



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 95 | Ausgabe 3

Dezember 2017

AGRARWISSENSCHAFT
FORSCHUNG
—
PRAXIS

Klimaschutz durch Wiedervernässung von Niedermoorböden: Wohlfahrtseffekte am Beispiel der Eider-Treene-Region in Schleswig-Holstein

Von Ernst Albrecht, Thorsten Reinsch, Arne Poyda, Friedhelm Taube und Christian Henning

1 Einleitung

Die Klimaschutzziele der Bundesregierung, die Treibhausgas (THG)-Emissionen bis zum Jahr 2020 um 40 % bzw. bis zum Jahr 2050 um 80-95 % im Vergleich zum Berichterstattungsjahr 1990 zu reduzieren, stellen die Gesellschaft vor die Herausforderung, Minderungsstrategien zu entwickeln, die einen schnellen, nachhaltigen und finanzierbaren Handlungserfolg versprechen. Unter Berücksichtigung des Sektors Landnutzung und Landnutzungsänderung trägt die Landwirtschaft mit 12 % zu den jährlichen THG-Emissionen in Deutschland bei, wobei hiervon 40 % der Entwässerung von Moorböden zuzuschreiben sind, obgleich diese nur etwa 5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland ausmachen (15; 21).

Durch die anthropogene Absenkung der Wasserstände können die Moorflächen nicht mehr ihrer natürlichen CO₂-Senkenfunktion nachkommen. Ganz im Gegenteil kommt es im aeroben Bereich des Torfsubstrates zu einer erhöhten Freisetzung des über Jahrtausende akkumulierten Kohlenstoffs. Eine Reduktion dieser THG-Emissionen lässt sich in erster Linie über eine Regulation der Wasserstände auf ein höheres Niveau realisieren (19). Da Moorböden in Schleswig-Holstein überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden (3), würde dies in Abhängigkeit des Wassermanagements auf den vornehmlich als Dauergrünland genutzten Produktionsstandorten zu erheblichen Ertragseinbußen führen. Zwar würde hiermit der gesellschaftlichen Forderung nach mehr Klimaschutz nachgekommen, aber der finanzielle Druck auf die betroffenen landwirtschaftlichen Betriebe, vornehmlich Milchviehbetriebe, erhöht werden. Eine Bewertung solcher Klimaschutzmaßnahmen im Sinne einer Kosten-Nutzen-Analyse ist somit geboten.

Auf Basis neuer Untersuchungsergebnisse zum THG-Minderungspotential von Niedermoorflächen durch angepasste Grundwasserstände (12) und einem an die regionalen Bedingungen angepassten ökonomischen Modell, sollen in dieser Studie die Kosten von Klimaschutzmaßnahmen für die Landwirtschaft am Beispiel einer großen Niedermoorregion in Schleswig-Holstein erstmalig eingeschätzt werden.

1.1 Bedeutung der Niedermoornutzung in Schleswig-Holstein

Mit 161 Tsd. ha Anmoor- und Moorböden gehört Schleswig-Holstein zu den moorreichsten Bundesländern in Deutschland. Hiervon unterliegt der größte Flächenanteil der landwirtschaftlichen Nutzung, lediglich 12 % sind naturnahe Moore. Insbesondere Niedermoorböden haben mit 99,5 Tsd. ha eine übergeordnete Bedeutung (3). In Niedermoorregionen ist die Agrarproduktion vor allem durch die intensive Milchviehwirtschaft geprägt. Die Grünlandnutzung stellt somit den dominierenden Nutzungstyp auf diesen Standorten dar. Das Grünland wird vornehmlich zur Grassilagegewinnung genutzt, Weidehaltung ist nur in extensiveren Betriebsstrukturen oder unter speziellen Bewirtschaftungsauflagen durch Naturschutzprogramme anzutreffen.

Die Grünlandnutzung auf Niedermoorböden wird stark durch die jahreszeitlichen Grundwasserschwankungen und die davon abhängige Realisierbarkeit der Bewirtschaftung bestimmt. Die intensive Nutzung von Grünland erfordert Grundwasserstände von > 30 cm unter Flur im Jahresmittel (1). Bei höheren Grundwasserständen steigt der Anteil von Überstausituationen im Jahresverlauf, was aus Sicht des Pflanzenwachstums und der Befahrbarkeit der Flächen als problematisch anzusehen ist und so zwangsläufig zu einer Ertragsdepression und Qualitätsverlusten führt.

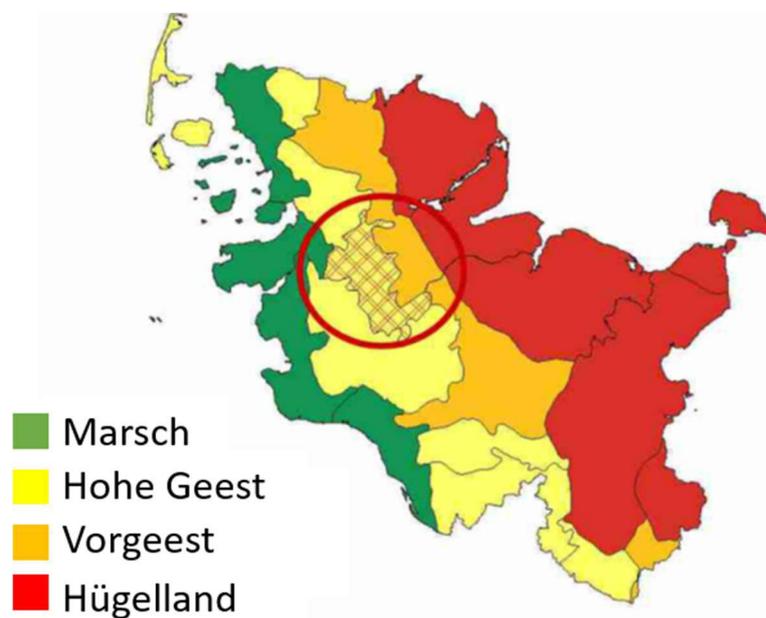


Abbildung 1: Lage der Eider-Treene-Niederung in Schleswig-Holstein

Ferner sind zusätzlich zum Ertrag die THG-Emissionen von Moorböden positiv korreliert mit dem Grundwasser (GW)-flurabstand. Dieser Zusammenhang ist über einen weiten Gradienten als linear anzusehen, wobei der Einfluss auf die wichtigsten Spurengase Kohlenstoffdioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4) im Einzelnen unterschiedlich ausgeprägt ist. Mit zunehmendem GW-Flurabstand

steigt die Mächtigkeit des aeroben Bodenhorizontes und damit die CO₂-Freisetzung aus dem Torfabbau. Gleichzeitig kommt es zu einer Mineralisation des organischen Stickstoffs, wodurch es während der Oxidation bzw. nachfolgend in der Reduktionskaskade zu N₂O-Verlusten kommt. Das höchste N₂O-Verlustpotential in Abhängigkeit des GW-Flurabstands ist für Wasserstände zwischen ca. 20 und 40 cm unter Flur dokumentiert und nimmt bei einer stärkeren Entwässerung wieder ab (10; 12). Das durch Bodenbakterien aus organischen Säuren gebildete CH₄ kann hingegen nur im wassergesättigten Horizont des Torfkörpers auftreten und wird somit nur bei hohen Wasserständen emittiert. Obgleich N₂O und CH₄ ein 265 bzw. 28-mal höheres globales Erwärmungspotential im Vergleich zu CO₂ besitzen (8), stellt CO₂ die wichtigste Verlustquelle dar. Naturnahe Moorökosysteme sind weitestgehend klimaneutral, da sich die CO₂-Bindung im Torfkörper und die Emissionen aus CH₄ und N₂O nahezu ausgleichen. Aus Klimaschutzsicht muss es daher das vorrangige Ziel sein, die Kohlenstoffvorräte im Torf zu schützen, um eine überproportionale CO₂-Freisetzung zu vermeiden. Auf Basis aktueller Emissionsfaktoren (9) und dem landesweiten Flächenanteil von Mooren muss davon ausgegangen werden, dass mehr als 30 % der THG-Emissionen in Schleswig-Holstein aus dem Sektor „Landwirtschaft und Landnutzung“ der Nutzung von Mooren zuzuordnen sind und hier somit ein großes Minderungspotential besteht. Für die Umsetzung groß angelegter Extensivierungs- bzw. Wiedervernässungsmaßnahmen von Niedermoorflächen in Schleswig-Holstein wurden bisher aus Mangel an regionalen Emissionsdaten keine genauen Kostenanalysen vorgelegt, die insbesondere den zu erwartenden Verlust in der Wertschöpfungskette der landwirtschaftlichen Produktion adressieren (vgl. 5).

