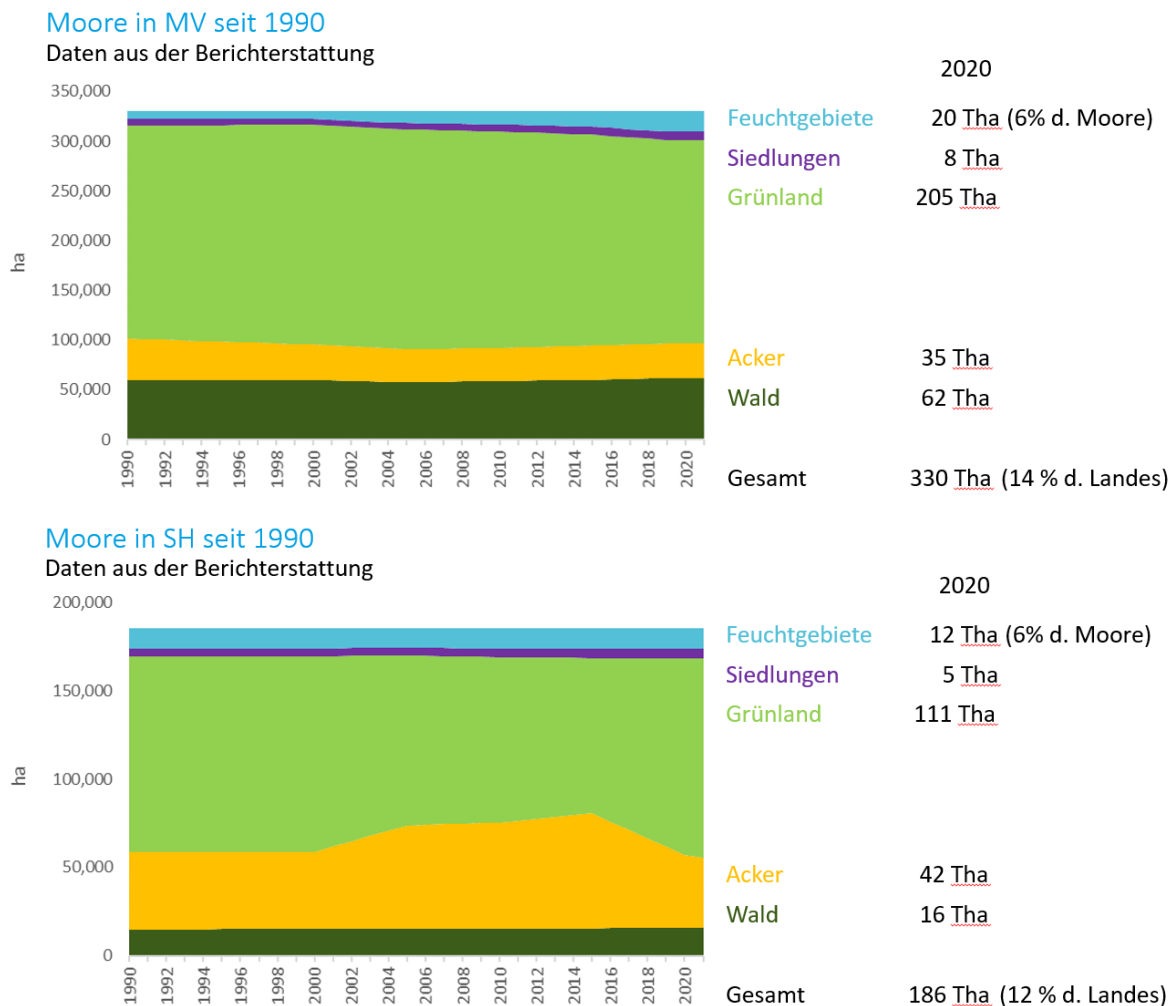


Abbildung 1: Moornutzung in Mecklenburg-Vorpommern (oben) und Schleswig-Holstein (unten) zwischen 1990 und 2021. Daten nach den LULUCF-Kategorien vom Thünen-Institut zur nationalen Treibhausgasinventur.

Die Darstellung in Abb. Moor.1 basiert auf Daten aus der nationalen Treibhausgasinventur und betrifft organische Böden, die als Forst, Acker oder Grünland genutzt werden, oder Teil sind von Siedlungen. Die Landnutzungskategorie Feuchtgebiete umfasst geflutete und nasse Standorte, aber auch Torfabbauflächen. Mit 207 bzw. 140 ha sind letztere in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein gering im Vergleich zu den Gesamtflächen in der Kategorie Feuchtgebiete (20 bzw. 12 Tha).

Wird ein Moor entwässert, dringt Sauerstoff in den Boden ein und der Torf wird zersetzt. Dabei wird CO₂ freigesetzt. Die Höhe der CO₂-Emissionen wird stark von der Entwässerungstiefe bestimmt (Abb. Moor.2). Pauschal gilt: 10 cm tiefere Entwässerung resultiert in 5 Tonnen zusätzlichem CO₂-Ausstoß.

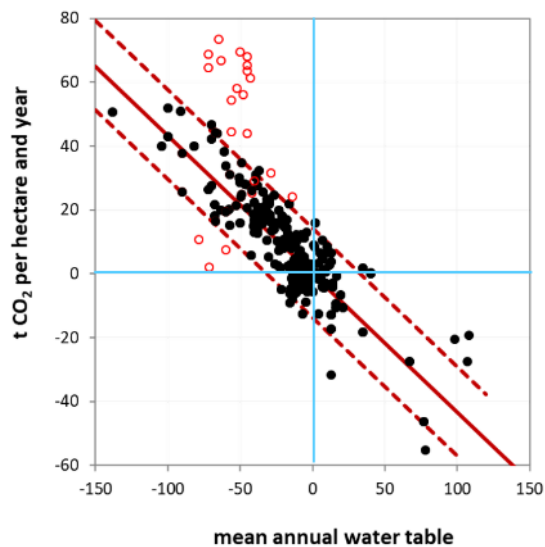


Abbildung 2: Jährliche CO₂-Emissionen in Bezug zum mittleren Jahreswasserstand für 331 Jahresbeobachtungen in Zentral-Europa. Die offenen, roten Punkte betreffen sogenannte Anmoore, die durchaus auch höhere Emissionen als die eigentlichen Moore zeigen können.

Für tiefentwässertes Grünland (–60cm) sind die Emissionen ~30 t CO₂ pro Hektar und Jahr. Für Ackerstandorte liegen die Emissionen etwas höher, bei ~35 t CO₂ pro Hektar und Jahr. Da bei der Zersetzung der Torfe der Boden buchstäblich in die Luft geht, sinkt die Oberfläche der Moore immer weiter ab. In Deutschland beträgt die jährliche Schwundrate etwa 1 cm. Das ist eine Größenordnung schneller als der Torf abgelagert wurde (≤ 1 mm pro Jahr). Da die meisten Moore tausende Jahre alt sind, können Emissionen und Schwund über Jahrhunderte andauern.

Bei einer Wiedervernässung gilt, je höher der Wasserstand, desto geringer sind die CO₂-Emissionen (vgl. Abb. 2): ist der Wasserstand dauerhaft (über das Jahr und über die Jahre) an oder nahe der Oberfläche, sind die CO₂-Emissionen null bzw. negativ. Negative CO₂-Emissionen entsprechen einer CO₂-Senke. Allerdings tritt bei Wasserständen um und oberhalb der Geländeoberkante Methan (CH₄) aus den Mooren aus (Abb. Moor.4)

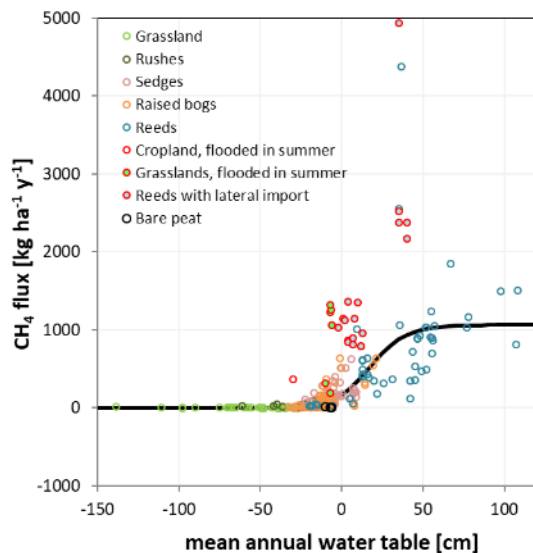


Abbildung 4: Jährliche CH_4 -Emissionen in Bezug zur mittleren Jahreswasserstand für 366 Jahres-Beobachtungen in Zentral-Europa. Die Messungen sind farblich nach Vegetation bzw. Nutzung getrennt. Methanemissionen sind auf hohen Wasserständen beschränkt.

Sehr hohe Methanemissionen treten auf, wenn Äcker oder Intensivgrünländer unverhofft geflutet werden, oder wenn Flachwasserseen entstehen, in den nährstoff- und Kohlenstoffreiches Wasser einfließt (Antonijevic et al. 2023, Abb. Moor.4). Bei Wiedervernässung sollten solche Situationen vermieden werden.

Das Thünen Institut setzt für nasse Moore einen CH_4 -Emissionsfaktor von 280 kg pro Hektar und Jahr an. Bisherige Messungen auf wiedervernässten Flächen mit einer gut etablierten moortypischen Vegetation zeigen einen Wert, der den Emissionen aus naturnahen Seggenrieden und Röhrichten entspricht. Wenn Überstau vermieden werden kann, liegen die Emissionen schätzungsweise bei etwa 225 kg pro Hektar und Jahr.

Lachgas-Emissionen sind auf entwässerte Standorte beschränkt und sehr erratisch. Obwohl wir im Einzelnen ziemlich gut verstehen, wie, wann und wo Emissionen auftreten (bei Wechselfeuchte, nach Dünge- bzw. Regenereignissen, bei Frost-/Tauwechseln), gibt es keine geeigneten Indikatoren, um diese auf die Fläche hoch zu rechnen. Eins ist aber klar: aus nassen Mooren tritt kein oder kaum Lachgas aus. Durch Wiedervernässung können Lachgas-Emissionen daher nur geringer werden. Das Thünen Institut setzt für entwässerten Äcker auf Moorboden einen Emissionsfaktor von 11.1 kg pro Hektar und Jahr an, für Grünland 4.2 kg.

Die wärmende Wirkung der unterschiedlichen Gase wird allgemein als Treibhauspotential in CO_2 -Äquivalenten (CO_2e) ausgedrückt. Lachgas-Emissionen aus Grünland entsprechen demnach 1 t CO_2e ($4.2 \text{ kg} \times 273$) und die aus Äckern auf Moor entsprechen 3 t CO_2e ($11.1 \text{ kg} \times 273$) pro Hektar und Jahr. Nasse Moore emittieren demnach etwa 7 t CO_2e pro Hektar und Jahr in Form von Methan ($250 \text{ kg} \times 27$).

In bisherigen Wiedervernässungsprojekten wurden Emissionsminderungen von etwa 15 t CO_2e pro Hektar und Jahr erzielt. Es handelte sich hierbei meistens um extensiv genutzte Flächen, die vor der Wiedervernässung weniger emittierten als intensiv genutzte Äcker oder Grünlandflächen. Das Minderungspotenzial beträgt für Intensivgrünland $29.3 \text{ t CO}_2 + 1 \text{ t CO}_2\text{e (N}_2\text{O)} - 7 \text{ CO}_2\text{e (CH}_4\text{)} = 23.3 \text{ t CO}_2\text{e pro Hektar und Jahr}$; für Ackerstandorte liegt es bei $34.8 \text{ t CO}_2 + 3 \text{ t CO}_2\text{e (N}_2\text{O)} - 7 \text{ CO}_2\text{e (CH}_4\text{)} = 30.8 \text{ t CO}_2\text{e pro Hektar und Jahr}$. Diese Ableitung beruht auf Faustzahlen aus der nationalen

Berichterstattung. Dieses Potential auszuschöpfen setzt voraus, dass die Fläche optimal vernässt wird, d.h. Wasserstände nahe der Oberfläche über das gesamte Jahr in der gesamten Fläche erzielt werden. In der Realität wird Vernässung suboptimal sein.

1. Emissionsminderung und Senkenpotential der Moore Norddeutschlands

Bundesweit stellt das Thünen Institut jährlich Zahlen für die Emissionen aus dem Sektor Landnutzung auf. Freundlicherweise hat das Thüneninstitut uns diese Daten für die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein zur Verfügung gestellt. Wie erwähnt, beziehen sich diese Daten auf organische Böden, die sich zwar weitestgehend mit Moorböden decken, aber eine doch nicht vernachlässigbare größere Fläche aufweisen. Die Emissionen aus einem Hektar nicht-Moor organischer Boden werden in der Treibhausgasinventur die Emissionen aus echten Moorböden gleichgesetzt (vergl. dazu Abb. Moor.2).

Die Minderungen der Treibhausgas-Emissionen betreffen das Erfüllen von bundes- und landesweiten Zielen. Für Moore gilt: entweder sie sind entwässert und emittieren CO₂ und N₂O oder sie sind nass und emittieren CH₄. Das liegt an der Natur der vorherrschenden Umsetzungsprozesse. Man kann zwar geringere CO₂e-Werte erreichen indem man Wasserstände kurz unter Flur anstrebt, dabei lassen sich dann aber CO₂ Emissionen nicht vollständig vermeiden. Wie IPCC (2018, 2021) vorrechnet, müssen die CO₂-Emissionen bis 2050 Null werden, um den 1.5°C-Pfad einzuhalten. CH₄-Emissionen müssen lediglich reduziert werden.

CH₄ ist zwar ein kräftigeres Klimagas als CO₂, es verbleibt im Schnitt aber nur 12 Jahre in der Atmosphäre (IPCC 2021). Bei gleichbleibendem CH₄-Ausstoß stellt sich ein dynamisches Gleichgewicht ein: es kommt genau so viel CH₄ hinzu wie aus der Atmosphäre verschwindet. CO₂ akkumuliert hingegen in der Atmosphäre und ein steter jährlicher Fluss führt zu immer höheren Mengen in der Atmosphäre, sprich einer immer stärkeren wärmenden Wirkung. Der Klimaeffekt des langlebigen CO₂ ist auf Dauer immer stärker als der von dem kurzlebigen CH₄ (Günther et al. 2020). Außerdem sollen CO₂-Emissionen bis 2050 auf Null reduziert, CH₄-Emissionen lediglich halbiert werden. Die erhöhten CH₄-Emissionen müssen in Kauf genommen und in anderen Sektoren wettgemacht werden, z.B. in der Industrie, Tierhaltung oder Abfallwirtschaft.

Die CH₄-Emissionen, die bei der Bereitstellung der CO₂-Senke entstehen, müssen durch erhöhte Anstrengungen in anderen Sektoren kompensiert werden. Überlegungen diese Emissionen auf den Moorflächen selbst zu verringern stehen noch am Anfang. Durch kluges Wassermanagement, Auswahl der Pflanzenarten bei Anbaupaludikultur, inkl. die Entwicklung von Cultivars, und womöglich technischen Maßnahmen, wie das Einbringen von Eisen oder Sulfat, erwarten wir, dass eine Halbierung der CH₄-Emissionen möglich sein sollte. Wenn alle Moore Mecklenburg-Vorpommerns wiedervernässt werden, steigen nach bisherigem Stand die CH₄-Emissionen von derzeit ca. 20 000 auf ca. 74 000 Tonnen pro Jahr (fast 2 Mio T CO₂e); in Schleswig-Holstein auf ca. 55 000 T CH₄ (1.5 Mio T CO₂e). Mit methanmindernden Maßnahmen bleiben immerhin fast 40 000 Tonnen pro Jahr (etwa 1 Mio T CO₂e) in Mecklenburg-Vorpommern und fast 30 000 (etwa 0.7 Mio T CO₂e) in Schleswig-Holstein.

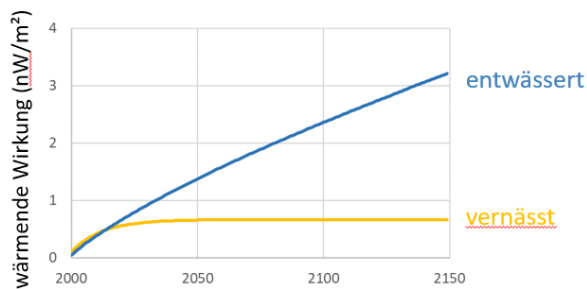


Abbildung 5: Wärmende Wirkung über die Zeit in nW/m^2 von einem entwässerten Hektar Moor mit 25 t CO_2 -Emissionen pro Jahr und einem wiedervernässten Hektar Moor mit 250 kg CH_4 pro Jahr. Anfangs ist das nasse Szenario leicht wärmer als das entwässerte. Auf langer Sicht ist das nasse Szenario aus Klimaschutzsicht deutlich das bessere.

In Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein stellen die organischen Böden mit 8 bzw. 5.6 Mio. Tonnen CO_2e die größte Einzelemissionsquelle da (Uellendahl et al. 2023). Das Ziel der beiden Landesregierungen bis 2040 ‚klimaneutral‘ zu sein, bedeutet deswegen, dass Moore entsprechend berücksichtigt werden sollen. Da CO_2 -Emissionen auf null reduziert werden müssen, müssen bis 2040 dann auch alle Moore nass sein. Diese Einsicht ist bisher nur bedingt vorhanden, aber die Entscheidung ‚klimaneutral‘ zu sein, hat diese Konsequenz.

Moore bieten auch ein Senkenpotential, das in Wiedervernässungsprojekten bisher aber nicht im Mittelpunkt stand. Wenn sich nach der Wiedervernässung eine moortypische Vegetation entwickelt, kann sich eine Schicht aus Wurzelfilz und Streu ablagern. Die Kohlestoffmenge, die in dieser Schicht enthalten ist, haben wir an 70 Kernen aus wiedervernässten Mooren in Mecklenburg-Vorpommern bestimmt und dabei eine durchschnittliche Menge von 4 kg C pro m^3 gefunden, was 40 Tonnen C pro Hektar entspricht (etwa 150 t CO_2). Diese Senke ist eine einmalige Senke, die sich in den ersten Jahren nach der Wiedervernässung bildet (Mrotzek et al 2020, eigene Daten).

Es werden aber dauerhafte Senken benötigt, die nur hergestellt werden können, indem der Wasserstand dauerhaft steigt. Dies wird nicht auf allen wieder zu vernässenden Flächen möglich sein. Wenn es auf der Hälfte der 300.000 Hektar Moore in Mecklenburg-Vorpommern gelingen sollte 1 bis 2 Tonnen CO_2 jährlich fest zu legen, könnte eine Senke von insgesamt bis zu 3 Mio. Tonnen CO_2 pro Jahr entstehen, wenn dies auf der Hälfte der 186.000 Hektar Moore in Schleswig-Holstein gelingen sollte, eine Senke von insgesamt bis zu 1.8 Mio. Wenn in Zukunft Förderungen für Paludikultur (d.h. nasse Nutzung) oder Ökosystemleistungen entstehen, werden diese an dauerhaft hohe Wasserstände gekoppelt werden (müssen). Das für eine Senke notwendige Wasser-Management könnte auf diese Weise erreicht werden.

Die Anstrengungen zur Methanreduktion werden überwiegend in den Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft erfolgen müssen. Im Sektor Landwirtschaft stellt die Tierhaltung in Mecklenburg-Vorpommern mit ca. 50 000 und in Schleswig-Holstein mit ca. 116 000 Tonnen Methan pro Jahr die größte Quelle da. In der Abfallwirtschaft emittieren Deponien und Kompostierungsanlagen in Mecklenburg-Vorpommern ca. 7 000 und in Schleswig-Holstein ca. 4 000 Tonnen Methan jährlich.

2. Moorwiedervernässung und Klimawirkung

Weil Moore nach der Vernässung Methan freisetzen, werden sie über längere Zeit tatsächlich nicht kühlend wirken. In Wiedervernässungsszenarien wird dies deutlich (Abb. Moor.6-10). Die wärmende bzw. kühlende Wirkung lässt sich hierbei als Strahlungsbilanz in W/m^2 ausdrücken. Wenn sich die

Rate der Wiedervernässung fortsetzt, wie in den letzten 10 Jahren, werden die Moore bei Weitem nicht alle nass. Daher nähme die wärmende Wirkung stetig zu, weil immer noch sehr viel CO₂ ausgestoßen würde (Abb. Moor.6). Sollte es uns gelingen, alle Moore bis 2040 nass zu bekommen, ergeben sich CH₄-Emissionen, die wie beschrieben zu einer stabilen Menge CH₄ in der Atmosphäre führen mit einer gleichbleibenden wärmenden Wirkung (Abb. Moor.7).

