



„Ökonomische Betroffenheit eines angepassten
Niederungsmanagements für die
Landwirtschaft in Schleswig-Holstein“

--- Gutachten ---

Prof. Dr. Uwe Latacz-Lohmann
Prof. Dr. Torben Tiedemann
Jan-Hendrik Buhk
Wenke Rannow

November 2023

Zitervorschlag:

Latacz-Lohmann, U., Tiedemann, T., Buhk, J.-H. und W. Rannow:
Ökonomische Betroffenheit eines angepassten Niederungsmanage-
ments für die Landwirtschaft in Schleswig-Holstein. Gutachten im Auf-
trag des Ministeriums für Landwirtschaft, ländliche Räume, Europa
und Verbraucherschutz des Landes Schleswig-Holstein. 76 Seiten.
Kieler Institut für Europäische Landwirtschaftsstudien GmbH.
November 2023.

Schnell gelesen

Die vorliegende Studie beleuchtet die ökonomischen Auswirkungen eines angepassten Niederungsmanagements auf die Landwirtschaft in Schleswig-Holstein. Der Fokus liegt auf den kohlenstoffreichen Böden der schleswig-holsteinischen Niederungskulisse. Diese umfassen mit gut 86.000 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LN) rund 8,5% der gesamten LN Schleswig-Holsteins. Etwa 20% der Landesfläche Schleswig-Holsteins sind als Niederung klassifiziert. Ein Drittel der Niederungsfläche zeichnet sich durch kohlenstoffreiche Böden aus (MELUND, 2022c). Somit werden ca. 80% der kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen landwirtschaftlich genutzt.

Die Studie baut auf Untersuchungen zum Treibhausgasreduzierungs potenzial ausgewählter Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft Schleswig-Holsteins von Latacz-Lohmann et al. (2022) auf. In diesen Untersuchungen wurden Wasserstands anhebungen in Moorregionen als eine kostengünstige Maßnahme mit großem Potenzial für den Klimaschutz identifiziert. Da ein weiteres politisches Ziel aber der Erhalt von Wertschöpfung im ländlichen Raum ist, gilt es die Wechselwirkungen von klimaschutzpolitischen Maßnahmen auf Landwirtschaft, Klima und Umwelt genauer zu eruieren und so eine fundierte Basis für eine politische Entscheidungsfindung zu schaffen. Mit dem Fokus auf kohlenstoffreiche Böden in den Niederungen Schleswig-Holsteins vertieft die vorliegende Studie den Aspekt des Klimaschutzes durch Moorschutz.

Der konkrete Auftrag der Studie besteht darin, die ökonomischen Auswirkungen eines angepassten Niederungsmanagements auf die schleswig-

holsteinische Landwirtschaft quantitativ abzuschätzen. Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf den Klimaschutz zu legen. Dabei gilt es die Wechselwirkungen zum Ziel des Erhalts der Wertschöpfung in den Niederungen herauszustellen. Dies erfordert eine umfassende betriebswirtschaftliche Analyse alternativer Produktionsverfahren und Einkommensmöglichkeiten für landwirtschaftliche Betriebe in den Niederungen bei angehobenen Wasserständen. Unterschiedliche Szenarien sollen die Möglichkeiten und Grenzen einer angepassten Niederungsbewirtschaftung unter Berücksichtigung nationaler wie landespolitischer Maßgaben und Förderprogramme abbilden.

Methodisch kombiniert die Studie eine GIS-basierte Simulation erhöhter Wasserstände auf kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen mit einer auf Emissionsfaktoren bzw. auf funktionalen Zusammenhängen beruhenden Abschätzung der sich daraus ergebenden Treibhausgaseinsparungen sowie einer betriebswirtschaftlichen Analyse möglicher Folgenutzungen wiedervernässter Flächen. Im ersten Schritt wurden die Wasserstände GIS-basiert in 10 cm-Schritten bis zum Zielwasserstand von 10 cm unter Geländeoberkante angehoben. Im zweiten Schritt wurde schlagspezifisch analysiert, wieviel Fläche (und welche Flächen) durch die Wasserstands anhebungen in ihrer Nutzbarkeit eingeschränkt wären. Im letzten Schritt wurden die damit einhergehenden Treibhausgaseinsparungen sowie der Verlust an landwirtschaftlicher Wertschöpfung unter Berücksichtigung möglicher Folgenutzungen quantifiziert. Durch Division des jeweiligen Wertschöpfungsverlustes durch die eingesparten Treibhausgasmenge

wurden die Treibhausgas-Vermeidungskosten je Tonne CO₂-Äquivalent bei unterschiedlichen Folgenutzungen abgeschätzt. Während die beschriebenen Analysen für die gesamten kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen von gut 86.000 ha LN durchgeführt wurde, dienten zwei große zusammenhängende Moorregionen, die Eider-Treene-Niederung und der Oldenburger Graben, als Fokusregionen für eine vertiefte Betrachtung einzelner Aspekte.

Die Ergebnisse der Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen.

1. Räumliche Betroffenheitsanalyse:

- Von den rund 1 Mio. ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LN) Schleswig-Holsteins sind ca. 250.000 ha LN als Niederungsflächen mit Geländehöhen von weniger als 2,5 Meter Normalhöhen null klassifiziert. Diese in der Niederrungskulisse zusammengefassten Flächen konzentrieren sich an der Westküste und in den Marschen entlang der Elbe. Moor- und Anmoorböden (kohlenstoffreiche Böden) machen mit gut 86.000 ha LN gut ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Niederrungskulisse aus. Diese Böden bilden den Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie. Sie nehmen ca. 8,5% der LN Schleswig-Holsteins ein. Mit 67.600 ha ist das Dauergrünland die dominierende Nutzungsart der betroffenen kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen, gefolgt von Ackerland (17.300 ha) und sonstiger LN (1.200 ha). Die gesamte Moorfläche Schleswig-Holsteins ist mit ca. 102.000 ha LN größer. Sie umfasst neben den kohlenstoffreichen Böden in der Niederrungskulisse auch

höhergelegene Moore außerhalb dieser Kulisse.

- Die beiden näher betrachteten Fokusregionen stellen zwei großflächig zusammenhängende Moorregionen dar. Während in der Eider-Treene-Niederung (mit gut 23.500 ha LN) die grünlandbasierte Milchviehhaltung dominiert, wird im Oldenburger Graben (rund 15.600 ha LN) auch Ackerbau auf kohlenstoffreichen Böden betrieben. In der Eider-Treene-Niederung wären etwa zwei Drittel des Dauergrünlandes von einer Anhebung des Wasserstands betroffen. Ackerland spielt dort kaum eine Rolle. Im Oldenburger Graben sind es lediglich rund 2.600 ha LN, die von einer Wasserstandsanhhebung potenziell betroffen wären. Auch hier sind es vorwiegend die tiefergelegenen Grünlandflächen.

2. Betriebliche Betroffenheitsanalyse

- Von den rund 14.000 schleswig-holsteinischen Antragstellern im Rahmen der EU-Direktzahlungen wirtschaften ungefähr ein Drittel (ca. 3.900) auf Flächen, die potenziell von Wasserstandserhöhungen betroffen wären. In einem Großteil dieser Betriebe (40,8%) macht die betroffene Fläche weniger als 20% der Betriebsfläche aus. In rund 400 Betrieben liegt der Anteil der betroffenen Flächen zwischen 60 und 80%, und 508 Betriebe weisen eine Flächenbetroffenheit von über 80% auf. Zusammen machen die beiden letztgenannten Kategorien 6,5% der Antragsteller Schleswig-Holsteins aus. Damit wäre ungefähr jeder fünfzehnte Betrieb im Bundesland von einer Wasserstandsanhhebung besonders schwer betroffen.

- In der Eider-Treene-Niederung wäre jeder vierte der insgesamt ca. 500 betroffenen Betriebe nach obiger Definition als schwer betroffen einzustufen, im Oldenburger Graben jeder siebte.
- In beiden Fokusregionen fällt der vergleichsweise hohe Anteil an Kleinbetrieben mit weniger als 30 ha Betriebsfläche auf. Diese machen ca. ein Drittel der Antragsteller aus und bewirtschaften im Mittel 50% ihrer Flächen in der von potenziellen Wasserstandsanhörungen betroffenen Region.
- Bei einem Verlust von Produktionsfläche infolge einer Wasserstandsanhörung reflektiert der Deckungsbeitrag der Fläche den Betrag, auf den Betriebsleiter/innen im Durchschnitt pro ha verzichten müssten. Diese Größe spiegelt somit den kurzfristig zu erwartenden Einkommensverlust wider. Auf lange Sicht ist der Gewinn pro ha (unter Berücksichtigung einsparbarer Fixkosten) die geeignete Orientierungsgröße für die Einkommensverluste.
- Die Kalkulationen dieser beiden Kennziffern für typische Betriebe der beiden Fokusregionen zeigen, dass die untersuchten Betriebe im Durchschnitt ca. 1.300 €/ha Deckungsbeitrag im Analysezeitraum erwirtschafteten – mit großen Unterschieden zwischen den verschiedenen Betriebstypen und Erfolgsklassen. Der Gewinn beträgt über alle ausgewerteten Betriebe ca. 400 €/ha. Diese Werte bilden die Einstiegsgröße für Erwerbsverlustkalkulationen. Sie müssen um die Einkommensbeiträge aus nassen Folgenutzungen korrigiert werden.
- Bei vollständiger Wiedervernässung der betroffenen Fläche von gut 86.000 ha LN, also Einstellung von ganzjährig oberflächennahen Wasserständen (10 cm unter Flur), ließen sich über alle Berichtssektoren der nationalen Klimaberichterstattung hinweg ca. 3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr in Schleswig-Holstein einsparen. Dies entspricht einer Einsparung von knapp 35 t CO₂-Äq pro Hektar und impliziert die Aufgabe der bisherigen landwirtschaftlichen Nutzung auf der gesamten betroffenen Fläche.
- Bei einer moderaten Anhebung der Wasserstände um 20 cm ließen sich jährlich gut 1,5 Mio. t CO₂-Äq (ca. 17,5 t CO₂-Äq/ha) in der betroffenen Region einsparen. In diesem Fall wäre die Nutzbarkeit in Teilen der Region noch gegeben – und somit der Verlust an landwirtschaftlicher Wertschöpfung deutlich geringer.
- Die Prognose der dann noch uneingeschränkt, eingeschränkt und nass zu bewirtschaftenden Flächen ist mit großen Unsicherheiten der geohydrologischen Modellierung behaftet. Während nach den im Rahmen der nationalen Klimaberichterstattung modellierten Wasserständen in der Fläche (Thünen-Ansatz) bei einer Wasserstandsanhörung um 20 cm auf 90% der betroffenen Fläche (knapp 80.000 ha) mit Bewirtschaftungseinschränkungen zu rechnen ist, prognostizieren rein auf dem Digitalen Geländemodell basierende Ansätze Bewirtschaftungshemmnisse auf knapp 60%, so dass noch gut 40% der Fläche ohne Einschränkungen bewirtschaftet werden könnten.

3. Treibhausgaseinsparpotenziale

- Sowohl bei vollständiger als auch bei moderater Wasserstandsanhhebung (um 20 cm) sind knapp 90% der möglichen Treibhausgaseinsparungen dem LULUCF-Sektor zuzurechnen. Die restlichen 10% sind zum überwiegenden Teil dem Sektor Landwirtschaft gutzuschreiben und fallen im Wesentlichen infolge der reduzierten Methanemissionen durch Tierbestandsreduktionen an. Der Rest ist dem Sektor Industrie (Rückgang der Mineraldüngerproduktion) zuzurechnen.

4. Einkommenswirkungen einer Moorrenaturierung/Wirtschaftlichkeit nasser Folgenutzungen

- Zur Abschätzung der Einkommenswirkungen einer Moorrenaturierung ist entscheidend, welche Folgenutzungen auf den vernässten Flächen möglich sind. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Wirtschaftlichkeit folgender Nutzungsalternativen untersucht: (1) Extensive Tierhaltungsverfahren, (2) Paludikultur, (3) Photovoltaik und (4) Klimapunkte/CO₂-Zertifikate. Letzteres dient der expliziten Inwertsetzung der Klimaschutzleistung vernässter Flächen und ist unter Umständen mit den anderen genannten Nutzungsalternativen kombinierbar. Der Einkommensverlust ergibt sich aus der Differenz der Deckungsbeiträge der uneingeschränkten Produktion auf drainierten Flächen und der jeweiligen nassen Folgenutzungsalternative.
- Modellrechnungen anhand eines für die Moorregionen typischen Milchviehbetriebes zeigen, dass der Übergang von der intensiven Milchviehhaltung zu einer extensiveren Milcherzeugung zu einem Erwerbsverlust von ca. 400 €/ha führen würde. Eine noch stärkere Extensivierung mit Abstockung des Viehbestands kann durch die Teilnahme an den Ökoregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und an Vertragsnaturschutzprogrammen finanziell nicht aufgewogen werden, sodass sogar noch geringfügig höhere Erwerbsverluste entstehen.
- Sofern das Grünland durch die Erhöhung der Wasserstände nicht mehr für die Grundfutterproduktion für Milchvieh genutzt werden kann, kommen eventuell extensive Rindermastverfahren wie Mutterkuhhaltung, Färsenmast oder extensive Bullenmast als Nutzungsalternative in Frage. Für diese Nutzungsformen ergeben sich – selbst bei Wahrnehmung der Förderungen durch die Ökoregelungen und Vertragsnaturschutz – nach den Modellberechnungen Erwerbsverluste von über 600 €/ha und somit deutlich höhere Einbußen als bei Extensivierung der vorhandenen Milchviehhaltung.
- Somit kann konstatiert werden, dass die gegenwärtig angebotenen Förderprogramme der Gemeinsamen Agrarpolitik nicht ausreichen, um die wirtschaftlichen Auswirkungen von Wasserstandsanhörungen in stark betroffenen Betrieben auszugleichen. Sie bieten diesen Landwirten keinen ausreichenden Anreiz für eine freiwillige Maßnahmenumsetzung.
- Die Modellrechnungen für den Anbau von Paludikulturen (am Beispiel des Anbaus von Rohrkolben) führen zu einem Erwerbsverlust von gut 500 €/ha im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung. Dieser Wert ergibt sich unter der Annahme, dass die gegenüber der in-

tensiven Milchviehhaltung einsparbare Arbeitszeit zu 20 €/AKh verwertet wird – eine vielleicht nicht immer zutreffende Prämisse. Wenn die Arbeit nicht zu den genannten Konditionen alternativ verwertet werden kann, steigen die Erwerbsverluste weiter.

- Hinsichtlich der Flächeneignung zur Etablierung von Anbaupaludikulturen (z.B. Rohrkolben) ist zu bedenken, dass sich der Anbau derzeit auf Ackerland beschränkt. Der Schutz von Dauergrünland im Rahmen der GAP-Konditionalitätenverordnung (mit nicht eindeutig geregelten Ausnahmemöglichkeiten für den Anbau von Paludikulturen) sowie das schleswig-holsteinische Dauergrünlanderhaltungsgesetz stehen einer Ausweitung des Anbaus von Paludikulturen entgegen. Zusätzlich wird die potenzielle Eignungsfläche durch Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete und Naturschutzgebiete eingeschränkt.
- Von den insgesamt betroffenen rund 86.000 ha LN eignen sich unter diesen Vorgaben ca. 17.000 LN ha für den Anbau von Paludikulturen. In der stark betroffenen Eider-Treene-Niederung kommen lediglich 132 ha LN für Anbaupaludikulturen in Frage – zu wenig, um den Betrieben ein wirtschaftliches Standbein zu bieten. Im Oldenburger Graben eignen sich 564 ha LN für den Paludikulturanbau.
- Freiflächen-Photovoltaik (PV) ist die einzige nasse Folgenutzung, die potenziell zu einer Einkommenssteigerung im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung führen kann. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist die Entfernung der Anlage zu möglichen Einspeisepunkten. Nach unseren Modellberechnungen

rechnet sich eine Moor-PV-Anlage mit einer Leistung von 10.000 kWp (11 ha Fläche) bei der gegenwärtigen Einspeisevergütung von 6,5 ct/kWh bis zu einer Entfernung von 6 km zu einem möglichen Einspeisepunkt. Beispielsweise könnte ein Investor bei 3 km Entfernung eine Flächenpacht von gut 2.200 €/ha zahlen – mehr als mit intensiver Milchviehhaltung im Schnitt an Deckungsbeitrag zu erwirtschaften ist.

- Die Etablierung von Moor-PV-Anlagen wird rechtlich durch ausgewiesene Schutzgebiete und ökonomisch durch starke Moormächtigkeit beschränkt. Gerade in der Eider-Treene-Niederung liegen viele Flächen (insgesamt 3.500 ha LN) in Schutzgebieten; 5.500 ha LN weisen eine Torfmächtigkeit von über 3 Meter auf, so dass nach Experteninformationen hohe Gründungskosten der Anlagen deren Rentabilität in Frage stellen. Beide Ausschlusskriterien umfassen zusammen eine Fläche von 7.300 ha LN, da sich die Flächen zum Teil überlappen. Somit sind nur 40% der LN in den Mooren der Eider-Treene-Niederung (ungefähr 4.700 ha) potenziell für Freiflächen-PV-Anlagen geeignet. Der überwiegende Teil dieser Flächen liegt jedoch in einer Entfernung von mehr als 6 km zu möglichen Einspeisepunkten, so dass Moor-PV-Anlagen in der Eider-Treene-Niederung bei der gegenwärtigen Einspeisevergütung nicht wirtschaftlich zu betreiben sein dürften.
- Insgesamt liegen gut 74.000 ha LN der gesamten betroffenen Region (ca. 86.000 ha LN) nicht in Schutzgebieten, sodass – vorbehaltlich der Begrenzung durch zu starke Moormächtigkeit – Freiflächen-PV

als Folgenutzung technisch möglich wäre.