1.2 Modellregion und Hypothesen der Szenarienanalysen

Eine der größten arrondierten Niedermoorregionen in Norddeutschland ist die Eider-Treene-Niederung (ETN), welche als Unterkulturräum des Flussniederungsgebietes der Eider-Treene-Sorge in Schleswig-Holstein zu verstehen ist. Sie umfasst eine Fläche von 28.560 ha, wobei etwa 76 % als Niedermoorböden klassifiziert sind. Die ETN ist das größte Flussniederungsgebiet Schleswig-Holsteins. Geografisch liegt die ETN zentral im Bereich des schleswig-holsteinischen Geestrückens, im Landschaftsraum der Hohen Geest (Abbildung 1). Es handelt sich um einen Unternaturraum, der neben den nassen Moorböden in den Flussniederungen durch ertragsschwache Sandböden gekennzeichnet ist. Für den Marktfruchtbau liegt daher kein Gunststandort vor. In der Region werden ca. 24.000 Milchkühe und die entsprechende Nachzucht an Färsen und Bullen für die Mast gehalten. Mit einem Anteil von 74 % handelt es sich bei einem Großteil der Betriebe um Milchviehhaltungen. Die Betriebsausrichtung hängt stark mit dem Standortfaktor Boden, also dem Niedermoor, zusammen. Die einzelbetriebliche Flächenexpansion auf die angrenzenden Mineralböden der Geest ist durch den hohen Flächendruck nur sehr eingeschränkt möglich, was hohe Nutzungsintensitäten auf den vorhandenen Grünlandflächen der Niederung zur Folge hat (MELUR, 2016)). Die hierfür notwendige Entwässerung der genutzten Flächen erfolgt über Drainagen, Grabendrainung und Pumpwerke, wobei

die Grundwasserstände kleinräumig durch die topografische Lage der Einzelflächen stark beeinflusst werden.

Wie beschrieben werden die flächenspezifischen THG-Emissionen in erster Linie durch die Wasserstände gesteuert und weniger durch die Art der Nutzung (Grünland vs. Acker). In mehrjährigen Untersuchungen wurden von Poyda et al. (2016) in Abhängigkeit des GW-Flurabstandes THG-Emissionen mit einer Spannweite von 14 bis 65 t CO₂-Äquivalente je ha und Jahr gemessen. Diese sind um ein Vielfaches (etwa um den Faktor 10) höher einzuordnen als auf Mineralstandorten mit vergleichbarer Nutzungsintensität (12; 17; 23). Mit Hilfe von digitalen Höhenmodellen, Satelliteninformationen und in Vorstudien ermittelten Emissionsfaktoren wurde mittels regressiver Ableitungen das globale Erwärmungspotenzial modelliert. Dies erfolgte (GWP) in einem für die Region als repräsentativ angenommenen, 650 ha großen Areal in der ETN in Abhängigkeit der derzeitigen Entwässerungsintensität (Status quo) auf kleinräumiger Skalenebene (Abbildung 2).

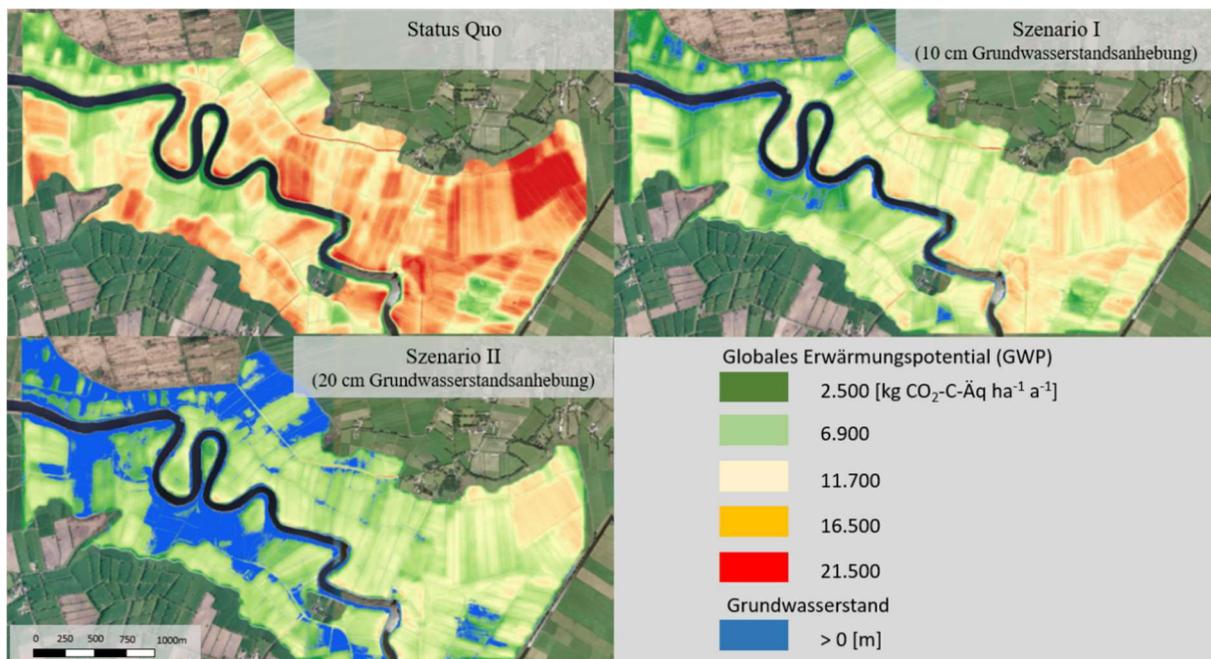


Abbildung 2: Flächenausschnitt der Modellregion. Farbliche Unterschiede zeigen das aktuelle globale Erwärmungspotenzial und die Veränderungen bei Anhebung des Grundwasserstandes um 10 cm (Szenario I) und 20 cm (Szenario II). Blau eingefärbte Areale kennzeichnen Überstausituationen (EGEOS, 2015).

Der Einfluss des GW-Flurabstandes auf die Ertragsleistung lässt sich auf Basis durchgeführter Ertragsmessungen in vier Kategorien klassifizieren: „Keine Nutzung“, „Extensiv“, „Intensiv mit Einschränkungen“ und „Intensiv“. Die in Szenarienanalysen ermittelten Vermeidungspotenziale bei einer Anhebung des Grundwasserstandes um 10 (Szenario I) bzw. 20 cm (Szenario II) im gesamten Gebiet zeigten, dass die THG-Emissionen in der Modellregion um jährlich 6.000 bzw. 14.000 t CO₂-Äq.

reduziert werden könnten. Die Flächeneignung für die intensive Grünlandnutzung reduzierte sich bei den durchgeführten Klimaschutzmaßnahmen von 71 % (Status Quo) auf 27 % (Szenario I) bzw. 5 % (Szenario II) (vergl. Tabelle 1). Die für die Modellregion ermittelten flächenspezifischen Ergebnisse wurden danach auf die gesamte Niedermoorfläche in dem Unterkulturräum ETN extrapoliert. Die ökonomischen Effekte einer entsprechend simulierten Nutzungsänderung der Moorflächen wie auch die daraus resultierende Reduktion der THG-Emissionen wurden für die beiden simulierten Klimaschutzmaßnahmen (Szenario I & II) mit Hilfe eines ökologisch-ökonomischen Verbundmodells simuliert.

Tabelle 1: Veränderung der Nutzungsintensität in der Modellregion bei stufenweiser Anhebung der GW-Flurabstände (10 cm (Szenario 1) und 20 cm (Szenario 2)) im Vergleich zu der gegenwärtigen Nutzungssituation (Status Quo).