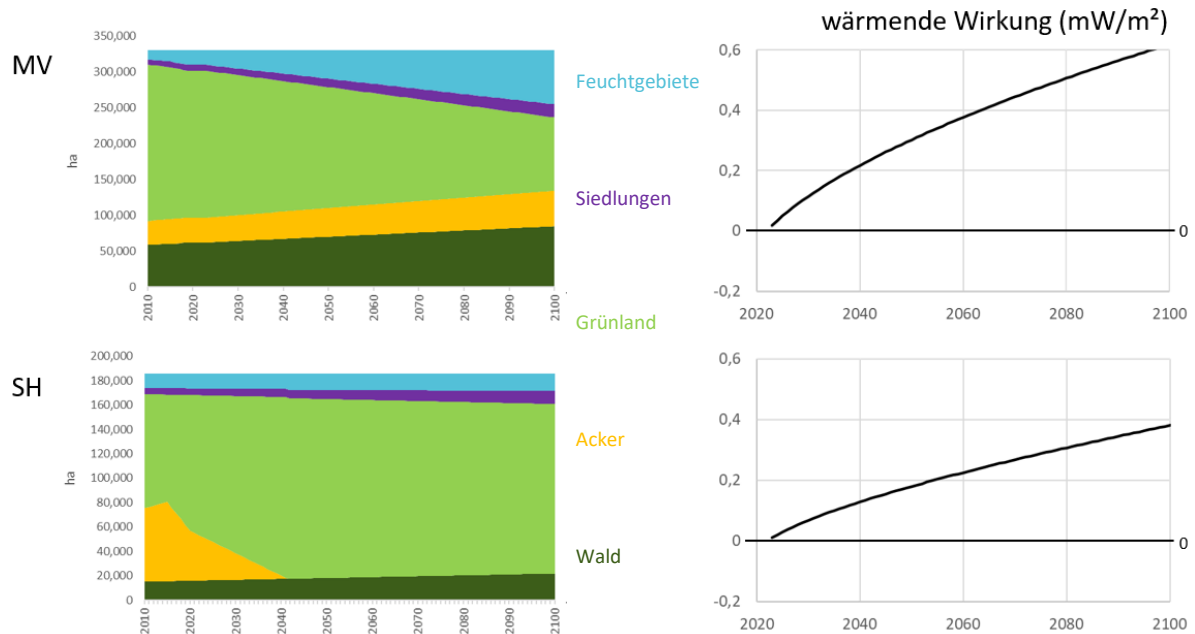


Abbildung Moor.6 Verschiebungen in Landnutzung in MV und SH, wenn sich der Trend der letzten 10 J fortsetzt (Vgl. Abb. Moor.1) und rechts die zu diesem Szenario gehörende wärmende Wirkung über die Zeit

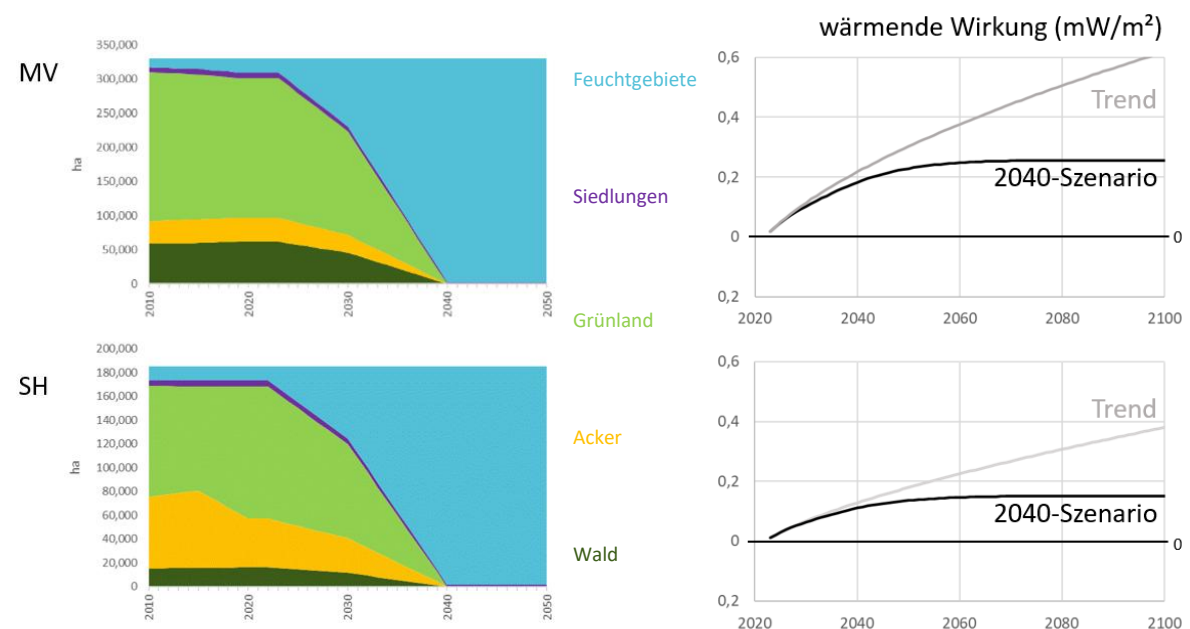


Abbildung Moor.7: Verschiebungen in Landnutzung in MV und SH, wenn alle Moore bis 2040 wiedervernässt werden und rechts die zu diesem Szenario gehörende wärmende Wirkung über die Zeit. Zum Vergleich zeigt die graue Linie das Trendszenario aus Abb. Moor.6

Wenn wir die oben bereits erwähnte einmalige Senke berücksichtigen, die aus der Festlegung von C nach Wiedervernässung durch Aufbau einer neuen Wurzel-Streu-Schicht resultiert, wird die wärmende Wirkung zwar geringer, die Moore wirken bis 2100 aber auch damit insgesamt immer noch nicht kühlend (Abb. Moor.8).

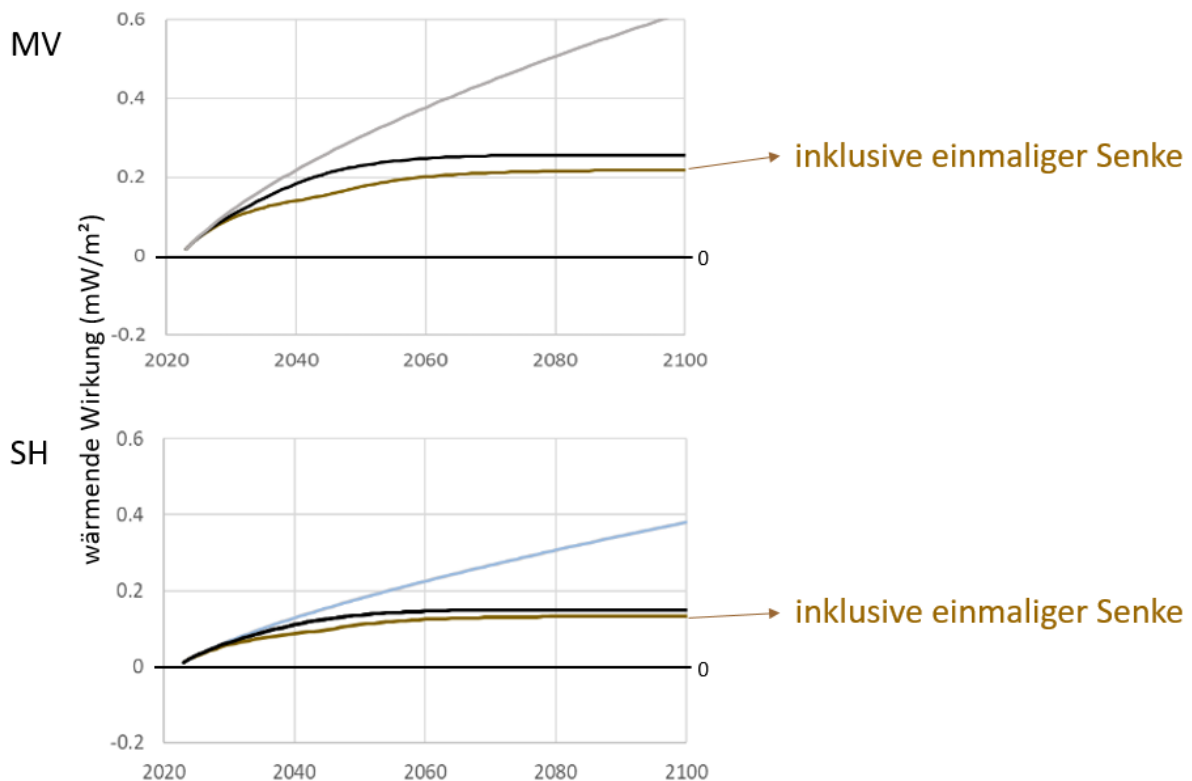


Abbildung Moor.8: Wärmende Wirkung der Moore MVs und SHs, wenn bis 2040 alles wiedervernässt wird und sich eine einmalige Senke von 40 t C pro Hektar etabliert. Zum Vergleich sind auch die Linien aus Abb. Moor.6 und Moor.7 angegeben.

Sollte es gelingen, auf der Hälfte der wiedervernässten Flächen eine dauerhafte C-Senke zu etablieren, mit einer Senkenleistung von 2 t CO₂ pro Hektar und Jahr, verringert sich die wärmende Wirkung während der 2. Hälfte des Jahrhunderts deutlich (Abb. Moor.9), aber die Moore sind insgesamt immer noch leicht wärmend. Die Etablierung einer solchen langjährigen Senke erscheint mit optimierter Landnutzung und Wassermanagement durchaus machbar.

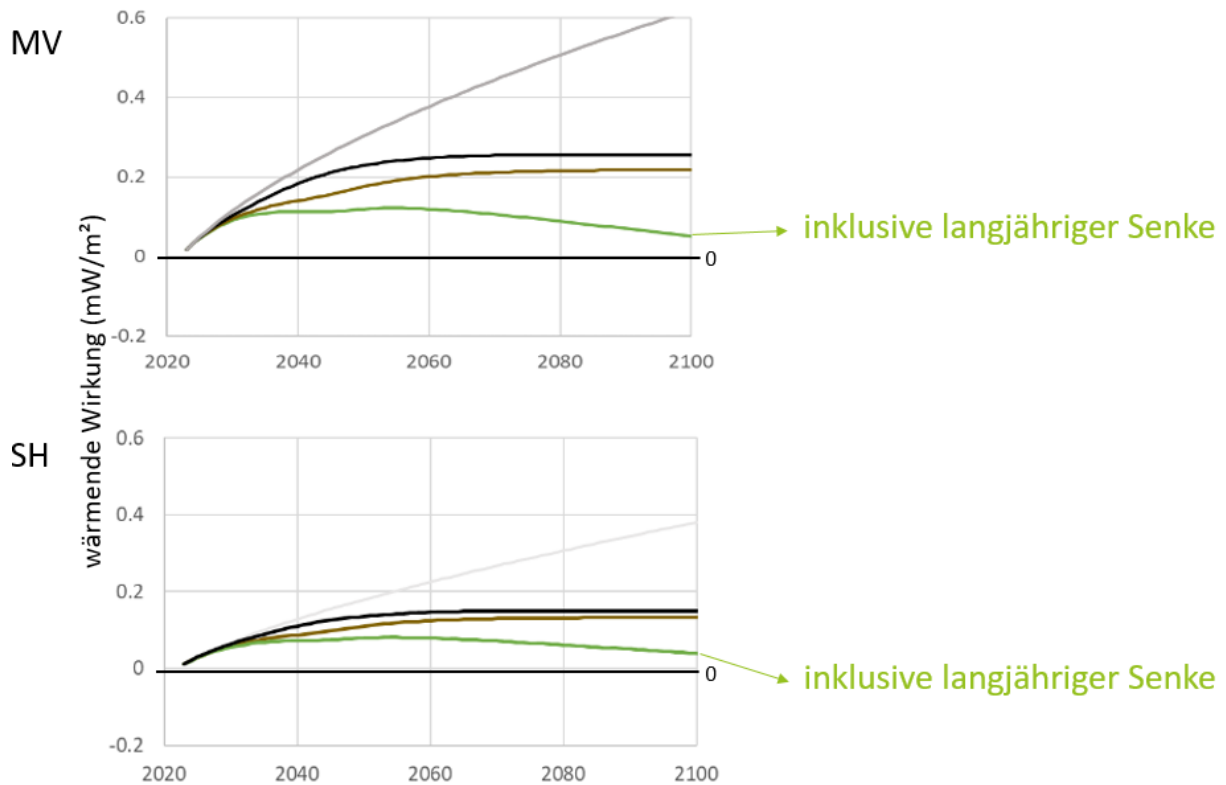


Abbildung Moor.9: Wärmende Wirkung der Moore MVs und SHs, wenn bis 2040 alles wiedervernässt wird und sich neben der einmaligen Senke von 40 t C pro Hektar auf der Hälfte der Fläche eine dauerhafte Senke von 2 t C pro Hektar und Jahr etabliert. Zum Vergleich sind auch die Linien aus Abb. Moor.6, 7 und 8 angegeben

Die wärmende Wirkung wird von dem ausgestoßenen CH₄ verursacht. Wenn wir es schaffen die CH₄-Emissionen zu halbieren, zeigt sich, dass die Moore bereits 2080 anfangen, eine kühlende Klimawirkung zu haben (Abb. Moor.10). Auch dies erscheint mit entsprechenden Management-Interventionen durchaus erreichbar.

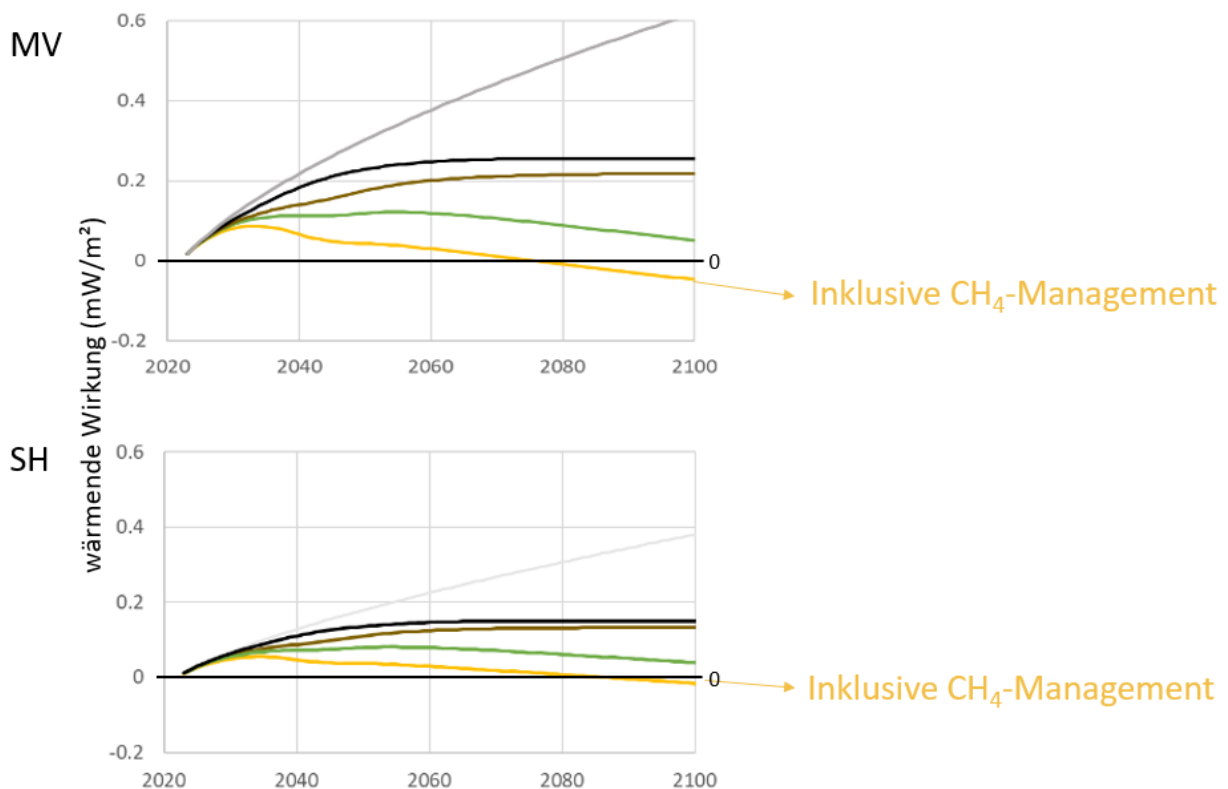


Abbildung Moor.10: Wärmende Wirkung der Moore MVs und SHs, wenn bis 2040 alles wiedervernässt wird und sich neben der einmaligen Senke von 40 t C pro Hektar auf die Hälfte der Fläche eine dauerhafte Senke von 2 t C pro Hektar und Jahr etabliert und wir in der Lage sind CH₄-Emissionen um die Hälfte zu reduzieren. Zum Vergleich sind auch die Linien aus Abb. Moor.6, 7, 8 und 9 angegeben

Obwohl die Moore im Szenario von Abb. Moor.9 schon 2030 CO₂- und C-Senken sind und sogar ein negatives Treibhauspotenzial (CO₂e) aufweisen (Abb. Moor.11), wärmen sie dennoch das Klima – nur eben deutlich weniger stark als es bei anhaltender Entwässerung der Fall wäre Abb Moor.9). Die Methanemissionen sollten so stark wie möglich durch entsprechende Management-Maßnahmen verringert werden. Obwohl eine Betrachtung, die sich auf CO₂ oder CO₂e beschränkt nicht die ganze Geschichte wiedergibt, zeigt sie dennoch in die richtige Richtung. Mit der Zeit werden die Moore kühlend werden insofern man es schafft eine dauerhafte Senke zu etablieren. Diese Analyse zeigt einmal mehr, dass obwohl Moore ein Senkenpotenzial bieten, es die viel wichtigere Aufgabe ist, ihre Emissionen zu stoppen.

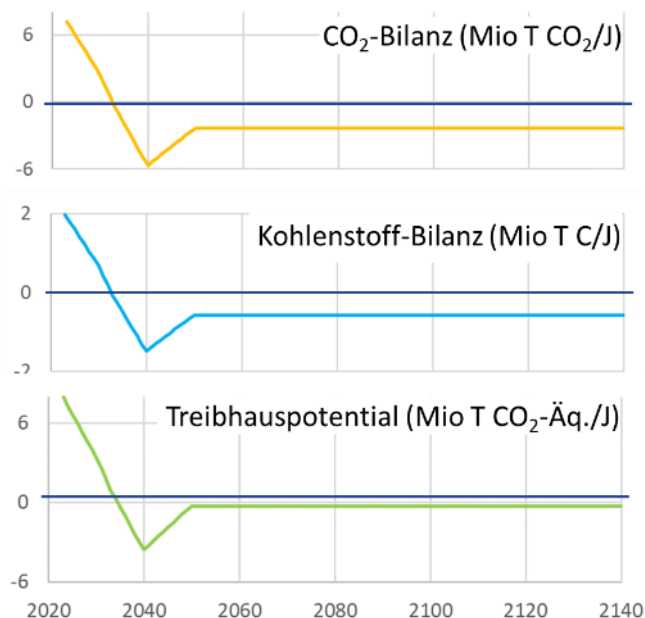


Abbildung Moor.11: CO₂- und Kohlenstoffbilanz sowie Treibhauspotenzial (CO₂e) für ein Szenario in dem bis 2040 alle Moore in MV wiedervernässt werden und eine dauerhafte Senke etabliert werden kann. Obwohl alle drei Messwerte ab 2030 negativ sind, werden die Moore in

Wirklichkeit erst ab 2130 kühlend. Vergleiche dazu die Darstellung der wärmenden Wirkung in Abbildung Moor.9.

3. Moorwiedervernässung in der Landschaft

Moorwiedervernässung bedeutet in den meisten Fällen, dass die Versorgung mit Grundwasser wiederhergestellt werden muss. Moorwiedervernässung ist nicht auf die Moorfläche beschränkt, sondern betrifft das ganze Einzugsgebiet aus dem die Moore Wasser empfangen. Gerade die Moore Mecklenburg-Vorpommerns, die sich in den Flusstälern konzentrieren, sind stark grundwasserabhängig. Die Einzugsgebiete sind oft um ein Vielfaches größer als die Moorflächen. Eine Wiedervernässung kann nur erfolgreich sein, wenn die Entwässerung der Einzugsgebiete eingestellt oder deutlich verringert wird. Eine erfolgreiche Wiedervernässung wird durch großflächige Grundwasserneubildung bedingt. Im Moment sehen wir, dass im Winter und Frühling stark entwässert wird und im Sommer die Felder beregnet werden. Durch die frühe Entwässerung wird Grundwasserneubildung gehemmt und durch die sommerliche Beregnung werden die Grundwasservorräte weiter reduziert.

Benötigt wird ein Raumordnungsplan für Wasser in der Landschaft, der festlegt, wo Grundwasserneubildung stattfindet, wo (Trink-)Wasser entnommen wird und wo Wasservorräte in der Landschaft belassen werden. Teil einer solchen Raumordnung kann ein Entwicklungsplan für die Moore sein, worin die unterschiedlichen Rollen, die Moore für Klima, Wasser, Biodiversität, Verdunstungskühlung, Nutzung und Erholung spielen, berücksichtigt und entsprechende Vorrangflächen vorgesehen werden. Bisher ist die Planung und Durchführung einer Moorwiedervernässung langwierig. Eine Planung- und Ausführungsbeschleunigung ist nötig.

Modul 3: Wälder

Zuwendungsempfänger: Freie Universität Bozen Fakultät für Naturwissenschaften und Technik	Geschäftszeichen: 35795/01-33-0
Vorhabenbezeichnung: Natural Climate Solutions - Eine Potenzialabschätzung für Norddeutschland	
Modul 3: Wälder Bearbeiter Achim Schäfer unter Leitung von Prof. Stefan Zerbe	
Laufzeit des Vorhabens: 1.4.2022 – 31.7.2023	
Berichtszeitraum: 1.6.2022 – 31.7.2023	

Ergebnisse

Den Wäldern wird bei der Anpassung an den Klimawandel weltweit eine besondere Rolle zugeschrieben (Nabuurs et al. 2017). Die globale Waldfläche wird auf insgesamt 4,06 Milliarden ha geschätzt, was 31 % der gesamten Landfläche entspricht (FAO 2020). Ein Großteil der Wälder wird bewirtschaftet. Diese Wälder sind für den Klimaschutz relevant, weil sie durch eine gezielte Bewirtschaftung zusätzlich Kohlenstoff festlegen können. Natur-basierter Klimaschutz durch Waldmanagement hat auch das Potenzial, kosteneffizient zu sein und bietet über die Klimaanpassung und die Verringerung des Katastrophenrisikos hinaus vielfältige Vorteile.