- Die im Rahmen des „Solarpakets 1“ der Bundesregierung in Aussicht gestellte Einspeisevergütung von bis zu 9,4 ct/kWh dürften auch in den weniger geeigneten Gebieten die Entfernung zum Einspeisepunkt sowie die Moormächtigkeit als rentabilitätsbegrenzende Faktoren in den Hintergrund rücken lassen und Moor-PV-Anlagen stark nach vorne bringen.
- Der freiwillige Kohlenstoffmarkt bietet Landwirten die Möglichkeit, die Klimaschutzleistung wiedervernässter Flächen in Wert zu setzen. In Schleswig-Holstein bietet die Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein mit den sogenannten Klimapunkten Flächeneigentümern die Möglichkeit, ihre Vernässungsrechte an die Stiftung zu verkaufen. Die Kompensation für eine auf 30 Jahre angelegte, grundbuchlich abgesicherte Wiedervernässung ergibt sich als Produkt aus dem CO₂-Preis und der insgesamt zu erwartenden Menge an eingesparten Treibhausgasen und einem Arrondierungsfaktor. Die Vergütung dieses Vernässungsrechts liegt in einer Größenordnung, die den Kauf von Ersatzflächen außerhalb der Moorregionen ermöglicht. Eine Nutzung der Fläche während des Verpflichtungszeitraums für landwirtschaftliche Zwecke liegt im Ermessen der Stiftung Naturschutz und dürfte die Akzeptanz dieses Modells entscheidend beeinflussen.
- Abgesehen von Einzelfällen gesamtbetrieblicher Vernässung (Klimapunkte als Geschäftsmodell) dürfte die Inwertsetzung der Klimaschutzleistung durch Verkauf der

Vernässungsrechte im Wesentlichen auf Betriebe beschränkt bleiben, die einzelne Moorflächen bewirtschaften, aber ansonsten nicht auf kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen wirtschaften und den Verlust der Moorflächen abpuffern können.

5. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für einen effektiven Moorschutz im Rahmen der Niederungsstrategie

Für die Gestaltung von Politikmaßnahmen im Rahmen eines angepassten Niederungsmanagements lassen sich aus den Ergebnissen dieser Studie folgende Hinweise ableiten:

- Da in Schleswig-Holstein die potenziell von einer Wasserstandsanhhebung betroffenen Moor- und Anmoorflächen der Niederungen regional stark konzentriert auftreten, sind Politikmodelle gefragt, die zusammenhängende Flächen unterschiedlicher Eigentümer in den Fokus nehmen und nicht nur Einzelflächen adressieren. Mögliche Politikmaßnahmen sollten daher Anreizmechanismen für eine räumliche Koordination von freiwilligen Moorschutzmaßnahmen enthalten. Es bieten sich beispielsweise Fördermöglichkeiten wie ein Nachbarschaftsbonus oder ein Gebietsbonus an. Hierbei handelt es sich um Zusatzzahlungen, die gewährt werden, wenn aneinandergrenzende Flächen zweier oder mehrerer Eigentümer oder Bewirtschafter gemeinsam wiedervernässt werden.
- Da gut 40% der Betriebe in der betroffenen Region liegen, die mit weniger als 20% ihrer Betriebsfläche von potenziellen Wasserstandsanhörungen betroffen sind, dürfte ein spezifisch auf diese Be-

etriebe zugeschnittenes Flächentauschmodell mit großer Wahrscheinlichkeit gut angenommen werden. Vielleicht kommt für diese Betriebe auch eine geförderte nasse Nutzung der Flächen in Frage. Hier dürften moderate Förderprämien ausreichen, da diese Betriebe vergleichsweise leicht zu realisierende Anpassungsoptionen haben werden.

- Für die 23% der betroffenen Betriebe (gut 900 Betriebe insgesamt), die mehr als 60% ihrer Flächen in der betroffenen Region bewirtschaften, sollte über ein speziell auf diese Gruppe zugeschnittenes Umsiedelungsprogramm nachgedacht werden. Für beide Programme (Flächentausch und Umsiedelung) könnte der Landgesellschaft Schleswig-Holstein eine prominente Rolle zukommen. Konkrete Ausgestaltungsvorschläge werden in Kapitel 6 gemacht.
- Kleinbetriebe mit weniger als 30 ha LN machen rund ein Drittel der betroffenen Antragsteller in den beiden Fokusregionen aus. Im Schnitt bewirtschaften diese Betriebe ca. 50% ihrer Fläche auf Moorstandorten. Wir empfehlen daher, diese Betriebe im Rahmen der Politikentwicklung besonders in den Fokus zu nehmen und maßgeschneiderte Lösungen anzubieten. Konkrete Empfehlungen hierzu in Kapitel 6.
- Für die Politik stellt sich ferner die Frage, welche Folgenutzungen in den Fokus genommen werden sollten. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist hierfür als Maßstab die Höhe der spezifischen THG-Vermeidungskosten heranzuziehen: Es sollten diejenigen Nutzungen propagiert werden, die zu den geringsten Vermeidungskosten je Tonne CO₂-Äquivalent führen. Ausgehend von einer

Nutzung der bisherigen Moorfläche für intensive Milchviehhaltung werden die Vermeidungskosten im Rahmen dieser Analyse als Quotient der Veränderung des Einkommens in der Landwirtschaft und der Veränderung der THG-Emissionen berechnet.

- Nach diesem Kriterium schneidet die Freiflächen-PV mit Abstand am besten ab: Sie vermeidet im Vergleich zur Milchviehhaltung gut 43 t CO₂-Äq/ha und erzielt einen höheren Deckungsbeitrag, sofern anlagennahe Einspeisepunkte zur Verfügung stehen. Dies führt zu negativen Vermeidungskosten und somit zu einer Win-win-Situation für Klimaschutz und Einkommen. Zu beachten ist jedoch, dass die potenzielle Eignungsfläche für Photovoltaik aufgrund von Schutzgebieten, Moormächtigkeit und Zugang zum Stromnetz stark begrenzt ist.
- Der Verkauf von Klimapunkten weist mit -3,0 €/t CO₂-Äq die zweitniedrigsten spezifischen Vermeidungskosten auf. Dieser Wert ergibt sich unter der Annahme, dass die freiwerdende Arbeitszeit in anderen Bereichen einer wirtschaftlichen Verwertung zugeführt werden kann. Eine landwirtschaftliche Wertschöpfung findet in der Regel auf den Klimapunkteflächen auf lange Sicht nicht mehr statt. Wird eine Nutzung, z.B. mit Paludikulturen, ermöglicht, sind eine geringfügige Wertschöpfung und weiter abnehmende Vermeidungskosten zu erwarten.
- Die Verfahren der extensiven Tierhaltung und der Anbau von Paludikulturen weisen positive Vermeidungskosten auf. Paludikultur ist zwar betriebswirtschaftlich weniger attraktiv als extensive Tierhaltung

- (geringerer Deckungsbeitrag), bietet aber ein höheres THG-Einsparpotenzial. Beide Aspekte zusammen genommen führen zu etwa gleich hohen Vermeidungskosten je Tonne CO₂-Äquivalent. Die zu erwartende Entwicklung von Wertschöpfungsketten für Paludikultur-Biomasse könnte die spezifischen Vermeidungskosten weiter senken.
- Von den untersuchten Verfahren der extensiven Tierhaltung schneidet die „Prämienorientierte Milchviehhaltung“ mit 11,4 €/t CO₂-Äq am besten ab, gefolgt von der „Extensiven Milchviehhaltung“ mit 12,5 €/t CO₂-Äq und der „Extensiven Rindermast“ (17,5 €/t CO₂-Äq).
 - Im Vergleich zur Studie von Latacz-Lohmann et al. (2022), in der die Vermeidungskosten der Moorrenaturierung auf Werte zwischen 20 und 30 €/t CO₂-Äq beziffert wurden, liegen die in der vorliegenden Studie festgestellten Vermeidungskosten auf einem etwas niedrigeren Niveau. Das liegt an der expliziten Berücksichtigung der Wertschöpfung aus den nassen Folgenutzungen sowie deren zusätzlichen Einsparpotenzialen in anderen Berichtssektoren. Die wasserbaulichen Kosten der Wiedervernässung bleiben in beiden Studien unberücksichtigt.
 - Hinsichtlich der Verteilungswirkungen der unterschiedlichen Folgenutzungen ist insbesondere zu beachten, dass von der Förderung von Moor-PV-Anlagen nur Flächeneigentümer (als potenzielle Verpächter) profitieren. Pächter dürften direkt (durch nicht verlängerte Pachtverträge) oder indirekt (infolge eines insgesamt höheren Pachtpreisniveaus durch höhere Flächenkonkurrenz) schlechter gestellt werden. Ähnliches gilt beim Verkauf von Klimapunkten als Folgenutzung. Diese Option steht rechtlich nur Flächeneigentümern zur Verfügung.
 - Die Politikgestalter sollten ebenfalls den Einfluss einer potenziellen Wasserstandsanhhebung auf die Verkehrswerte der betroffenen Flächen im Auge haben. Sinkende Verkehrswerte können negative Rückwirkungen auf die Beleihungswerte haben, und reduzierte Beleihungswerte können die Betriebsentwicklungsmöglichkeiten im Einzelfall erheblich einschränken. Um stärker verschuldeten Betrieben die Umstellung auf nasse Folgenutzungen zu ermöglichen, sollte die Politik staatliche Bürgschaften zur Finanzierung der dafür erforderlichen Investitionen in Erwägung ziehen.

Inhaltsverzeichnis

SCHNELL GELESEN	I
INHALTSVERZEICHNIS	IX
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XI
TABELLENVERZEICHNIS	XII
1 EINLEITUNG	1
1.1 HINTERGRUND	1
1.2 AUFTRAG UND ZIELSETZUNG	1
1.3 VORGEHENSWEISE	2
2 ABGRENZUNG DER BETROFFENEN REGION	4
ZWISCHENFAZIT	7
3 BETROFFENHEIT AUS SICHT DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBE	9
3.1 STRUKTURELLE BETROFFENHEIT	9
3.2 BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE BETROFFENHEIT	13
3.3 ZWISCHENFAZIT	17
4 TREIBHAUSGASEINSPARPOTENZIALE BEI WASSERSTANDSANHEBUNG	19
4.1 DIREKTES TREIBHAUSGASEINSPARPOTENZIAL IM SEKTOR LULUCF	19
4.1.1 <i>Datengrundlage und Methodik</i>	19
4.1.2 <i>Ergebnisse für die betroffene Region</i>	22
4.1.3 <i>Ergebnisse für die Fokusregionen</i>	26
4.1.4 <i>Diskussion und Zwischenfazit</i>	27
4.2 INDIREKTES TREIBHAUSGASEINSPARPOTENZIAL IN ANDEREN BERICHTSSEKTOREN	27
4.2.1 <i>Datengrundlage und Methodik</i>	27
4.2.2 <i>Ergebnisse</i>	30
4.3 ZWISCHENFAZIT	34
5 FOLGENUTZUNGEN BEI ANGEHOBENEN WASSERSTÄNDEN	36
5.1 EXTENSIVE TIERHALTUNGSVERFAHREN	37
5.1.1 <i>Flächeneignung</i>	37
5.1.2 <i>Wirtschaftlichkeit</i>	37
5.1.3 <i>THG-Emissionen</i>	41
5.2 PALUDIKULTUR	43
5.2.1 <i>Flächeneignung</i>	43
5.2.2 <i>Wirtschaftlichkeit</i>	44
5.2.3 <i>THG-Emissionen</i>	46
5.3 PHOTOVOLTAIK	47
5.3.1 <i>Flächeneignung</i>	47
5.3.2 <i>Wirtschaftlichkeit</i>	50
5.3.3 <i>THG-Emissionen</i>	53
5.4 KLIMAPUNKTE/CO ₂ -ZERTIFIKATE	54
5.5 ZWISCHENFAZIT	55
6 EINORDNUNG DER ERGEBNISSE – SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN FÜR EINE MOORSCHUTZPOLITIK IN SCHLESWIG-HOLSTEIN .	58
LITERATURVERZEICHNIS	65

ANHANG 69
A1: SIMULATION DER WASSERSTANDSANHEBUNG IN 10 CM SCHRITTEN69

Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: VERBREITUNG VON NIEDERUNGEN IN SCHLESWIG-HOLSTEIN (NIEDERUNGSKULISSE).....	4
ABB. 2: BETROFFENE REGION (BETROFFENHEITSKULISSE) SOWIE FOKUSREGIONEN IN DIESER STUDIE..	6
ABB. 3: ANZAHL BETROFFENER LANDWIRTSCHAFTLICHER BETRIEBE UND DURCHSCHNITTLICH BETROFFENE FLÄCHE PRO BETRIEB IN SCHLESWIG-HOLSTEIN NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.	9
ABB. 4: ANZAHL BETROFFENER LANDWIRTSCHAFTLICHER BETRIEBE UND DURCHSCHNITTLICH BETROFFENE FLÄCHE PRO BETRIEB IN DER EIDER-TREENE-NIEDERUNG NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.	10
ABB. 5: ANZAHL BETROFFENER BETRIEBE UND DURCHSCHNITTLICH BETROFFENE FLÄCHE PRO BETRIEB IM OLDENBURGER GRABEN NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.....	11
ABB. 6: NUTZUNG DER BETROFFENEN FLÄCHEN IN DER BETROFFENEN REGION NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.....	11
ABB. 7: NUTZUNG DER BETROFFENEN FLÄCHEN IM OLDENBURGER GRABEN NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.....	11
ABB. 8: NUTZUNG DER BETROFFENEN FLÄCHEN IN DER EIDER-TREENE-NIEDERUNG NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.....	12
ABB. 9: VIEHDICHTE DER BETROFFENEN BETRIEBE IN SCHLESWIG-HOLSTEIN IN GV/HA NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.....	13
ABB. 10: VIEHDICHTE DER BETROFFENEN BETRIEBE IN DER EIDER-TREENE-NIEDERUNG IN GV/HA NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.....	13
ABB. 11: VIEHDICHTE DER BETROFFENEN BETRIEBE IM OLDENBURGER GRABEN IN GV/HA NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.....	13
ABB. 12: BOXPLOTS DER SCHLAGSPEZIFISCHEN MITTELWERTE DER MODELLIERTEN WASSERSTÄNDE BEI EINEM MITTLEREN SCHLAGSPEZIFISCHEN BODENKUNDLICHEN GRUNDWASSERFLURABSTAND VON WENIGER ALS 20 CM.....	20
ABB. 13: BOXPLOTS DER SCHLAGSPEZIFISCHEN MITTELWERTE DER MODELLIERTEN WASSERSTÄNDE BEI EINEM MITTLEREN SCHLAGSPEZIFISCHEN BODENKUNDLICHEN GRUNDWASSERFLURABSTAND VON 20 BIS 40 CM.....	21
ABB. 14: BOXPLOTS DER SCHLAGSPEZIFISCHEN MITTELWERTE DER MODELLIERTEN WASSERSTÄNDE BEI EINEM MITTLEREN SCHLAGSPEZIFISCHEN BODENKUNDLICHEN GRUNDWASSERFLURABSTAND VON 40 BIS 80 CM.....	21
ABB. 15: ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN WASSERSTAND UND CO ₂ -C-, METHAN- UND LACHGASEMISSIONEN.	22
ABB. 16: JÄHRLICHE TREIBHAUSGASEINSPARPOTENZIALE BEI STEIGENDEN WASSERSTÄNDEN IN DER FLÄCHE NACH DREI UNTERSCHIEDLICHEN ANSÄTZEN ZUR MODELLIERUNG DER WASSERSTÄNDE IN DER BETROFFENHEITSKULISSE GEMÄß ABBILDUNG 2.....	23
ABB. 17: FOLGEN DER WASSERSTANDSANHEBUNG IN DER FLÄCHE NACH DEM THÜNEN-ANSATZ ZUR MODELLIERUNG DER WASSERSTÄNDE IN DER FLÄCHE.	25
ABB. 18: FOLGEN DER WASSERSTANDSANHEBUNG IN DER FLÄCHE NACH DEM DGM3-ANSATZ ZUR MODELLIERUNG DER WASSERSTÄNDE IN DER FLÄCHE.	26
ABB. 19: TREIBHAUSGASEINSPARPOTENZIALE IN DER BETROFFENHEITSKULISSE ÜBER ALLE SEKTOREN IN DEN VERSCHIEDENEN SZENARIEN.	33
ABB. 20: FLÄCHENEIGNUNG FÜR ANBAUPALUDIKULTUREN IN DER BETROFFENEN REGION.	45
ABB. 21: FLÄCHENEIGNUNG FÜR FREIFLÄCHEN-PV-ANLAGEN IN DER BETROFFENEN REGION.	49
ABB. 22: FLÄCHENEIGNUNG FÜR FREIFLÄCHEN-PV-ANLAGEN IN DER EIDER-TREENE-NIEDERUNG.	49
ABB. 23: 6 KM PUFFER UM DAS HOCH- UND HÖCHSTSPANNUNGSNETZ IN SCHLESWIG-HOLSTEIN ZUR ABBILDUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEITZONE VON MOOR-PV-ANLAGEN.	53