Nutzungstyp	Flächenanteil in %		
	Status Quo	Szenario I	Szenario II
Intensiv	12	0	0
Intensiv mit Einschränkungen	59	27	5
Extensiv	24	44	22
Keine	5	29	73

2 Beschreibung des verwendeten ökonomischen Modells

Das ökonomische Kernmodul des ökologisch-ökonomischen Verbundmodells ist ein regionalisiertes, betriebstypenspezifisches lineares Programmierungsmodell (LP), welches 416 Modellbetriebe in 22 Unternaturräumen in Schleswig-Holstein umfasst. Das Modell wurde auf der Grundlage von Buchführungsdaten von ca. 12.500 realen landwirtschaftlichen Betrieben in Schleswig-Holstein kalibriert. Die Betriebe wurden auf der Grundlage der ermittelten Standarddeckungsbeiträge in acht verschiedene Betriebstypen (Markfrucht; Futterbau Milch; Futterbau Mast; Marktfrucht Futterbau; Futterbau Marktfrucht; Marktfrucht Veredlung; Veredlung Marktfrucht; Veredlung Schwein) eingeteilt. Darüber hinaus wurden vier Betriebsgrößenklassen (<60 ha; 60 - 100 ha; 100 - 200 ha; >200 ha) definiert. Die ETN ist eine der im Modell verwendeten Unternaturräume (vergl. Abbildung 1).

Für jeden der 416 Modellbetriebe werden rund 1.000 verschiedenen Produktionsaktivitäten definiert, wobei alle wichtigen Aktivitäten des Pflanzenbaus und der Tierhaltung abgedeckt werden (7). Die Entscheidungsvariable der Modellbetriebe ist der Gesamtdeckungsbeitrag, der sich aus der Summe über die Deckungsbeiträge der einzelnen Aktivitäten ergibt. Dabei wird das Produktionsprogramm so ausgewählt, dass der Gesamtdeckungsbeitrag maximiert wird.

Begrenzt wird die Auswahl der Produktionsaktivitäten durch die jeweilige Ausstattung der Betriebe mit fixen Faktoren, also Boden und Stallplätze. Boden wird in 15 Qualitätsklassen eingeteilt. Konkret sind dies 10 Qualitätsklassen für Ackerland und 5 Qualitätsklassen für Niedermoorböden. Zusätzlich wurden gesetzliche Vorgaben (z.B. Düngeverordnung, Cross-Compliance) und produktionstechnische Beziehungen zwischen den Aktivitäten (z.B. Nährstoffversorgung oder Vorfruchtbedingungen) als Restriktionen des LP-Ansatzes formuliert. Insgesamt umfasst das LP-Tableau rund 550 verschiedene Restriktionen für jeden Betriebstyp.

Arbeit geht als quasi-fixer Faktor in das LP-Modell ein, d.h. Arbeit kann grundsätzlich zu- bzw. verkauft werden. Allerdings liegt der Zukaufspreis für Arbeit erheblich über dem Verkaufspreis. Inhaltlich spiegelt die Preisdifferenz zwischen Zu- und Verkaufspreis der Arbeit die Unvollkommenheit ländlicher Arbeitsmärkte wieder, die zu hohen Transaktionskosten führt.

Die ETN wurde im verwendeten LP-Modell anhand von 10 Durchschnittsbetrieben abgebildet. Konkret handelt es sich dabei um die Klasse der Marktfruchtbetriebe mit weniger als 60 ha, alle Größenklassen der Milchviehbetriebe, die unteren drei Größenklassen der Futterbau-Mast-Betriebe, sowie um Veredlungsbetriebe mit weniger als 60 ha. Die größte Klasse, Milchviehbetriebe zwischen 60 und 100 ha, machen ein Drittel der Betriebe in der ETN aus, kleine Milchviehbetriebe (< 60 ha) über 20 % und Milchviehbetriebe größer 100 ha 17 %. Darüber hinaus zeigen Mastbetriebe unter 60 ha mit 18 % einen relativ hohen Anteil, der Rest verteilt sich im niedrigen, einstelligen Prozentbereich auf die übrigen Gruppen. Für die Flächenanteile verschieben sich die Klassen in Richtung der größeren Betriebe. Milchviehbetriebe zwischen 60 und 100 ha haben mit 38 % den größten Anteil, Milchvieh- und Mastbetriebe unter 60 ha haben zusammen nur noch einen Anteil von 20 % an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche und 22 % an der Niedermoorfläche. Entsprechend liegt der Anteil an der gesamten Nutzfläche bzw. der Niedermoorfläche von Milchviehbetrieben mit mehr als 100 ha bei 30 % bzw. 29 %.

Aufgrund des hohen Grünlandanteils und der aus den Niedermoorböden folgenden faktischen Ackerbeschränkung ist die Anlagendichte an Biogasanlagen in der ETN sehr gering. Innerhalb des Modells werden Niedermoorflächen nur als absolutes Grünland verwendet.

Faktisch führt die Vernässung der Moorflächen zu einer Nutzungseinschränkung der Niedermoorböden, die zu einer Reduktion der Bodenrente führt. In dem Modell werden vier Nutzungsintensitäten für Niedermoorböden unterschieden, die von keiner Nutzungsmöglichkeit bis zu einer intensiven Nutzenmöglichkeit gestaffelt sind (siehe Tabelle 1). Das aktuelle Nutzungsintensitätsprofil der ETN ist in Tabelle 1 als Status quo Szenario aufgeführt.

Wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist, werden aktuell 71 % der Niedermoorböden in der ETN Region intensiv bzw. eingeschränkt intensiv genutzt, während nur 24 % extensiv und 5 % gar nicht genutzt werden. Eine Anhebung des Wasserspiegels um 10 cm führt zu einer stark eingeschränkten Nutzung der Niedermoorböden, wobei nur noch 27 % eingeschränkt intensiv genutzt werden können. Hingegen sind 44 % extensiv und 29 % gar nicht mehr landwirtschaftlich nutzbar. Unterstellt man eine Anhebung des Wasserspiegels um 20 cm wären 73 % bzw. 22 % der Niedermoorböden gar nicht mehr bzw. extensiv nutzbar. Auf betrieblicher Ebene impliziert die eingeschränkte Nutzungsintensität der Niedermoorböden einen Verlust an Deckungsbeitrag, der je nach Ressourcenausstattung und Ausrichtung unterschiedlich für die einzelnen Betriebstypen ausfällt. Formal ergibt sich der entgangene Gewinn bzw. Deckungsbeitragsverlust eines landwirtschaftlichen Betriebes infolge von Nutzungsänderung bzw. -aufgabe von Niedermoorflächen als Differenz des Gesamtdeckungsbeitrags eines Betriebes in der Ausgangssituation (DB_{Base}) und des Gesamtdeckungsbeitrags nach der Anhebung des GW-Flurabstands ($DBGW$ -Szenario):

$$\text{Kosten}_{GW_Szenario} = DB_{Base} - DB_{GW_Szenario}$$

Aus Wohlfahrts-theoretischer Perspektive stellt die mit der Moorvernässung induzierte CO_2 -Bindung einen Wohlfahrtsgewinn dar, da dies einen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Umgekehrt stellt die Summe der durch die Moorvernässung entstehenden Verluste an betrieblichem Deckungsbeitrag gerade die volkswirtschaftlichen Kosten zur Bereitstellung des öffentlichen Gutes „Klimaschutz“ dar. Die Kosten können je ha, je Betriebstyp, sowie als durchschnittliche Kosten des Unternaturraums und auf Basis der oben erläuterten ökologischen Modellkomponente auch als Kosten je Tonne CO_2 -Äquivalent in Abhängigkeit des gewählten Szenarios (I-II) berechnet werden.

Neben der Frage der minimalen volkswirtschaftlichen Kosten zur Vernässung einer gegebenen Moorfläche stellt sich die Frage der Verteilung der Kosten auf die unterschiedlichen Wirtschaftsakteure, d.h. die individuellen landwirtschaftlichen Betriebe und die Konsumenten bzw. die Steuerzahler.

Während der erste Aspekt als volkswirtschaftliche Effizienz bezeichnet wird, bezieht sich der zweite Aspekt auf die Frage der Verteilung der volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen.