Waldökosysteme speichern global etwa 45 % der terrestrischen Kohlenstoffvorräte und absorbieren zwischen 2000-2007 ca. 2,3 Gt Kohlenstoff, etwa 26 % der globalen, vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen (Pan et al. 2011). Es gilt als sicher, dass die komplexen Wechselwirkungen zwischen Wald und Atmosphäre die anthropogen verursachte Klimakrise verstärken oder abschwächen können. Natur-basierte Klimaschutzstrategien wie Aufforstung und das Einstellen weiterer Entwaldung auf globaler Ebene können einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten. Auch die Sachstandsberichte des IPCC sehen in einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung einen Weg zur Eindämmung der Klimaerwärmung durch die Verringerung der CO₂-Emissionen. Allerdings gehen bezüglich der Größenordnungen des Beitrags natur-basierter Kohlenstoffsinken für den Klimaschutz die Ergebnisse der unterschiedlichen Szenarien weit auseinander. Sie reichen von einer erwarteten Beschleunigung der CO₂-Aufnahme bis hin zur Sättigung der Kohlenstoffsinken oder sogar einer Nettofreisetzung von Kohlenstoff im Laufe der Zeit (IPCC 2018). Im aktuellen Bericht der IPCC-Arbeitsgruppe III wird das technische Minderungspotenzial auf maximal 10 Gt CO₂ pro Jahr geschätzt (IPCC 2022). In Anlehnung an diese Schätzungen haben die Regierungen in ihren nationalen Selbstverpflichtungen nach dem ÜvP bis zum Jahr 2060 etwa 12 Mio. km² reserviert, was etwa dem Doppelten der aktuellen globalen Ackerfläche entspricht.

Natur-basierte Ansätze zum Klimaschutz (NCC) sollen einen Beitrag zu den klimaschutzpolitischen Zielvorgaben erbringen und müssen auch vor diesem Hintergrund beurteilt werden. Hierfür ist eine quantitative Abschätzung der NCS-Potenziale im vorgegebenen Zeitrahmen der politisch gesetzten

Ziele notwendig. Nach dem Klimaschutzgesetz will Deutschland bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral sein. Im Unterschied zur nationalen Zielvorgabe wollen Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein bereits bis zum Jahr 2040 treibhausgasneutral werden. In diesem Kontext ist die Waldbewirtschaftung in internationale Vereinbarungen und auf europäischer Ebene in die Vorgaben des Landnutzungssektors (*Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF*) eingebunden, wobei hier die forstwirtschaftliche Nutzung und der nachgelagerte Holzproduktespeicher einbezogen werden.

Für unsere Analyse werden die in Tab. 1 angegebenen grundsätzlichen natur-basierten Lösungen bzgl. Wälder und Feldgehölze zugrunde gelegt. Da die Holznutzung und -verarbeitung als natur-basierte Lösung nur unter Einbeziehung anderer Nutzungszweige bzw. die holzverarbeitende Industrie bzw. des Baugewerbes bewertet werden kann, wird diese hier nicht weiter vertieft. Auch urban-industrielle Standorte werden hier nicht berücksichtigt.

Tab. 1: Handlungsmöglichkeiten für natur-basierte Lösungen im Bereich des Waldes und des Waldmanagements (ohne Holznutzung und -verarbeitung), um Kohlenstoff im Ökosystem zu fixieren und dauerhaft festzulegen.

Natur-basierte Lösung	Erläuterung
Waldmanagement	Management von Wäldern (Baumartenwahl, Umtriebszeiten, Einsatz von Maschinen, Bodenbearbeitung), Waldumbau (z.B. Umwandlung von Nadelholzforsten zu Laubmischwäldern), Totholzanteil, Wildregulierung durch Jagd
Aufforstung	Neuanlage von Waldflächen auf vorher nicht bewaldeten Flächen, einschließlich von Mooren (z.B. als Paludikultur)
Agroforstsysteme	Land- (z.B. Mähwiese, Weide, Ackerbau) und forstwirtschaftliche Nutzung (z.B. Holznutzung, Obstbau, Nussbäume) auf der gleichen Fläche
Gehölzdominierte Kleinstrukturen der Agrarlandschaft	Hecken, Alleen
Nutzungsverzicht	Keine weitere Waldnutzung hinsichtlich einer Holzentnahme in z.B. Naturwaldreservaten, Kernzonen von Großschutzgebiet

Ein wesentliches Ziel zur Schaffung resilienter Waldökosysteme und natur-basierter Klimaschutzlösungen durch die Waldwirtschaft ist der *Waldumbau* (Seliger et al. 2023). Vor dem Hintergrund der langen Produktionszyklen kann der Waldumbau nur schrittweise und flächenmäßig in sehr begrenzten Umfang erfolgen, da sich die Baumartenanteile und Mischungen nur langsam verändern lassen. Da der Waldumbau, insbesondere durch die zukunftsweisenden Waldbauprogramme der 1990er Jahre in der deutschen Forstwirtschaft implementiert, damit mehrere Dekaden beansprucht, sind die Handlungsmöglichkeiten für die Erreichung der Zielvorgabe der Treibhausgasneutralität im Sinne des Übereinkommens von Paris beschränkt (Grassi et al. 2019). In vielen Wäldern in Deutschland wird der Waldumbau bzw. die Waldregeneration zu klimaresilienten Mischbeständen allerdings aufgrund deutlich überhöhter Schalenwildbestände verhindert. Somit kann ein Waldmanagement mit dem Ziel der Entwicklung von klimaresilienten Mischbeständen nur bei niedrigen Schalenwildichten erreicht werden (Ammer et al. 2010).

In Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein wird seit Jahrzehnten eine Waldmehrung angestrebt. Mit einer angestrebten Aufforstungsrate in Höhe von 5 % der bisher landwirtschaftlich

genutzten Fläche entspräche dies einer Fläche von 116.300 ha über einen Zeitraum von 37 Jahren beziehungsweise 3.143 ha pro Jahr. In Mecklenburg-Vorpommern orientiert sich ein Zielszenario an den im Koalitionsvertrag vereinbarten Zielvorgaben und der Konkretisierung durch das Waldentwicklungsprogramm. Danach soll der Waldanteil in Mecklenburg-Vorpommern von 24 auf 30 % der Landesfläche erhöht werden. Die Voraussetzung dafür wäre eine Umwandlung von gut 10 % der jetzigen landwirtschaftlichen Nutzfläche in Mecklenburg-Vorpommern. Das entspricht einer zusätzlichen Waldfläche von 139.065 ha. Nach dem Landesentwicklungsplan Schleswig-Holstein soll der Waldanteil von 10,3 auf 12 % der Landesfläche erhöht werden. Das entspricht einer Waldmehrung von 15.800 ha, die vor allem in den besonders waldarmen Regionen und in strukturarmen Ackerlandschaften der Geest und des Hügellandes sowie in Wasserschon- bzw. Wasserschutzgebieten erfolgen soll. Geplant ist eine jährliche Erstaufforstung von 500 ha. Die tatsächliche Aufforstungsrate liegt jedoch deutlich niedriger. Seit 2009 wurden von den Schleswig-Holsteinischen Landesforsten 358 ha aufgeforstet, was einer jährlichen Aufforstungsrate von ca. 30 ha pro Jahr entspricht. Durch Erstaufforstung und Sukzession können in den nächsten 16 Jahren 1,14 Mt CO₂ aus der Atmosphäre entnommen werden. Das entspricht durchschnittlich 67.287 t CO₂ pro Jahr. In Schleswig-Holstein sind es aufgrund der deutlich niedrigeren Waldmehrungsrate lediglich 0,43 Mt CO₂ beziehungsweise durchschnittlich 25.237 t CO₂ pro Jahr. In den beiden Bundesländern beträgt das NCS-Potenzial dieser Maßnahmen demnach 1,57 Mt CO₂ beziehungsweise durchschnittlich 25.237 t CO₂ pro Jahr.

Zu Agroforstsystemen in den beiden norddeutschen Bundesländern gehören beispielsweise Streuobstweiden. Mecklenburg-Vorpommern hat eine Agroforstrichtlinie erlassen, mit der Landwirte für die Anlage von Agroforstsystemen finanziell gefördert werden. Hierbei bedeutet Agroforstsystem vornehmlich die Anlage von Gehölzstreifen in ausgeräumten Ackerlandschaften mit ihren großflächigen Ackerschlägen, die einer verstärkten Bodenerosion ausgesetzt sind. In der Regel liegen die NCS-Potenziale von Agroforstsystemen in Größenordnungen zwischen Wäldern (höher) und Grünland (niedriger) (Zerbe 2019).

Für Mecklenburg-Vorpommern werden für das Jahr 2013 Alleen in der Agrarlandschaft mit einer Gesamtlänge von 4.374 km angegeben (SDW o.J.), wobei die meisten davon wegen ihres Alters- bzw. aus verkehrssicherungstechnischen Gründen in den nächsten Jahren gefällt werden müssen. Dies bedeutet zunächst eine Kohlenstoffquelle, da das Holz dann meist als Holzhackschnitzel verbrannt wird. Neue Alleen sollen nachgepflanzt werden. Zwischen 1990 bis 2011 sind ca. 1.800 km Baumreihen an Straßen und ländlichen Wegen gepflanzt worden. Von 1997 bis 2019 wurde über den Alleenfonds die Anpflanzung von etwa 160 km Baumreihen allein an kommunalen Straßen und ländlichen Wegen finanziert.

Die bayerische LWF resümiert, dass nach allen „hier bekannten wissenschaftlichen Arbeiten, die unter gleichen Rahmenbedingungen bewirtschaftete und unbewirtschaftete Wälder vergleichen, [...] zu dem Ergebnis [kommen], dass bewirtschaftete Wälder mit der C-Speicherung in Wald und Holzprodukten sowie der Substitutionsleistung die Atmosphäre stärker entlasten als die C-Speicherung im unbewirtschafteten Wald“ (Schulz 2019). Exemplarisch wird dies über einen modellhaften Vergleich von einem Buchenbestand mit und ohne Holznutzung veranschaulicht. An diesem Beispiel und bei Berücksichtigung von Biomasse, Totholz und Holznutzung wird hier eine Klimaschutzwirkung über 180 Jahre im bewirtschafteten Wald um fast 100 Tonnen C höher als im nicht bewirtschafteten Buchenwald eingeschätzt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Höllerl und Bork (2013) bei der Untersuchung der Kohlenstoffbilanz von bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Fichtenbeständen in der montanen Stufe, wobei sie explizit auch auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das Flachland hinweisen (vgl. auch Klein et al. 2013). Insbesondere berücksichtigen die Autoren Kalamitäten und damit verbundene Ausfallrisiken, welche bei einem Nutzungsverzicht höher ausfallen können als bei einer „kohlenstoffoptimierten Nutzungsvariante“ (ebd.: S. 63). Auch Krug et al. (2012) weisen auf die Möglichkeit der Klimaanpassung durch entsprechendes Waldmanagement gegenüber einem Nutzungsverzicht ohne weiteres Management hin. Da sowohl die zukünftigen ökologischen (z.B. Dürreperioden, Stürme, Schädlingskalamitäten) als auch ökonomischen (z.B.

Nachfrage von Holzprodukten) Auswirkungen des Klimawandels nur auf Annahmen bzw. Modellen basieren, sind solche Modellierungen mit großen Unsicherheiten behaftet.

Bezüglich des klimaschutzpolitisch vorgegebenen Betrachtungszeitraums bis zu den Jahren 2040 beziehungsweise 2050 ist anzumerken, dass dieser für die Planung waldbaulicher Maßnahmen und deren Umsetzung ein sehr kurzer Zeitraum ist. Forstliche Maßnahmen zur Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald können in diesem Zeitraum in den meisten Fällen lediglich begonnen werden und sind beim Waldumbau zunächst mit einer Verringerung der Kohlenstoffvorräte verbunden, wenn Wälder mit hohen Kohlenstoffvorräten in vorratsarme junge Wälder umgewandelt werden. Unabhängig von den Herausforderungen und Risiken, ist bei der Schaffung von naturbasierten Kohlenstoffsinken für den Klimaschutz zu beachten, dass Wälder langsam und langfristig akkumulierende, aber auch schnell freisetzende Kohlenstoffspeicher sind. Da Bäume nicht „in den Himmel“ wachsen können, ist ihr NCS-Potenzial nicht permanent, sondern zeitlich beschränkt.

Der Beitrag von naturbasierten Lösungen für den Klimaschutz ergibt sich auf internationaler Ebene aus den übergeordneten Zielen des Übereinkommens von Paris (2016), dem europäischen und deutschen Klimaschutzgesetz (2021) sowie nachgesetzlichen Verordnungen und bereits etablierten Instrumenten (z.B. Entwicklung des ländlichen Raumes; ELER), Europäischer Fonds für regionale Entwicklung, Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung von Agrarstruktur und Küstenschutz und weiteren EU-, Bundes- und Landesprogrammen. Damit ist ein komplexer politischer bzw. gesetzlicher Handlungsrahmen gesetzt, der standorts- und situationsbezogen im gesetzten Zeitrahmen umgesetzt werden muss.

Da die Ergebnisse aktueller Studien zu den Auswirkungen der Klimakrise auf die Wälder zum Teil widersprüchlich sind und weiterer Forschungsbedarf besteht (Schwarz et al. 2020, Castagneri et al. 2022), sind Aussagen über die zukünftige Kohlenstoffspeicherung in unseren Wäldern zum gegenwärtigen Zeitpunkt mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. In den vergangenen Jahrzehnten tragen Stürme in Europa zunehmend zu sehr hohen ökologischen wie sozio-ökonomischen Waldschäden bzw. -verlusten bei (Romagnoli et al. 2023), zunehmende klimatische Trockenperioden in Mitteleuropa schädigen die Waldbäume und Schädlingskalamitäten nehmen zu (Patacca et al. 2023). Auch wenn heute die notwendigen Maßnahmen im Waldbau bzw. der Forstwirtschaft ergriffen werden, können diese aufgrund bisher nicht absehbarer Folgen morgen scheitern.

Modul 4: Landwirtschaft

Zuwendungsempfänger: Christina-Albrechts-Universität Kiel Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Abt. Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau	Geschäftszeichen: 35795/01-33-0
Vorhabenbezeichnung: Natural Climate Solutions - Eine Potenzialabschätzung für Norddeutschland Modul 4: „Landwirtschaft“ - Landwirtschaftliche Bodennutzung – Grünland und Futterbau Bearbeiter: Christof Kluß, Dr. John Nyameasem, Prof. Dr. Friedhelm Taube	
Laufzeit des Vorhabens: 1.4.2022 – 31.7.2023	
Berichtszeitraum: 1.6.2022 – 31.7.2023	

Einleitung

Aufgabe von Modul 4 „Landwirtschaft“ des Forschungsvorhabens war die Darstellung und Abschätzung der NCS-Potenziale durch Veränderungen der Bewirtschaftungsintensitäten (Quellgruppe 3) und durch landwirtschaftliche Bodennutzung und Landnutzungswandel (anteilig Quellgruppe 4 - LULUC) in Mecklenburg-Vorpommern (MV) und in Schleswig-Holstein (SH) im Rahmen einer Meta-Studie. Das Modul 4 hatte insgesamt vier Arbeitspakete (AP):

AP 1: Grundsätzliche Darstellung und Einordnung von NCC-Strategien entsprechend der Klimaberichterstattung in den Sektoren Landwirtschaft und LULUC

AP 2: Darstellung der IST-Situation für die Bundesländer MV und SH

AP 3: NCC – Potentiale durch zusätzliche Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlich genutzten Böden Norddeutschlands

AP 4: Handlungsfelder der Annäherung an Klimaneutralität für die Sektoren Landwirtschaft und LULUC in MV und SH

Bedingt durch erhebliche Datenunsicherheiten das Bundesland MV betreffend (z.B. Anteil organischer Böden variiert in Abhängigkeit der Quellen erheblich), wurde entschieden, eine semi-quantitative Analyse der THG-Minderungspotentiale durch NCC-Strategien beispielhaft am Bundesland SH aufzuzeigen. Der Modulbericht wird in folgender Publikation vertieft: Friedhelm Taube, John Nyameasem, Sandra Koop und Christof Kluß: „Wege zur Klimaneutralität der Sektoren Landwirtschaft und Bodennutzung (LULUC): Eine semi-quantitative Potentialanalyse für

Norddeutschland am Beispiel des Bundeslandes Schleswig-Holstein“, Berichte über Landwirtschaft, Bd. 103, Heft 1, Juni 2025. Dort finden sich auch Angaben über die verwendeten Methoden.

Das Klimaschutzgesetz Deutschlands verpflichtet zu Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2045. Das Bundesland Schleswig-Holstein (SH) hat die Zielerreichung bereits für das Jahr 2040 avisiert. Vor diesem Hintergrund wird analysiert, wie ein Weg zur Klimaneutralität für die Bereiche Moornutzung, Forst und Landwirtschaft unter Berücksichtigung umweltethischer Normen und naturnaher Lösungsansätze möglich sein kann. Es werden die Potentiale für die Bereiche Landwirtschaft und agrarische Landnutzung (LULUC) unter Berücksichtigung erwartbaren technischen Fortschritts beispielhaft für das Bundesland SH analysiert. Ausgehend von der in der Literatur dokumentierten Rangfolge der Effizienz der Maßnahmen (geringe CO₂ Vermeidungskosten) wird in einem hierarchischen Ansatz im 1. Schritt die nahezu vollständige Wiedervernässung der entwässerten organischen Böden unterstellt; in einem darauf aufbauenden 2. Schritt wird die Reduktion der Erzeugung tierischer Produkte (Animal Source Food, ASF) in unterschiedlichem Ausmaß (35-50%) auf den dann verbleibenden Mineralbodenflächen unterstellt und in einem 3. Schritt der Effekt einer konsequenten Weiterentwicklung ‚klima- und nährstoff-optimierter Anbausysteme‘ (mit kombinierten Elementen des konventionellen/ökologischen Landbaus wie zweijähriger Klee-grasanbau) analysiert. Zusätzlich wird unterstellt, dass die Flächennutzung zur Erzeugung von Biogas aus landwirtschaftlichen Hauptkulturen (Mais) bis 2040 weitestgehend durch eine Flächennutzung zur Humanernährung substituiert wird. Die Ergebnisse zeigen, dass die Summe dieser drei NCC-Maßnahmen trotz des Verlustes an Agrarflächen durch die Wiedervernässung nicht weniger, sondern bedingt durch den Abbau der Tierhaltung und die Aufgabe der ineffizienten Flächennutzung zur Biogaserzeugung mehr Nahrungsmittel, insbesondere pflanzlicher Herkunft bereitstellen kann und dabei die Treibhausgas (THG)-Emissionen des Sektors Landwirtschaft + LULUC im Vergleich zu 2020 um über 65 % reduziert werden können. Nach 2040 setzt sich dieser positive Trend durch die stabile Senkenfunktion der wiedervernässten organischen Böden fort. Nach einer Diskussion der Potentiale werden abschließend Empfehlungen zur Umsetzung von NCC dargelegt.

1. Einordnung von NCC-Strategien entsprechend der Klimaberichterstattung in den Sektoren Landwirtschaft und LULUC

Das globale Agrar- und Ernährungssystem ist für etwa 25% der anthropogenen THG– Emissionen verantwortlich, wobei der agrarischen Primärproduktion die dominante Rolle zukommt (Vermeulen *et al.*, 2012). In Deutschland werden die THG-Emissionen der Landwirtschaft in der Nationalen Berichterstattung in der Kategorie 3 (CRF Sektor 3) aufgeführt. Neben optimierten Produktionssystemen haben verschiedene Anpassungen der Berechnungsgrundlagen dazu geführt, dass der Zielwert von 56 Mio. Tonnen für das Zieljahr 2030 nun bereits im Jahr 2022 auf der neuen Kalkulationsbasis ‚erreicht‘ wird (Expertenrat für Klimafragen, 2023).

Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft nach Kategorien

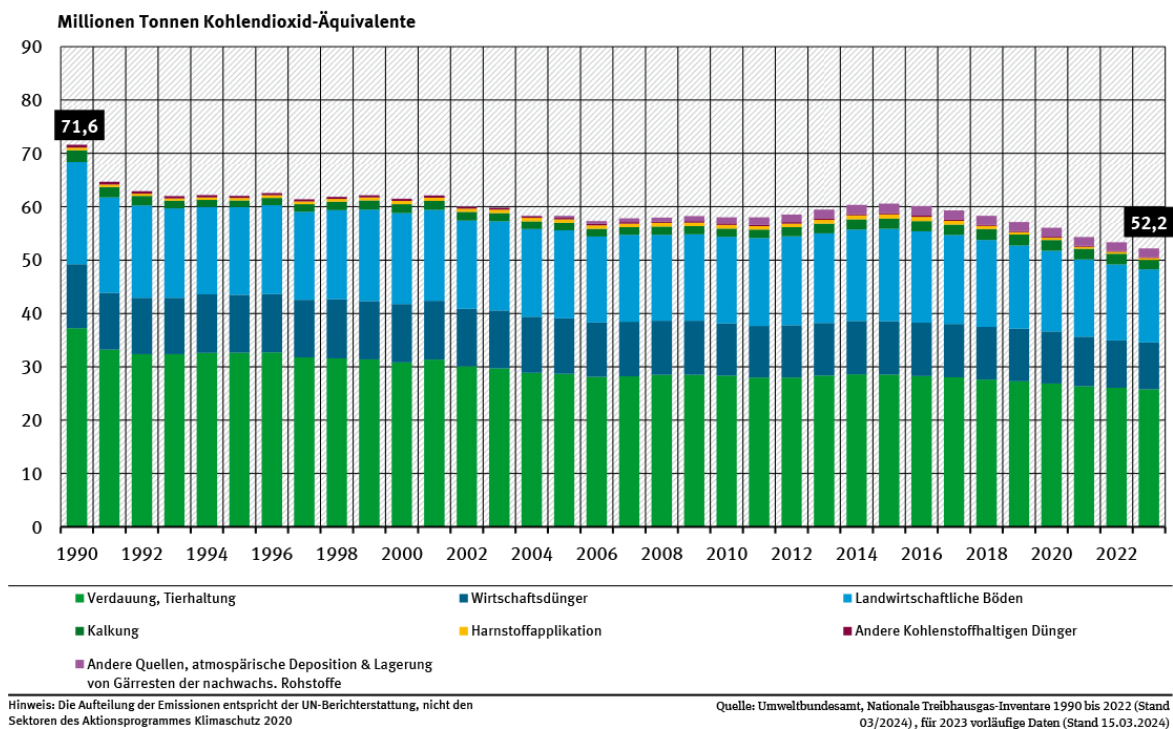
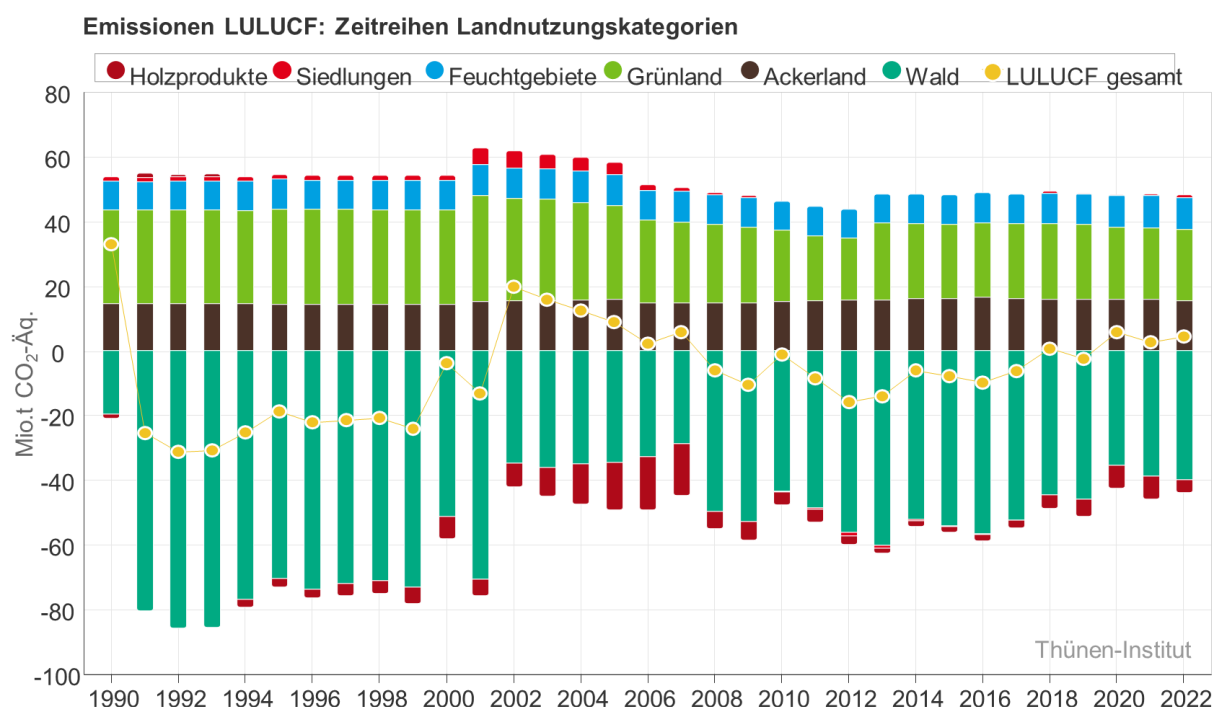


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft nach Kategorien (UBA, 2024)

Die Emissionen für die Kategorie Landnutzung, Landnutzungswandel und Forst (LULUCF) werden im Sektor 4 geführt. Bedingt durch die deutliche Abnahme der CO₂-Senkenfunktion in der Forstwirtschaft insbesondere innerhalb der letzten Jahre hat sich der gesamte LULUCF-Sektor von einer ausgeprägten Senke mit einem Niveau von etwa minus 30 Mio. Tonnen im Jahr 1992 seit wenigen Jahren zu einer zusätzlichen Quelle von etwa 4,38 Mio. Tonnen (2022) entwickelt (Gensior et al. 2023). Demgegenüber sind die Emissionen für den Bereich LULUC (ohne Forst) vergleichsweise stabil geblieben. Landwirtschaft und LULUC- Potentiale sind Gegenstand dieses Berichts.

Unser Ansatz, Potentiale auf Basis von Literaturwerten mittels Projektionen der Reduktion von THG-Emissionen im Sinne von NCC für diese beiden Sektoren (Landwirtschaft und LULUC) im Bundesland SH bis 2040 fortzuschreiben, ist vor dem Hintergrund gewisser Unsicherheiten in der Datenstruktur zu würdigen.



Zeitreihen der Treibhausgasemissionen (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O in [Mio. CO₂-Äquivalenten]) im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Landnutzungskategorien (Werte 1990 – 2022 aus NID 2024); positiv: Quelle; negativ: Senke

Abbildung 2: Zeitreihe der Emissionen aus LULUCF in Deutschland (Gensior *et al.*, 2023)

2. Ausgangssituation Schleswig-Holstein

In Abhängigkeit des Industrialisierungsgrades der verschiedenen Bundesländer einerseits und der Intensität der landwirtschaftlichen Produktion andererseits gibt es regionale Unterschiede in Deutschland dahingehend, dass SH mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlicher Fläche an der Gesamtfläche (Tabelle 1) bei hoher Produktionsintensität der pflanzlichen und tierischen Erzeugung und gleichzeitig vergleichsweise geringer Bedeutung des industriellen Sektors eine Größenordnung von über 20% der THG-Emissionen für den Bereich Landwirtschaft ausweist. Wird die Quellgruppe LULUCF miteinbezogen, sind die Sektoren Landwirtschaft und LULUCF sogar für eine Größenordnung von über 40% (IKEM und GMC 2021, MELUND 2022) verantwortlich, vgl. Tabelle 2.

Während in östlichen Bundesländern, wie Mecklenburg-Vorpommern (MV) mit ähnlicher Bedeutung der Landwirtschaft wie in SH, die THG-Reduktionen seit 1990 (minus 29%) für den Sektor 3 bedingt durch eine erhebliche Abstockung der Tierbestände direkt nach der Wiedervereinigung massiv

Tabelle 1: Kennzahlen der Landnutzung in SH und Deutschland (DE) im Jahr 2020

	SH	DE
	(Tsd. ha)	
Landwirtschaftliche Nutzfläche (LF)	990	16.700
Ackerfläche	656 (66%)	12.870 (72 %)
Grünlandfläche	321	4.750

Tabelle 2: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Schleswig-Holstein (in Mio. t CO₂eq) (MELUND 2023, 2024)

	1990	2000	2010	2020	2030 ¹⁾
Energiewirtschaft	7,0	6,3	7,3	4,6	2,0
Industrie	6,2	5,8	4,2	3,8	2,4
Gebäude	7,2	6,1	5,2	4,9	2,9
Verkehr	6,2	6,4	5,2	5,3	2,8
Abfallwirtschaft	1,2	0,6	0,2	0,1	0,1

Grünland + Acker auf org. Böden*	152	
Ackerfläche auf org. Böden*	41	
Grünlandfläche auf org. Böden*	111	
LF ohne org. Böden	838 (-15%)	
Silomais	187	1.600
Silomais auf Moor	41 (22%)	
GV-Besatz/ha	0,97	0,74
Milcherzeugung (Tsd. t)	3.097	32.155
THG-Emissionen (kg CO₂eq/kg ECM)	1,3	1,3

*Datengrundlage je nach Quelle stark variierend, hier sind Daten vom Thünen-Institut wiedergegeben – diese weichen von Daten aus SH (InVeKoS) erheblich nach oben ab

Landwirtschaft	6,2	5,5	5,3	5,2	4,3
ohne Energie	5,4	5,0	4,9	4,7	
Energie	0,7	0,5	0,4	0,4	
Insgesamt	33,9	30,7	27,4	23,9	14,4
LULUCF	5,1	4,6	4,5	4,6	
Wald	-0,2	-0,6	-0,5	-0,4	
LULUC (ohne Wald)	5,3	5,2	5,0	5,0	
Ackerland	1,6	1,6	2,3	1,7	
Grünland	3,3	3,3	2,4	3,0	
Feuchtgebiete	0,3	0,3	0,3	0,3	
Siedlungen	0,1	0,1	0,0	0,0	
THG inkl. LULUCF	39,0	35,3	31,9	28,5	

¹⁾ Ziel

Im Detail stellen sich die Emissionen des Sektors Landwirtschaft in SH entsprechend der Tabelle 3 dar.

ausgeprägt waren, hat diese Abstockung in den westlichen Bundesländern wie SH nicht in diesem Umfang stattgefunden - entsprechend sind die Reduktionswerte deutlich geringer (minus 17%).

Tabelle 3: Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein (in Mio. t CO₂eq) (MELUND, 2024)

	199	200	201	202
	0	0	0	0
CH₄	3,6	3,3	3,1	3,0
Verdauung	2,9	2,6	2,5	2,3
Wirtschaftsdüngermanagement	0,7	0,6	0,5	0,5
Lagerung u. Vergärung von Pfl.	0,0	0,0	0,1	0,1
N₂O	1,7	1,5	1,7	1,5
Wirtschaftsdüngermanagement	0,2	0,2	0,2	0,2
Böden	1,5	1,4	1,4	1,3
CO₂	0,2	0,2	0,2	0,2
Düngung und Kalkung	0,2	0,2	0,2	0,2
Gesamt CO₂eq	5,4	5,0	4,9	4,7

Tabelle 4: THG-Emissionen aus organischen Böden (in Mio. t CO₂eq)

		199	200	201	202
		0	0	0	0
mineralische Böden	Ackerland	0,1	0,1	0,3	0,2
	Grünland	0,0	0,0	-0,1	-0,3
organische Böden	Ackerland	1,5	1,5	2,1	1,4
	Grünland	3,2	3,2	2,7	3,2
Biomasse	Ackerland	0,0	0,0	0,0	0,0
	Grünland	0,1	0,1	-0,2	0,1
Summe	Ackerland	1,6	1,6	2,3	1,7
	Grünland	3,3	3,3	2,4	3,0

nach MELUND (2023)

Auch der Anteil der entwässerten organischen Böden an der landwirtschaftlichen Fläche (LF) und die damit verbundenen THG-Emissionen für den LULUC-Sektor sind in SH bedeutender ausgeprägt als im Durchschnitt Deutschlands (Tabelle 4). Damit ergeben sich umgekehrt höchste Reduktionspotentiale im LULUC-Sektor mit der Wiedervernässung der organischen Böden.

3. Handlungsfelder der Annäherung an Klimaneutralität für die Sektoren Landwirtschaft und LULUC

Vor dem oben geschilderten Hintergrund wird deutlich, dass NCC-Potentiale in einen größeren strukturellen Rahmen eingebunden werden müssen, die die Haupthandlungsfelder in den Kategorien Landwirtschaft und LULUC übergreifend adressieren. Unter dieser Prämisse sind für die Herleitung von Projektionen hinsichtlich einer realistischen politischen Umsetzbarkeit die CO₂-Vermeidungskosten der Maßnahmen eine maßgebliche Größe - hergeleitet aus der Literatur und hierarchisch geordnet, stellt die Wiedervernässung entwässerter organischer Böden die effizienteste Maßnahme dar, gefolgt von der Reduktion der Tierhaltung und mithin der Umstellung von Ernährungsmustern hin zu einer stärker pflanzenbasierten Ernährung (Grethe *et al.*, 2021). Die Interdependenzen zwischen beiden Maßnahmen ergeben sich aus der Tatsache, dass entwässerte organische Böden vornehmlich der Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft (ASF) dienen (Milch/Rindfleisch) und eine Wiedervernässung somit regional/national direkt auf die verfügbare Menge an ASF wirkt. Daraus resultiert eine herzuleitende mittelfristig anzustrebende Produktionsmenge an ASF, die nach Wiedervernässung relevant wird. Diese beiden Handlungsfelder sind somit maßgeblich für den Erfolg von NCC. Im hierarchisch dritten Schritt können mit dem ‚fine-tuning‘ über das Anbauverhältnis bestimmter Kulturarten, das Niveau der Stickstoffdüngung, den Einsatz von Zwischenfrüchten und die Optimierung von Anbausystemen auf dem Acker die letzten großen Bausteine für NCC (wiederum unter Berücksichtigung der Kosten) hinzugefügt werden (vgl. Taube *et al.*, 2023). Im Einzelnen führt diese hierarchische Gliederung der Maßnahmen zu folgendem Ergebnis:

Handlungsfeld 1 a: LULUC-Effekte einer Wiedervernässung organischer Böden in SH

Ausgehend von den Flächenumfängen und dem Milcherzeugungsvolumen in Tabelle 5 kann geschlussfolgert werden, dass derzeit etwa 20% des Futterbaus zur Milcherzeugung auf entwässerten organischen Böden erfolgen. Basierend auf der Annahme, dass eine Wiedervernässung bis zum Jahr 2040 linear und vollständig abläuft, kann geschlussfolgert werden, dass die LULUC-Effekte in SH von 4,7 Mio. Tonnen auf 760 Tsd. CO₂-eq (Tabelle 5) reduziert werden, wodurch sich ein jährliches Einsparungspotenzial von 3,9 Mio. t CO₂-eq ergibt.

Tabelle 5: Veränderung der THG-Emissionen durch Wiedervernässung organischer Böden

Jahr	Flächennutzung	Tsd. ha	t CO ₂ -eq/ha	Mio. t CO ₂ -eq
2020	Grünland Moor	111	~35	3,2
	Acker auf Moor	41	~29	1,4
	LF auf Moor	152	~32	4,7
2040	G&A wiedervernässt*	152	~5	0,8
	Jährliche Einsparung ab 2040 im Vergleich zu 2020			3,9

Quelle: Thünen-Institut, 2023; *Poyda et al 2016

Handlungsfeld 1 b: Flächenkompensation für Wiedervernässung durch Aufgabe der ineffizienten NaWaRo-Nutzungen vom Acker

Die derzeitige Förderung des Energiepflanzenanbaus auf Ackerflächen (Biodiesel, Biogas) in Deutschland ist ökonomisch ineffizient (Isermeyer, 2022). In SH zeigt somit insbesondere die Aufgabe der Biogaserzeugung aus Ackerkulturen (Silomais) weitere Möglichkeiten auf, Freiräume einer

alternativen Bodennutzung im Sinne von NCC zu schaffen. Insbesondere mit Blick auf die Landnutzungseffizienz sind andere Strategien der Energieerzeugung auf Agrarflächen opportun. Mit Freiflächen und Agri-Photovoltaik (Agri-PV)-Anlagen können gegenüber der Biogasproduktion zehn- bis zu dreißigfache Energieerträge je ha (Isermeyer, 2022; Böhm, 2023) realisiert werden. Dementsprechend bietet sich insbesondere in den wiederzuvernässenden Gebietskulissen der organischen Böden und den ertragsarmen grundwasserfernen Ackerstandorten (AZ <25) die Förderung solcher Anlagen an, um wertvolle Ackerflächen für die Nahrungsmittelerzeugung zu schonen. Biogaserzeugung wird von gewisser Relevanz bleiben, jedoch vornehmlich auf der Basis biogener Reststoffe. In der Konsequenz wird somit die derzeitige Maisanbaufläche zur Biogaserzeugung bis 2040 weitestgehend frei (UBA, 2020).

Handlungsfeld 2: Reduktion der Tierhaltung

Die Anpassung der Ernährungsmuster der Bevölkerungen in hoch entwickelten Ländern stellt einen Schlüssel gleichermaßen zur Ernährungssicherheit durch Steigerung der Landnutzungseffizienz (van Zanten *et al.*, 2023), zur Gesundheit (DGE, 2024) und zur Reduktion von THG-Emissionen (Reduzierung der produktspezifischen Emissionen) dar (van Zanten *et al.*, 2018; Agora Agriculture, 2024). Das Ausmaß dieser Anpassungsnotwendigkeiten wird kontrovers diskutiert. Während verschiedene Autoren im Hinblick auf Gesundheitsaspekte eine Reduktion des Verzehrs von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft um bis zu 75% postulieren (vgl. Willett *et al.*, 2019) bzw. die Empfehlungen in Verbindung mit Umweltwirkungen noch deutlich stärker einschränken (Schäfer *et al.*, 2024), verweisen andere Autoren zudem auf die unterschiedliche Relevanz der Flächenkonkurrenz zwischen Futter- und Nahrungspflanzen. Unter Einbezug dieses Aspekts wird ersichtlich, dass das weltweite Grasland primär bzw. nahezu ausschließlich durch Weidetiere genutzt werden kann und so eine Landnutzungskonkurrenz zur direkten menschlichen Ernährung ausgeschlossen ist. Dies berücksichtigend, gehen Grethe *et al.* (2021) von Reduktionspfaden von 50% für alle Fleischsorten aus und 35% für Milchkühe, wobei eine Konzentration auf Grünlandfutter in der Futterration vorgeschlagen wird. Dieses Szenario wird in unserer Projektion übernommen mit der Konsequenz, dass das Grünlandfutter zur zentralen Futterquelle für die Wiederkäuerernährung wird, was derzeit nicht der Fall ist.

Die Reduktion der Tierhaltung verursacht im Jahr 2040 unter anteiliger Berücksichtigung der Werte des 2. Nährstoffberichtes für SH (Henning und Taube, 2020) eine Reduktion der Futterflächen um 175 Tsd. ha. Der Bedarf an Mineraldünger zur Düngung der Futterpflanzen im Lande sinkt bei einer überschlägigen Menge von 100 kg N/ha um mehr als 17 Tsd. Tonnen, der Import an Eiweißfuttermitteln aus Regionen jenseits von SH sinkt bei überschlägig 50 kg N/ha um 9 Tsd. Tonnen, der Anfall an Gülle-N sinkt um etwa 32 Tsd. Tonnen (-40%).

Handlungsfeld 3: Klima- und nährstoff-optimierte Anbausysteme

Die obigen Ausführungen haben gezeigt, dass die Wiedervernässung der organischen Böden in SH ohne Einschränkung der Ernährungssicherheit, allein durch implizite Anpassung des Konsums von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft bzw. explizite Einschränkung der Nutztierhaltung auf ein nachhaltigeres Maß, gelingen kann. Selbst ohne die Annahme von Ertragssteigerungen durch technischen Fortschritt, bestehen durch Berücksichtigung der freiwerdenden 70 Tsd. ha Ackerfläche (ehemalige Biogas-Mais-/Biodiesel-Raps-Flächen auf dem Acker) zusätzliche Optionen, um ‚klima- und nährstoff-optimierte Anbausysteme‘ mit den umfänglichen Ansprüchen weiterer Schutzziele (z.B. Wasser- und Biodiversitätsschutz) zu verknüpfen. Simultan können die Emissionen aus der Düngung reduziert werden und NCC durch Kohlenstofffestlegung in Böden gewährleistet werden. Übergeordnet gilt für dieses Handlungsfeld 3 das Primat, dass neben den Klimaschutzzielen auch weitere Nachhaltigkeitsziele (Nährstoffeffizienz für Wasserschutz; Biodiversität) umgesetzt werden.

Gleichzeitig dienen Ackerflächen primär der direkten Nahrungsmittelerzeugung und sekundär der Bereitstellung von Rohstoffen für die Bioökonomie und erst an dritter Stelle der Bereitstellung von Futter. Für Milch und Rindfleisch werden in dieser Projektion primär Dauergrünlandfutter und anteilig Reststoffe der pflanzlichen Erzeugung auf dem Acker bereitgestellt und so eine Nahrungskonkurrenz zur menschlichen Ernährung auf dem Acker minimiert. Es wird somit davon ausgegangen, dass das Paradigma hin zu einer Kreislaufwirtschaft, die in der Tierernährung neben dem Grasland nahezu ausschließlich Reststoffe der pflanzlichen Erzeugung einsetzt, bis 2040 weitgehend umgesetzt wird (vgl. Vermeulen *et al.*, 2012; van Zanten *et al.* 2023; Kozicka *et al.*, 2023). Dies koinzidiert mit den Zielgrößen den nationalen Stickstoffsaldo betreffend, der im Vergleich zu 2020 bis 2045 in Deutschland mit etwa 50 kg N/ha halbiert werden soll (vgl. Grethe *et al.*, 2021). Der heute dominante Hauptfrucht-Futterpflanzenanbau auf dem Acker (Silomais) für die Ernährung der Wiederkäuer wird deshalb auf ein Minimum reduziert, weil der Acker primär der Bereitstellung von Nahrungsmitteln pflanzlicher Herkunft oder Rohstoffen für die Bioökonomie gewidmet wird. Wenn Futter vom Acker, dann muss dieses weiteren Ökosystemleistungen bereitstellen, die zu resilienten Ackerbausystemen beitragen mit mehrjährigen Klee-grassystemen als zentrales Element.