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: BETROFFENE LANDWIRTSCHAFTLICHE NUTZFLÄCHEN NACH INVEKOS-DATEN AUS 2021.....	7
TABELLE 2: ANZAHL DER BETROFFENEN BETRIEBE MIT TIER- UND RINDERHALTUNG NACH INVEKOS-DATEN FÜR DAS JAHR 2021.....	12
TABELLE 3: TYPISCHE BETRIEBE IN DER FOKUSREGION EIDER-TREENE-NIEDERUNG.....	14
TABELLE 4: TYPISCHE BETRIEBE IN DER FOKUSREGION OLDENBURGER GRABEN.....	15
TABELLE 5: DECKUNGSBEITRÄGE UND GEWINNE IN DER FOKUSREGION EIDER-TREENE-NIEDERUNG IM MITTEL DER WIRTSCHAFTSJAHRE 2016/17 BIS 2018/19.....	16
TABELLE 6: DECKUNGSBEITRÄGE UND GEWINNE IN DER FOKUSREGION OLDENBURGER GRABEN IM MITTEL DER WIRTSCHAFTSJAHRE 2016/17 BIS 2018/19.....	16
TABELLE 7: JÄHRLICHE TREIBHAUSGASEMISSIONEN UND TREIBHAUSGASEINSPARPOTENZIALE BEI STEIGENDEN WASSERSTÄNDEN IN DER FLÄCHE NACH DREI UNTERSCHIEDLICHEN MODELLIERUNGSANSÄTZEN DER WASSERSTÄNDE IN DER BETROFFENHEITSKULISSE.....	24
TABELLE 8: TREIBHAUSGASEINSPARPOTENZIALE IN DEN FOKUSREGIONEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN WASSERSTANDSANHEBUNGEN.....	26
TABELLE 9: ÄNDERUNG DER TIERBESTÄNDE BEI EINER WASSERSTANDSANHEBUNG UM 20 CM UND BEI OBERFLÄCHENNAHEN WASSERSTÄNDEN IN DER BETROFFENHEITSKULISSE MIT UND OHNE INNERBETRIEBLICHEN ANPASSUNGSREAKTIONEN.....	31
TABELLE 10: FLÄCHENNUTZUNG BEI EINER WASSERSTANDSANHEBUNG UM 20 CM UND BEI OBERFLÄCHENNAHEN WASSERSTÄNDEN IN DER BETROFFENHEITSKULISSE MIT UND OHNE INNERBETRIEBLICHEN ANPASSUNGSREAKTIONEN.....	31
TABELLE 11: INDIREKTE TREIBHAUSGASEINSPARPOTENZIALE BEI EINER WASSERSTANDSANHEBUNG UM 20 CM UND BEI OBERFLÄCHENNAHEN WASSERSTÄNDEN IN DER BETROFFENHEITSKULISSE MIT UND OHNE INNERBETRIEBLICHEN ANPASSUNGSREAKTIONEN.....	33
TABELLE 12: BEISPIELBETRIEB ZUR BEWERTUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT DER FOLGENUTZUNGSAKTIVITÄTEN.....	37
TABELLE 13: WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN EINES ÜBERGANGES DES BEISPIELBETRIEBES ZUR EXTENSIVEN MILCHERZEUGUNG.....	38
TABELLE 14: WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN EINES ÜBERGANGES DES BEISPIELBETRIEBES ZUR PRÄMIENORIENTIERTEN, EXTENSIVEN MILCHERZEUGUNG.....	39
TABELLE 15: WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN EINES ÜBERGANGES DES BEISPIELBETRIEBES ZUR PRÄMIENORIENTIERTEN, EXTENSIVEN RINDERMAST.....	40
TABELLE 16: THG-EMISSIONEN DER VIEHHALTUNGSBASIERTEN FOLGENUTZUNGEN IM VERGLEICH ZUR INTENSIVEN MILCHVIEHHALTUNG.....	42
TABELLE 17: BEISPIELHAFTER DECKUNGSBEITRAGSKALKULATION FÜR DEN ROHRKOLBENANBAU.....	45
TABELLE 18: EINKOMMENSITUATION DES BEISPIELBETRIEBES BEIM ÜBERGANG ZUM ROHRKOLBENANBAU AUF GRÜNLAND.....	46
TABELLE 19: THG-EMISSIONEN DES PALUDIKULTURANBAUS AM BEISPIEL ROHRKOLBEN.....	47
TABELLE 20: ANNAHMEN ZUR KALKULATION DER LEISTUNGS-KOSTENDIFFERENZ FÜR KONVENTIONELLE FREIFLÄCHEN-PV-ANLAGEN UND MOOR-PV-ANLAGEN.....	51
TABELLE 21: ERMITTLUNG DER LEISTUNGS-KOSTENDIFFERENZ VON KONVENTIONELLER FREIFLÄCHEN-PV IM VERGLEICH ZUR MOOR-PV BEI UNTERSCHIEDLICHEN ENTFERNUNGEN ZUM EINSPEISEPUNKT. ..	52
TABELLE 22: THG-EMISSIONEN DER FLÄCHENPFLEGE EINER MOOR-PV-ANLAGE.....	54
TABELLE 23: THG-VERMEIDUNGSKOSTEN DER FOLGENUTZUNGSAKTIVITÄTEN WIEDERVERNÄSSTER FLÄCHEN.....	62

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Ein Fünftel der Landesfläche Schleswig-Holsteins liegt in den Niederungsgebieten mit Geländehöhen von weniger als 2,5 Meter Normalhöhennull. Räumlich konzentrieren sich diese Flächen vor allem an der Westküste, in den Elbmarschen und in den großen Flussniederungen. Hinzu kommen einige tiefliegende Flächen an der Ostseeküste. In diesen Bereichen bestehen große Herausforderungen für die Wasserwirtschaft und die Landnutzung, sich an ein veränderndes Klima sowie an gewandelte gesellschaftliche Ansprüche wie Treibhausgasneutralität oder Biodiversitätsschutz anzupassen.

Die Landwirtschaft als größter Flächenbewirtschafter in den Niederungen sieht sich besonderen Anpassungserfordernissen gegenübergestellt. Im ersten Schritt ergibt sich der Anpassungsbedarf aufgrund des Klimawandels auf sackungsgefährdeten Böden. Gut ein Drittel der Niederungsfläche besteht aus kohlenstoffreichen Böden. Hierbei handelt es sich zum überwiegenden Teil um drainiertes Dauergrünland, welches überwiegend durch intensive Milchviehhaltung genutzt wird. Die entwässerungsbedingten Treibhausgasemissionen aus diesen Böden machen ca. 20% der gesamten Treibhausgasemissionen Schleswig-Holsteins aus. Gleichzeitig zeichnen sich die Niederungen durch einen hohen Anteil ökologisch bedeutsamer Bereiche aus. Gegenwärtig sind etwa 10% der Niederungen als Natura 2000-Flächen oder Naturschutzgebiete geschützt und unterliegen spezifischen Nutzungsaufgaben.

Für die erforderlichen Anpassungen wird bis Ende 2024 von der schleswig-

holsteinischen Landesregierung eine langfristige Strategie für die Zukunft der Niederungen erarbeitet. Erste Eckpunkte wurden im Papier „Niederungsstrategie 2100“ festgelegt. Mit der Niederungsstrategie bis 2100 soll ein generationsübergreifender Anpassungsprozess initiiert werden, in dem die eng miteinander verknüpften Akteure und Handlungsfelder der Wasser- und Landwirtschaft, des Natur-, Gewässer- und Klimaschutzes sowie der Raumplanung zusammengeführt werden. Politisches Ziel ist es, die Anpassungsprozesse so zu gestalten, dass auch weiterhin eine Wertschöpfung in den Niederungen ermöglicht wird.

Um sich ein erstes Bild von der Betroffenheit der Landwirtschaft in den Niederungen zu machen, wurde vom Jülich Forschungszentrum im Auftrag des Landwirtschafts- und Umweltministeriums (MELUND) eine GIS-basierte räumliche Betroffenheitsstudie erstellt (Ta und Tetzlaff, 2021). Die Betroffenheit ergab sich in dieser Studie aus verschiedenen Parametern wie der Geländehöhe, dem Anteil kohlenstoffreicher Böden und der Anzahl der Entwässerungsanlagen.

1.2 Auftrag und Zielsetzung

In der vorliegenden Studie sollen aufbauend auf der räumlichen Betroffenheitsanalyse von Ta und Tetzlaff (2021) die Kosten eines angepassten Niederungsmanagements für die Landwirtschaft vor dem Hintergrund möglicher Folgenutzungsalternativen abgeschätzt werden. Dazu gehören Maßnahmen zur Landbewirtschaftung bei flurnahen Wasserständen (z.B. Paludikulturen), die Etablierung von alternativen Produktionsschwerpunkten (z.B. Freiflächen-Photovoltaik),

wie auch die Renaturierung von Teilbereichen im Sinne des Klima-, Natur- oder Hochwasserschutzes. Bei den betrachteten Maßnahmen sollen natur-schutzfachliche Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Ferner sollen Szenarien entwickelt werden, um abzuschätzen, welche der Folgenutzungsalternativen unter Berücksichtigung bundes- und landesspezifischer Förderprogramme den Betrieben eine wirtschaftliche Perspektive versprechen. Zusätzlich sollten die Maßnahmen vor dem Hintergrund erbrachter Gemeinwohlleistungen analysiert werden. Hierzu zählt insbesondere der Klimaschutz und die Wirkung auf die Treibhausgasinventare Schleswig-Holsteins. Im Ergebnis der Analysen sollen Aussagen zu der ökonomischen Betroffenheit und dem Beitrag zu den Klima- und Umweltschutzziele durch die Vernässung landwirtschaftlich genutzter Teilbereiche der Niederungen in Schleswig-Holstein getroffen werden. Es sollen dabei die einzelbetrieblichen Einschränkungen unter Berücksichtigung der möglichen Einkommensalternativen beachtet werden.

1.3 Vorgehensweise

Methodisch kombiniert die vorliegende Studie eine GIS-basierte Simulation erhöhter Wasserstände in den Mooren der Niederungen mit einer auf Emissionsfaktoren bzw. funktionalen Zusammenhängen beruhenden Abschätzung der sich daraus ergebenden Treibhausgaseinsparungen sowie einer betriebswirtschaftlichen Analyse möglicher Folgenutzungen wiedervernässter Flächen. Im ersten Schritt werden die Wasserstände GIS-basiert in 10 cm-Schritten bis zu einem Zielwasserstand von 10 cm unter Geländeoberkante angehoben. Im zweiten Schritt wird schlagspezifisch analysiert, wieviel Fläche (und welche Flächen) durch

die jeweiligen Wasserstandanhebungen in ihrer Nutzbarkeit eingeschränkt sind. Im letzten Schritt werden die damit einhergehenden Treibhausgaseinsparungen sowie der Verlust an landwirtschaftlicher Wertschöpfung unter Berücksichtigung möglicher Folgenutzungen quantifiziert. Durch Division des jeweiligen Wertschöpfungsverlustes durch die eingesparten Treibhausgasmenge werden die Treibhausgas-Vermeidungskosten je Tonne CO₂-Äquivalent bei unterschiedlichen Folgenutzungen abgeschätzt. Während die beschriebenen Analysen für die gesamten betroffenen kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen (gut 86.000 ha LN) durchgeführt werden, dienen zwei große zusammenhängende Moorregionen, die Eider-Treene-Niederung und der Oldenburger Graben, als Fokusregionen für eine vertiefte Betrachtung einzelner Aspekte.

Die vorliegende Studie gliedert sich in sechs Kapitel. Kapitel 2 grenzt aufbauend auf der räumlichen Betroffenheitsanalyse des Jülich Forschungszentrums (Ta und Tetzlaff, 2021) die betroffene Region präzise ab und definiert damit den Betrachtungsgegenstand für die weiteren Untersuchungen. Dieser umfasst gut 86.000 landwirtschaftlich genutzte kohlenstoffreiche Böden, die in der Niederungskulisse Schleswig-Holsteins gelegen sind.

Kapitel 3 beinhaltet eine Analyse der Betroffenheit aus Sicht der landwirtschaftlichen Betriebe. Im ersten Teil des Kapitels (strukturelle Betroffenheitsanalyse) wird dargelegt, wie viele Betriebe in der betroffenen Region von potenziellen Wasserstandsanhebungen betroffen wären, welche Anteile der Betriebsfläche jeweils betroffen wären und wie die betroffenen Flächen gegenwärtig genutzt werden. Der zweite Teil des Kapitels widmet sich

der betriebswirtschaftlichen Betroffenheit. Für typische Betriebe in Moorregionen werden die Einkommensbeiträge ermittelt, auf die die Betriebe bei Verlust von Produktionsfläche (und somit Wegfall der gegenwärtigen Nutzung) infolge einer Wasserstandsanhhebung verzichten müssten. Die abgeleiteten Werte bilden die Einstiegsgröße für Erwerbsverlustkalkulationen infolge einer Wiedervernässung.

In Kapitel 4 wird das Treibhausgasinsparpotenzial über alle Berichtssektoren der nationalen Klimaberichterstattung abgeschätzt. Hierzu wird wie oben beschrieben der Grundwasserflurabstand in der betroffenen Region schrittweise in 10 cm Schritten angehoben und die damit einhergehenden THG-Einsparungen festgehalten. Für die beiden Fokusregionen, Eider-Treene-Niederung und Oldenburger Graben, werden zwei Szenarien detaillierter betrachtet: Eine Anhebung des Grundwasserstandes um 20 cm (unabhängig vom Ausgangswasserstand bis maximal 10 cm unter Geländeoberkante) sowie eine ganzjährige Anstauung auf allen Teilschlägen von ca. 10 cm unter Geländeoberfläche – letzteres zur Ermittlung des maximal zu erreichenden Einsparpotenzials.

Kapitel 5 widmet sich der Wirtschaftlichkeit und den Wertschöpfungsbeiträgen möglicher nasser Folgenutzungen. Folgende Nutzungsalternativen werden im Detail betrachtet: (1) Extensive Tierhaltungsverfahren, (2)

Paulidikultur, (3) Photovoltaik und (4) Klimapunkte/CO₂-Zertifikate. Die letztgenannte Alternative dient der expliziten Inwertsetzung der Klimaschutzleistung vernässter Flächen und ist u.U. mit den anderen genannten Nutzungsalternativen kombinierbar. Die Kosten des Klimaschutzes durch Moorrenaturierung ergeben sich aus der Differenz der Einkommensbeiträge der gegenwärtigen Nutzung (z.B. intensive Milchviehhaltung) und der jeweiligen Folgenutzung. Dividiert man diese Einkommensdifferenz durch die jeweils einsparbaren THG-Emissionen, erhält man die spezifischen THG-Vermeidungskosten in Euro pro Tonne CO₂-Äquivalent. Anhand dieser Größe lassen sich die besonders kosteneffizienten Folgenutzungen identifizieren.

Kapitel 6 fasst die wesentlichen Ergebnisse der Studie knapp zusammen und leitet daraus Hinweise für die Gestaltung von Politikmaßnahmen zum Moorschutz ab.

Die vorliegende Studie schließt sich inhaltlich an das Gutachten von Latacz-Lohmann et al. (2022) an, welches eine ökonomische Analyse verschiedener landwirtschaftlicher Klimaschutzmaßnahmen im Hinblick auf ihre Potenziale zur Erreichung der schleswig-holsteinischen Klimaschutzziele zum Gegenstand hatte. Die Studie vertieft den im Gutachten von 2022 nur vergleichsweise oberflächlich behandelten Aspekt des Klimaschutzes durch Moorschutz.

2 Abgrenzung der betroffenen Region

Um die ökonomische Betroffenheit eines angepassten Niederungsmanagements bestimmen zu können, muss zuerst die betroffene Region abgegrenzt werden. Grundlage für die Bestimmung der betroffenen Flächen war die Niederrungskulisse (vgl. Abb. 1) aus der GIS-basierten Betroffenheitsanalyse für die Niederungen

Schleswig-Holsteins des Jülich Forschungszentrums (Ta und Tetzlaff, 2021). Die Begrenzung auf die Niederungen erfolgte, da hier einerseits besonders großer Anpassungs- und Handlungsbedarf besteht und andererseits gleichzeitig die größten Zielkonflikte zwischen den unterschiedlichen Akteuren vor Ort zu bewältigen sind.