Die klassische ökonomische Wohlfahrtsanalyse ist dabei auf den ersten Aspekt, die volkswirtschaftliche Effizienz fokussiert, während der Aspekt der Verteilung von Kosten und Nutzen abstrahiert wird. Abweichend ist die politische Durchsetzbarkeit von Maßnahmen in realen politischen Prozessen primär durch die Verteilung der Gewinne und Verluste einer politischen Maßnahme bestimmt und weniger bzw. gar nicht durch die realisierte volkswirtschaftliche Effizienz. Im Gegenteil, oft kommt es zu einem unmittelbaren Widerspruch zwischen politischer Durchsetzbarkeit und volkswirtschaftlicher Effizienz, d. h. Maßnahmen die politisch durchsetzbar sind, sind

volkswirtschaftlich ineffizient und umgekehrt volkswirtschaftlich effiziente Maßnahmen sind politisch oft nicht durchsetzbar, weil sie zu gesellschaftlich nicht akzeptablen Umverteilungseffekten führen.

Grundsätzlich werden zur Bereitstellung von Umweltgütern in der Agrarpolitik drei Implementationsmechanismen diskutiert: Regulierung, Steuern oder Subvention und vertragsrechtliche Regelungen. Bei Heterogenität der betrieblichen Bereitstellungskosten werden zumindest in der Wirtschaftstheorie Steuern und Subventionen bzw. Vertragsrechtliche Regelungen gegenüber der Regulierung als überlegene Implementationsmechanismen bezeichnet, da diese als dezentrale Mechanismen auch ohne genaue Kenntnis der betrieblichen Anpassungskosten zu einer effizienten Bereitstellung von Umweltgütern führen können.

Wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist, variiert der Verlust an Deckungsbeitrag pro Hektar vernässter Moorfläche erheblich je nach Betriebstyp. Kleine intensive Milchviehbetriebe haben dabei höhere Deckungsbeitragsverluste je Hektar vernässter Moorfläche als große extensive Rindermastbetriebe. Aus wohlfahrtstheoretischer Sicht ist es somit sinnvoll, eine gegebene Fläche an Moorvernässung möglichst so auf die Betriebe zu verteilen, dass der Verlust an Deckungsbeitrag pro vernässter Fläche möglichst gering ist. Theoretisch wäre also eine betriebsspezifische Vernässung der Moorfläche wünschenswert, wobei man zunächst die Moorfläche der Betriebe vernässt, für die sich möglichst geringe Anpassungskosten ergeben.

Technisch ist eine betriebsspezifische Vernässung der Moorflächen nur unter erheblichen zusätzlichen Kosten möglich, da diese eine betriebsflächen-spezifische Anhebung des Grundwasserspiegels erfordern würde. Letztere ist technisch zwar durchaus möglich, aber die entsprechenden Kosten wären extrem hoch, so dass faktisch davon auszugehen ist, dass eine Vernässung der Moorflächen nur global für die gesamte ETN-Region möglich ist. Insofern stellt die Summe der Verluste an betrieblichen Deckungsbeiträgen, die sich unter der Annahme einer pauschalen Nutzungseinschränkung der Niedermoorböden entsprechend Tabelle 1 für alle Betriebe ergibt, die minimalen Bereitstellungskosten der Reduktion von CO₂-Emissionen durch Moorvernässung dar. Das heißt insbesondere auch, dass betriebsspezifische Anpassungskosten nicht zur Reduktion der gesamten volkswirtschaftlichen Bereitstellungskosten genutzt werden können. Entsprechend ergibt sich für den speziellen Fall der Moorvernässung faktisch auch kein Effizienznachteil der Regulation im Vergleich zu den alternativen dezentralen Implementationsverfahren. Letzteres gilt zumindest solange die Moorvernässung in einer hinreichend kleinen Region wie der ETN betrachtet wird. Betrachtet man hingegen die Moorvernässung in der gesamten Bundesrepublik, so könnte eine pauschale Regulierung aller Regionen zu erheblichen Effizienzverlusten führen, solange die betrieblichen Anpassungskosten regional variieren. Dies können wir in unserem konkreten Fallbeispiel ausschließen und betrachten im Folgenden die jeweiligen Bereitstellungskosten unter der Annahme, dass die Moorvernässung in Form einer Regulation implementiert wird. Konkret betrachten wir die totalen volkswirtschaftlichen Kosten

sowie die Verteilung derselben unter der Annahme einer klassischen Regulierung, d.h. die Anhebung des Wasserspiegels wird gesetzlich festgelegt und die landwirtschaftlichen Betriebe müssen sich an diese gesetzlichen Standards anpassen. Weiterhin betrachten wir die Verteilung der Kosten unter der Annahme einer „kompensierten Ökologisierung“, d.h. die Anhebung des Wasserspiegels wird gesetzlich festgelegt, aber die betrieblichen Anpassungskosten werden pauschal mit einem entsprechenden Betrag pro Hektar kompensiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

Für die Szenarien der Grundwasser-Anhebung um 10 und 20 cm sind in Tabelle 2 die durchschnittlichen Kosten der einzelnen Betriebstypen sowie des Unternaturraums je ha angegeben. Die Durchschnittskosten in der ETN liegen bei 112 €/ha für eine Anhebung des Grundwasserstandes um 10 cm und bei 359 €/ha für eine Anhebung um 20 cm. Die starke Nutzungseinschränkung des Szenarios II mit fast drei Viertel der Niedermoorfläche ohne landwirtschaftliche Nutzung führt zu mehr als dreimal so hohen Kosten für die Betriebe wie die moderatere Einschränkung des Szenarios I. Über die unterschiedlichen Betriebsgruppen zeigen sich allerdings für beide Szenarien deutliche Abweichungen vom Durchschnitt der Region. Am stärksten betroffen sind die wenigen Biogasbetriebe, die in beiden Größenklassen über den Durchschnittswerten der Region liegen. Milchviehbetriebe, als die prägende Betriebsausrichtung der Niederung, haben zum Teil ebenfalls überdurchschnittlich hohe Kosten, allerdings hängt dies stark von der Größe ab.

Tabelle 2: Durchschnittskosten der Moorvernässung in Abhängigkeit des Betriebstyps und der Betriebsgröße sowie der Höhe der Grundwasserstandsanhebung (Szenario I: 10 cm, Szenario II: 20 cm).

Betriebstyp	Betriebsgröße in ha	Kosten in € je ha und Jahr	
		Szenario I	Szenario II
Milchvieh	< 60	182 €	540 €
	60-100	106 €	416 €
	100-200	106 €	290 €
	200	65 €	240 €
Rindermast	< 60	137 €	268 €
	60-100	22 €	150 €
	100-200	1 €	12 €
Biogas	60-100	194 €	596 €
	100-200	119 €	392 €
Ø ETN	112	112 €	359 €

Besonders kleine Betriebe unter 60 ha weisen überdurchschnittlich hohe Kosten auf. Große Betriebe über 200 ha liegen im moderaten Szenario mit 10 cm Grundwasseranhebung bei nur etwa 50 % der Durchschnittskosten. Rindermastbetriebe können am besten auf die Nutzungseinschränkungen reagieren und zeigen fast durchgehend relativ niedrige Kosten, allerdings besteht auch ein starkes Gefälle zwischen den Größenklassen, so dass den Rindermastbetrieben über 100 ha kaum Kosten durch die Grundwasseranhebung entstehen.

In Tabelle 3 sind neben den absoluten Flächenumfängen der einzelnen Nutzungskategorien für beide Szenarien ebenfalls die gesamten in dem Unternaturraum ETN anfallenden Kosten durch die Grundwasseranhebungen aufgeführt. Diese Werte zeigen den gesamten Deckungsbeitragsverlust des landwirtschaftlichen Sektors in der Region für die Verfahren Regulierung und kompensierte Ökologisierung und stellen gleichzeitig den Umfang des benötigten Budgets für das Verfahren der kompensierten Ökologisierung dar. Für die im gesamten Unternaturraum ETN eingesparten CO₂-Emissionen von 205 Tsd. t CO₂-Äq/Jahr für 10 cm Grundwasseranhebung und 469 Tsd. t CO₂-Äq/Jahr für 20 cm Grundwasseranhebung errechnen sich somit Kosten von 11,89 €/t CO₂-Äq/Jahr (Szenario I) und 16,69 €/t CO₂-Äq/Jahr (Szenario II).