4. Klima- und nährstoff-optimierte Anbausysteme durch Hybridlandwirtschaft regelbasiert umsetzen

Warum dann eine Größenordnung von + 90 (2x 45) Tsd. ha 2-jähriges Rotklee-gras als Kompensation für den Abbau an Silomais und anteilig Ackergras? Die Nutzung von Ackerfutter hat in einer zirkulären Landwirtschaft primär dann eine Berechtigung, wenn es sich (i.) um Reststoffe handelt (van Zanten *et al.* 2023) oder (ii.) mit den Futterbausystemen Ackerbausysteme resilienter gestaltet werden können (vgl. Taube *et al.*, 2023). Während heute Silomais in Selbstfolge den Anbau mit negativen Konsequenzen für die gespeicherten Kohlenstoffmengen im Boden (Rios *et al.*, 2022) dominiert und nach wie vor mit hohen Nährstoffverlusten über den Pfad Sickerwasser im Winterhalbjahr einhergeht (Vogeler *et al.*, 2023), würde der Einsatz von temporärem Klee-gras-Ackerfutterbau die gegenteilige Wirkung aufweisen. Der zentrale Ansatz in diese Richtung ist die Umsetzung von so genannten ‚Hybridsystemen‘. Taube (2021) versteht darunter die Kombination zentraler Elemente des konventionellen und ökologischen Landbaus („das Beste aus zwei Welten“) mit dem Ziel, eine ‚ökologische Intensivierung‘ dahingehend zu gewährleisten, dass die Ernährungssicherheit nicht eingeschränkt wird, Verlagerungseffekte vermieden werden, die Biodiversität gesteigert und der Umweltfußabdruck der erzeugten Produkte maßgeblich reduziert wird. Zentrale Elemente sind dabei - im Gegensatz zur Diskussion um die bisher nicht verbindlich Regel-definierte ‚regenerative Landwirtschaft‘ - definierte 5- bis 6-gliedrige Fruchtfolgen, die zur Hälfte nach Standards in Anlehnung an den ökologischen Landbau und zur Hälfte nach Standards des konventionellen Landbaus mit hohem Anteil von Leguminosen eine bessere Kreislaufwirtschaft gewährleisten als bisherige spezialisierte Systeme. Ein zentrales Element dieses Ansatzes sind zweijährige Klee-Gras-Kräuter-Systeme (KG) als Basis zur Wiederkäuerernährung, die in Anlehnung an den ökologischen Landbau bewirtschaftet werden (kein mineralischer N-Dünger, kein chemisch-synthetischer Pflanzenschutz), die Stickstoff und Bodenkohlenstoff akkumulieren (Taube *et al.*, 2023; Loges *et al.*, 2018; Rios *et al.*, 2021), Nitratbelastungen des Sickerwassers nahezu vollständig (< 5 kg N/ha) eliminieren (Smit *et al.*, 2022), die N₂O -Emissionen gegenüber mineraldüngerbasierten Systemen deutlich reduzieren (Schmeer *et al.*, 2014) und chemischen Pflanzenschutz in Form von Herbiziden nahezu überflüssig machen (Jensen *et al.*, 2025) - ganz im Gegenteil bieten sie Nützlingen umfänglich Nahrung (Beye *et al.*, 2022). Nach zweijährigem Anbau von KG-Mischungen sind unerwünschte Unkräuter/Beikräuter so dezimiert, dass eine Sommerung als Folgefrucht weder eine zusätzliche Düngung noch chemischen Pflanzenschutz erfordert und dennoch ca. 75-85% des Ertrages einer konventionellen Sommerung (Hafer/Körner-Mais) realisiert, bevor dann drei weitere Fruchtfolgeglieder intensiv konventionell bewirtschaftet werden (z.B. Raps, Weizen, etc.). Der aktuelle Silomaisanbau (Humuszehrung) zur Futtererzeugung wird in einer solchen Projektion bis

2040 zu 80% einerseits durch KG-Systeme und andererseits durch Körnermais (Marktf Frucht für Humanernährung bedingt durch Zuchtfortschritt) substituiert, so dass lediglich eine Größenordnung von deutlich unter 40 Tsd. ha Silomais verbleibt. In Summe führt dies zu folgenden Veränderungen der Landnutzung 2040 im Vergleich zu 2020 wie in Tab. 6 dargestellt. Für den Fall, dass die Potentiale für die Flächennutzung zur Futtererzeugung für Milchvieh nicht genutzt werden, sinkt vornehmlich der Anteil von Silomais weiter ab und steigt der Anteil von Körnermais weiter an – Futterbaubetriebe werden so zunehmend zu Gemischtbetrieben. Aus den skizzierten Projektionen resultieren die folgenden potentiellen THG-Emissionen für die Sektoren 3 und 4 (LULUC), wie in Tabelle 7-9 dargestellt.

Tabelle 6: Projektierte Anpassung Flächennutzung SH bis 2040 in 1000 ha

Landnutzung	Schleswig-Holstein			
	2020	minus	plus	2040
Dauergrünland (alt)	321	111		210
Nassfläche Moor	3		149	152
Naturschutz/Neugrünland/Wald	1		30	31
Ackergras	37	37		0
Körnerleguminosen	13		25	38
Klee-gras-Kräuter-Systeme	2		88	90
Silomais	187	150		37
Körnermais/Feuchtmais	2		28	30
Winterraps	67	10		57
Brotgetreide/Winterweizen	146		25	171
Gerste	81	40		41
sonstiges Getreide	54			54
Zuckerrüben	10			10
Kartoffeln	6			6
Summe	930	341	337	926

Tabelle 7: Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft in SH bis 2040 (Mio. t CO₂eq)

	1990	2000	2010	2020	2040
	0	0	0	0	0
CH₄	3,6	3,3	3,1	3,0	1,8
Verdauung	2,9	2,6	2,5	2,3	1,4
Wirtschaftsdüngermanagement	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3
Lagerung u. Vergärung von Pfl.	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
N₂O	1,7	1,5	1,7	1,5	0,9
Wirtschaftsdüngermanagement	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Böden	1,5	1,4	1,4	1,3	0,8
CO₂	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Düngung und Kalkung	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Gesamt CO₂eq	5,4	5,0	4,9	4,7	2,8

Tabelle 8: Veränderung der THG-Emissionen durch LULUC-Effekte der Projektionen und Wiedervernässung organischer Böden + LULUC(F) (Agrar) SH

Jahr	Flächennutzung	Tsd. ha	t CO ₂ eq/ha	Mio t CO ₂ eq
2020	Grünland auf Moor	111	~35	3,2
	Acker auf Moor	41	~29	1,4
	LF auf Moor	152	~32	4,7
2040	G&A wieder	152	~5	0,8

Tabelle 9: Treibhausgasemissionen (Mio. t CO₂eq) LULUC (MELUND, 2024)

In Mio. Tonnen CO ₂	1990	2000	2010	2020	2040
Mineralböden	0,0	0,0	0,2	-0,1	0,0
Org. Böden	4,7	4,7	4,7	4,6	1,2
Biomasse	0,1	0,0	0,1	0,3	-0,5
jährliche C-Festlegung*					-0,2
abzgl. Gülle/Gärr.**					0,7
Gesamt CO₂eq***	4,8	4,8	5,0	4,8	1,2
LULUCF insg	5,1	4,6	4,5	4,6	
LULUC (ohne Wald)	5,3	5,2	5,0	5,0	

	vernässt		
	jährl. Einsparung ab 2040 im Vergleich zu 2020		3,9
	Zusätzliche CO ₂ -Festlegung bis 2040*		3,5

Quelle: Thünen-Institut, 2023, 1 kg C -> 3,67 kg CO₂

* SH Mineralböden +6 t C/ha für 60 Tsd. ha KG/KM** + 20 t C/ha für 30 Tsd. ha Neugrünland/Wald** = 960 Tsd. t C; ** vgl. Guillaume et al., 2023; Antony et al., 2022

Quelle: MELUND (2024), ergänzt durch

* zusätzliche C-Sequestrierung Boden aus Klee gras + Körnermais;

** abzüglich reduzierter Gülle-/Gärrestanfall durch Abbau Tierhaltung (8 Mio Tonnen FM) mit C/N 10:1) x CUE 0,2 p.a.;

*** Summe aus * und **

Werden die Projektionsergebnisse aus Tabelle 7 und Tabelle 9 in Abbildung 3 aggregiert (Landwirtschaft (+2,8 Mio. t CO₂eq) + LULUC Agrarflächen 1.2 Mio. t CO₂eq), dann wird deutlich, dass eine klimaneutrale Situation nicht erreicht wird, jedoch weit mehr als eine Halbierung der THG-Emissionen, wenn neben der Wiedervernässung der organischen Böden und dem Abbau der Tierhaltung insbesondere die begrenzten zusätzlichen C-Speicherpotentiale der Mineralböden genutzt werden. Dies kann durch hohe Kohlenstoffzufuhr über den Ausbau des Landnutzungswandels hin zur Kombination von mehrjährigem Klee gras und Körnermais umgesetzt, kontinuierlich erhalten und fortgeschrieben werden. Während andere diskutierte Optionen des ‚carbon farming‘ (bspw. Agro-Forstsysteme) in der Regel eher kleinflächig zur Geltung kommen dürften, stehen mit der genannten Kombination aus Klee gras und Körnermais ganz andere Flächenpotentiale zur Verfügung. In Summe werden nach diesen Projektionen aus den drei Handlungsfeldern jährliche THG-Emissionen im Jahr 2040 im Vergleich zu 2020 um etwa 65% (3,4 statt 9,7 Mio. Tonnen CO₂-eq) reduziert ohne eine substanzielle Einschränkung der Bereitstellung von Nahrungsmitteln (Abbildung 4).

Jährliche Emission in Mio. t CO₂eq

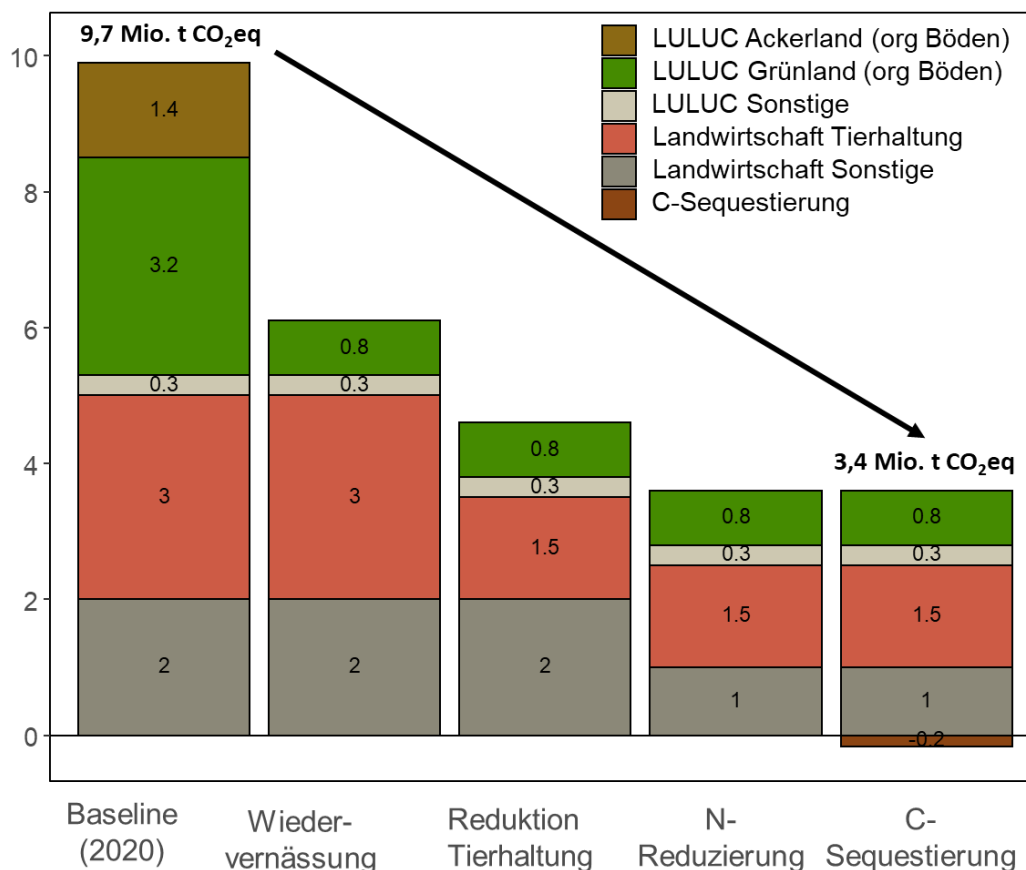


Abbildung 4: Hauptemittenten aus Landwirtschaft und LULUC – hierarchisch hergeleitete Projektionen auf dem Weg in Richtung Klimaneutralität

5. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung der Projektionen und Schlussfolgerungen

Für eine Umsetzung in die Realität sind entsprechende politische Rahmenbedingungen auf europäischer-, Bundes- und Landesebene notwendig, so wie sie in verschiedenen Schriften hinterlegt sind (vgl. WBAE, 2020; ZKL 2021 und 2024; Agora Agriculture, 2024).

Insgesamt ist zu schlussfolgern, dass neben den beiden großen Treibern für die hier behandelten THG-Emissionen (entwässerte Moore, hoher Konsum von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft) auch auf den hoch produktiven Standorten Norddeutschlands eine Strategie der ökologischen Intensivierung der Landnutzung gelingen kann, wenn Elemente der Selbstregulationsmechanismen, auf die der ökologische Landbau setzt (z.B. Klee gras, Fruchtfolge) mit technischen Innovationen verknüpft werden (z.B. Zuchtfortschritt), die vermiedenen Umweltkosten ausgewiesen werden und so neue Optima der Ökoeffizienz in der Bereitstellung von Agrarrohstoffen hergeleitet werden können. Am Beispiel der Milcherzeugung wurde gezeigt, dass nicht nur der ‚carbon footprint‘ eines Milcherzeugungssystems die Resilienz eines Produktionssystems ausmacht, sondern dass im Mindesten die N- und P-Footprints (vgl. Alderkamp et al., 2024) sowie die Koppel effekte auf die Biodiversität, das Tierwohl und die Beanspruchung von weltweit knappen Ackerflächen für die Futterbereitstellung zu würdigen sind. Nur die zusätzliche Bodenkohlenstoffsequestrierung durch

Landnutzungswandel (z.B. Klee gras statt Silomais) zeigt die bekannt begrenzten quantitativen Effekte im Vergleich zur Wiedervernässung der organischen Böden und der Transformation des Ernährungssystems, jedoch führt die Gesamtschau unter Einbeziehung der Vorfruchtwirkungen und produktionsintegrierten Biodiversitätsleistungen, der Einsparung von chemischem Pflanzenschutz und der zukünftig möglichen Nutzung dieser Aufwüchse im Sinne der Bio-Ökonomie, dass die Diversität von Lösungsoptionen für zukünftige Landnutzungen im Blick zu behalten ist, um *natural climate contributions* für resiliente Produktionssysteme zu gewährleisten. Jenseits der naturwissenschaftlich erfassten Parameter würdigt die NCC- Forschergruppe auch die agrar- und umweltethische Dimension (Ott, 2024) und leistet damit einen komplexen Debattenbeitrag zu zukünftigen Optionen der Landnutzung in Norddeutschland.

Modul 5: Ökonomie

Zuwendungsempfänger: Universität Greifswald Lehrstuhl für Allgemeine Volkswirtschaftslehre und Landschaftsökonomie	Geschäftszeichen: 35795/01-33-0
Vorhabenbezeichnung: Natural Climate Solutions - Eine Potenzialabschätzung für Norddeutschland Modul 5: Ökonomische Bewertung und Instrumente	
Laufzeit des Vorhabens: 1.4.2022 – 31.5.2023	
Berichtszeitraum: 1.6.2022 – 31.7.2023	

1. Regulatorischer Rahmen

Der Beitrag von naturbasierten Minderungs- und Vermeidungsstrategien für den Klimaschutz ergibt sich auf internationaler Ebene aus den übergeordneten Zielen des Übereinkommens von Paris (ÜvP), dem europäischen und deutschen Klimaschutzgesetz. Auf der rahmengebenden politischen Ebene werden durch die Umsetzung der europäischen Lastenteilungsverordnung und der LULUCF-Verordnung sowie den Vorgaben des nationalen Klimaschutzgesetzes konkrete Zielvorgaben formuliert, die bei der ökonomischen Bewertung und der Ausgestaltung von zielführenden ordnungs- und wirtschaftspolitischen Instrumenten berücksichtigt werden müssen. Auf der Basis dieses übergeordneten Rahmens ist es eine zentrale Aufgabe der Mitgliedstaaten, geeignete Instrumente zu gestalten, die dann wiederum Anreize für freiwillige Maßnahmen für einzelwirtschaftliche Entscheidungsträger setzen können, um die nationalen Emissionsziele zu erreichen.

Nach dem Klimaschutzgesetz will Deutschland bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral sein. Das bedeutet, dass ein Gleichgewicht zwischen THG-Emissionen und ihrem Abbau durch Kohlenstoffsenken (Netto-Null-Emissionen) erreicht ist. In seinem Beschluss zum Klimaschutzgesetz hat das Bundesverfassungsgericht am 24. März 2021 darauf hingewiesen, dass der Gesetzgeber nach Art. 20a GG verpflichtet ist, intergenerationelle Verteilungsfragen im politischen Prozess im Hinblick auf ökologische Belange auch mit Blick auf die künftigen Generationen zu lösen. Mit der anschließenden Novellierung des Klimaschutzgesetzes hat der Gesetzgeber darauf reagiert und die Klimaschutzziele im LULUCF-Sektor verschärft, ohne jedoch festzulegen, wie sie erreicht werden sollen. Die Bundesebene hat bisher auch noch keine Verpflichtungen für die nachgeordneten Ebenen (Länder und einzelwirtschaftliche Entscheidungsträger) formuliert. Solange dies im Detail nicht geregelt ist, sind alle Klimaschutzleistungen auf den nachgeordneten Ebenen freiwillig. Hier besteht Regelungsbedarf.

2. Zeitlicher Rahmen

Die Umstellung der Landwirtschaft auf klimaschonende Produktionsverfahren, die Wiedervernässung von Mooren und der Waldumbau erfordern eine weitreichende Transformation der Landnutzung, um die politisch vorgegebenen Klimaschutzziele bis zum Jahr 2045 zu erreichen. Der Zeitraum für die Transformation der Land- und Forstwirtschaft ist sehr kurz. Die klimaschutzrelevanten Wirkungen der Maßnahmen im Bereich der naturbasierten Minderungs- und Vermeidungsstrategien, die in den verbleibenden Jahren umgesetzt werden müssen, erstrecken sich aber deutlich über diesen sehr begrenzten Zeitraum.

Forstliche Maßnahmen zur Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald können in den meisten Fällen lediglich begonnen werden und sind beim Waldumbau zunächst mit einer Verringerung der Kohlenstoffvorräte verbunden, wenn Wälder mit hohen Kohlenstoffvorräten in vorratsarme junge Wälder umgewandelt werden. Hier besteht ein nicht aufzulösendes Dilemma zwischen kurzfristig erforderlichen Minderungsmaßnahmen und langfristiger Anpassung der Wälder. Da es sich um langsam und langfristig akkumulierende, aber auch schnell freisetzende Kohlenstoffspeicher handelt, müssen auch die langfristigen Wirkungen auf den Kohlenstoffhaushalt berücksichtigt werden.

Im Bereich der Moore zeigen die Erfahrungen aus vergangenen Wiedervernässungsprojekten, dass solche Projekte eine lange Vorlaufzeit benötigen und der vorgegebene Zeitraum bis zum Erreichen der klimaschutzpolitischen Zielmarke im Jahr 2045 sehr ambitioniert ist.

Auch die Zeit für die zielkonforme Anpassung ordnungs-, planungs- und förderrechtlicher Rahmenbedingungen ist ein limitierender Faktor, die nach dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichtes zum Klimaschutzgesetz neu justiert werden müssen. Gerade deshalb sollte der klimaschutzpolitische Transformationsprozess in der Landwirtschaft und im LULUCF-Sektor so schnell wie möglich begonnen werden.

3. Ökonomische Bewertung und Risiken von naturbasierten Minderungs- und Vermeidungsstrategien

Aus ökonomischer Sicht können die politisch vorgegebenen Klimaschutzziele nur unter expliziter Angabe der realisierbaren Minderungspotenziale in naturalen Größen bewertet werden. Die ökonomische Bewertung setzt demzufolge eine quantitative Abschätzung der Klimawirksamkeit von Maßnahmen im vorgegebenen zeitlichen Rahmen voraus. Dafür müssen die nachhaltig realisierbaren Potenziale von naturbasierten Minderungs- und Vermeidungsstrategien zunächst national und regional quantifiziert und dann in zielführende klimaschutzpolitische Strategien, Anrechnungs- und Anreizstrukturen verankert werden.

Bei der Erarbeitung von möglichen Transformationspfaden und dem Einsatz ökonomischer Klimaschutzinstrumente muss zwischen der Vermeidung von THG-Emissionen und der Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre durch Landnutzungsänderungen unterschieden werden. Aus Klimaschutzsicht handelt es sich bei Emissionsminderungen und Kohlenstoffentnahmen um zwei grundsätzlich unterschiedliche Prozesse, die auch beim Einsatz zielführender ordnungs- und wirtschaftspolitischer unterschiedlich behandelt werden müssen.

Der Beitrag terrestrischer Kohlenstoffsinken für den Klimaschutz ist aufgrund der voranschreitende Klimakrise mit hohen Risiken verbunden, da sie als anthropogen veränderte Ökosysteme stark von sich ändernden Umweltfaktoren beeinflusst werden. Einflussfaktoren wie Wasserverfügbarkeit und Temperatur sind sowohl vom lokalen Mikroklima als auch von singulären Extremwetterereignissen abhängig. Da mittel- und langfristige Entwicklungen und Potenziale kaum verlässlich quantifiziert

werden können müssen die Senkenpotenziale nach dem Vorsorgeprinzip konservativ eingeschätzt werden.