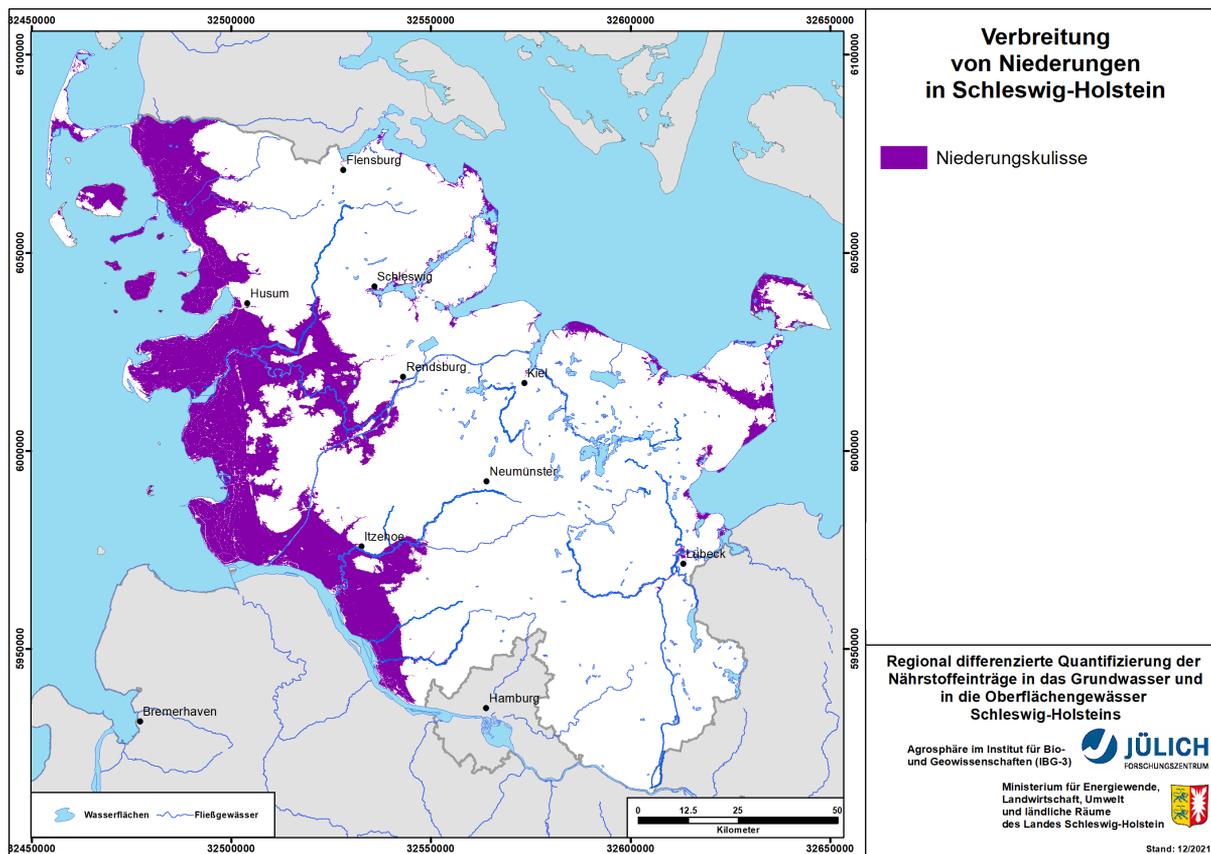


Abb. 1: Verbreitung von Niederungen in Schleswig-Holstein (Niederrungskulisse).

Quelle: Ta und Tetzlaff (2021)

Für die Auswertung im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die betroffenen Flächen anhand einer eigenen GIS-Analyse genauer spezifiziert. Hierfür wurden Verschnitte, Vereinigungen und weitere Werkzeuge der Software QGIS angewendet. Im ersten

Schritt wurde der Datensatz der betroffenen Flächen zunächst auf die-jenigen reduziert, die landwirtschaftlich genutzt werden. Als Datenbasis dienten die digitalen Flächenkarten der Sammelanträge im Rahmen der EU-Direktzahlungen (InVeKoS-Daten) aus

dem Jahr 2021 der Betriebe in Schleswig-Holstein, welche Moorflächen bewirtschaften. Diese wurden vom MLLEV zur Verfügung gestellt. Die Zuordnung der Flächen zu den pseudonymisierten Einzelbetrieben gaben Aufschluss über die Anbaukulturen nach Sammelantrag 2021 im Rahmen der EU-Direktzahlungen. Insbesondere diese Daten waren für die ökonomische Betroffenheitsanalyse sehr wertvoll, da je nach Flächennutzung unterschiedlich hohe Erwerbsverluste durch eine Wasserstandsanhhebung zu erwarten sind.

Die Niederrungskulisse nach Jülich Forschungsinstitut umfasst auch stark entwässerte Regionen der Marschen, deren Böden nicht kohlenstoffreich sind. Durch einen weiteren Verschnitt mit den Moor- und Anmoorböden gemäß Dauergrünlanderhaltungsgesetz (DGLG) (LLUR SH, 2014) konnte die Analyse auf kohlenstoffreiche Böden beschränkt werden. So werden in der vorliegenden Studie ca. 86.100 ha Hoch- und Niedermoor, Anmoor, Mudde und überdecktes Moor auf landwirtschaftlicher Nutzfläche innerhalb der Niederrungskulisse betrachtet. Das sind gut 85% der 101.588 ha LN großen Kulisse der Moor- und Anmoorböden nach DGLG 2014 und 56% insgesamt.

Weiterhin erfolgte eine Vereinigung mit den Naturschutz- (LLUR SH, 2019b), FFH- (LLUR SH, 2019) und Vogelschutzgebieten (LLUR SH, 2023b), welche im Folgenden unter dem Begriff Schutzgebiete zusammengefasst werden. Diese Informationen sind für die später thematisierte Folgenutzung von Bedeutung.

Anhand der Verbreitung der kohlenstoffreichen Böden in Schleswig-Holstein wurden außerdem zwei Fokusregionen festgelegt, welche in der räumlichen und ökonomischen Betroffenheit genauer untersucht wurden: das Gebiet der Eider-Treene-Niederung, sowie der Oldenburger Graben. Die beiden Fokusregionen wurden aufgrund ihrer besonderen Betroffenheit und ihrer unterschiedlichen landwirtschaftlichen Nutzung (reine Grünlandwirtschaft versus Grünlandnutzung und Ackerbau) ausgewählt. Die wasserwirtschaftliche Umsetzbarkeit einer Wasserstandsanhhebung und die THG-Einsparpotenziale spielten bei der Definition der Fokusregionen keine Rolle.

Die Flusslandschaft der Eider-Treene-Sorge ist das größte zusammenhängende Moorgebiet Schleswig-Holsteins. Betriebe in dieser Region wären von einer Wasserstandsanhhebung stark betroffen, da sie vorrangig auf entwässertem Grünland wirtschaften. Die Betriebe sind fast ausschließlich auf die Rinderhaltung zur Milch- oder Fleischerzeugung spezialisiert (BfN, 2023). Die Abgrenzung der Gemeinden, welche zu dieser Fokusregion gezählt werden, erfolgte auf Grundlage der Zuordnung der Gemeinden zu den Naturräumen (MELUND, 2020).

Beim Oldenburger Graben handelt es sich um ein großes Niederungsgebiet an der Ostküste Schleswig-Holsteins. Im Gegensatz zur Eider-Treene-Niederung werden hier viele Flächen ackerbaulich genutzt. Die Zuordnung der Gemeinden zu dieser Region erfolgte auf Basis der Verbreitung der betroffenen Flächen. Abbildung 2 zeigt die betroffenen Regionen in Schleswig-Holstein inklusive der beiden Fokusregionen.

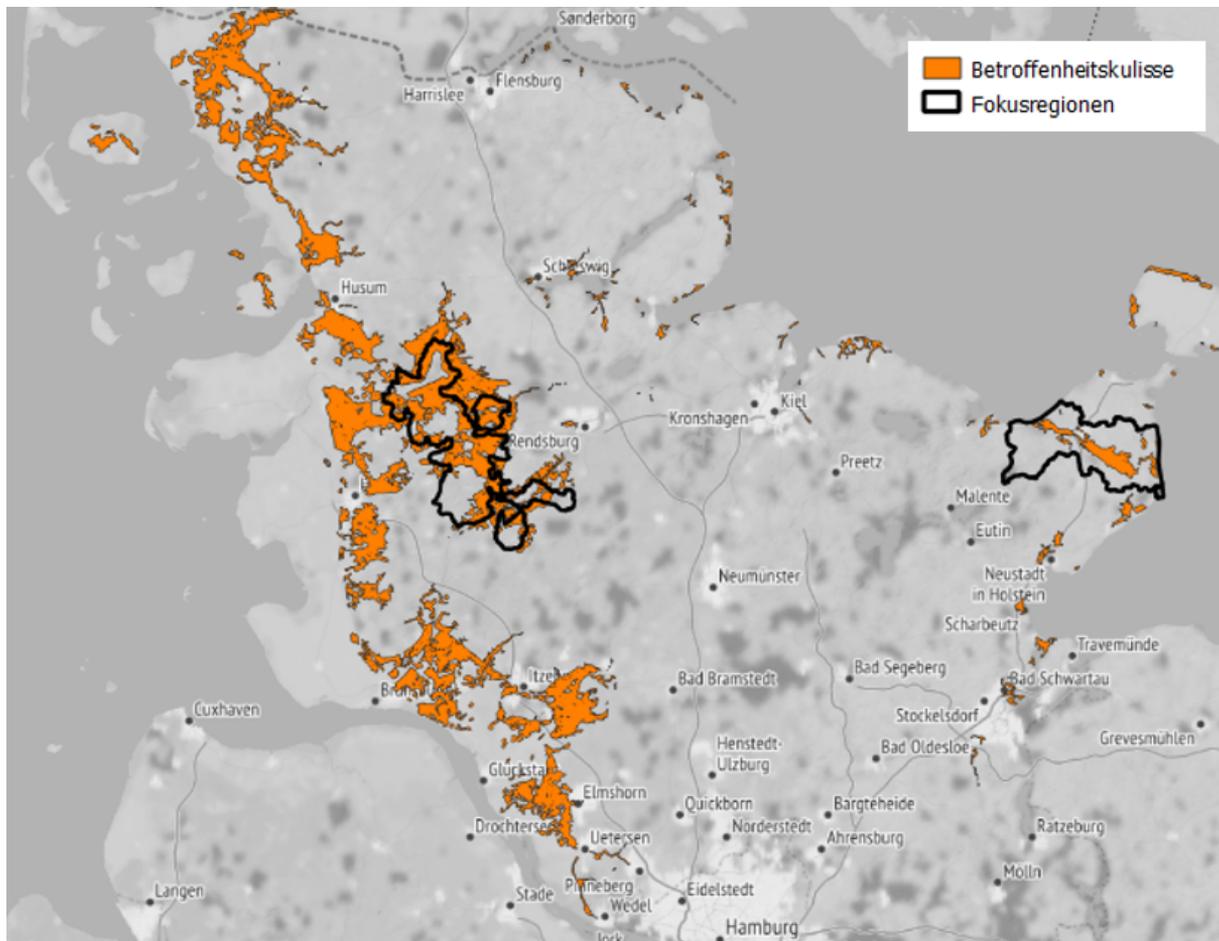


Abb. 2: Betroffene Region (Betroffenheitskulisse) sowie Fokusregionen in dieser Studie.

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 1 fasst die Ergebnisse der räumlichen Betroffenheitsanalyse zusammen. Bei den Flächenangaben handelt es sich um die gesamte Acker-, Dauergrünland-, bzw. Schutzgebietsfläche in Schleswig-Holstein sowie in den beiden Fokusregionen. Insgesamt werden in Schleswig-Holstein demnach rund 338.000 ha Dauergrünland, 662.000 ha Ackerland und 3.000 ha sonstige landwirtschaftliche Nutzfläche von antragstellenden Betrieben bewirtschaftet. In die letztgenannte Kategorie fallen unter anderem Dauerkulturen. Knapp 11.000 ha des Dauergrünlandes stehen unter Schutz.

Von der gesamten Acker- und Dauergrünlandfläche Schleswig-Holsteins fallen 114.200 ha Ackerland und 133.600 ha Grünland in die Nieder-

ungskulisse. In dieser Kulisse liegen ca. 17.300 ha Ackerland und 67.600 ha Dauergrünland auf kohlenstoffreichen Böden und werden nach der dargestellten GIS-Analyse als betroffen charakterisiert. Insgesamt wären somit circa 8,5% der gesamten Acker- und Dauergrünlandfläche Schleswig-Holsteins von einer Wasserstandsanhhebung betroffen.

Etwa 20% der Landesfläche Schleswig-Holsteins sind als Niederung klassifiziert. Ein Drittel der Niederungsfläche zeichnet sich durch kohlenstoffreiche Böden aus (MELUND, 2022c). Somit werden ca. 80% der kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen landwirtschaftlich genutzt.

In der Fokusregion Eider-Treene-Niederung werden von den insgesamt 23.564 ha LN 6.124 ha als Ackerland und 16.664 ha als Dauergrünland bewirtschaftet.

Der Anteil der betroffenen Flächen ist hier wie zu erwarten deutlich höher als in Schleswig-Holstein insgesamt. Zwei Drittel des Dauergrünlandes wären betroffen. Auffällig ist außerdem, dass es vergleichsweise wenige Flächen gibt, welche in Schutzgebieten liegen und nicht von einer Wasserstandsanhhebung betroffen wären.

In der zweiten Fokusregion, dem Oldenburger Graben, zeigt sich ein anderes Bild. Bei ca. 80% der LN handelt es sich um Ackerland. Dauergrünland spielt eine untergeordnete Rolle. Dies ist dadurch begründet, dass sämtliche Gemeinden mit einem Niederungsanteil komplett in die Fokusregion aufgenommen wurden. Daher liegt auch der Anteil der potenziell von einer Wasserstandsanhhebung betroffenen Flächen hier niedriger als in der Eider-Treene-Niederung. Trotz des geringen Grünlandanteils in der Region bildet das Dauergrünland mit knapp 75% Flächenanteil die Hauptnutzungsart der Fläche in den Niederungen.

Tabelle 1: Betroffene landwirtschaftliche Nutzflächen nach InVeKoS-Daten aus 2021 (alle Angaben in ha). Die nachfolgenden Analysen beziehen sich auf die in Fettdruck gekennzeichneten kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen.

Zeile		AL	DGL	sonst.	LN
Schleswig-Holstein					
1	gesamt	661.549	337.686	2.746	1.001.980
2	von Z. 1 in Niederungskulisse	114.245	133.649	1.989	249.883
3	von Z. 2 kohlenstoffreiche Böden	17.289	67.631	1.176	86.096
4	von Z. 3 in Schutzgebieten	125	10.888	910	11.922
Eider-Treene-Niederung					
5	gesamt	6.124	16.664	776	23.564
6	von Z. 5 kohlenstoffreiche Böden	141	11.223	698	12.062
7	von Z. 6 in Schutzgebieten	9	2.938	520	3.467
Oldenburger Graben					
8	gesamt	12.674	2.905	6	15.585
9	von Z. 8 kohlenstoffreiche Böden	602	1.653	3	2.258
10	von Z. 9 in Schutzgebieten	38	873	3	914

AL = Ackerland, DGL = Dauergrünland, sonst. = sonstige Flächen, LN = landwirtschaftliche Nutzfläche

Quelle: eigene Darstellung

Zwischenfazit

Von den rund 1 Mio. ha LN Schleswig-Holsteins sind ca. 250.000 LN ha als Niederungsflächen mit Geländehöhen von weniger als 2,5 Meter Normalhöhen null klassifiziert. Die kohlenstoffreichen Böden innerhalb dieser Niederungskulisse bilden den Fokus der vorliegenden Studie. Sie umfassen gut

86.000 ha LN ein, die sich aus 67.600 ha Grünland, 17.300 ha Ackerland und 1.200 ha sonstiger LN zusammensetzen. Dies entspricht ca. 8,5% der LN Schleswig-Holsteins. Die gesamte Moorfläche Schleswig-Holsteins ist größer. Sie umfasst neben den kohlenstoffreichen Böden in der Niederungs-

kulisse auch höhergelegene Moore außerhalb dieser Kulisse.

Die beiden näher betrachteten Fokusregionen stellen zwei großflächig zusammenhängende Moorregionen dar. Während in der Eider-Treene-Niederung (mit gut 12.000 ha LN kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen) die grünlandbasierte Milchviehhaltung dominiert, wird im Oldenburger Graben (gut 2.200 ha LN kohlen-

stoffreiche Böden in den Niederungen) auch Ackerbau auf kohlenstoffreichen Böden betrieben (ca. 600 ha LN). In der Eider-Treene-Niederung wären etwa zwei Drittel des Dauergrünlandes von einer Anhebung der Wasserstände betroffen. Ackerland spielt dort kaum eine Rolle. Auch im Oldenburger Graben sind vorwiegend die tiefergelegenen Grünlandflächen betroffen.

3 Betroffenheit aus Sicht der landwirtschaftlichen Betriebe

Um ein Gesamtbild über die betrieblichen Auswirkungen einer Wasserstandsanhhebung zu erlangen, sind die Faktoren Flächenverfügbarkeit, ursprüngliche Flächennutzung und Betriebsstruktur von Bedeutung. Diese strukturellen Aspekte werden im ersten Teil dieses Kapitels genauer betrachtet. Der zweite Teil widmet sich den wirtschaftlichen Auswirkungen einer Wasserstandsanhhebung in den betroffenen Betrieben.

3.1 Strukturelle Betroffenheit

Das Augenmerk dieses Abschnitts liegt auf der Anzahl der betroffenen Betriebe, der Flächenstruktur und der Flächennutzung.