In Abbildung 3 sind die Durchschnittskosten der Grundwasseranhebung für unterschiedliche Milchpreise in einer Spanne zwischen 20 und 40 Cent/kg aufgeführt. Eine Sensitivitätsanalyse der Kosten gegenüber Preisen für landwirtschaftliche Erzeugnisse ist gerade aufgrund der Tatsache, dass es sich bei den im LP-Modell verwendeten Output- und Inputpreisen um Mittelwerte anhand von Zeitreihen der letzten Jahre handelt, sinnvoll.

Tabelle 3: Flächenumfang und Gesamtkosten der Moorvernässung in der Eider-Trenne-Niederung

Nutzungstyp	Fläche in ha	
	Szenario I	Szenario II
Intensiv	113	5
Intensiv mit Einschränkungen	5.794	732
Extensive	8.967	5.057
keine	6.903	15.983
Summe	21.777	21.777
Kosten	2.442.926 €	7.825.571 €

Da Milch das mit Abstand wichtigste Erzeugnis der Region ist, wird der Fokus auf die Preisvariation des Milchpreises gelegt. Preisvariationen für Inputfaktoren wie z.B. Futtermittel wären ebenfalls möglich, da für die Produktionsentscheidung der Betriebe aber lediglich das Preisverhältnis von Input- zu Output-Preisen entscheidend ist, wird an dieser Stelle exemplarisch nur der Milchpreis variiert. Der Mittelwert der Zeitreihendaten im Modell, der für die in Tabelle 3 berechneten Kosten verwendet wurde, liegt bei einem Milchpreis von 28 Cent/kg.

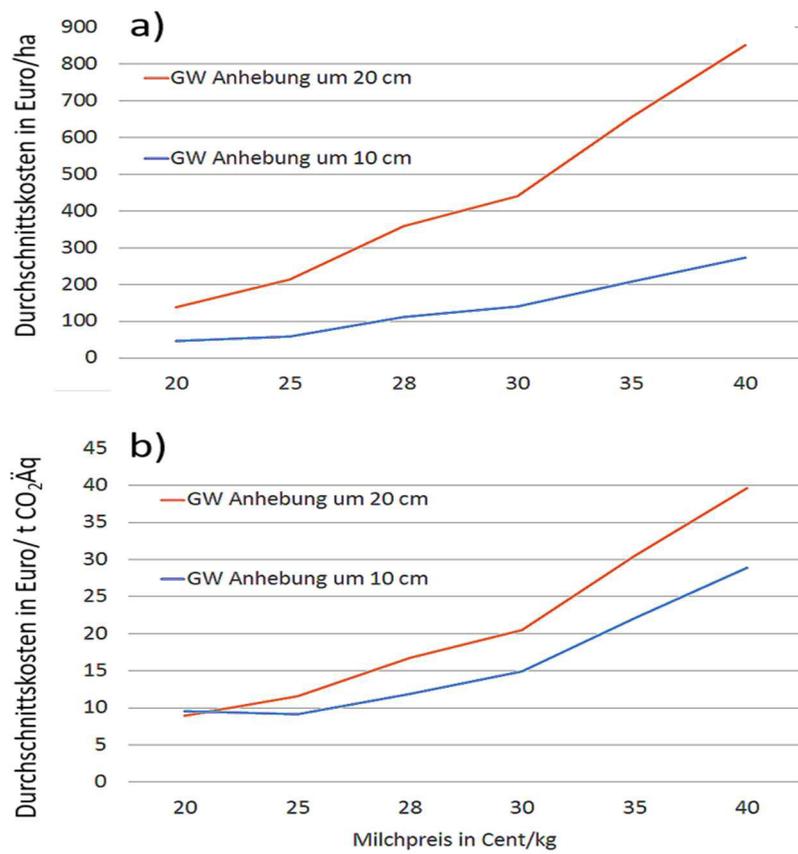


Abbildung 3: Vermeidungskosten der Grundwasseranhebung in Abhängigkeit des Milchpreises je ha (a) und je Tonne CO₂-Äquivalent (b).

Über die gesamte Spanne ist eine hohe Abhängigkeit der Vermeidungskosten vom Milchpreis zu erkennen. In Abbildung 3a ist zu sehen, dass sich die Kosten für eine 10 cm Grundwasseranhebung zwischen 50 und 280 €/ha und für eine Anhebung um 20 cm bereits zwischen 138 und 852 €/ha bewegen. Kapitalisiert man diese dauerhaften Kosten, so ergibt sich bei einem angenommenen volkswirtschaftlichen Kapitalzins von 5 % ein Kapitalwert von 1000 und 5600 €/ha für die Anhebung um 10 cm bzw. von 2760 und 17040 €/ha für eine Grundwasseranhebung um 20 cm. Dieser grundsätzliche Zusammenhang bleibt bestehen, wenn die Werte für die Vermeidungskosten je Tonne CO₂ betrachtet werden (Abb. 3b). Allerdings sind die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien der Grundwasseranhebung deutlich geringer, so dass bei einem sehr niedrigen Milchpreis von 20 Cent/kg jede eingesparte Tonne CO₂ in beiden Szenarien mit ca. 10 €/Jahr etwa gleich teuer ist. Bei einem sehr

hohen Milchpreis von 40 Cent/kg ist eine Differenz von 10 €/t CO₂-Äq/Jahr zwischen beiden Szenarien gegeben (siehe Abbildung 3).

Wie bereits beschrieben, sind die Kosten der Moorvernässung als entgangener Deckungsbeitrag definiert. Es ist daher interessant, auch die Auswirkungen der eingeführten Restriktionen auf die Produktionsstruktur bzw. realen Outputs zu betrachten. Die relevanten Marktfrüchte werden durch Niedermooreinschränkung nicht beeinflusst, da Moorflächen zur Raufutterproduktion in der Tierhaltung verwendet werden. Zu erkennen ist allerdings eine Abnahme der Milchkühe über die Szenarien und eine Zunahme der Bullenmast (Tabelle 4).

Tabelle 4: Rinderbestand in der Eider-Treene-Niederung in Abhängigkeit der Grundwasserstands-anhebung (Szenario I: 10 cm, Szenario II: 20 cm) bei Regulierung

Tiere	Status Quo	Szenario I	Szenario II
Milchkühe	23.652	18.603	9.356
Färsenaufzucht Milch	11.130	8.754	4.403
Bullenmast	7.482	9.838	13.429

Auf den nur noch extensiv nutzbaren Niedermoorflächen ist eine Raufutterproduktion für Bullen weiterhin möglich, die hohen Anforderungen einer intensiven Milchviehhaltung können allerdings nicht mehr vollständig erfüllt werden. Die beschriebenen Ergebnisse bilden sowohl das politische Verfahren der Regulierung als auch der kompensierten Ökologisierung ab. Für den Fall der Regulierung ergeben sich zum einen die in Tabelle 3 angegebenen Gesamtkosten in der Region und auf Betriebsebene die jeweiligen Kosten aus Tabelle 2. Diese entsprechen den ökonomischen Auswirkungen der Moorvernässung und damit dem Effekt auf die gesellschaftliche Wohlfahrt infolge der Regulierung. Diese Kosten ändern sich im Fall der kompensierten Ökologisierung nicht. Durch den pauschalen Ausgleich der Kosten kommt es allerdings zur Über- und Unterkompensation für einzelne Betriebe.