Das gilt vor allem im Bereich der Wälder. Die Ungewissheit über den zukünftigen Zustand der Wälder ist sehr hoch, da die derzeitigen Vegetationsmodelle keine realistischen Vorhersagen über das Absterben von Bäumen bei extremen Klimabedingungen erlauben und es an ausreichenden Beobachtungsdaten für die Parametrisierung, die Bewertung und das Prozessverständnis fehlt.

Außerdem ist zu beachten, dass die Permanenz der Kohlenstofffestlegung in hochgradig anthropogen beeinflussten Ökosystemen durch klimawandelbedingte Stresssituationen (Trockenheit, Dürren, Schädlingsbefall, etc...) stark beeinträchtigt werden kann. Mit Voranschreiten der Klimakrise wird die Intensität und Häufigkeit solcher Situationen zunehmen und sich negativ auf die terrestrischen Kohlenstoffsenken auswirken.

4. Potenziale naturbasierter Minderungs- und Vermeidungsstrategien für die Bioökonomie

Die größten Potenziale und auch der größte Klimaschutzpolitische Handlungsbedarf besteht im Bereich der entwässerungsbasierten Moornutzung. Hier geht es konkret um die Reduktion der THG-Emissionen durch die Wiedervernässung von Mooren und die Umstellung auf Paludikultur. In der Forst- und Holzwirtschaft geht es vor allem um den Erhalt der Kohlenstoffsenken durch Waldumbau zu klimastabilen Waldgesellschaften und dem Aufbau von Kohlenstoffvorräten durch Waldmehrung und Agroforstsysteme. In beiden Bereichen bestehen zudem weitere Minderungspotenziale im langfristigen Aufbau des Produktespeichers durch Holz- und Paludikulturbiomasse. Bei der Landwirtschaft kann eine zusätzliche Kohlenstofffestlegung durch eine grundlegende Produktionsumstellung in mineralischen und organischen Böden erfolgen (Modul 4).

Die nicht nur aus Klimaschutzgründen erforderliche Transformation zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise verlangt ein tiefgreifendes Umdenken bei der Erzeugung und Nutzung von biogenen Rohstoffen und der Erschließung von bewährten und alternativen Rohstoffquellen. Aufgrund der (politisch) begrenzten Aufnahmekapazität der Atmosphäre mit Treibhausgasen und der Endlichkeit fossiler Rohstoffe ist ein Wandel hin zu alternativen nachwachsenden Rohstoffquellen und nachhaltigeren Nutzung derselben erforderlich. Für die Erreichung der politisch vorgegebenen Klimaschutzziele ist die vollständige Substitution fossiler Rohstoffe alternativlos und eine große gesellschaftliche Herausforderung. Im Bereich der Landnutzung ist die Wiedervernässung und die nachhaltige Nutzung der nassen Moore einschließlich der Weiterverarbeitung der Paludibiomasse und die Nutzung der Paludiprodukte ein wichtiger Baustein für die Umsetzung des Konzeptes einer zirkulären Wirtschaftsweise.

Die Transformation zu einer zirkulären Wirtschaftsweise steckt jedoch noch in den Kinderschuhen. Die Potenziale für einen naturbasierten Klimaschutz sind hier jedoch sehr hoch und nicht nur auf die Produktion nachwachsender biogener Rohstoffe beschränkt. Ähnlich wie der Forst- und Holzsektor hat die Paludikultur ein sehr großes Potenzial, die Nachfrage nach biogenen Roh- und Reststoffen zu befriedigen und Kohlenstoff im Produktspeicher langfristig festzulegen beziehungsweise fossile Rohstoffe zu substituieren. Durch die Verwertung von Biomasse aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und wiedervernässten Mooren können bis zum Erreichen des nationalen Klimaschutzziels im Jahr 2045 nicht erneuerbare fossile Rohstoffe substituiert werden. Im Fall von langlebigen Produkten wird Kohlenstoff im Holz- und Paludi-Produktspeicher gebunden. Eine nachhaltige Holznutzung und die Verwertung von Paludikulturbiomasse kann dadurch einen Beitrag für die kreislaufbasierte Bioökonomiestrategie des Bundes leisten.

5. Kosten des Nichtstuns müssen von nachfolgenden Generationen bezahlt werden

Die Maßnahmen für die Erreichung der politisch vorgegebenen Klimaschutzziele gibt es nicht zum Nulltarif. Die weitreichenden Strukturwandelprozesse der nächsten Jahre müssen durch eine Transformationspolitik im Sinne eines gerechten Übergangs gestaltet werden. Der volkswirtschaftliche Nutzen des klimaschutzpolitischen Transformationsprozesses ergibt sich aus den vermiedenen Klimafolgeschäden, die illustrativ nach dem in der UBA-Methodenkonvention 3.1 vorgeschlagenen Kostensatz quantifiziert und den Vermeidungskosten gegenübergestellt werden können.

Aus wohlfahrtsökonomischer Sicht sollen Klimaschutzmaßnahmen zuerst dort umgesetzt werden, wo dies mit den geringsten Kosten erfolgen kann. Die Kenntnis der Vermeidungskosten ist daher vor allem für die Identifikation kosteneffizienter Maßnahmen erforderlich. Vermeidungskosten sind ein Maß für die Beurteilung der Effizienz einer Maßnahme im Vergleich zu anderen infrage kommenden Alternativen sowie zu Maßnahmen in anderen Sektoren der Volkswirtschaft (z. B. Wärmeerzeugung, erneuerbare Energien, energetische Gebäudesanierung). Die ökonomische Bewertung der Kosten-Effizienz von zielführenden Klimaschutzmaßnahmen können auf der Grundlage einzelwirtschaftlicher Opportunitätskosten die THG-Vermeidungskosten berechnet werden.

Im Bereich der entwässerungsbasierten Moornutzung ist davon auszugehen, dass es ein hinreichend großes Flächenpotenzial mit negativen Vermeidungskosten gibt. Eine möglichst hohe Klimaschutzwirkung kann auf tiefentwässerten Moorstandorten realisiert werden. Unter den gegenwärtigen ordnungs- und förderrechtlichen Rahmenbedingungen kann die entwässerungsbasierte Moornutzung zwar eine hohe einzelwirtschaftliche Wertschöpfung erzeugen, sie verursacht aber auch erhebliche volkswirtschaftliche Schadenskosten.

6. Kohärenz von ordnungs- und wirtschaftspolitischen Steuerungsinstrumenten

Die aktuellen Hemmnisse für die Umsetzung von nasser Moornutzung umfassen praktische Herausforderungen der Umstellung (z. B. Wassermanagement und Wasserverfügbarkeit, fehlende längerfristige Erfahrungen, offene pflanzenbauliche Fragen), betriebliche Kosten und eine Exnovation aus der entwässerungsbasierten Moornutzung. Zum Abbau der vorhandenen Hemmnisse bei der Wiedervernässung und der Umstellung auf Paludikultur benötigen die landwirtschaftlichen und die weiterverarbeitenden Betriebe, ähnlich wie bei der politisch gewünschten Förderung des Ökolandbaus oder der Markteinführung der erneuerbaren Energien, für eine Übergangsphase entsprechende finanzielle Anreize und eine flankierende Förderung für die noch nicht rentablen Produktionsverfahren.

Sowohl die Vermeidung von landnutzungsbedingten THG-Emissionen als auch die zusätzliche Entnahme von Kohlenstoff aus der Atmosphäre kann durch ordnungspolitische und / oder anreizkompatible ökonomische Instrumente im Rahmen einer kohärenten Klimapolitik herbeigeführt werden. Geeignete ökonomische Instrumente für die Emissionsminderung sind beispielsweise der Zertifikatehandel oder eine Besteuerung der THG-Emissionen.

Die Schaffung zusätzlicher Kohlenstoffsinken durch Landnutzungsänderung kann durch eine ergebnisorientierte Honorierung der Ökosystemleistung für den Klimaschutz herbeigeführt werden. Damit die schwierige Phase bis zum erfolgreichen Markteintritt von klimafreundlich erzeugten Paludi-Produkten bewältigt werden kann, müssen zusätzlich zielgerichtete flankierende Finanzierungsinstrumente eingesetzt werden, mit denen das „Tal des Todes“ als kritischste Phase des Produktlebenszyklus überwunden werden kann. Hierzu gehören vor allem eine Exnovation aus der entwässerungsbasierten Moornutzung und eine zielgerichtete Innovations- und

Investitionsförderung, mit denen die Forschung und Entwicklung beim Anbau der Paludi-Biomasse sowie die Markteinführung von klimafreundlichen Paludi-Produkten gefördert werden sollte.

Aus ökonomischer Sicht sollten bevorzugt anreizkompatible Steuerungsinstrumente eingesetzt werden, damit ein wichtiges Postulat einer nachhaltigen Wirtschaftsweise erfüllt werden kann. Nach dem Kriterium der Effizienz sollen die politisch vorgegebenen Klimaschutzziele mit minimalen volkswirtschaftlichen Kosten (Kosteneffizienz) erreicht werden und einen dauerhaften Anreiz für fortschrittliche und kostengünstige Maßnahmen zur Verringerung der Umweltbelastung (dynamische Anreizwirkung) enthalten. Die klimapolitische Instrumentendiskussion der vergangenen Jahre hat deutlich gemacht, dass ökonomische Instrumente, die eine Verhaltenssteuerung durch monetäre Anreize bewirken, den klassischen ordnungsrechtlichen Instrumenten wegen der Vielzahl der zu regulierenden Aktivitäten und der mangelnden dynamischen Anreizwirkung oftmals überlegen sind. Nach den ordnungspolitischen Grundsätzen der sozialen Marktwirtschaft gehören zu den Instrumenten mit dynamischer Anreizwirkung solche, die den Wettbewerb als Entdeckungsverfahren aktivieren und die (einzelwirtschaftlichen) Interessen auf die Erreichung der wirtschafts- und umweltpolitischen Ziele richten.

Aktuell gibt es in Deutschland keine aktive, unmittelbar auf den Klimaschutz ausgerichtete Förderung zur Bewirtschaftung der Moore und der Weiterverarbeitung der Paludi-Biomasse. Die derzeitigen ordnungs- und förderrechtlichen Rahmenbedingungen sind nicht klimaschutzorientiert ausgestaltet und müssen verändert werden, damit die vorhandenen und auch die neuen Finanzierungsinstrumente ihre Wirksamkeit für den Klimaschutz entfalten können. Bei der Ausgestaltung der Instrumente müssen im Rahmen einer kohärenten Klimaschutzpolitik fördernde und konkurrierende Wechselwirkungen zwischen bereits vorhandenen agrarpolitischen Instrumenten und den anreizbasierten Steuerungsinstrumenten der CO₂-Bepreisung für die künftige Moornutzung und die Umstellung auf Paludikultur beachtet werden.

Obwohl ein eigenständiger nationaler Zertifikatehandel für THG-Emissionsrechte aus der Entwässerung von Moorböden noch nicht umsetzungsreif ausgearbeitet ist, erscheint eine mittel- bis langfristige Einführung grundsätzlich sinnvoll. Er ist effizienter als das Bonus-Malus-System, setzt das Verursacherprinzip um, verursacht keinen fiskalischen Finanzbedarf und könnte bei Grundeigentümern und den Landbewirtschaftenden auf eine hohe Akzeptanz stoßen. Entsprechend den politisch vorgegebenen Zielmarken würde die Anzahl der Emissionszertifikate mit Zeitablauf sinken. Dadurch würden sich die CO₂-Preise an den tatsächlichen Vermeidungskosten ausrichten und die landwirtschaftlichen Betriebe bekämen einen Anreiz, die entwässerungsbasierte Moornutzung auf eine klimafreundliche Nutzung umzustellen.

Literaturverzeichnis

Die Literaturangaben werden der Übersichtlichkeit halber jeweils einem Modul zugeordnet.

Ethik

Anderson Kevin; Peters Glen (2016): The trouble with negative emissions. In: *Science* 354 (6309), S. 182–183. DOI: 10.1126/science.aah4567.

Anderson, Christa et al. (2019): Natural Climate Solutions Are not Enough. *Science*, Vol. 363, Issue 6430, S. 933-93.

Baatz, Christian, Ott, Konrad (2016): Why Aggressive Mitigation Must Be Part of Any Pathway to Climate Justice. In: Preston, Christopher (Ed.): *Climate Justice and Geoengineering*. Lanham, Maryland: Rowman & Littlefield, S. 93-108.

Baatz, Christian, Ott, Konrad (2017): In Defense of Emissions Egalitarianism? In: Meyer, L., Sanklecha, P. (Eds.): *Climate Justice and Historical Emissions*. Cambridge University Press, S.165-197.

Batres, Maya et al. (2021): Environmental and climate justice and technological carbon removal. *The Electricity Journal* Vol. 34, 107002.

Birnbacher, Dieter (1995): *Tun und Unterlassen*. Stuttgart: Reclam.

Bode, Philipp (2018): *Einführung in die Tierethik*. Weimar: Böhlau UTB.

Borgmann, Albert (1984): *Technology and the Character of Contemporary Life*. University of Chicago Press.

Bosy-Westphal, Anja et al. (2023): Der Zusammenhang zwischen hoch-verarbeiteten Lebensmitteln und dem Verlust an Diversität im Ernährungssystem. *Ernährungs-Umschau* Vol. 70(6): M350–360.

Braun, Florian, Baatz, Christian (2017): Klimaverantwortung. In: Heidbrink, Ludger et al. (Hg.): *Handbuch Verantwortung*. Wiesbaden: Springer, S. 855-886.

Brouwer, Floor, McCarl, Bruce (Eds.): *Agriculture and Climate Beyond 2015*. Springer Netherlands 2006.

Daly, Herman (1996): *Beyond Growth*. Boston: Beacon.

Denny, D. M. T., Cerri, C. E. P. ., Cherubin, M. R. ., & Burnquist, H. L. . (2023). Carbon Farming: Nature-Based Solutions in Brazil . *Green and Low-Carbon Economy*, 1(3), 130–137. <https://doi.org/10.47852/bonviewGLCE3202887>.

Gardiner, Stephen (2011): *A Perfect Moral Storm*. Oxford: Oxford University Press.

Gardiner, Stephen, Caney, Simon, Jamieson, Dale, Shue, Henry (Eds.) (2010): *Climate Ethics: Essential Readings*. Oxford: Oxford University Press.

Gasser, T. et al. (2015): Negative emissions physically needed to keep global warming below 2 °C. *Nature Communication* Vol. 6, Article 7958.

Geden, Oliver, Schenuit, Felix (2020): Unkonventioneller Klimaschutz. SWP Studie 10. Berlin: SWP.

Geden, Oliver, Brigitte Knopf, Felix Schenuit (2023): Der Emissionsbudget-Ansatz in der EU-Klimapolitik. *SWP-Aktuell* 2023/A 47.

Gosseries, Axel (2004): Historical emissions and free-riding. *Ethical Perspectives*, Vol. 11(1), S. 36-60.

Griscom, W. B. et al. (2017): Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 114,44, S. 11645-11650.

Haaren, Christina von (Hg.) (2004): *Landschaftsplanung*. Stuttgart: Ulmer.

Haaren, Christina von, Lovett, Andrew, Albert, Cristian (Eds.) (2020): *Landscape Planning with Ecosystem Services*. Springer Nature.

Hampicke, Ulrich (2013): *Kulturlandschaft und Naturschutz*. Wiesbaden: Springer.

Hampicke, Ulrich (2018): *Kulturlandschaft – Äcker, Wiesen, Felder und ihre Produkte*. Springer.

- Heubach, Jochen (2022): Distribution of fund-based money for climate change adaptation. Master Thesis, Kiel Oktober 2022.
- International Energy Agency (IEA) (2023): World Energy Outlook. Download 20. Juni 2024.
- Jonas, Hans (1979): Das Prinzip Verantwortung. Frankfurt/M.: Insel.
- Klauer, Bernd, Manstetten, Reiner, Petersen, Thomas, Schiller, Johannes (2013): Die Kunst langfristig zu denken. Baden-Baden: Nomos.
- Klepper Gernot & Thrän, Daniela (2019): Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale – Technologien – Zielkonflikte. Acatech: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Korthals, Michiel (2004): Before Dinner. Dordrecht: Springer.
- Krebs, Angelika (Hg.) (1997): Naturethik. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Krebs, Angelika (1999): Ethics of Nature. Berlin: DeGruyter.
- Lal, Rattan; Smith, Pete; Jungkunst, Hermann F.; Mitsch, William J.; Lehmann, Johannes; Nair, P. RamachandranK.; McBratney, Alex B.; Moraes Sá, João Carlos de; Schneider, Julia; Zinn, Yuri L.; Skorupa, Alba L.A.; Zhang, Hai-Lin; Minasny, Budiman; Srinivasrao, Cherukumalli; Ravindranath, Nijavalli H. (2018): The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 73 No. 6, pp. 145A-152A.
- Leopold, Aldo (1949): A Sand County Almanac and Sketches Here and There. Oxford: Oxford University Press.
- Lieven, Anatol (2020): Climate Change and the Nation State. Oxford University Press.
- Maribus et al. (Hg.) (2024): Klimaretter Ozean? World Ocean Report Vol. 8. Hamburg: Maribus.
- Meyer, Aubrey (1999): The Kyoto Protocol and the Emergence of 'Contraction and Convergence' as a Framework for an International Political Solution to Greenhouse Gas Emissions Abatement. In: Hohmeyer, Olav, Rennings, Klaus (Eds.): Man-Made Climate Change. Heidelberg, New York, S. 291-345.
- Naumann, Sandra et al. (2014): Naturbasierte Ansätze für Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel: Bonn: BfN.
- Neuber, Frederike, Ott, Konrad (2020): The Buying Time Argument Within the Solar Radiation Management Discourse. Applied Science, Vol.10, Article 4637.
- Nida-Rümelin, Julian (Hg.) (2005): Angewandte Ethik. 2. Auflage. Stuttgart: Kröner.
- Oschlies, Andreas et al. (2023): Climate targets, carbon dioxide removal, and the potential role of ocean alkalinity enhancement. State of the Planet, 2-oae-2023
- Ott, Konrad (2001): Moralbegründungen zur Einführung. Hamburg: Junius.
- Ott, Konrad (2011): Zur ethischen Dimension von Renaturierungsökologie und Ökosystemrenaturierung. In: Zerbe, Stefan, Wiegand, Gerhard (Hg.): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Heidelberg: Spektrum, S. 423-439.
- Ott, Konrad (2010): Umweltethik zur Einführung. Hamburg: Junius.
- Ott, Konrad (2015): Zur Dimension des Naturschutzes in einer Theorie starker Nachhaltigkeit. Marburg: Metropolis.
- Ott, Konrad (2016): On the Meaning of Eudemonic Arguments for a Deep Anthropocentric Environmental Ethics. New German Critique, No. 128, S. 105-126.
- Ott, Konrad (2018): On the Political Economy of Solar Radiation Management. Frontiers in Environmental Science Vol. 43 (6). DOI: 10.3389/fenvs.2018.00043.
- Ott, Konrad (2020a): Environmental Ethics. In: Kirchhoff, Thomas (Eds.): Online Encyclopedia Philosophy of Nature/ Online Lexikon Naturphilosophie. DOI: doi.org/10.11588/oeppn.2020.0.71420
- Ott, Konrad (2020b): 'Klimaflüchtlinge': Zur Komplexion der Begriffsbildung. In: Kersting, Daniel, Leuoth, Marcus (Hg.): Der Begriff des Flüchtlings. Stuttgart: Metzler, S. 151-178.
- Ott, Konrad (2021a): Domains of Climate Ethics Revisited. In: Matsuda, Tsuyoshi, Wolff, Jonathan, Yanagawa, Takashi (Eds.): Risks and Regulation of New Technologies. Singapur: Springer, Kobe University, S. 173-200.

- Ott, Konrad et al. (2004): Reasoning Goals of Climate Protection. Specification of Article 2 UNFCCC. Berlin: UBA.
- Ott, Konrad, Döring, Ralf (2011): Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit. Marburg: Metropolis.
- Ott, Konrad, Dierks, Jan, Voget-Kleschin, Lieske (Hg.) (2016): Handbuch Umweltethik. Stuttgart: Metzler.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S. et al. (2016): Climate-smart soils. *Nature* 532, S. 49-57.
- Rawls, John (1971): A Theory of Justice. Cambridge: Harvard University Press.
- Reise, Judith, Siemons, Anne et al. (2022): Nature-based Solutions and global climate protection. Assessment of their global mitigation potential and recommendations for international climate policy. Umweltbundesamt, Climate Change 01/2022, Dessau-Roßlau.
- Rumpel, Cornelia & Amiraslani, Farshad & Koutika, Lydie-Stella & Smith, Pete & Whitehead, David & Wollenberg, Eva. (2018): Put more carbon in soils to meet Paris climate pledges. *Nature*. Vol. 564. pp. 32-34.
- Smith, P., Davis, S., Creutzig, F. et al. (2016): Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions. *Nature Climate Change*, Vol. 6, S. 42–50 (2016).
- Schröder, Meinhard et al. (2002): Klimavorhersage und Klimavorsorge. Berlin: Springer.
- Schulan, Alexander, Tank, Lukas, Baatz, Christian (2022): Distributive justice and the global emissions budget. *WIREs Climate Change* 2023, e847.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2002): Für eine neue Vorreiterrolle. Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- SRU (2020): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Berlin: SRU.
- SRU (2022): A justified ceiling to Germany's CO₂ emissions: Questions and answers on its CO₂ budget. Berlin: SRU. (deutsch: Wie viel CO₂ darf Deutschland maximal noch austößen?)
- SRU (2024a): Wo stehen wir beim CO₂-Budget? Eine Aktualisierung. Berlin: SRU.
- SRU (2024b): Renaturierung: Biodiversität stärken, Flächen zukunftsfähig bewirtschaften. Berlin: SRU.
- Wang, Lin et al. (2024): Exploring ecological carbon sequestration advantage and economic response in an ecological security pattern: A nature-based solutions perspective. *Ecological Modelling* Vol. 488, Article 110597.
- WBGU (2020): Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration. Berlin: WBGU.
- WCED (1987): Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.
- Zerbe, Stefan, Ott, Konrad (2021): Pesticides, soil removal, and fire for the restoration of ecosystems? A call for ethical standards in ecosystem restoration, in: *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz. Arbeitsgemeinschaft Forstliche Standorts- und Vegetationskunde*. Vol. 20, S. 59-73.
- Zomer, R., Neufeldt, H., Xu, J. et al. (2016): Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Sci Rep* 6.
- Zomer, R.J., Bossio, D.A., Sommer, R. et al. (2017): Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. *Sci Rep* 7.