Für die wirtschaftlichen Auswirkungen einer Wasserstandsanhhebung auf Betriebsebene ist von Bedeutung, welcher Anteil der Betriebsfläche von dieser Maßnahme betroffen wäre. Eine Verringerung des Grundwasserflurabstandes führt zu einer Einschränkung der bisherigen Bewirtschaftung. Die Flächen können dann nicht mehr wie bisher genutzt werden und müssen entweder extensiviert werden oder die Nutzung ist gänzlich einzustellen. Je größer der Anteil der betroffenen Flächen an der Gesamtfläche der Betriebe ist, desto größer fallen auch die wirtschaftlichen Verluste aus. Zusätzlich dürften in vielen Fällen die Betriebsleiter/innen in ihren Anpassungsmöglichkeiten umso stärker eingeschränkt sein, je mehr Betriebsfläche von der Wasserstandsanhhebung betroffen ist.

Die nachfolgenden Abbildungen geben zunächst einen Überblick über die Anzahl der betroffenen Betriebe und den Grad ihrer Betroffenheit gemessen am Anteil der betroffenen Fläche an der LN

des jeweiligen Betriebes nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021. Zusätzlich zeigen die Abbildungen, wieviel Fläche pro Betrieb im Mittel von einer potenziellen Wasserstandsanhhebung betroffen wäre (graue Linie).

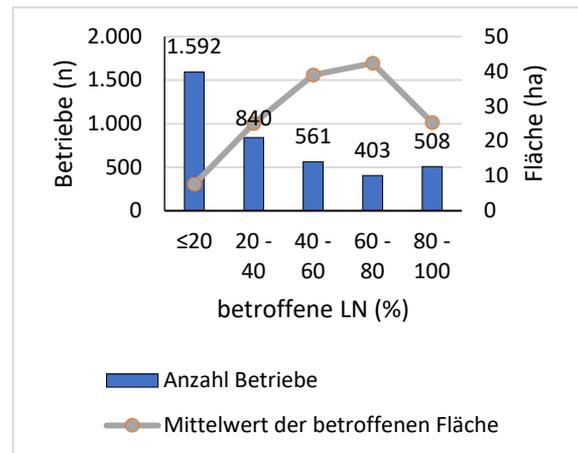


Abb. 3: Anzahl betroffener landwirtschaftlicher Betriebe (d.h. mindestens ein Schlag liegt in den kohlenstoffreichen Niederungsgebieten) und durchschnittlich betroffene Fläche pro Betrieb in Schleswig-Holstein nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

Im Jahr 2021 wurden in Schleswig-Holstein 14.132 Sammelanträge im Rahmen der EU-Direktzahlungen gestellt. Von diesen bewirtschafteten 3.904 (ca. 28% aller Antragsteller) Flächen, welche als betroffen gemäß Abb. 2 eingestuft werden. In einem Großteil der Betriebe mit Moorflächen in der Niederrungskulisse (40,8%) macht die betroffene Fläche weniger als 20% der Betriebsfläche aus. Diese Betriebe dürften i.d.R. vergleichsweise gute Anpassungsmöglichkeiten haben. Schwieriger dürfte dies in den stärker betroffenen Betrieben sein. In 403 Betrieben liegt der Anteil der betroffenen Fläche zwischen 60 und 80%, und 508 Betriebe weisen eine Flächenbetref-

fenheit von über 80% auf. Diese beiden Gruppen zusammen machen knapp ein Viertel der betroffenen Betriebe aus.

Die Angaben zur durchschnittlich betroffenen Fläche je Betrieb (graue Linie) zeigen, dass das größte Ausmaß der Flächenbetroffenheit je Betrieb in der Betroffenheitskategorie von 60 bis 80% liegt. In dieser Klasse bewirtschaften die Betriebe im Mittel 42,4 ha als betroffen eingestufte Flächen. Ein Viertel der insgesamt betroffenen Fläche ist in den Betrieben mit einer Flächenbetroffenheit von 40 bis 60% vereint: 561 Betriebe bewirtschaften in dieser Klasse im Mittel 39 ha betroffene Fläche, sodass in Summe 21.879 ha (rund ein Viertel der insgesamt betroffenen 86.000 ha) erreicht würden. Dieser Wert wird in keiner anderen Betroffenheitsklasse erreicht.

Eine ähnliche Verteilung der Betroffenheit zeigt sich auch in der Fokusregion der Eider-Treene-Niederung. Von den insgesamt 498 betroffenen landwirtschaftlichen Betrieben liegt bei 185 die Flächenbetroffenheit unter 20%. Die Anzahl der betroffenen Betriebe sinkt dann mit zunehmendem Grad der Betroffenheit. Knapp 11% aller betroffenen Betriebe (55 insgesamt) sind in der höchsten Klasse mit einer anteiligen Flächenbetroffenheit von über 80% zu finden.

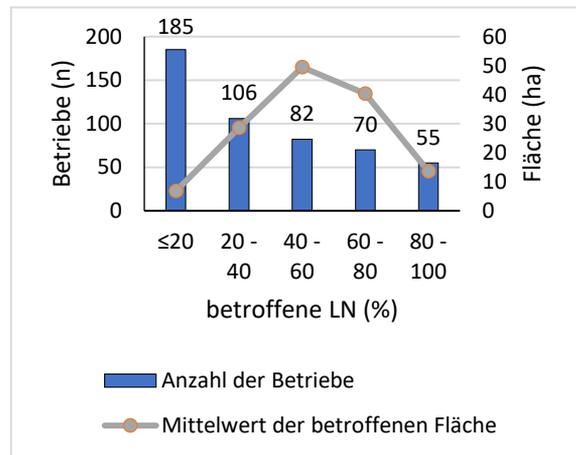


Abb. 4: Anzahl betroffener landwirtschaftlicher Betriebe (d.h. mindestens ein Schlag liegt in den kohlenstoffreichen Niederungsgebieten) und durchschnittlich betroffene Fläche pro Betrieb in der Eider-Treene-Niederung nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

Auch hier zeigt die graue Kurve der durchschnittlich betroffenen Fläche pro Betrieb eine Bogenform. Das Maximum liegt hier in der Betroffenheitsklasse von 40 bis 60% bei im Mittel 49,5 ha.

Im Oldenburger Graben sind 116 betroffene Betriebe zu finden. Nur 8 Betriebe fallen in die höchste Klasse der anteiligen Flächenbetroffenheit. Der Großteil der Betriebe (48%) befindet sich in der Betroffenheitsklasse von unter 20% und der Klasse von 20 bis 40% (23%). Die durchschnittlich betroffene Fläche je Betrieb erreicht in der Spitze einen Wert von 40 ha. In der geringsten Betroffenheitsklasse liegen im Schnitt 11 ha je Betrieb im betroffenen Gebiet.

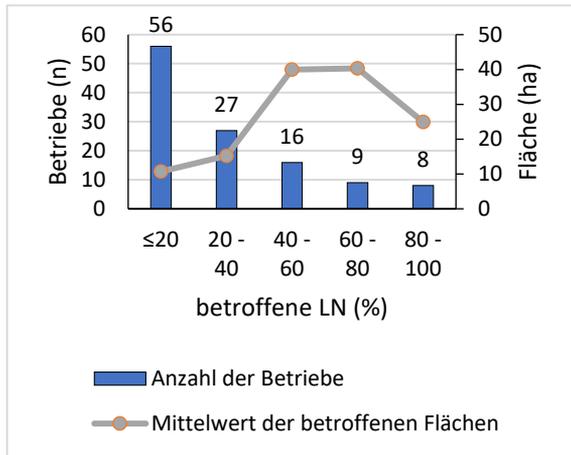


Abb. 5: Anzahl betroffener Betriebe (d.h. mindestens ein Schlag liegt in den kohlenstoffreichen Niederungsgebieten) und durchschnittlich betroffene Fläche pro Betrieb im Oldenburger Graben nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund der Nutzungseinschränkungen auf den betroffenen Flächen ist davon auszugehen, dass die Betriebe gesamtbetriebliche Anpassungsprozesse durchlaufen müssen. Tierhaltende Betriebe sind beispielsweise häufig auf einen Großteil ihrer verfügbaren Flächen zur Futtererzeugung und Gülleausbringung angewiesen. Verringert sich diese Fläche aufgrund einer Wasserstandsanhhebung, entsteht eine Futterlücke, welche die Betriebe schließen müssen. Dies kann über neue Pachtflächen oder über ein verändertes Anbauprogramm auf bisher nicht zur Futterproduktion genutzten Flächen geschehen. Sind diese Schritte aufgrund der knappen Flächenverfügbarkeit nicht möglich, steht der Betrieb vor der Herausforderung Futter zuzukaufen und Wirtschaftsdünger abzugeben. Gelingen auch diese Maßnahmen nicht, ist der Betrieb gezwungen, den Tierbestand abzustocken. Dies kann im Extremfall die wirtschaftliche Existenz des Betriebes gefährden.

Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 6 bis 8) zeigen die Flächennutzung in

der betroffenen Region und in den Fokusregionen im Antragsjahr 2021. Der Großteil (79%) der Fläche in der betroffenen Region wird als Dauergrünland (GL) genutzt. Es folgen der Getreideanbau mit 12% und der Ackerfutterbau (AF) mit 6%.

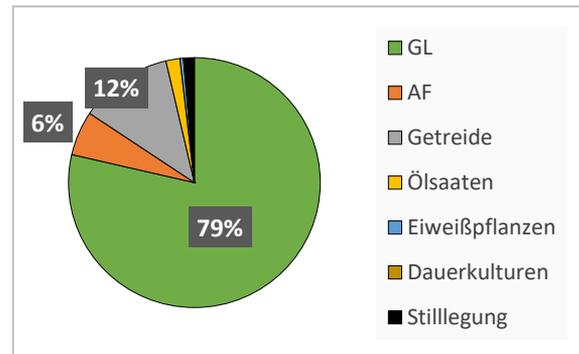


Abb. 6: Nutzung der betroffenen Flächen (kohlenstoffreiche Böden in den Niederungen) in der betroffenen Region nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

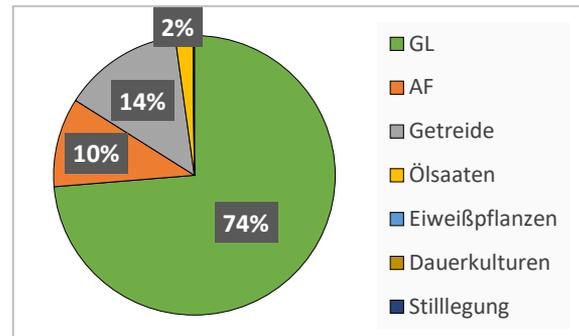


Abb. 7: Nutzung der betroffenen Flächen (kohlenstoffreiche Böden in den Niederungen) im Oldenburger Graben nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

Im Oldenburger Graben fallen die Anteile nahezu identisch aus, wobei hier ein größerer Anteil auf den Anbau von Getreide (14%) und Ackerfutterpflanzen (10%) entfällt.

In der Eider-Treene-Niederung liegt der Grünlandanteil ganze 14 Prozentpunkte höher als in der insgesamt betroffenen Region. Den nächstgrößten

Anteil machen die Stilllegungsflächen mit 6% aus. Es findet fast kein Anbau von Getreide oder Ackerfutterpflanzen statt.

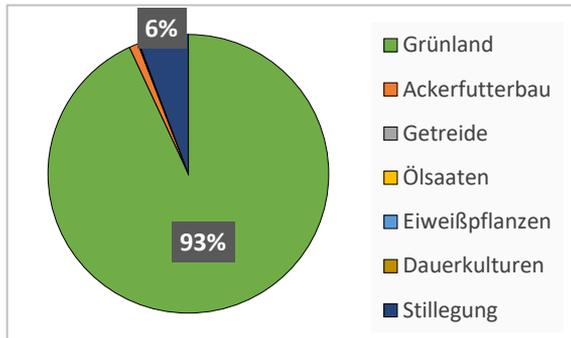


Abb. 8: Nutzung der betroffenen Flächen (kohlenstoffreiche Böden in den Niederungen) in der Eider-Treene-Niederung nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

Von den insgesamt 3.904 betroffenen Betrieben in Schleswig-Holstein halten 70% Tiere (Tabelle 2). Knapp 60% aller betroffenen Betriebe halten Rinder. Von den insgesamt 116 betroffenen Betrieben im Oldenburger Graben halten 64 Tiere, darunter 51 Rinder haltende Betriebe. Prozentual sind dies weniger als der Durchschnitt der insgesamt betroffenen Region. Die Eider-Treene-Niederung ist hingegen stärker von der Tierhaltung geprägt. 78% aller betroffenen Betriebe halten Tiere, 73% von ihnen sind Rinderhalter.

Tabelle 2: Anzahl der betroffenen Betriebe mit Tier- und Rinderhaltung nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

betroffene Betriebe	SH	ETN	OG
mit Tierhaltung	2.749 (70%)	390 (78%)	64 (55%)
mit Rinderhaltung	2.329 (60%)	364 (73%)	51 (44%)
gesamt	3.904	498	116

Quelle: eigene Darstellung

Um ein Gefühl für die Intensität der Tierhaltung in den jeweiligen Regionen zu bekommen, zeigen die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 9 bis 11) die

Besatzdichte der Tiere in Großvieheinheiten pro Hektar Betriebsfläche. Auch hier erfolgt die Darstellung nach dem Grad der Flächenbetroffenheit.

Hier ist festzustellen, dass die Viehdichte nicht wesentlich zwischen den Betroffenheitsklassen variiert. Der höchste Wert (1,34 GV/ha) wird in der Betroffenheitsklasse zwischen 40 und 60% erreicht (Abb. 9), der niedrigste (1,14 GV/ha) bei einer Flächenbetroffenheit von über 80%. Die Tiergruppen der „übrigen Rinder“ und der „Milchkühe“ tragen mit 0,76 bis 1,05 GV/ha am meisten zur Gesamtviehdichte bei, während Schweine und Schafe nur einen kleinen Beitrag leisten.

In der Eider-Treene-Niederung ist die Haltung von Schweinen und Schafen fast gänzlich zu vernachlässigen (Abb. 10). Dafür ist die Dichte der Rinder- und Milchviehhaltung mit 0,73 bis 1,45 GV/ha höher als in der insgesamt betroffenen Region. Die Dichte der Milchviehhaltung zeigt einen absteigenden Trend bei zunehmender Betroffenheit. Dies zeigt, dass in stärker betroffenen Betrieben eine weniger intensive Milchviehhaltung betrieben wird. Die Viehdichte insgesamt variiert zwischen den Betroffenheitsklassen deutlich stärker (zwischen 0,76 und 1,64GV/ha). Die geringste Viehdichte findet sich in den flächenmäßig am stärksten betroffenen Betrieben. Dies könnte darauf hindeuten, dass in diesen Betrieben die Wasserstände bereits erhöht sind und entsprechende Extensivierungen vorgenommen wurden.

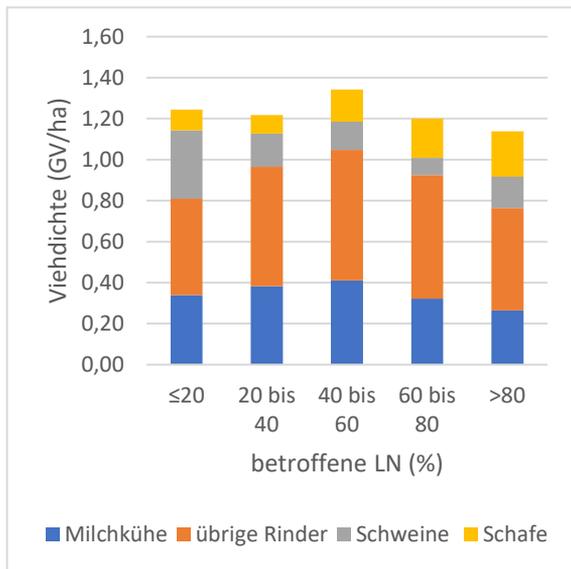


Abb. 9: Viehdichte der betroffenen Betriebe (d.h. mindestens ein Schlag liegt in den kohlenstoffreichen Niederungsgebieten) in Schleswig-Holstein in GV/ha nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

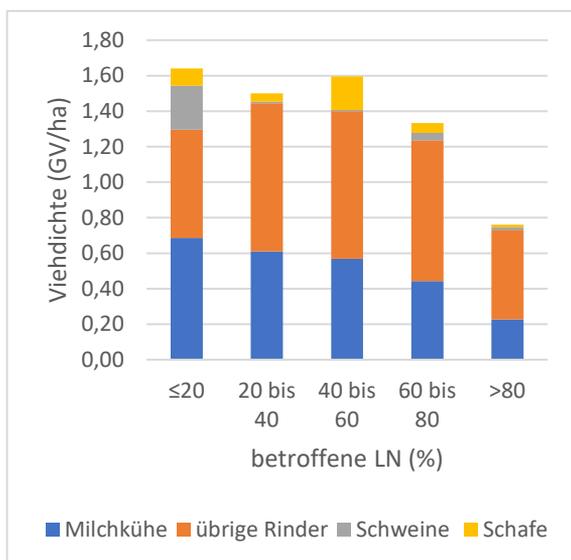


Abb. 10: Viehdichte der betroffenen Betriebe (d.h. mindestens ein Schlag liegt in den kohlenstoffreichen Niederungsgebieten) in der Eider-Treene-Niederung in GV/ha nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

Für die Region Oldenburger Graben (vgl. Abb. 11) zeigt sich ein ganz anderes Bild. Die große Schwankungsbreite der Viehdichte (zwischen 0,23

und 1,65 GV/ha) deutet auf große Unterschiede in der Bedeutung der Tierhaltung für die einzelnen Betriebe hin. Die höchste Viehdichte (mit 1,65 GV/ha) findet sich in der Betroffenheitsklasse von 40 bis 60%. Insgesamt bleibt die Viehdichte jedoch deutlich hinter den vorgenannten Werten zurück. Schweinehaltende Betriebe sind dabei überwiegend schwach betroffen.