In Abbildung 4 sind die Renten der Modellbetriebe dargestellt. In diesem Szenario wird angenommen, dass alle Betriebe in Höhe der durchschnittlichen Kosten kompensiert werden, so dass Betriebe mit tatsächlichen Kosten, die unterhalb der durchschnittlichen Kosten liegen, durch die Kompensation Gewinne erzielen und umgekehrt Betriebe mit tatsächlichen Kosten, die höher als die durchschnittlichen Kosten sind, entsprechend unterkompensiert sind. Die „positiven“ Renten, also die Überkompensation von Betrieben mit unterdurchschnittlichen Kosten entspricht dabei genau den „negativen“ Renten, also den Unterkompensationen von Betrieben mit überdurchschnittlichen Kosten. Die Gesamtsumme der positiven Renten beträgt für eine Grundwasseranhebung um 10 cm ca. 294.000 € und für eine Anhebung um 20 cm 1.127.000 €. Im Vergleich zur Regulierung sind durch die kompensierte Ökologisierung alle Betriebe bessergestellt, da jeder Betrieb eine

Kompensationszahlung für die Vernässung seiner Moorflächen erhält. Allerdings ist im Vergleich zur Situation vor der Vernässung ein Teil der Betriebe schlechter gestellt, da die Kompensation nicht ausreicht um die anfallenden Kosten zu decken, während ein anderer Teil deutlich bessergestellt ist, da ihre tatsächlichen Kosten durch die pauschale Kompensation überkompensiert werden. Eine kompensierte Ökologisierung impliziert also eine Umverteilung von Betrieben mit höheren Kosten zu Betrieben mit niedrigeren Kosten.

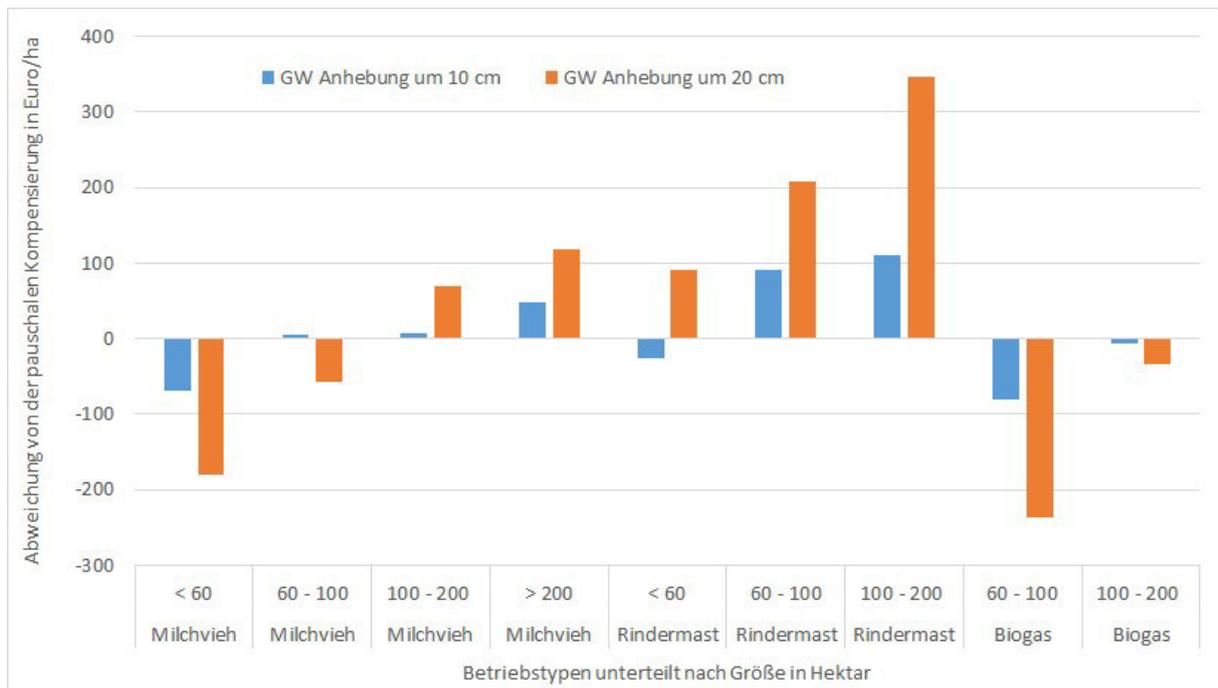


Abbildung 4: Über- und Unterkompensation nach Betrieben bei durchschnittlicher Kompensierung

Bei dem verwendeten LP-Modell handelt es sich um einen komparativ-statischen Ansatz, mit dessen Hilfe mittelfristige Gleichgewichtszustände abgebildet werden können. Dynamische Effekte, wie Investitionsentscheidungen, Pachtmärkte oder Hofnachfolge werden nicht modelliert. Es ist wahrscheinlich, dass bei Einbeziehung dieser Effekte die Kosten noch niedriger ausfallen. Durch die Einstellung der landwirtschaftlichen Produktion auf einzelnen Betrieben und die Verlagerung von Produktionsfaktoren zu den effizienter wirtschaftenden Betrieben würden auch die Vermeidungskosten des Klimaschutzes entsprechend geringer ausfallen. Vor allem aufgrund der beobachteten niedrigen Kosten des Modells für große Betriebe lässt sich diese Entwicklung ableiten. Dies bedeutet indes auch, dass für einzelne Betriebe durch eine Moorvernässung ein erheblicher Eingriff in die Produktion erfolgt und zum Teil die Entscheidung über eine Weiterführung des Betriebes beeinflusst wird. Es ist davon auszugehen, dass der Strukturwandel durch eine solche Maßnahme deutlich verstärkt wird. Durch die methodischen Einschränkungen des verwendeten LP-Modells können über derartige Folgen allerdings keine eindeutigen Aussagen getroffen werden.

Die in dieser Arbeit berechneten Vermeidungskosten sind explizit als die in der Landwirtschaft anfallenden Kosten definiert, in weiteren Forschungsprojekten zu diesem Thema, wie beispielsweise bei Drösler et al. (2012), wurden teilweise auch die Planungs- und Durchführungskosten der konkreten Vernässungsmaßnahmen mitberücksichtigt. In der untersuchten ETN und für den Großteil der Niedermoorflächen in Schleswig-Holstein sind die Planungs- und Durchführungskosten allerdings wenig relevant.

Bei den untersuchten Flächen handelt es sich um tiefliegende Niedermoorflächen, in denen das Grundwasser mit Pumpwerken auf dem derzeitigen Stand gehalten wird, um eine landwirtschaftliche Nutzung überhaupt möglich zu machen. In der Regel führt bereits eine Einstellung dieser Entwässerungsmaßnahmen zu einer Vernässung der Flächen, so dass kaum weitere Kosten anfallen. Vielmehr ist zu konstatieren, dass der Betrieb von Pumpstationen bereits jetzt Kosten verursacht und dass bei unverändertem Grundwassermanagement durch den damit verbundenen Torfschwund bzw. Höhenverlust hier auch langfristig mit steigenden Investitionen zu rechnen ist.

Prospektiv gibt es somit nur die Möglichkeiten, die Torfschicht des Moores zur landwirtschaftlichen Nutzung aufzubrechen und dabei weiterhin Treibhausgase zu emittieren, oder ein Grundwassermanagement mit möglichst naturnahem Wasserstand durchzuführen, damit das Moor langfristig erhalten bleibt. Die 12 bzw. 17 €/t CO₂-Äq/Jahr, welche für eine solche Maßnahme aufgebracht werden müssten, entsprächen dabei den Kosten der Landwirtschaft in Form von Deckungsbeitragsverlusten bzw. den Budgetausgaben des Staates für die Kompensationszahlungen. Die Klimaschutzkosten liegen damit am unteren Ende vergleichbarer Ergebnisse aus anderen Moorgebieten. Drösler et al. (2011) ermittelten im Vergleich eine Spanne zwischen 10 und 135 €/t CO₂-Äq/Jahr in verschiedenen deutschen Moorgebieten. Kurzfristig ergaben sich bei Schaller (2014) Vermeidungskosten der Moorvernässung in Höhe von 24 - 63 €/t CO₂-Äq/Jahr und langfristig von 2 - 13 €/t CO₂-Äq/Jahr.