Moore

- Antoniјеvić D, Hoffmann M, Prochnow A, Krabbe K, Weituschat M, Couwenberg J, Ehlert S, Zak D, Augustin J. 2023. The unexpected long period of elevated CH₄ emissions from an inundated fen meadow ended only with the occurrence of cattail (*Typha latifolia*). *Global Change Biology*, doi: 10.1111/gcb.16713
- Günther A, Barthelmes A, Huth V, Joosten H, Jurasinski G, Koebsch F, Couwenberg J. 2020. Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications*, 11, 1644: doi.10.1038/s41467-020-15499-z

IPCC 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. IPCC, Geneva, Switzerland.

IPCC 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC, Geneva, Switzerland.

IPCC 2021. Climate Change 2021 – the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

Joosten H, Sirin A, Couwenberg J, Laine J, Smith P. 2016. The role of peatlands in climate regulation. In: Bonn A, Allot T, Evans M, Joosten H, Stoneman R (eds) Peatland Restoration and Ecosystem Services: Science, Policy and Practice. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 63-76.

Mo L, Zohner CM, Reich PB, et al. 2023. Integrated global assessment of the natural forest carbon potential. Nature 624, 92-101.

Mrotzek A, Michaelis D, Günther A, Wrage-Mönnig N, Couwenberg J. 2020. Mass balances of a drained and a rewetted peatland: on former losses and recent gains. Soil Systems 4, 16: doi: 10.3390/soilsystems4010016

Pan Y, Bridsey RA, Fang J, et al. 2011. A large and persistent sink in the world's forests. Science 333, 988-993.

Roßkopf N, Fell H, Zeitz J. 2015. Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. Catena 113, 157-170.

Santoro M, Cartus O, Wegmüller U, et al. 2022. Global estimation of above-ground biomass from spaceborne C-band scatterometer observations aided by LiDAR metrics of vegetation structure. Remote Sensing and Environment 279, 113114.

Tegetmeyer C, Barthelmes K-D, Busse S, Barthelmes A. 2021. Aggregierte Karte der organischen Böden Deutschlands. 2., überarbeitete Fassung. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 01/2021, 10 S.

Temmink RJM, Lamers LPM, Angelini C, et al. 2022. Recovering wetland biogeomorphic feedbacks to restore the world's biotic carbon hotspots. Science 376, 594.

UBA 2023. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2021. Umweltbundesamt, 974 S.

Uellendahl K, Hirschelmann S, Abel S. 2023. Treibhausgas-Emissionen der moorreichen Bundesländer und die Rolle der organischen Böden. Informationspapier Greifswald Moor Centrum, 12 S.

UNEP 2022. Global Peatlands Assessment – The State of the World's Peatlands: Evidence for action toward the conservation, restoration, and sustainable management of peatlands. Main Report. Global Peatlands Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi, 418 S.

Wälder

Ammer, C., Vor, T., Knoke, T. (2010): Der Wald-Wild-Konflikt. Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge. Göttinger Forstwissenschaften 5: 1-184

Castagneri, D., Vacchiano, G., Hacket-Pain, A. et al. (2022): Meta-analysis reveals different competition effects on tree growth resistance and resilience to drought. Ecosystems 25: 30-43. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00638-4>

Europäische Kommission 2023: Naturbasierte Lösungen – Vorteile und Chancen. <https://cordis.europa.eu/>

FAO (2020) Global Forest Resources Assessment 2020: FAO

Grassi, G., Cescatti, A., Matthews, R. et al. (2019): On the realistic contribution of European forests to reach climate objectives. Carbon Balance Management 14, 8. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0123-y>

Höllerl S, Bork J 2013: Die Kohlenstoffspeicherung von bewirtschafteten und unbewirtschafteten 7.3 Fichtenbeständen unter Berücksichtigung von Ausfallrisiken – Aussagen nicht nur über Bestände der montanen Zone. Forstarchiv 84: 52-64. DOI: 10.4432/0300-4112-84-52

IPCC (2018): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of

strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty: Cambridge University Press.

- Klein D, Höllerl S, Blaschke M, Schulz C. 2013 The contribution of managed and unmanaged forests to climate change mitigation - A model approach at stand level for the main tree species in Bavaria. *Forests* 4(1): 43-69. Doi: 10.3390/f4010043
- Krug, J., Koehl, M., Kownatzki, D. 2012 Revaluing unmanaged forests for climate change mitigation. *Carbon Balance Manage* 7: 11. Doi:10.1186/1750-0680-7-11
- Nabuurs, G.-J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Hetemäki, L., Lindner, M. (2017): By 2050 the mitigation effects of EU forests could nearly double through climate smart forestry. *Forests* 8(12): 484. DOI: 10.3390/f8120484
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J. et al. (2011): A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988-993. DOI: [10.1126/science.1201609](https://doi.org/10.1126/science.1201609)
- Patacca, M., Lindner, M., Lucas-Borja, M. E., Cordonnier, T., Fidej, G., Gardiner, B., Hauf, Y., Jasinevičius, G., Labonne, S., Linkevičius, E., Mahnken, M., Milanovic, S., Nabuurs, G.-J., Nagel, T. A., Nikinmaa, L., Panyatov, M., Bercak, R., Seidl, R., Ostrogović Sever, M. Z. ... Schelhaas, M.-J. (2023). Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology* 29: 1359-1376. Doi: 10.1111/gcb.16531
- Romagnoli, F., Cadei, A., Costa, M., Marangon, D., Pellegrini, G., Nardi, D., Masiero, M., Secco, L., Grigolato, S., Lingua, E., Picco, L., Pirotti, F., Battisti, A., Locatelli, T., Blennow, K., Gardiner, B., Cavalli, R. 2023: Windstorm impacts on European forest-related systems: An interdisciplinary perspective. *Forest Ecology and Management* 541: 121048. Doi: 10.1016/j.foreco.2023.121048.
- Schulz C. (2019): Kohlenstoffbindung in Bayerns Wäldern. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). <https://www.lwf.bayern.de/boden-klima/kohlenstoffbindung/266779/index.php>
- Schwarz, J., Skiadaresis, G., Kohler, M. et al. (2020): Quantifying growth responses of trees to drought - a critique of commonly used resilience indices and recommendations for future studies. *Curr Forestry Rep* 6: 185-200. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00119-2>
- SDW (o.J.): Alleen in Mecklenburg-Vorpommern. Schutzgemeinschaft Deutscher Wald. https://www.alleen-fan.de/Bundeslaender/mecklenburg_vorpommern.html
- Seliger, A., Ammer, C., Kreft, H., Zerbe, S. 2023 Changes of vegetation in coniferous monocultures in the context of conversion to mixed forests in 30 years – Implications for biodiversity restoration. *Journal of Environmental Management* 343: 118199. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118199>
- Zerbe, S. (2019): Agroforstsysteme in Mitteleuropa als ein Beitrag zur nachhaltigen Landnutzung. Mit dem Beispiel der Lärchenwiesen und Lärchenweiden in Südtirol. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 51(9): 428-433

Landwirtschaft

- Agora Agriculture 2024. Agriculture, forestry and food in a climate neutral EU. The land use sectors as part of a sustainable food system and bioeconomy. *AGR_336_Land-use-study_WEB_0.pdf*
- Akademikunion 2024. Wissenschaftsakademien zeigen: Auch ohne Grundlastkraftwerke ist die Stromversorgung gesichert. Gemeinsame Pressemitteilung (ESYS_PM_Grundlast.pdfESYS_PM_Grundlast.pdf)
- Alderkamp, L.M., Klotwijk, C.W., Schut, A.G.T., Van Der Linden, A., Van Middelaar, C.E., Taube, F., 2025. Integrating crop and dairy production systems: Exploring different strategies to achieve environmental targets. *Science of The Total Environment* 958, 177990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177990>
- Anonym, 2024. Denmark's Climate Minister wants to expand green agriculture bill (<https://cphpost.dk/2024-05-20/news/climate/climate-minister-calls-for-nitrogen-to-be-included-in-green-tax-on-agriculture/>)
- Antony, D., Collins, C.D., Clark, J.M., Sizmur, T., 2022. Soil organic matter storage in temperate lowland arable, grassland and woodland topsoil and subsoil. *Soil Use Manage* 38, 1532–1546. 10.1111/sum.12801
- Bai, Y., Cotrufo, M.F. 2022. Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Sci* 377, 603–608. 10.1126/science.abo2380
- Beye, H., Taube, F., Donath, T.W., Schulz, J., Hasler, M., Diekötter, T., 2023. Species Enriched Grass–Clover Pastures Show Distinct Carabid Assemblages and Enhance Endangered Species of Carabid Beetles Compared to Continuous Maize. *Land* 12, 736. 10.3390/land12040736

- Beye, H., Taube, F., Lange, K., Hasler, M., Kluß, C., Loges, R., Diekötter, T., 2022. Species-Enriched Grass-Clover Mixtures Can Promote Bumblebee Abundance Compared with Intensively Managed Conventional Pastures. *Agron* 12, 1080. 10.3390/agronomy12051080
- Biernat, L., Taube, F., Vogeler, I., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R., 2020. Is organic agriculture in line with the EU-nitrate directive? On-farm nitrate leaching from organic and conventional arable crop rotations. *Agri Ecosyst Environ* 298, 106964. 10.1016/j.agee.2020.106964
- BLE, 2022. Versorgungsbilanz 2021: Selbstversorgungsgrade von Rapsöl und Sonnenblumenöl leicht gestiegen. Presseinformation vom 03.08.2022 (220803_Versorgungsbilanz_Oel.pdf)
- Böhm, J., 2023. Vergleich der Flächenenergieerträge verschiedener erneuerbarer Energien auf landwirtschaftlichen Flächen – für Strom, Wärme und Verkehr. *BÜL* 101, 1. 10.12767/BUEL.V101I1.462
- Börjesson, G., Bolinder, M.A., Kirchmann, H., Kätterer, T., 2018. Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations. *Biol Fertil Soils* 54, 549–558. 10.1007/s00374-018-1281-x
- BVerfG, 2021. Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz. Beschluss vom 24.03.2021 – 1 BvR 2656/18 u.a.
- DAFA 2015. Fachforum Grünland. Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. DAFA 10.4126/FRL01-006404450
- DGE, 2021. DGE-Positionspapier zur nachhaltigeren Ernährung. *Ernährungs Umschau* 2021; 68, 144–54. 10.4455/eu.2021.030
- DGE, 2024: Gut essen und trinken – die DGE-Empfehlungen, <https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/gut-essen-und-trinken/dge-empfehlungen/>
- DGE, 2024. Neubewertung der DGE-Position zu veganer Ernährung. Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. *Ernährungs Umschau* 71, 60–85. 10.4455/eu.2024.22
- Don, A., Flessa, H., Marx, K., Poeplau, C., Tiemeyer, B., Osterburg, B., 2018. Die 4-Promille-Initiative Böden für Ernährungssicherung und Klima. *Thünen* 112, 10.3220/WP1543840339000
- European Commission 2020. Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. *f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf*
- EEA, 2022. Soil Carbon. European Environment Agency. www.eea.europa.eu/publications/soil-carbon
- FNR, 2022. Basisdaten Bioenergie Deutschland 2022. FNR. <https://mediathek.fnr.de/basisdaten-bioenergie.html>
- Gensior A., Drexler, S., Fuß, R., Stümer, W., Rüter, S. 2023. Treibhausgas-Emissionen durch Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF). Thünen-Institut 24.03.2023 <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/standard-titel>
- Greifswald Mire Centre and Wetlands International Europe 2024. Questions & Answers: Bringing Clarity on Peatland Rewetting and Restoration *QA-peatland-rewetting_fin.pdf*
- Grethe, H., Martinez, J., Osterburg, B., Taube, F., Thom, F., 2021. Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität. Stiftung Klimaneutralität. (2021-06-01-Klimaneutralitaet_Landwirtschaft.pdf)
- Grundmann, P. *et al* (2022) Grass-based circular business models for rural agri-food value chains (GO-GRASS). White Paper for Grassland Opportunities – Discussion Document. 2023_01_23_GO-GRASS-White-Paper-Draft.pdf
- Guillaume, T., Makowski, D., Libohova, Z., Elfouki, S., Fontana, M., Leifeld, J., Bragazza, L., Sinaj, S., 2022. Carbon storage in agricultural topsoils and subsoils is promoted by including temporary grasslands into the crop rotation. *Geoderma* 422, 115937. 10.1016/j.geoderma.2022.115937
- Guarin, J.R. *et al.*, 2022. Evidence for increasing global wheat yield potential. *Environ. Res. Lett.* 17, 124045. 10.1088/1748-9326/aca77c
- Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U., 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *J Plant Nutr Soil Sci* 168, 439–446. 10.1002/jpln.200520510
- Haß, M., Deblitz, C., Freund, F., Kreins, P., Laquai, V., Offermann, F., Pelikan, J., Sturm, V., Wegmann, J., Witte, T. de, Wüstemann, F., Zinnbauer, M., 2022. Thünen-Baseline 2022 - 2032: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. 10.3220/REP1667811151000
- Henning, C., Taube, F., 2020. Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein. Im Auftrag des MELUND SH. *naehrstoffbericht_2020.pdf*
- Hennenberg, K., Scheffler, M., Wiegmann, K., Repenning, J., 2016. Kurzbericht zur Modellierung des LULUCF-Sektors auf Basis von NIR-2016. Öko-Institut e.V. (2016-073-de.pdf)

- Herrmann, A., Kage, H., Taube, F., Sieling, K., 2017. Effect of biogas digestate, animal manure and mineral fertilizer application on nitrogen flows in biogas feedstock production. *Eur J Agron* 91, 63–73. 10.1016/j.eja.2017.09.011
- Hertzler, S.R., Lieblein-Boff, J.C., Weiler, M., Allgeier, C., 2020. Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients* 12, 3704. 10.3390/nu12123704
- Ifeu, 2019. Kurzstudie zu Einsatz von Biokraftstoffen im Verkehrssektor bis 2030 Kurzstudie zu den Potenzialen an Kraftstoffen auf Basis von Anbaubiomasse sowie biogenen Abfällen und Reststoffen. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu)
ifeu_Kurzstudie_Potenzialschaetzungen_fuer_Biokraftstoffe_im_Verkehrssektor.pdf
- IKEM und GMC 2021. Faktenpapier Moore: Wirksamer Klimaschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Empfehlungen vom IKEM und GMC. <https://www.ikem.de/faktenpapier-moore-mecklenburg-vorpommern/>
- Jensen, J.L., Malisch, C.S., Thers, H., Eriksen, J., 2025. Adding forbs and legumes to a grass-clover mixture suppressed weeds and maintained herbage yield and crude protein content across slurry application rates. *European Journal of Agronomy* 164, 127458. 10.1016/j.eja.2024.127458
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K., Macdonald, A.J., White, R.P., 2017. Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley–arable rotations on a sandy loam soil in England. *European J Soil Science* 68, 305–316. 10.1111/ejss.12415
- Kirschbaum, M.U.F., 2006. Temporary Carbon S-Sequestration Cannot Prevent Climate Change. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 11, 1151–1164. 10.1007/s11027-006-9027-8
- Kozicka, M., Havlík, P., Valin, H., Wollenberg, E., Deppermann, A., Leclère, D., Lauri, P., Moses, R., Boere, E., Frank, S., Davis, C., Park, E., Gurwick, N., 2023. Feeding climate and biodiversity goals with novel plant-based meat and milk alternatives. *Nat Commun* 14, 5316. 10.1038/s41467-023-40899-2
- KSG, 2021. Bundes-Klimaschutzgesetz <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/>
- Latacz-Lohmann, D.U., Tiedemann, D.T., Buhk, J.-H., Rannow, W., 2023. Ökonomische Betroffenheit eines angepassten Niederungsmanagements für die Landwirtschaft in Schleswig-Holstein. Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, ländliche Räume, Europa und Verbraucherschutz des Landes Schleswig-Holstein. 76 Seiten. Kieler Institut für Europäische Landwirtschaftsstudien GmbH (KIELS). November 2023. (2023_gutachten_niederungen.pdf)
- Loges, Ralf 1998: Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbeständen. Dissertation. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Universität Kiel. ISSN: 1435-2613
- Loges, R., Bunne, I., Reinsch, T., Malisch, C., Kluß, C., Herrmann, A., Taube, F., 2018. Forage production in rotational systems generates similar yields compared to maize monocultures but improves soil carbon stocks. *Eur J Agron* 97, 11–19. 10.1016/j.eja.2018.04.010
- Lorenz, H., Reinsch, T., Hess, S., Taube, F., 2019. Is low-input dairy farming more climate friendly? A meta-analysis of the carbon footprints of different production systems. *Journal of Cleaner Production* 211, 161–170. 10.1016/j.jclepro.2018.11.113
- Loza, C., Verma, S., Wolfram, S., Susenbeth, A., Blank, R., Taube, F., Loges, R., Hasler, M., Kluß, C., Malisch, C.S., 2021. Assessing the Potential of Diverse Forage Mixtures to Reduce Enteric Methane Emissions In Vitro. *Animals*, 11, 1126. 10.3390/ani11041126
- Manevski, K., Lærke, P.E., Olesen, J.E., Jørgensen, U., 2018. Nitrogen balances of innovative cropping systems for feedstock production to future biorefineries. *SciTot Environ* 633, 372–390. 10.1016/j.scitotenv.2018.03.155
- MELUND, 2023. Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein, Tabellen und Abbildungen (monitoringbericht_2023_excel.xlsx)
- MELUND, 2024. Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein und im Vergleich zum Bundesdurchschnitt. Kurzfassung (THG_Bericht_2024_kurz.pdf)
- Mues S., Loges R., Taube F., 2021. Weidemilch vom Acker. DLG-Mitteilungen 11/2021
- Martens, D.S., Heber, I., Riehl, D.G., Steinhöfel, D.O., Marquardt, D., Roscher, S., Förster, F., Rimpl, M., Geidel, D.S., Richardt, D.W., Kuhnitzsch, C., Zeyner, D.A., Wensch-Dorendorf, D.M., Pieper, D.B., Korn, D.U., Hoffmann, D.M., Braun, P., Willnat, J., Giehler, J., Majewska-Pinda, A., Mehr Milch aus sächsischem Gras und einheimischen Eiweißfuttermitteln.
- Menichetti, L., Ekblad, A., Kätterer, T., 2015. Contribution of roots and amendments to soil carbon accumulation within the soil profile in a long-term field experiment in Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 79–87. 10.1016/j.agee.2014.11.003