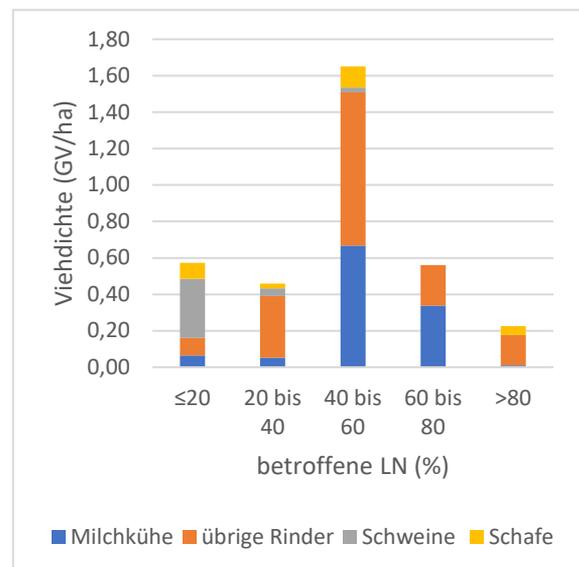


Abb. 11: Viehdichte der betroffenen Betriebe (d.h. mindestens ein Schlag liegt in den kohlenstoffreichen Niederungsgebieten) im Oldenburger Graben in GV/ha nach InVeKoS-Daten für das Jahr 2021.

Quelle: eigene Darstellung

3.2 Betriebswirtschaftliche Betroffenheit

Für die betriebswirtschaftliche Betroffenheitsanalyse werden typische Betriebe für die beiden Fokusregionen gebildet. Für diese Modellbetriebe werden Deckungsbeiträge und Gewinne aus der landwirtschaftlichen Erzeugung auf Basis von betriebswirtschaftlichen Auswertungen vergleichbarer Betriebe aus der jeweiligen Region kalkuliert, um die möglichen Wertschöpfungsverluste abzuschätzen.

In der Fokusregion Eider-Treene-Niederung bewirtschaften knapp 500 landwirtschaftliche Betriebsleiter/innen Flächen in der untersuchten Gebietskulisse, im Oldenburger Graben liegen 116 Betriebe in der betroffenen Region (vgl. Tabelle 2).

Mit Hilfe einer Clusteranalyse (Backhaus et al., 2015) werden die betroffenen Betriebe anhand der Merkmale „landwirtschaftliche Fläche“, „Grünlandanteil“, „Anteil Fläche im betroffenen Gebiet“ sowie anhand der Anzahl von „Schweinen“, „Milchkühen“ und „übrigen Rinder“ in Gruppen eingeteilt. Die Datenbasis hierfür bilden InVeKoS-Daten. Die Ergebnisse der Clusteranalyse werden manuell nachgeschärft, um typische Betriebe für die jeweilige Regionen zu bilden. In den Tabellen 3 und 4 werden die typischen Betriebe für die zwei Fokusregionen dargestellt.

Ungefähr zwei Drittel der landwirtschaftlichen Betriebe in der Eider-Treene-Niederung sind Futterbaubetriebe.

Die Mehrzahl der Futterbaubetriebe haben ihren Betriebsschwerpunkt in der Milchviehhaltung, weshalb hierfür zwei Modelltypen (Milchviehhaltung klein und groß) gebildet wurden. Die großen Milchviehbetriebe sind aus Sicht der Tierzahl und der Fläche ca. doppelt so groß wie die kleinen (vgl. Tabelle 3). Daneben sind noch gut 100 Betriebe auf die Rindermast spezialisiert. Festzustellen ist, dass die Rindermastbetriebe die höchsten Grünlandanteile (ca. 80%) haben und insgesamt ein Drittel ihrer Fläche innerhalb der betroffenen Region liegt. Die größeren Milchviehbetriebe wirtschaften im Durchschnitt mehr auf ackerfähigen Standorten. Ihr Grünlandanteil beträgt ca. 60%. Ein Fünftel ihrer bewirtschafteten Fläche wäre von Wasserstandsanhebungen betroffen. Die Gruppe der kleinen Milchviehbetriebe mit durchschnittlich 100 ha und 113 Kühen ordnet sich zwischen diesen beiden Gruppen ein. Betriebe mit Ackerbau oder Schweinehaltung spielen in der Eider-Treene-Region eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 3: Typische Betriebe in der Fokusregion Eider-Treene-Niederung.

Region Eider-Treene-Niederung	Anzahl [n]	Fläche [ha]	Grünlandanteil [%]	Betroffenheit [%]	Kühe [n]	übrige Rinder [n]	Schweine [n]
Ackerbau	4	150	15	6	0	2	0
Schweinehaltung	4	124	34	18	0	0	430
Milchvieh klein	124	101	68	29	113	92	0
Milchvieh groß	89	235	59	20	250	163	0
Rindermast	106	124	79	33	8	100	2
Kleinbetriebe bis 30 ha	172	12	92	55	1	6	0
Mittelwert (498 Betriebe)		100	76	37	74	75	4

Quelle: eigene Darstellung

Auffällig ist die relativ große Gruppe an Kleinbetrieben, die weniger als 30 ha Fläche bewirtschaften. Diese machen

in den ausgewerteten Sammelantragsdaten ca. ein Drittel der untersuchten Betriebe aus. Es handelt sich

hierbei primär um reine Grünlandbetriebe mit durchschnittlich 12 ha bewirtschafteter Fläche und einem geringen Tierbesatz. Diese Betriebe wären besonders stark von möglichen Vernässungsmaßnahmen betroffen, da

ihre bewirtschaftete Fläche im Durchschnitt zur Hälfte in der Betroffenheitskulisse liegt. Diese Betriebsgruppe stellt die Mehrheit der Betriebe in der Betroffenheitsklasse 80 bis 100% (siehe Kapitel 3.1).

Tabelle 4: Typische Betriebe in der Fokusregion Oldenburger Graben.

Region Oldenburger Graben	Anzahl [n]	Fläche [ha]	Grünlandanteil [%]	Betroffenheit [%]	Kühe [n]	übrige Rinder [n]	Schweine [n]
Ackerbau	42	271	10	9	0	2	1
Schweinhaltung	3	118	1	3	0	0	403
Milchvieh mittel	16	135	54	39	142	81	0
Ackerbau/ Rindermast	21	179	60	28	1	59	0
Kleinbetriebe bis 30 ha	34	12	69	47	0	2	0
<i>Mittelwert (116 Betriebe)</i>		154	43	28	20	23	11

Quelle: eigene Darstellung

Auch im Oldenburger Graben sind ca. ein Drittel der Antragsteller Kleinbetriebe bis 30 ha, die im Mittel eine Flächenbetroffenheit von fast 50% aufweisen. Die überwiegende Anzahl der Betriebe im Oldenburger Graben ist auf den reinen Ackerbau oder auf Ackerbau kombiniert mit Rindermast spezialisiert. Letzteres ist bei Betrieben mit höheren Grünlandanteilen anzutreffen, während die reinen Ackerbaubetriebe im Mittel 270 ha bewirtschaften, von denen lediglich 10% Grünland sind. Spezialisierte Schweinehaltungsbetriebe spielen – wie in der Eider-Treene-Region – eine untergeordnete Rolle.

Im Gegensatz zur Eider-Treene-Region ist im Oldenburger Graben nur jeder siebte Betrieb auf die Milchviehhaltung spezialisiert. Mit durchschnittlich 135 ha und 140 Kühen liegen die Milchviehbetriebe zwischen den beiden Betriebsgrößenklassen der Eider-Treene-Niederung. Im Oldenburger

Graben sind die Grünlandanteile zwar geringer, trotzdem sind die Milchviehbetriebe mit durchschnittlich 40% ihrer bewirtschafteten Fläche stark von potenziellen Wasserstandsanhebungen betroffen.

Um abschätzen zu können, welche wirtschaftlichen Konsequenzen sich für die Betriebe in den beiden Fokusregionen ergeben könnten, wurden Wirtschaftlichkeitsauswertungen herangezogen. Es wurden Betriebe ausgewählt, die in der jeweiligen Region wirtschaften und hinsichtlich verschiedener Merkmale die erstellten Modellbetriebe gut abbilden. Die Ergebnisse für die Wirtschaftsjahre 2016/17 bis 2018/19 sind in den Tabellen 5 und 6 dargestellt.

Der Deckungsbeitrag als Differenz zwischen Erlösen (hier inklusive Direktzahlungen) und variablen Kosten (für z.B. Dünger und Kraftfutter) spiegelt

wider, auf welchen Betrag Betriebsleiter/innen im Durchschnitt pro ha bei einem Verlust von Produktionsfläche verzichten müssten. Diese Größe reflektiert somit die kurzfristig zu erwartenden Einkommensverluste. Auf lange Sicht können Betriebsleiter/innen jedoch auch ihre Ausstattung mit

fixen Produktionsfaktoren wie Maschinen und Ställe anpassen. Unter der Voraussetzung, dass dann Fixkosten wie Abschreibungen und Versicherungsbeiträge entfallen, ist der Gewinn pro ha die sachgerechte Orientierungsgröße für die langfristig zu erwartenden Einkommensverluste.

Tabelle 5: Deckungsbeiträge und Gewinne in der Fokusregion Eider-Treene-Niederung im Mittel der Wirtschaftsjahre 2016/17 bis 2018/19 (+25% = beste 25% aller Betriebe, -25% = schlechteste 25% aller Betriebe).

Region Eider-Treene-Niederung	DB [€/ha]	Gewinn [€/ha]	Gewinn +25% [€/ha]	Gewinn -25% [€/ha]
Ackerbau	616	219	792	-347
Schweinehaltung	[g]	[g]	[g]	[g]
Milch klein	1.557	626	1.153	128
Milch groß	1.809	644	1.137	183
Rindermast	835	264	918	-216
Kleinbetriebe	1.072	71	978	-975
<i>Mittelwert (244 Betriebe)</i>	<i>1.348</i>	<i>470</i>	<i>1.058</i>	<i>-90</i>

[g] = aufgrund der kleinen Fallzahl geschwärtzt

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 6: Deckungsbeiträge und Gewinne in der Fokusregion Oldenburger Graben im Mittel der Wirtschaftsjahre 2016/17 bis 2018/19 (+25% = beste 25% aller Betriebe, -25% = schlechteste 25% aller Betriebe).

Region Oldenburger Graben	DB [€/ha]	Gewinn [€/ha]	Gewinn +25% [€/ha]	Gewinn -25% [€/ha]
Ackerbau	1.018	285	758	-1136
Schweinehaltung	[g]	[g]	[g]	[g]
Milch mittel	1.781	594	1.446	-67
Ackerbau/ Rindermast	963	221	-	-
Kleinbetriebe	968	-505	611	-2.363
<i>Mittelwert (89 Betriebe)</i>	<i>1.260</i>	<i>240</i>	<i>893</i>	<i>-1.176</i>

[g] = aufgrund der kleinen Fallzahl geschwärtzt

Quelle: eigene Darstellung

Aus den Tabellen wird ersichtlich, dass die untersuchten Betriebe im Durchschnitt ca. 1.300 €/ha Deckungsbeitrag im Analysezeitraum erwirtschafteten. Überdurchschnittlich hohe Deckungsbeiträge (1.400 – 3.300 €/ha) wurden vor allem von den Schweine- und Milchviehaltern erzielt. Bei Letzteren sind steigende Deckungsbeiträge mit zunehmender Betriebsgröße festzustellen. In Ackerbau-, Rindermast- und Kleinbetrieben betragen die Deckungsbeiträge hingegen durchschnittlich 600 bis 1.100 €/ha.

Der Gewinn als Orientierungsgröße für die langfristigen Einkommensverluste betrug im Schnitt über alle ausgewerteten Betriebe ca. 400 €/ha. Trotz höherer Belastung mit Fixkosten erwirtschafteten die Schweine- und Milchviehbetriebe im Durchschnitt die höchsten Gewinne von mehr als 600 €/ha.

Die dargestellten Durchschnittswerte lassen erkennen, dass zwischen den Betrieben deutliche Erfolgsunterschiede bestehen. Das Viertel der wirtschaftlich erfolgreicheren Betriebe erwirtschaftete mit ca. 1.000 €/ha ungefähr das 2,5-fache der durchschnittlichen Betriebe. Diese Tatsache ist zu berücksichtigen, wenn es das Ziel der Politik ist, mögliche Programme zur Kompensation der wirtschaftlichen Auswirkungen von Wasserstandsanehebungen zu konzipieren. Um möglichst viele Betriebe für eine freiwillige Teilnahme zu motivieren, sind für erfolgreichere Betriebe höhere Kompensationszahlungen erforderlich.

Des Weiteren ist zu beachten, dass es sich bei den präsentierten Werten um Durchschnittszahlen für den gesamten Betrieb handelt. Ein Verlust von Fläche kann dazu führen, dass bestimmte Fixkosten bestehen bleiben und dann auf weniger Fläche umgelegt werden müs-

sen. Dieser Effekt wird durch die präsentierten Durchschnittsgewinne unterschätzt.

Einzelbetrieblich können unterschiedliche Anpassungsmöglichkeiten bestehen, um auf einen Verlust von nutzbarer Fläche zu reagieren und so den potenziellen Verlusten entgegenzuwirken. Für die Gruppe der Milchviehbetriebe unterstellt die obige Berechnung, dass ein Verlust von Futterfläche auch zu einer proportionalen Abstokung der Viehbestände führt. Im Einzelfall können Betriebsleiter/innen durch die Nutzung von Futterreserven, die Beschaffung von Ersatzfutter oder die Auslagerung des Jungviehbestandes reagieren und die Einkommensverluste abmildern.

Darüber hinaus müssen Flächen, die von Wasserstandsanehebungen betroffen sind, nicht vollständig aus der Nutzung fallen. So ist gegebenenfalls eine Nutzung der Fläche für Naturschutzzwecke, Paludikulturen oder Photovoltaik möglich. Diese Anpassungsmöglichkeiten werden im weiteren Verlauf dieser Studie (Kapitel 5) betrachtet.

3.3 Zwischenfazit

Von den rund 14.000 schleswig-holsteinischen Betrieben, die im Jahr 2021 einen Sammelantrag gestellt haben, bewirtschaften ca. 3.900 (32%) Flächen, die potenziell von Wasserstandserhöhungen betroffen wären. In einem Großteil der Betriebe (40,8%) macht die betroffene Fläche weniger als 20% der Betriebsfläche aus. Diese Betriebe dürften i.d.R. vergleichsweise gute Anpassungsmöglichkeiten haben. Schwieriger wird dies in den stärker betroffenen Betrieben sein. In rund 400 Betrieben liegt der Anteil der betroffenen Flächen zwischen 60 und 80%, und 508 Betriebe weisen eine Flächenbetroffenheit von über 80%

auf. Zusammen machen die beiden letztgenannten Kategorien 6,4% der landwirtschaftlichen Betriebe Schleswig-Holsteins aus. Damit wäre jeder fünfzehnte Betrieb im Bundesland von einer Wasserstandsanhhebung schwer betroffen. In der Eider-Treene-Niederung wäre jeder vierte der insgesamt knapp 500 betroffenen Betriebe nach obiger Definition als schwer betroffen einzustufen, im Oldenburger Graben jeder siebte. In beiden Fokusregionen fällt der vergleichsweise hohe Anteil an Kleinbetrieben mit bis zu 30 ha auf. Diese machen ca. ein Drittel der betroffenen Antragsteller aus und bewirtschaften im Mittel 50% ihrer Flächen in der von potenziellen Wasserstandsanhebungen betroffenen Region.

Der Deckungsbeitrag als Differenz zwischen Erlösen (hier inklusive Direktzahlungen) und variablen Kosten spiegelt wider, auf welchen Betrag Betriebsleiter/innen im Durchschnitt pro ha bei einem Verlust von Produktions-

fläche infolge einer Wasserstandsanhhebung verzichten müssten. Diese Größe reflektiert somit die kurzfristig zu erwartenden Einkommensverluste. Auf lange Sicht ist der Gewinn pro ha (unter Berücksichtigung einsparbarer Fixkosten) die geeignete Orientierungsgröße für die Einkommensverluste. Die Kalkulationen dieser beiden Kennziffern für typische Betriebe in den beiden Fokusregionen zeigen, dass die untersuchten Betriebe im Durchschnitt ca. 1.300 €/ha Deckungsbeitrag im Analysezeitraum erwirtschafteten – mit großen Unterschieden zwischen den verschiedenen Betriebstypen und Erfolgsklassen. Der Gewinn beträgt im Durchschnitt aller ausgewerteten Betriebe ca. 400 €/ha. Die hier abgeleiteten Werte bilden die Einstiegsgröße für Erwerbsverlustkalkulationen. Diese müssen um zumutbare schadensmindernde Anpassungsreaktionen der Betriebe (und die sich daraus ergebenden Einkommensbeiträge) korrigiert werden.