Die in dieser Arbeit ermittelten Kosten beinhalten keine dynamischen Anpassungsprozesse oder Investitionsentscheidungen und sind daher als eher kurz- bis mittelfristig zu interpretieren. Ähnliches ergibt sich bei einem Vergleich mit den Kosten anderer Maßnahmen für den Klimaschutz. Die Vermeidungskosten durch die Energieerzeugung aus Biomasse (Biogas, Hackschnitzel) oder mit Hilfe neuer Technologien (Photovoltaik, Windenergie) liegen beispielsweise zwischen ca. 30 und 400 €/t CO₂-Äq/Jahr. Wobei nur durch den Einsatz von Kraftwärmekopplung und Reststoffen wie Gülle oder Stroh, Kosten unter 100 € erreicht werden (2; 11; 22). Vermeidungskosten im Transportsektor sind in der Regel höher als 100 €/t CO₂-Äq/Jahr, sowohl durch den Einsatz von Biomasse (150-470 €) (22) als auch durch die Umrüstung von Kraftfahrzeugen zur Emissionsreduktion (11). Die Empfehlung des Umweltbundesamtes (20) hält einen „Best-Practice“-Kostensatz in Höhe von 80 €/t CO₂-Äq/Jahr für angemessen, um die Vermeidungskosten von Treibhausgasen für eine kurze Frist zu betrachten. Demnach erscheinen die Kosten einer Anhebung der Grundwasserstände in der ETN im Vergleich zu anderen Klimaschutzmaßnahmen als angemessen, wobei gleichzeitig dem Moorschutz im Vergleich zu

anderen Maßnahmen in der Landwirtschaft ein hohes THG-Vermeidungspotential zugeschrieben werden kann (23).

Zusammenfassung

Klimaschutz durch Wiedervernässung von Niedermoorböden: Wohlfahrtseffekte am Beispiel der Eider-Treene-Region in Schleswig-Holstein

Durch die Anhebung des Grundwasserstandes auf Niedermoorflächen lassen sich große Mengen an Treibhausgasen zu niedrigen Kosten einsparen. Dies konnte exemplarisch für die Eider-Treene-Niederung in Schleswig-Holstein für zwei Szenarien der Grundwasserstandsanhhebung (10 und 20 cm) gezeigt werden. Für eine Anhebung des Grundwasserstandes um 10 cm lagen die Kosten im Mittel bei 12 €/t CO₂-Äq/Jahr und für 20 cm bei 17 €/t CO₂-Äq/Jahr. Für landwirtschaftliche Betriebe bedeutet dies Kosten in der Größenordnung von 112 bzw. 359 € je ha und Jahr bzw. kapitalisiert entspricht dies Kapitalwertverlusten (Bodenwertverlusten) in Höhe von 2240 und 7018 € je Hektar. Besonders betroffen von einer solchen Maßnahme wäre in den für die Vernässung relevanten Gebieten die Milchviehwirtschaft.

Da in dieser Studie die berechneten Kosten dem entgangenen Deckungsbeitrag entsprechen, zeigt sich eine starke Variabilität der einzelbetrieblichen Kosten in Abhängigkeit des gezahlten Milchpreises. Von möglichen Kompensationszahlungen des Staates an die Landwirte würden vor allem die größeren Milchviehbetriebe und Rindermastbetriebe profitieren. Hier ergeben sich Deckungsbeitragsgewinne bis zu über 300 €/ha und Jahr, d.h. kapitalisiert Bodenwertsteigerungen von bis zu 6000 €/ha. Kleinere Betriebe sähen sich durch eine solche Klimaschutzmaßnahme einem höheren Kostendruck ausgesetzt (DB-Verluste bis zu 220 €/ha und Jahr, d.h. kapitalisiert Bodenwertverluste bis zu 4440 €/ha), so dass der Strukturwandel in der Region weiter verstärkt würde. Langfristig könnten aufwendige Investitionen in die Erhaltung und den Ausbau der Pumpwerke zur Entwässerung eingespart werden. Im Vergleich zu anderen Klimaschutzmaßnahmen stellt die Grundwasseranhebung in Niedermoorgebieten eine im Vergleich kostengünstige Möglichkeit dar, Treibhausgasemissionen in einem hohen Maße einzusparen. Die Umsetzung eines dynamischen Grundwassermanagements, d.h. hohe Grundwasserstände im Winter und Wasserstände von ca. 30 cm unter Flur während der Vegetationsperiode, würde zudem die Fortführung einer moderaten Milchviehwirtschaft in Niederungsregionen erlauben.

Summary

Climate protection through rewetting of fen soils: welfare effects shown on the example of the Eider-Treene region in Schleswig-Holstein

By raising the groundwater level of fen soils large amounts of greenhouse gases can be saved at low cost. The Eider-Treene lowland in Schleswig-Holstein served as an example for two scenarios of raising groundwater levels (by 10 and 20 cm). The cost for raising the groundwater level by 10 cm amounted to €12/t co₂-eq/year on average, and for raising levels by 20 cm it amounted to €17/t co₂ eq/year on average. For agricultural undertakings this means costs in the order of €112 and €359 respectively per hectare and year, and in terms of capitalization this corresponds to a reduced present value (losses in land value) amounting to €2240 and €7018 per hectare. In the areas considered for rewetting; dairy farming would be particularly affected by any such measure.

In this study the calculated costs correspond to the losses in the contribution margin, therefore a wide variability in individual costs shows, depending on the milk price paid. From possible compensation payments by the State to farmers it would be mainly larger dairy farms and beef farmers who benefit. Here, this leads to contribution margin gains amounting to up to €300/hectare and year, i.e. increases in land present value amounting to up to €6000/ha. Smaller farms would be under increased cost pressure due to this type of climate protection measure (losses in the contribution margin of up to €220/hectare and year, i.e. losses in land present value amounting to up to €4440/ha); structural change in this region would thus accelerate further. In the long-term considerable investments in the maintenance and expansion of drainage pumping stations could be saved. In comparison with other climate protection measures, raising the groundwater level of fen areas is an inexpensive way to save considerable amounts of greenhouse gas emissions. The implementation of a dynamic management of groundwater, i.e. high groundwater levels in winter, and water levels of approx. 30 cm under groundwater level during the growing season, would moreover allow for the continuation of moderate dairy farming activities in lowland regions.

Résumé

Protéger le climat grâce à la remise en eau de sols marécageux bas: retombées bénéfiques, en prenant comme exemple la région de l'Eider-Treene dans le Schleswig-Holstein

De grandes quantités de gaz à effet de serre pourraient être évitées en rehaussant le niveau de la nappe phréatique sur la surface des bas-marais, et ce à faible coût. Cela a par exemple pu être démontré pour le bas-fond de l'Eider Treene dans le Schleswig-Holstein pour deux scénarios relatifs à la hausse du niveau de la nappe phréatique (10 et 20 cm). Pour une augmentation du niveau de la nappe phréatique de 10 cm, les coûts s'élèvent en moyenne à 12 €/t éq. CO₂/an, et pour 20 cm à 17 €/t éq. CO₂/an. Pour les exploitations agricoles, cela entraîne des coûts de l'ordre de 112 ou 359 € par hectare et par an ou capitalisés, cela correspond à des pertes de capital (moins-values foncières) d'un montant de 2 240 et 7 018 € par hectare. L'élevage laitier dans les régions pertinentes pour l'hydromorphie serait particulièrement concerné par une telle mesure.

Étant donné que dans cette étude, les coûts calculés correspondent à la marge de contribution perdue, une forte variabilité des coûts pour chaque exploitation se manifeste en fonction du prix du lait payé. Les plus grandes exploitations laitières et bovines profiteraient notamment des indemnités éventuelles versées par l'État aux agriculteurs. On constate ici des bénéfices de marge de contribution allant jusqu'à 300 €/hectare et par an, soit des plus-values foncières jusqu'à 6 000 €/hectare. Les plus petites exploitations se heurtent à une plus forte pression des prix suite à une telle mesure de protection du climat (pertes de marge de contribution jusqu'à 220 €/hectare et par an, soit des moins-values foncières jusqu'à 4 440 €/hectare), si bien que le changement structurel dans la région serait de nouveau renforcé. Sur le long terme, on pourrait faire des économies sur les investissements coûteux dans la préservation et l'agrandissement des stations de pompes pour le drainage. Comparée à d'autres mesures de protection du climat, la remontée de la nappe phréatique dans les régions marécageuses basses représente une solution économique pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de manière substantielle. La mise en place d'une gestion dynamique de la nappe phréatique, c.-à-d. des niveaux de nappe phréatique élevés en hiver et des niveaux des eaux d'env. 30 cm au-dessus du sol pendant la période de végétation, permettrait également de poursuivre une production laitière modérée dans les plaines.