- Neumann, H., Dierking U., Taube F., 2017. Erprobung und Evaluierung eines neuen Verfahrens für die Bewertung und finanzielle Honorierung der Biodiversitäts-, Klima- und Wasserschutzleistungen landwirtschaftlicher Betriebe („**Gemeinwohlprämie**“). BÜL 95, 10.12767/buel.v95i3.174
- Nyameasem, J.K., Taube, F., Kluß, C., Neumann, S., Reinsch, T., 2024. The effects of fertilizer pretreatment on nitrogen cycling in an intensively managed temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 375, 109185. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109185>
- O'Connell, C., & Silva-Santisteban, R. 2023. Environmental colonialism and neocolonialism in Latin America. In *Routledge Handbook of Latin America and the Environment* (pp. 73-86). Routledge.
- Ott, K., 2024. Natural Climate Contributions (NCC) in den Kontexten von Klima-, Umwelt- und Landethik. *Cursor_ Zeitschrift für explorative Theologie*. 10.21428/fb61f6aa.6d7f31e1
- Padarian, J., Minasny, B., McBratney, A., Smith, P., 2022. Soil carbon sequestration potential in global croplands. *PeerJ* 10, 10.7717/peerj.13740
- Poeplau, C., Aronsson, H., Myrbeck, Å., Kätterer, T., 2015. Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. *Geoderma Regional* 4, 126–133. 10.1016/j.geodrs.2015.01.004
- Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A., White, R., Powlson, D., 2018. Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Global Change Biology* 24, 2563–2584. 10.1111/gcb.14066
- Post, W.M., Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential: Soil carbon sequestration and land-use change. *Global Change Biology* 6, 317–327. 10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x
- Poyda, A., Reinsch, T., Struck, I.J., Skinner, R.H., Kluß, C., Taube, F., 2021. Low assimilate partitioning to root biomass is associated with carbon losses at an intensively managed temperate grassland. *Plant Soil* 460, 31–50. 10.1007/s11104-020-04771-2
- Poyda, A., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R., Taube, F., 2016. Greenhouse gas emissions from fen soils used for forage production innorthern Germany. *Biogeosciences* 13, 5221–5244. 10.5194/bg-13-5221-2016
- Loges, Ralf 1998: Ertrag, Futterqualität, N2-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbeständen
- Reay, D. S. (2020). Land Use and Agriculture: Pitfalls and Precautions on the Road to Net Zero. *Front. Clim.* 2:4. 10.3389/fclim.2020.Tsd.04
- Reinsch, T., Loges, R., Kluß, C., Taube, F., 2018. Effect of grassland ploughing and reseedling on CO₂ emissions and soil carbon stocks. *Agri, Ecosyst Environ* 265, 374–383. 10.1016/j.agee.2018.06.020
- Reinsch, T., Loza, C., Malisch, C.S., Vogeler, I., Kluß, C., Loges, R., Taube, F., 2021. Toward Specialized or Integrated Systems in Northwest Europe: On-Farm Eco-Efficiency of Dairy Farming in Germany. *Front. Sustain. Food Syst.* 5, 614348. 10.3389/fsufs.2021.614348
- Reinsch, T., Struck, I.J.A., Loges, R., Kluß, C., Taube, F., 2021. Soil carbon dynamics of no-till silage maize in ley systems. *Soil Till Res* 209. 10.1016/j.still.2021.104957
- Rios, JDL, Poyda, A., Taube, F., Kluß, C., Loges, R., Reinsch, T., 2022. No-till mitigates SOC losses after grassland renovation and conversion to silage maize. *Agri*, 12, 1204. 10.3390/agriculture12081204
- Rockström et al., 2023. Safe and just Earth system boundaries. *Nature*. 10.1038/s41586-023-06083-8
- Rodrigues, L., Hardy, B., Huyghebeart, B., Fohrafellner, J., Fornara, D., Barančíková, G., Bárcena, T.G., De Boever, M., Di Bene, C., Feizienė, D., Kätterer, T., Laszlo, P., O'Sullivan, L., Seitz, D., Leifeld, J., 2021. Achievable agricultural soil carbon sequestration across Europe from country-specific estimates. *Global Change Biology* 27, 6363–6380. 10.1111/gcb.15897
- Rösemann, C., Vos, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., Fuß, R., 2023. Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2021: Input data and emission results. *Johann Heinrich von Thünen-Institut* 10.3220/DATA20230307151125-0
- Searchinger, T., Zions, J., Wiersenius, S., Peng, L., Beringer, T., Dumas, P., 2021. A Pathway to Carbon Neutral Agriculture in Denmark. *WRIPUB*. 10.46830/wrript.20.00006
- Schäfer AC, Boeing H, Conrad J, Watzl B für die DGE Arbeitsgruppe Lebensmittelbezogene Ernährungsempfehlungen: Wissenschaftliche Grundlagen der lebensmittelbezogenen Ernährungsempfehlungen für Deutschland. *Methodik und Ableitungskonzepte. Ernährungs Umschau* 2024; 71(3): M158–66. e5–7. 10.4455/eu.2024.009
- Schmeer, M., Loges, R., Dittert, K., Senbayram, M., Horn, R., Taube, F., 2014. Legume-based forage production systems reduce nitrous oxide emissions. *Soil and Tillage Research* 143, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.05.001>

- Schmidt, M.W.I., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A.C., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weiner, S., Trumbore, S.E., 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49–56. 10.1038/nature10386
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C.A.J., Smith, A., Turner, B., 2020. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Phil. Trans. R. Soc. B* 375. 10.1098/rstb.2019.0120
- Sieve, F., Wilken, F., Isselstein, J., Kayser, M., 2023. Dreijährige Stoffstrombilanzierung auf Milchviehbetrieben in Nordwest-Niedersachsen unter Anwendung der Novellierungsvorschläge aus dem Evaluierungsbericht der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV). *Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft Aktuelle Beiträge*. 10.12767/BUEL.V101I2.477
- Singh, A., Afzal, T., Woodbury, B., Wortmann, C., Iqbal, J., 2023. Alfalfa in rotation with annual crops reduced nitrate leaching potential. *J of Env Quality* 52, 930–938. 10.1002/jeq2.20473
- Smit, H.P.J., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R., Taube, F., 2021. Very low nitrogen leaching in grazed ley-arable-systems in northwest europe. *Agron* 11, 2155. 10.3390/agronomy11112155
- Steingaß, H. (2010): Milch vom Grünland – Leistungspotentiale und Fütterungsstrategien. 66. VDLUFA Kongress Kurzfassungen der Vorträge: S. 56–65 (Kongressband2010.pdf)
- Struck, I.J.A., Taube, F., Hoffmann, M., Kluß, C., Herrmann, A., Loges, R., Reinsch, T., 2020. Full greenhouse gas balance of silage maize cultivation following grassland: are no-tillage practices favourable under highly productive soil conditions? *Soil Till Res* 200.
- Svoboda, N., Taube, F., Wienforth, B., Kluß, C., Kage, H., Herrmann, A., 2013. Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. *Soil Till Res* 130, 69–80. 10.1016/j.still.2013.02.006
- Taube, F., 2021. Ökologische Intensivierung und Hybridlandwirtschaft: Strategien für eine weithin akzeptierte Landwirtschaft in Deutschland. In: Joachim Lange (Hrsg.): Ein Gesellschaftsvertrag für die Landwirtschaft? Locomer Landwirtschaftstagung 2021, ISBN 978-3-8172-0421-2 (pdf)
- Taube, F., Nyameasem, J.K., Fenger, F., Alderkamp, L., Kluß, C., Loges, R., 2023. Eco-efficiency of leys—the trigger for sustainable integrated crop-dairy farming systems. *Grass Forage Sci* 10.1111/gfs.12639
- Taube, F., Vogeler, I., Kluß, C., Herrmann, A., Hasler, M., Rath, J., Loges, R., Malisch, C.S., 2020. Yield Progress in Forage Maize in NW Europe—Breeding Progress or Climate Change Effects? *Front. Plant Sci.* 11, 1214. 10.3389/fpls.2020.01214
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E.A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Drösler, M., 2020. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 109, 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- Tilman, D., Clark, M., 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature* 515:518. 10.1038/nature13959
- Trott, H., Wachendorf, M., Ingwersen, B., Taube, F., 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. I. Impact of defoliation system and nitrogen input on performance and N balance of grassland. *Grass and Forage science* 59, 41–55. 10.1111/j.1365-2494.2004.00401.x
- UBA, 2023. Umweltbundesamt, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2021 (Stand 03/2023), für 2022 vorläufige Daten (Stand 15.03.2023)
- UFOP 2017. Rapsfruchtfolgen mit der neuen Düngeverordnung. Mohr R. und Ehmcke-Kasch T. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen. Hanse Agro Unternehmensberatung GmbH. Hannover https://www.ufop.de/index.php/download_file/view/11469/1366/
- Van Zanten, H.H.E., Herrero, M., Van Hal, O., Rööß, E., Muller, A., Garnett, T., Gerber, P.J., Schader, C., De Boer, I.J.M., 2018. Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. *Glob Change Biol* 24, 4185–4194. 10.1111/gcb.14321
- Vermeulen, S.J., Campbell, B.M., Ingram, J.S.I., 2012. Climate Change and Food Systems. *Annu. Rev Environ Resour* 37, 195. 10.1146/annurev-environ-020411-130608
- Vogeler, I., Böldt, M., Taube, F., 2022. Mineralisation of catch crop residues and N transfer to the subsequent crop. *Sci Tot Environ* 810, 152142. 10.1016/j.scitotenv.2021.152142
- WBAE, 2011. Stellungnahme zur geplanten Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (April 2011) Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim BMELV. Berlin, April 2011 StellungnahmeEEG.pdf
- WBAE, 2020. Politik für eine nachhaltigere Ernährung: Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsbedingungen gestalten. Spiller, A., B. Renner, L. Voget-Kleschin, U. Arens-Azevedo *et al.* (eds.). Bül Sonderheft 230. 10.12767/buel.vi230.308

- Wachendorf, M., Buchter, M., Trott, H., Taube, F., 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. *Grass Forage Sci* 59, 307–307. 10.1111/j.1365-2494.2004.00430.x
- Wilkinson, J.M., Lee, M.R.F., 2018. Review: Use of human-edible animal feeds by ruminant livestock. *Animal* 12, 1735–1743. 10.1017/S175173111700218X
- Willett et al., 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* 393, 447–492. 10.1016/S0140-6736(18)31788-4
- Yu, H., Song, W., 2023. Research Progress on the Impact of Land Use Change on Soil Carbon S-Sequestration. *Land* 12, 213. 10.3390/land12010213
- Zehetmeier, M., Baudracco, J., Hoffmann, H., Heißenhuber, A., 2012. Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* 6, 154–166. 10.1017/S1751731111001467
- ZKL 2021. Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft abschlussbericht-zukunftskommission-landwirtschaft.pdf
- ZKL 2024. Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe in schwierigen Zeiten – Strategische Leitlinien und Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft zukunft-landwirtschaft-bericht-2024.pdf

Ökonomie

- Ahmad, S.; Liu, H.; Günther, A.; Couwenburg, J.; Lennartz, B. (2020): Long-term rewetting of degraded peatlands restores hydrological buffer function. In: *Science of The Total Environment* 749, S. 141571.
- Anthof, D.; Tol, R.S.J.; Yohe, G. W. (2009): Risk aversion, time preference, and the social cost of carbon. In: *Environmental Research Letters* 4 (2-2), S. 1–7.
- Bator, Francis M. (1958): The Anatomy of Market Failure. In: *The Quarterly Journal of Economics* 72 (3), S. 351. DOI: 10.2307/1882231.
- BLZV (2021): Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Klimaschutz/moorbodenschutz-blzv.pdf?jsessionid=89F9EE84DDBD67F3DA94F6464591DAED.live841?
- BMBF & BMEL (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Berlin. Online verfügbar unter https://biooekonomie.de/sites/default/files/2022-04/bmbf_nationale_biooekonomiestrategie_langfassung_DE_22.pdf.
- Bünger, B.; Matthey, A. (2018): Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten. Methodische Grundlagen. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- Bürger, Veit; Hesse, Tilmann; Palzer, A.ndreas; Köhler, Benjamin.; Herkel, Sebastian.; Engelmann, Peter; Quack, Dietlinde (2017): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Energieeffizienzpotenziale und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudebestand. Energieeffizienzpotenziale und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudebestand. Dessau-Roßlau (Climate Change, 26/2017).
- Carbon Pricing Leadership (2017): Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. Online verfügbar unter <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices>.
- Chen, Cheng; Loft, Lasse; Matzdorf, Bettina (2023): Lost in action: Climate friendly use of European peatlands needs coherence and incentive-based policies. In: *Environmental Science and Policy* 145, S. 104–115. DOI: 10.1016/j.envsci.2023.04.010.
- Cline, W. R. (2011): Carbon abatement costs and climate change finance. Hg. v. Peterson Institute for International Economics. Washington, DC.
- Ekins, P.; Kesicki, F.; Smith, A.Z.P. (2011): Marginal abatement cost curves: a call for caution. Hg. v. UCL Energy Institute. London.
- Endres, Alfred (2013): Umweltökonomie. 4. aktualisierte und erweiterte Auflage. Stuttgart, Kohlhammer.

Europäische Kommission (2021a): Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030. Brüssel.

Europäischer Rechnungshof (2011): Wie gut sind Konzeption und Verwaltung der geförderten Agrarumweltmaßnahmen. Sonderbericht, Nr. 7/2011, Luxemburg.

Europäischer Rechnungshof (2017): Die Ökologisierung: eine komplexere Regelung zur Einkommensstützung, die noch nicht ökologisch wirksam ist. Sonderbericht Nr. 21. Europäischer Rechnungshof, Luxemburg.

Europäische Kommission (2021b): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulations (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the compliance rules, setting out the targets of the Member States for 2030 and committing to the collective achievement of climate neutrality by 2035 in the land use, forestry and agriculture sector, and (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review. Brussels.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2023): Konsolidierter Text: Verordnung (EU) 2018/841 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Einbeziehung der Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft in den Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 und des Beschlusses Nr. 529/2013/EU. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02018R0841-20230511>.

Ewers, Hans-Jürgen; Schulz, Werner. (1982): Die monetären Nutzen gewässergüteverbessernder Maßnahmen. Dargestellt am Beispiel des Tegeler Sees in Berlin. Pilotstudie zur Bewertung des Nutzens umweltverbessernder Massnahmen. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums des Inneren. Berlin.

Fees, Eberhard; Seeliger, Andreas (2013): Umweltökonomie und Umweltpolitik. 4. vollständig überarbeitet Auflage. München, Vahlen.

FNR (2021): Flächennutzung in Deutschland 2020. Online verfügbar unter <https://mediathek.fnr.de/flachennutzung-in-deutschland.html>.

Fritsch, M. (2011): Marktversagen und Wirtschaftspolitik. 8. Aufl. München: Vahlen.

Geisendorf, Silvie; Gronemann, Silke; Hampicke, Ulrich (1998): Die Bedeutung des Naturvermögens und der Biodiversität für eine nachhaltige Wirtschaftsweise. Möglichkeiten und Grenzen ihrer Erfassbarkeit und Wertmessung. Berlin: Erich Schmidt Verlag.

Gores, Sabine; Graichen, Jakob (2018): Abschätzung des erforderlichen Zukaufs an Annual Emission Allocations bis 2030.

Grethe, Harald; Martinez, José; Osterburg, Bernhard; Taube, Freidhelm; Thom, Ferike (2021): Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität. Berlin: Stiftung Klimaneutralität.

Hampicke, U. (2011): Climate change economics and discounted utilitarianism. In: *Ecological Economics* (72), S. 45–52.

Hampicke, U. (2020): Klimapolitik: Schadenskosten oder Vermeidungskosten. In: *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht* (43), S. 1–25.

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Hg. v. IPCC. Geneva, Switzerland.

Isermeyer, Folkhard; Heidecke, Claudia.; Osterburg, Bernhard (2019): Einbeziehung des Agrarsektors in die CO₂-Bepreisung. Thünen Working Paper 136. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig.

Joosten, H.; Brust, K.; Couwenberg, J.; Gerner, A.; Holsten, B.; Permien, T. et al. (2015): MoorFutures® Integration of additional ecosystem services (including biodiversity) into carbon credits – standard, methodology and transferability to other regions. BfN-Skripten 407. Bonn.

- Kuick, O.; Buchner, B.; Catenacci, M.; Gorla, A.; Karakaya, E.; Tol, R.S.J. (2008): Methodological aspects of recent climate change damage cost studies. In: *Integrated Assessment Journal* (8 (1)), S. 19–40.
- Lahtinen, Laura; Mattila, Tuomas; Myllyviita, Tanja; Seppälä, Jyri; Vasander, Harri (2022): Effects of paludiculture products on reducing greenhouse gas emissions from agricultural peatlands. In: *Ecological Engineering* 175, S. 106502. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2021.106502.
- Lind, R. C.; Schuler, R. E. (1998): Equity and discounting in climate-change decisions. In: W. D. Nordhaus (Hg.): *Economics and Policy Issues in Climate Change. Resources for the Future*. Washington, D.C., S. 59–96.
- LM-MV (Hg.) (2017): Umsetzung von Paludikultur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Mecklenburg-Vorpommern. Fachstrategie zur Umsetzung der nutzungsbezogenen Vorschläge des Moorschutzeskonzeptes. Unter Mitarbeit von T. Permien, C. Schröder, M. Hohlbein, S. Wichmann, F. Tanneberger und U. Lenschow. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin.
- Matthey, A.; Bünger, B. (2020): Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze Stand 12/2020. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- Michaelis, P. (1997): Effiziente Klimapolitik im Mehrschadstoffall. Mohr. Tübingen.
- Nordt, Anke; Wichmann, Sabine; Risse, Johanna; Peters, Jan; Schäfer, Achim (2022): Potenziale und Hemmnisse von Paludikultur. Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“. Berlin.
- Oehler, S. (2018): Emissionsfreie Gebäude: Das Konzept der „Ganzheitlichen Sanierung“ für die Gebäude der Zukunft. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Ott, Konrad; Döring, Ralf (2004): Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit. Marburg: Metropolis.
- Otto, Friederike E. L.; Raju, Emmanuel (2023): Harbingers of decades of unnatural disasters. In: *Commun Earth Environ* 4 (1). DOI: 10.1038/s43247-023-00943-x.
- Pindyck, R. S. (2013): Climate change policy: What do the models tell us? In: *Journal of Economic Literature* (51 (3)), S. 860–872.
- Pindyck, R. S. (2017): The use and misuse of models for climate policy. In: *Review of Environmental Economics and Policy* (11 (1)), S. 100–114.
- Pindyck, R. S. (2019): The social cost of carbon revisited. In: *Journal of Environmental Economics and Management* (94), S. 140–160.
- Rat für Nachhaltige Entwicklung & Leopoldina (2021): Klimaneutralität. Optionen für eine ambitionierte Weichenstellung und Umsetzung. Berlin und Halle.
- Rennert, Kevin; Erickson, Frank; Prest, Brian C.; Rennels, Lisa; Newell, Richard G.; Pizer, William et al. (2022): Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂. In: *Nature* 610 (7933), S. 687–692. DOI: 10.1038/s41586-022-05224-9.
- Schäfer, A. (2016): Volkswirtschaftliche Aspekte der Moornutzung. In: W. Wichtmann, C. Schröder und H. Joosten (Hg.): *Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore. Klimaschutz - Biodiversität - regionale Wertschöpfung*. Stuttgart: Schweizerbart, S. 133–142.
- Schäfer, Achim; Nordt, Anke; Peters, Jan; Wichmann, Sabine (2022): Entwickeln von Anreizen für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele. Abschlussbericht. Berlin.
- Schelling, T. C. (1995): Intergenerational discounting. In: *Energy Policy* (23), S. 395–401.
- Schröder, Meinhard; Claussen, M.; Grunwald, Armin; Hense, A.; Klepper, Gernot; Lingner Stephan, Ott, Konrad; Schmitt, D. Sprinz, Detlev (2002): Klimavorhersage und Klimavorsorge. Mit 5 Tabellen. Berlin, Heidelberg: Springer (Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung, 16).
- Sprenger, Rolf-Ulrich (1984): Kriterien zur Beurteilung umweltpolitischer Instrumente aus Sicht der wissenschaftlichen Politikberatung. In: Schneider, G.; Sprenger, R.-U. (Hg.): *Mehr Umweltschutz für weniger*

Geld. Einsatzmöglichkeiten und Erfolgchancen ökonomischer Anreizsysteme in der Umweltpolitik. Ifo Studien zur Umweltökonomie 4. München, S. 41 – 73.

Stachowicz, M.; Manton, M.; Abramchuk, M.; Banaszuk, P.; Jarašius, L.; Kamocki, A. et al. (2022): To store or to drain – to lose or to gain? Rewetting drained peatlands as a measure for increasing water storage in the transboundary Neman River Basin. In: *Science of The Total Environment* 829, S. 154560.

Staniaszek, D.; Anagnostopoulos, F.; Lottes, R.; Kranzl, L.; Toleikyte, A.; Steinbach, J. (2015): Die Sanierung des deutschen Gebäudebestandes. Eine wirtschaftliche Bewertung aus Investorensicht. Online verfügbar unter <http://bpie.eu/publication/renovating-germanys-building-stock/>.

Stegmann, Paul; Londo, Marc; Junginger, Martin (2020): The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. In: *Resources, Conservation & Recycling: X* 6, S. 100029. DOI: 10.1016/j.rcrx.2019.100029.

Stern, N. (2006): The economics of climate change. Cambridge: Cambridge University Press.

Tanneberger, Franziska; Abel, Susanne; Couwenberg, John; Dahms, Tobias; Gaudig, Greta; Günther, Anke et al. (2021): Towards net zero CO₂ in 2050: An emission reduction pathway for organic soils in Germany. In: *Mires and Peat* 27, S. 1–17. DOI: 10.19189/MaP.2020.SNPG.StA.1951.

Tol, R.S.J. (2005): The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of uncertainties. In: *Energy Policy* (33), S. 2064–2074.

Tol, Richard S. J. (2023): Social cost of carbon estimates have increased over time. In: *Nature Climate Change* 13 (6), S. 532–536. DOI: 10.1038/s41558-023-01680-x.

UMK (2018): 90. Umweltministerkonferenz am 08. Juni 2018 in Bremen. Bremen. Online verfügbar unter <https://www.umweltministerkonferenz.de/Dokumente-UMK-Protokolle.html>.

Unger, Moritz von (2018): Freiwilliger Markt – Möglichkeiten und Herausforderungen für das Offsetting innerhalb der EU. ohne Ort. Online verfügbar unter https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjzILK0rPODAxUuQPEDHdRjAOoQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.carbon-mechanisms.de%2Ffileadmin%2Fmedia%2Fdokumente%2FPublikationen%2FStudie%2FStudie_2018_ATLAS_Freiwilliger_Markt_deu.pdf&usg=AOvVaw028ly1OztfK6H1neX3JNFs&opi=89978449.

Weber, Max (1917): Der Sinn der „Wertfreiheit“ der soziologischen und ökonomischen Wissenschaften. In: *Logos: Zeitschrift für systematische Philosophie* 7 (1). Online verfügbar unter http://www.digizeitschriften.de/dms/img/?PID=PPN51032052X_1917-18_0007%7Clog10.

Weizsäcker, Ernst Ulrich von (1989): Erdpolitik – Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt. Darmstadt.

Wichmann, Sabine; Krebs, Matthias; Kumar, Silke; Gaudig, Greta (2020): Paludiculture on former bog grassland: Profitability of Sphagnum farming in North West Germany. In: *Mires and Peat* 26.

Wichmann, Sabine; Nordt, Anke; Schäfer, Achim (2022): Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur. Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“. Berlin.

Wicke, Lutz (1993): Umweltökonomie. 4. überarbeitete, erweiterte und aktualisierte Auflage. Vahlen, München.

Zukunftskommission Landwirtschaft (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft. Rangsdorf.

Anlagen

Die Präsentation der Abschlusskonferenz sind in einem gesonderten Anhang beigefügt.