4 Treibhausgaseinsparpotenziale bei Wasserstands- anhebung

Die Treibhausgasemissionen aus entwässerten kohlenstoffreichen Böden werden in der nationalen Klimaberichterstattung im LULUCF-Sektor (LULUCF = Land Use, Land Use Change and Forestry) berichtet. Dieser machte unter Berücksichtigung der Senkenfunktion des Waldes 2021 in Schleswig-Holstein 4,4 Mio. t. CO₂-Äq aus, was einem Anteil von ca. 15% an den Gesamttreibhausgasemissionen Schleswig-Holsteins entspricht (MEKUN, 2023). Die Landnutzungsarten Acker- und Grünland stellen mit 4,5 Mio. t. CO₂-Äq die größte Emissionsquelle im LULUCF-Sektor dar. Diese Emissionen resultieren nahezu vollständig aus dem durch die Entwässerung verursachten Kohlenstoffabbau in kohlenstoffreichen Böden (MEKUN, 2023). Hinzu kommen Emissionen aus Feuchtgebieten (0,3 Mio. t. CO₂-Äq). Die Senkenfunktion des Waldes ergibt sich aus seiner Sequestrierungsleistung von 0,4 Mio. t. CO₂-Äq.

Nach dem Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holsteins sollen die Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor „schrittweise deutlich reduziert“ werden. Ein quantitatives Ziel ist jedoch nicht benannt.

Das Ziel dieses Kapitels ist es dennoch, Treibhausgaseinsparpotenziale durch eine Wasserstands-anhebung auf kohlenstoffreichen Böden zu *quantifizieren*, um den Diskussionsprozess zu unterstützen. Dazu wird die in Kapitel 2 als betroffene Region definierte Fläche von gut 86.000 ha betrachtet. Neben dem im LULUCF-Sektor berichteten direkten Einsparpotenzial werden die durch eine Nutzungsänderung (z.B. Aufgabe der Tierhaltung oder Extensivierung von Grünland) verursach-

ten Einsparpotenziale oder Mehremissionen in anderen Sektoren der nationalen Klimaberichterstattung abgeschätzt. Dies geschieht im zweiten Teil dieses Kapitels.

4.1 Direktes Treibhausgaseinsparpotenzial im Sektor LULUCF

Zur Abschätzung der direkten Einsparpotenziale im Sektor LULUCF kommen im Rahmen der vorliegenden Studie verschiedene methodische Ansätze zur Anwendung, die vor der Präsentation der Ergebnisse zusammen mit der zugrunde liegenden Datengrundlage kurz erläutert werden.

4.1.1 Datengrundlage und Methodik

Tiemeyer et al. (2020) beschreiben die Datengrundlage und das Vorgehen zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor in Deutschland. Demnach hängen die durch Entwässerung verursachten CO₂-C-Emissionen und Methanemissionen vom Grundwasserflurabstand ab, während die Lachgasemissionen nutzungsabhängig modelliert werden. Wir folgen diesem Vorgehen und legen die in Tiemeyer et al. (2020) abgeleiteten funktionalen Zusammenhänge zwischen Grundwasserflurabstand und CO₂-C- bzw. Methanemissionen zur Quantifizierung der Treibhausgaseinsparpotenziale zu Grunde.

Als Datengrundlage der Grundwasserflurabstände werden drei Datenquellen überprüft:

- a der bodenkundliche Grundwasserflurabstand, auf Bodentypen beruhend (LLUR SH, 2023),
- b die nach Thünen-Institut im Rahmen der nationalen Klimabericht-

- erstattung modellierten Grundwasserflurabstände, deren Modellierung auf Bechtold et al. (2014) zurückgeht (im Folgenden WS Thünen),
- c die von Poyda et al. (2016) bei der Messung der Treibhausgasemissionen von Niedermoorböden in der Eider-Treene Niederung gemessenen Grundwasserflurabstände, welche linear interpoliert über das digitale Geländemodell (DGM) in die Fläche übertragen werden. Da eine Messstelle in dieser Studie auf einer bereits wiedervernässten Fläche lag, unterscheiden wir zwischen zwei Interpolationsansätzen:
 - c1 einem, in welchen alle Messstellen eingehen (im Folgenden WS DGM 4)
 - c2 und einem ohne die Messstelle auf der wiedervernässten Fläche (im Folgenden WS DGM 3)

Die Modellierungen über das digitale Geländemodell (Variante c) sind der Tatsache geschuldet, dass in Bechthold et al. (2014) keine Daten aus Schleswig-Holstein Berücksichtigung fanden. Die Interpolation der von Poyda et al. (2016) gemessenen Wasserstände über das DGM berücksichtigt somit Messwerte aus Schleswig-Holstein.

Alle Daten stehen in einem GIS-verarbeitbaren Datenformat zur Verfügung, sodass für jeden Schlag in der gesamten betroffenen Region ein Mittelwert des mittleren Jahreswasserstandes nach jedem Modellierungsansatz geschätzt werden konnte. Hierbei kommt es teils zu starken Abweichungen der Grundwasserflurabstände zwischen den verschiedenen Ansätzen. Die Abbildungen 12, 13 und 14 verdeutlichen dies in Form von Boxplots. Da der bodenkundliche Grundwasserflurabstand rein aus Bodentypen abgeleitet wird und gänzlich unabhängig von der Geländehöhe ist, bildet dieser die Referenzgröße in den dargestellten Boxplots.

renzgröße in den dargestellten Boxplots.

Der bodenkundliche Grundwasserflurabstand weicht deutlich von den anderen Ansätzen ab. Dies wird insbesondere in Abbildung 12 deutlich, welche nur Flächen mit einem bodenkundlichen Grundwasserflurabstand von weniger als 20 cm enthält: Die drei Modellierungsansätze führen zu deutlich tieferen Wasserständen und sagen keinen Wert im Bereich des bodenkundlichen Grundwasserflurabstandes vorher. Auch in den Abbildungen 13 und 14 liegen viele Werte außerhalb der Spanne des bodenkundlichen Grundwasserflurabstandes. Aus diesem Grund beschränken wir die Analysen auf die drei Modellierungsansätze.

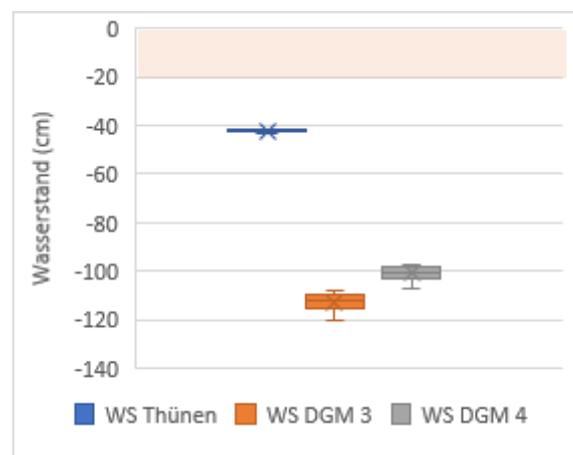


Abb. 12: Boxplots der schlagspezifischen Mittelwerte der modellierten Wasserstände bei einem mittleren schlagspezifischen bodenkundlichen Grundwasserflurabstand von < 20 cm (rot markiert).

Quelle: eigene Darstellung

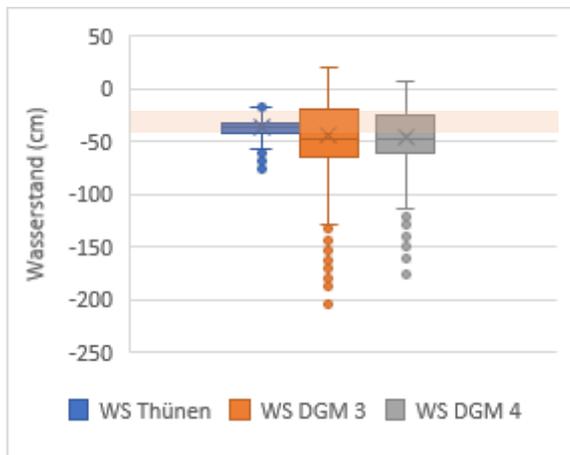


Abb. 13: Boxplots der schlagspezifischen Mittelwerte der modellierten Wasserstände bei einem mittleren schlagspezifischen bodenkundlichen Grundwasserflurabstand von 20 bis 40 cm (rot markiert).

Quelle: eigene Darstellung

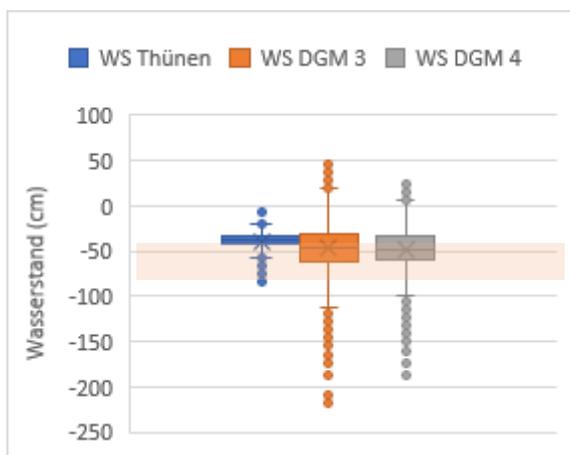


Abb. 14: Boxplots der schlagspezifischen Mittelwerte der modellierten Wasserstände bei einem mittleren schlagspezifischen bodenkundlichen Grundwasserflurabstand von 40 bis 80 cm (rot markiert).

Quelle: eigene Darstellung

Die aus der Eider-Treene-Niederung über das DGM übertragenen, von Poyda et al. (2016) gemessenen Grundwasserflurabstände (DGM 3 und DGM 4) unterscheiden sich auf den ersten Blick nur geringfügig voneinander. Dennoch werden beide Ansätze zur Abschätzung der Varianz dargestellt.

Die Angaben zur Flächennutzung zur Quantifizierung der Lachgasemissionen ergeben sich aus der Hauptbodenutzung der Feldblöcke, welche über den Feldblockfinder ebenfalls als Shape-Datei zur Verfügung stehen. Für Grünland legen wir den in Deutschland verwendeten Emissionsfaktor von 4,6 kg N₂O/ha und Jahr zugrunde, für Ackerland 11,1 kg N₂O/ha und Jahr (Tiemeyer et al., 2020).

Die Emissionsfaktoren beim Zielwasserstand von 10 cm unter Geländeoberkante werden als konstant angenommen, da geführte Wasserstände nahe der Geländeoberfläche zugrunde gelegt werden. Der deutsche Emissionsfaktor für CO₂-C beträgt demnach auf wiedervernässten Flächen nach Tiemeyer et al. (2020) -0,4 t C/ha und Jahr bzw. -1,5 t CO₂-Äq/ha und Jahr. Der Methanemissionsfaktor wird in Deutschland auf 279 kg CH₄/ha und Jahr bzw. 7,0 t CO₂-Äq/ha und Jahr festgelegt. Für Lachgas beläuft sich dieser Wert auf 0,1 kg N₂O/ha und Jahr bzw. 0,03 t CO₂-Äq/ha und Jahr. Damit werden für vollständig vernässte Flächen die Emissionsfaktoren der nationalen Klimaberichterstattung angewendet.

Zusammengefasst liegen diesem Gutachten somit die in Abbildung 15 dargestellten funktionalen Zusammenhänge zwischen THG-Emissionen und Wasserstand für Acker- und Grünland zu Grunde. Sie ergeben sich durch Summierung der CO₂-C-, Methan- und Lachgasemissionen nach Multiplikation mit den entsprechenden Global-Warming-Potenzialen (1 kg CO₂-C = 3,67 kg CO₂-Äq; 1 kg CH₄ = 25 kg CO₂-Äq; 1 kg N₂O = 298 kg CO₂-Äq nach IPCC AR4).

Schlussendlich erfolgt für jeden Schlag eine Abschätzung der Treibhaus-

gasemissionen im Sektor LULUCF. Dieser Treibhausgasemissionswert wird mit den Werten für verschiedene Szenarien mit angehobenen Wasserständen verglichen, um das Einsparpotenzial der Wasserstandsanhhebung zu quantifizieren. Diese Methodik wird auf alle Schläge der in Kapitel 2 definierten

betroffenen Region angewendet. Um die Potenziale der Fokus-regionen genauer abzuschätzen, werden die Auswirkungen einer flächendeckenden Wasserstandsanhhebung um 20 cm und einer vollständigen Vernässung regional kleinräumig betrachtet.

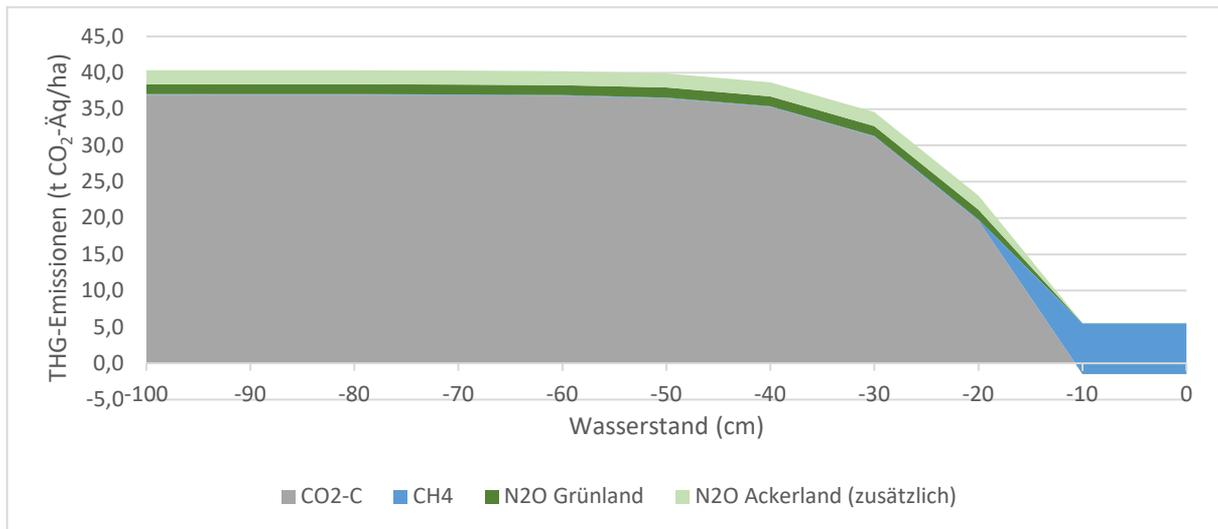


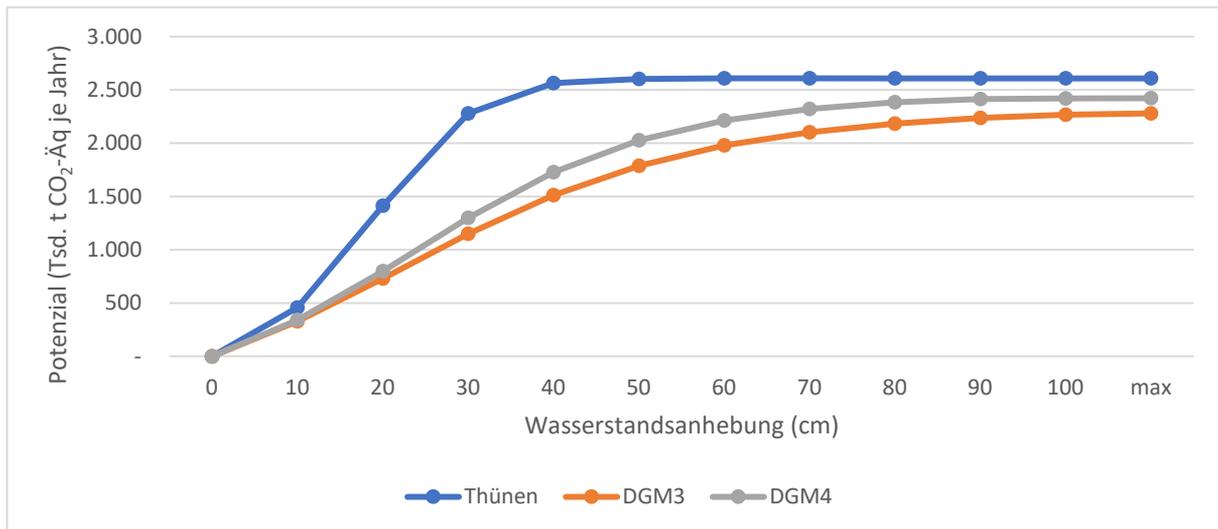
Abb. 15: Zusammenhänge zwischen Wasserstand und CO₂-C-, Methan- und Lachgasemissionen (für Ackerland sind die zusätzlich zum Grünland entstehenden Lachgasemissionen dargestellt).

Quelle: eigene Darstellung nach Tiemeyer et al. (2020)

4.1.2 Ergebnisse für die betroffene Region

Um das Treibhausgaseinsparpotenzial abzuschätzen, wird für jeden Schlag der Grundwasserflurabstand schrittweise in 10 cm Schritten verringert, also die Wasserstände in der Fläche in 10 cm Schritten angehoben. Somit kann das Einsparpotenzial schlagspezifisch abgeschätzt werden. Das Einsparpotenzial der betroffenen Region ergibt sich durch Summierung der Einsparpotenziale der einzelnen Schläge. Abbildung 16 fasst die Einsparpotenziale auf den kohlenstoffreichen Böden in den Niederungen für Schleswig-Holstein insgesamt differenziert nach den verschiedenen Ansätzen zur Modellierung der Wasserstände zusammen.

Tabelle 7 liefert das dahinterstehende Datenmaterial.



max = Zielwasserstand von 10 cm unter Geländeoberkante auf allen Flächen erreicht.