Literatur

1. BLANKENBURG, J.; HENNINGS, H.H.; SCHMIDT, W., 2001: Bodenphysikalische Eigenschaften und Wiedervernässung. In: Kratz R & Pfadenhauer J (eds.): Ökosystemmanagement für Niedermoore - Strategien und Verfahren zur Renaturierung, 81-91, Stuttgart: Eugen Ulmer, ISBN 3-8801-3169-2
2. BMU, 2009: Erneuerbare Energien - Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
https://www.ifeu.de/energie/pdf/ee_innovationen_energiezukunft_2012.pdf
3. BURBAUM, B. UND FILIPINSKI, M., 2015: Entstehung, Entwicklung und Verbreitung der Moore. In: Moore in Schleswig-Holstein. Schriftenreihe LLUR SH – Natur, 23.
<https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/moore/moorbroschuere.pdf>
4. DRÖSLER, M.; FREIBAUER, A.; ADELMANN, W.; AUGUSTIN, J.; BERGMAN, L.; BEYER, C.; CHOJNICKI, B.; FÖRSTER, C.; GIEBELS, M.; GÖRLITZ, S.; HÖPER, H.; KANTELHARDT, J.; LIEBERSBACH, H.; HAHN-SCHÖFL, M.; MINKE, M.; PETSCHOW, U.; PFADENHAUER, J.; SCHALLER, L.; SCHÄGNER, P.; SOMMER, M.; THUILLE, A.; WEHRHAN, M., 2011: Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis. Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung. http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/bitv/dn049337.pdf
5. DRÖSLER, M.; AUGUSTIN, J.; BERGMANN, L.; FÖRSTER, C.; FUCHS, D.; HERMANN, J.M.; KANTELHARDT, J.; KAPFER, A.; KRÜGER, G.; SCHALLER, L.; SOMMER, M.; SCHWEIGER, M.; STEFFENHAGEN, P.; TIEMEYER, B.; WEHRHAN, M., 2012: Beitrag ausgewählter Schutzgebiete zum Klimaschutz und dessen monetäre Bewertung. BfN-Skripten 328.
<https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript328.pdf>
6. EGEOS (2015): Beitrag zur Abschlussveranstaltung: Moor-Klima-Milch. Zukunftsperspektiven der Moornutzung in Schleswig-Holstein. www.egeos.de
7. HENNING, C.H.C.A.; HENNINGSEN, A.; STRUVE, C.; MÜLLER-SCHEEßEL, J., 2004: Auswirkungen der Mid-Term-Review-Beschlüsse auf den Agrarsektor und das Agribusiness in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern, Agrarwirtschaft, Sonderheft 178, Agrimedia, Bergen/Dumme. 3-86037-236-X.
8. IPCC, 2013a: Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change 2007. Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.M.B.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex., V.; Midgley, P.M., (Eds.), United Kingdom: Cambridge University Press., Cambridge.
<http://www.climatechange2013.org/>

9. IPCC, 2013b: Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands; Hirashi, T.; Krug, T.; Tanabe, K.; Srivastava, N.; Baasansuren, J.; Fukuda, M.; Troxler, T. G. (eds.), IPCC, Switzerland, 2014.
www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf
10. JUNGKUNST, H.F.; FLESSA H.; SCHERBER, C.; FIEDLER, S., 2008: Groundwater level controls CO₂, N₂O and CH₄ fluxes of three different hydromorphic soil types of a temperate forest ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 2047-2054. 10.1016/j.soilbio.2008.04.015
<http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/moore/moorbroschuere.pdf>
11. MCKINSEY, 2007: Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany. McKinsey & Company, Inc. <http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/costs-and-potentials-of-greenhouse-gas-abatement-in-germany>
12. POYDA, A; REINSCH, T.; KLUß, C.; LOGES, R.; TAUBE, F, 2016: Greenhouse Gas Emissions from Fen Soils Used for Forage Production in Northern Germany. *Biogeosciences*, 13, 5221-5244. 10.5194/bg-13-5221-2016
13. RÖDER N. UND GRÜTZMACHER F., 2012: Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Mooren - Vermeidungskosten und Anpassungsbedarf. In: *Natur und Landschaft*, 87:56-61.
http://literatur.vti.bund.de/digbib_1N51DE/dn050003.pdf
14. RÖDER N. UND OSTERBURG B., 2012: Reducing GHG emissions by abandoning agricultural land use on organic soils - A cost assessment. In: Paper presented at the 2012 IAAE-Conference, August 18-24, Foz do Iguaçu, Brazil.:22S.
http://ageconsearch.umn.edu/record/125134/files/Rewetting_peatland_nc.pdf
15. ROßKOPF, N.; FELL, H.; ZEITZ, J., 2015: Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *CATENA* 133, 157-170. 10.1016/j.catena.2015.05.004
16. SCHALLER, L.L., 2014: Landwirtschaftliche Nutzung von Moorflächen in Deutschland - Sozioökonomische Aspekte einer klimaschonenden Bewirtschaftung. Dissertation, Technische Universität München. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1229919/1229919.pdf>
17. SVOBODA, N.; TAUBE, F.; KLUß, C.; WIENFORTH, B.; SIELING, K.; HASLER, M.; KAGE, H.; OHL, S.; HARTUNG, E.; HERRMANN, A., 2015: Ecological efficiency of maize-based cropping systems for biogas production. *BioEnergy Research* 8, 1621–1635. 10.1007/s12155-015-9614-1
18. TAUBE, F.; HENNING, C.; ALBRECHT, E.; REINSCH, T.; KLUß, C., 2015: Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein. Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel. https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/W/wasserrahmenrichtlinie/naehrstoffbericht_sh_taub.html

19. TIEMEYER, B.; ALBIAC BORRAZ, E.; AUGUSTIN, J.; BECHTOLD, M.; BEETZ, S.; BEYER, C.; DRÖSLER, M.; EBELI, M.; EICKENSCHIEDT, T.; FIEDLER, S.; FÖRSTER, C.; FREIBAUER, A.; GIEBELS, M.; GLATZEL, S.; HEINICHEN, J.; HOFFMANN, M.; HÖPER, H.; JURASINSKI, G.; LEIBER-SAUHEITL, K.; PEICHL-BRAK, M.; ROßKOPF, N; SOMMER, M.; ZEITZ, J., 2016: High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. Glob. Change Biol. 22, 4134-4149. 10.1111/gcb.13303
20. UBA, 2014: Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr.
http://www.uba.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_umweltkosten_0.pdf
21. UBA, 2017: Berichterstattung unter den Klimarahmenkonventionen der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll.Umweltbundesamt.
<http://www.uba.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-2>
22. WBA, 2007: Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung - Empfehlungen an die Politik. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim BMELV, Berlin.
<http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA.pdf>
23. WBA, 2016: Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung - Empfehlungen an die Politik. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim BMELV, Berlin.
http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.html

Autorenanschrift:

Dr. Thorsten Reinsch,
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung –
Abteilung Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau,
Christian-Albrechts-Universität Kiel,
Hermann-Rodewald-Str. 9,
24118 Kiel
Email: treinsch@gfo.uni-kiel.de

Dr. Ernst Christian Albrecht,
Institut für Agrarökonomie – Abteilung Agrarpolitik,
Christian-Albrechts-Universität Kiel,
Hermann-Rodewald-Str. 9,
24118 Kiel

Prof. Dr. Dr. Christian Henning,
Institut für Agrarökonomie – Abteilung Agrarpolitik,
Christian-Albrechts-Universität Kiel,
Hermann-Rodewald-Str. 9,
24118 Kiel

Dr. Arne Poyda,
Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Fachgebiet Biogeophysik,
Universität Hohenheim,
Emil-Wolff-Str. 27,
70599 Stuttgart

Prof. Dr. Friedhelm Taube,
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung –
Abteilung Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau,
Christian-Albrechts-Universität Kiel,
Hermann-Rodewald-Str. 9,
24118 Kiel