Abb. 16: Jährliche Treibhausgaseinsparpotenziale bei steigenden Wasserständen in der Fläche nach drei unterschiedlichen Ansätzen zur Modellierung der Wasserstände in der Betroffenheitskulisse (alle kohlenstoffreichen Niederungen in Schleswig-Holstein) gemäß Abb. 2.

Quelle: eigene Darstellung

Das Treibhausgaseinsparpotenzial im LULUCF-Sektor liegt in der betroffenen Region bei vollständiger Wasserstandsanhhebung zwischen 2.280.000 t CO₂-Äq pro Jahr (DGM3) und 2.608.000 t CO₂-Äq pro Jahr (Thünen) (vgl. Tabelle 7 und Abb. 16). Nach den Wasserständen des Thünen-Ansatzes wird bereits bei einer Wasserstandsanhhebung um 50 cm nahezu das vollständige Einsparpotenzial erreicht, sodass diese Kurve den stärksten Anstieg der Einsparpotenziale mit steigenden Wasserständen verzeichnet. Nach den DGM-Modellierungsansätzen verlaufen die Kurven deutlich flacher. Die

vollständigen Potenziale werden erst bei maximaler Wasserstandsanhhebung (definiert durch einen Grundwasserflurabstand auf allen Teilschlägen von weniger als 10 cm) erreicht. Demnach nimmt der Modellierungsansatz nach Thünen-Institut implizit geringere Grundwasserflurabstände an. Denn das schnellere Erreichen eines größeren THG-Einsparpotenzials lässt sich nur dadurch begründen, dass die Wasserstände dichter am sensitiven Bereich des Zusammenhangs zwischen THG-Emissionen und Wasserstand (vgl. Abb. 15) liegen.

Tabelle 7: Jährliche Treibhausgasemissionen und Treibhausgaseinsparpotenziale bei steigenden Wasserständen in der Fläche nach drei unterschiedlichen Modellierungsansätzen der Wasserstände in der Betroffenheitskulisse gemäß Abb. 2.

Wasserstands- anhebung	THG-Emissionen Tsd. t CO ₂ -Äq und Jahr (t CO ₂ -Äq/ha)			THG-Einsparpotenzial Tsd. t CO ₂ -Äq und Jahr (t CO ₂ -Äq/ha)		
	Thünen	DGM3	DGM4	Thünen	DGM3	DGM4
0	3.078 (36,3)	2.750 (32,4)	2.892 (34,1)	<i>Referenz</i>	<i>Referenz</i>	<i>Referenz</i>
10	2.621 (30,9)	2.421 (28,5)	2.551 (30,0)	457 (5,4)	329 (3,9)	341 (4,0)
20	1.665 (19,6)	2.020 (23,8)	2.094 (24,7)	1.414 (16,7)	729 (8,6)	797 (9,4)
30	798 (9,4)	1.600 (18,9)	1.593 (18,8)	2.280 (26,9)	1.150 (13,5)	1.299 (15,3)
40	514 (6,1)	1.237 (14,6)	1.165 (13,7)	2.564 (30,2)	1.513 (17,8)	1.727 (20,3)
50	474 (5,6)	961 (11,3)	865 (10,2)	2.604 (30,7)	1.789 (21,1)	2.027 (23,9)
60	470 (5,5)	771 (9,1)	680 (8,0)	2.608 (30,7)	1.979 (23,3)	2.212 (26,1)
70	470 (5,5)	646 (7,6)	571 (6,7)	2.608 (30,7)	2.103 (24,8)	2.320 (27,3)
80	470 (5,5)	566 (6,7)	508 (6,0)	2.608 (30,7)	2.184 (25,7)	2.384 (28,1)
90	470 (5,5)	512 (6,0)	478 (5,6)	2.608 (30,7)	2.238 (26,4)	2.413 (28,4)
100	470 (5,5)	482 (5,7)	472 (5,6)	2.608 (30,7)	2.268 (26,7)	2.419 (28,5)
max	470 (5,5)	470 (5,5)	470 (5,5)	2.608 (30,7)	2.280 (26,9)	2.422 (28,5)

Quelle: eigene Darstellung

Die Abbildungen 17 und 18 beleuchten die Wasserstände in der Fläche. Die uneingeschränkt zu bewirtschaftende Fläche, gekennzeichnet durch einen Grundwasserflurabstand größer 30 cm, ist grün dargestellt. Gelb gekennzeichnet ist die Fläche mit einem Wasserstand zwischen 10 und 30 cm unter Flur im Mittel des Jahres. Diese Klasse wurde in Anlehnung an die Folgenutzungen „Feuchtwiese“ und „Weide mit Rindern“ aus Nährmann et al. (2021) gebildet, um Übergangsbereiche zwischen nasser Nutzung und uneingeschränkter Nutzung darzustellen. Hier kann nur eingeschränkt gewirtschaftet werden, eine extensivere

Nutzung wird mit großer Wahrscheinlichkeit notwendig sein. Die nass zu bewirtschaftende Fläche ist rot dargestellt.

Nach dem Thünen-Ansatz zur Modellierung der Wasserstände können in der Ausgangssituation alle Teilschläge zumindest eingeschränkt bewirtschaftet werden (Abb. 17). Bis 20 cm Wasserstands-anhebung verschiebt sich nur wenig Fläche (ca. 4.000 ha) in die nass zu bewirtschaftende Kategorie. Jedoch ist hier bereits auf ca. 90% der Gesamtfläche (84.889 ha) mit Bewirtschaftungseinschränkungen zu rechnen.

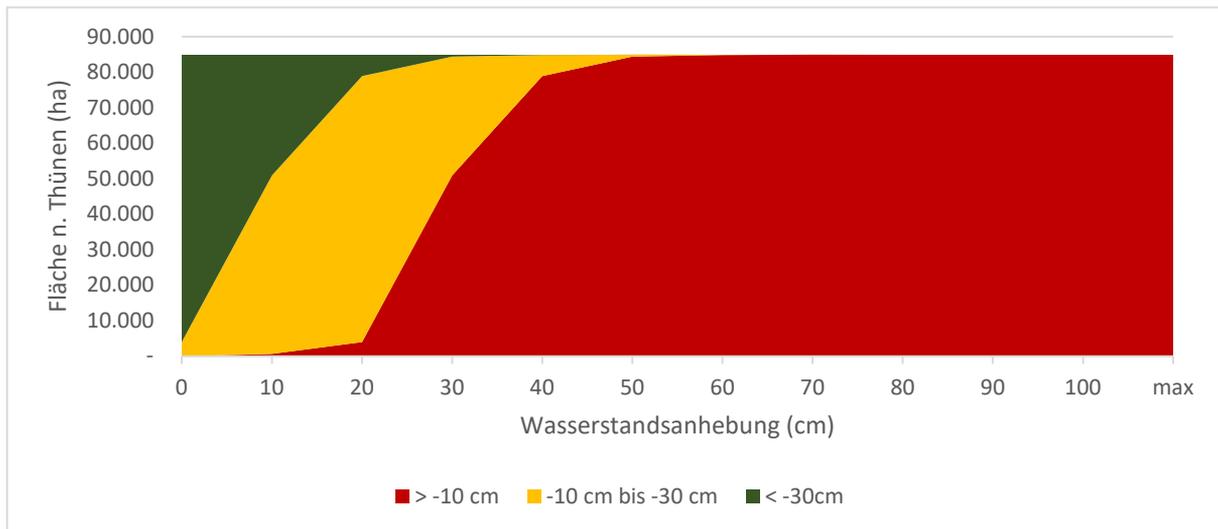


Abb. 17: Folgen der Wasserstandsanhhebung in der Fläche nach dem Thünen-Ansatz zur Modellierung der Wasserstände in der Fläche. grün = uneingeschränkt zu bewirtschaftende Fläche (Grundwasserflurabstand größer 30 cm), gelb = eingeschränkt zu bewirtschaftende Fläche (Grundwasserflurabstand zwischen 10 und 30 cm), rot = nass zu bewirtschaftende Fläche (Grundwasserflurabstand kleiner 10 cm).

Quelle: eigene Darstellung

Der DGM3-Ansatz stellt das andere Extrem dar (Abb. 18). Hier sind in der Ausgangssituation bereits ca. 7.000 ha nass zu bewirtschaften. Mit steigendem Wasserstand nimmt die uneingeschränkt zu bewirtschaftende Fläche deutlich weniger stark ab als nach dem Thünen-Ansatz. Die eingeschränkt zu bewirtschaftende Fläche nimmt erst moderat zu und ab einem Wasserstandsanhhebung von 30 cm moderat ab. Sie erreicht nie die Größenordnung, die sich nach dem Thünen-Ansatz ergibt.

Die Abbildungen A 1 bis A 7 im Anhang 1 stellen die simulierten Wasserstandsanhreibungen nach dem Thünen-Ansatz als Karte für Schleswig-Holstein dar. Die Nutzungsklassifizierung und die Farbwahl sind identisch zu denen in den Abbildungen 17 und 18. Für den DGM3-Ansatz stellen die Abbildungen A 8 bis A 14 im Anhang 1 das entsprechende Kartenmaterial bereit.

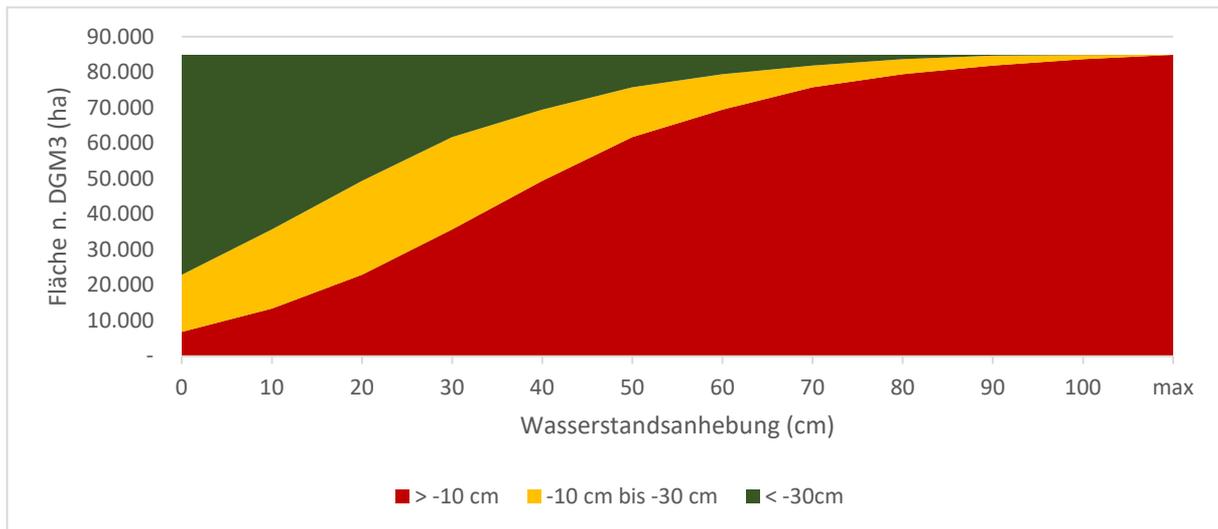


Abb. 18: Folgen der Wasserstandsanhhebung in der Fläche nach dem DGM3-Ansatz zur Modellierung der Wasserstände in der Fläche. grün = uneingeschränkt zu bewirtschaftende Fläche (Grundwasserflurabstand größer 30 cm), gelb = eingeschränkt zu bewirtschaftende Fläche (Grundwasserflurabstand zwischen 10 und 30 cm), rot = nass zu bewirtschaftende Fläche (Grundwasserflurabstand kleiner 10 cm).

Quelle: eigene Darstellung

4.1.3 Ergebnisse für die Fokusregionen

In den Fokusregionen werden die direkten Treibhausgaseinsparpotenziale für zwei Szenarien detaillierter analysiert: Eine moderate Anhebung des Wasserstandes um 20 cm sowie die ganzjährige oberflächennahe Einstellung des Grundwasserflurabstands. Erstgenanntes Szenario betrachten wir genauer, da hier anteilig bereits erhebliche Einsparpotenziale erreicht werden: Nach Thünen-Ansatz sind es in der gesamten betroffenen Region

ca. 50% des maximalen Einsparpotenzials, nach den DGM-Ansätzen wird immerhin ein Drittel erreicht (vgl. Abb. 16). Das zweitgenannte Szenario dient der Abschätzung des maximal zu erreichenden Einsparpotenzials.

Die Zuordnung der Flächen zu den Fokusregionen erfolgt an dieser Stelle nach dem Flächenbelegenheitsprinzip, d.h., dass an den Grenzen der Fokusregionen eine flächenscharfe Abgrenzung erfolgt. Demnach ergeben sich in den Fokusregionen die in Tabelle 8 dargestellten Einsparpotenziale.

Tabelle 8: Treibhausgaseinsparpotenziale in den Fokusregionen bei unterschiedlichen Wasserstandsanhhebungen.

Wasserstandsanhhebung		Eider-Treene-Niederung		Oldenburger Graben	
		+20 cm	max.	+20 cm	max.
Thünen	Tsd. t CO ₂ -Äq	214	358	23	71
	t CO ₂ -Äq/ha	18,0	30,1	10,5	32,0
DGM3	Tsd. t CO ₂ -Äq	120	351	26	36
	t CO ₂ -Äq/ha	10,1	29,5	11,8	16,2
DGM4	Tsd. t CO ₂ -Äq	123	367	32	44
	t CO ₂ -Äq/ha	10,3	30,8	14,6	20,2

Quelle: eigene Darstellung

Die Fokusregion Eider-Treene-Niederung trägt in beiden Szenarien zu ca. 15% der Treibhausgaseinsparung in der insgesamt betroffenen Region (gemäß Abb. 2) bei. Der Oldenburger Graben kann einen Beitrag von weniger als 3% liefern.

In der Eider-Treene-Niederung sind die durchschnittlichen Einsparpotenziale je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche bei 20 cm Wasserstandsanhhebung (Tabelle 8) etwas größer als in der gesamten betroffenen Region Schleswig-Holsteins (vgl. Tabelle 7). In dieser Fokusregion scheinen somit mehr Schläge in einem sensitiveren Bereich des Zusammenhangs zwischen Wasserstand und THG-Emissionen (vgl. Abb. 15) zu liegen als in der betroffenen Region insgesamt. Die Flächen scheinen hier im Vergleich zur betroffenen Region insgesamt weniger tief entwässert zu sein. Gleichzeitig ist das durchschnittliche maximale Einsparpotenzial je Hektar in der Eider-Treene-Niederung etwas höher als in der insgesamt betroffenen Region.

Im Oldenburger Graben hingegen führt eine Wasserstandsanhhebung um 20 cm zu deutlich geringeren durchschnittlichen Einsparpotenzialen als in der betroffenen Region insgesamt. Dies spricht zunächst für viele tiefentwässerte Schläge. Nach dem Thünenansatz ist das durchschnittliche maximale Potenzial hier etwas größer als im Durchschnitt der betroffenen Region insgesamt, die anderen Ansätze gelangen zu niedrigeren Potenzialen.

4.1.4 Diskussion und Zwischenfazit

Die dargestellten Treibhausgaseinsparpotenziale sind nach Tiemeyer et al. (2020) vom Grundwasserflurabstand abhängig. Die notwendige Datengrundlage der Wasserstände bzw. Grundwasserflurabstände ist jedoch

kritisch zu beleuchten. In die vom Thünen-Institut modellierten Wasserstände gehen bisher keine Messungen aus Schleswig-Holstein ein. Dies kann zu Abweichungen bei den modellierten Wasserständen führen. Außerdem ist die Dichte an Messstellen für Grundwasserflurabstände bisher gering. In die Interpolation der Wasserstände über das Digitale Geländemodell gehen zwar Messwerte aus Schleswig-Holstein ein (Poyda et al., 2016). Allerdings sind die berechneten Werte ebenfalls mit Vorbehalt zu betrachten, da implizit die Annahme getroffen wird, dass die Wasserstände ausschließlich von der Geländehöhe abhängig sind. Diese Annahme widerlegen bspw. Bechtold et al. (2014), auf deren Veröffentlichung der Thünen-Ansatz fußt.

4.2 Indirektes Treibhausgaseinsparpotenzial in anderen Berichtssektoren

Wasserstandsanhörungen induzieren Extensivierungsreaktionen der landwirtschaftlichen Betriebe. So kann Dauergrünland in der Regel nicht mehr so intensiv wie bisher genutzt werden. Dies führt einerseits zu Einsparungen beim Mineraldüngereinsatz, andererseits können auch Futterlücken entstehen. Da die betroffenen Flächen räumlich stark zusammenhängen und großflächige Gebiete betroffen sind, nehmen wir vereinfachend an, dass eine Ersatzfutterbeschaffung nicht möglich ist und die Betriebe deshalb die Tierbestände abstocken müssen. Diese und weitere Extensivierungseffekte werden bei der Ermittlung des indirekten Treibhausgaseinsparpotenzials berücksichtigt.

4.2.1 Datengrundlage und Methodik

Die Abschätzung der indirekten Treibhausgaseinsparpotenziale beschrän-

ken wir auf die im vorrangegangenen Abschnitt beschriebenen beiden Szenarien der Wasserstandsanehebung (+20 cm und maximales Potenzial). Die im folgenden Abschnitt dargestellten Ergebnisse beruhen aus Platzgründen auf den Wasserständen nach Thünen-Institut.

In beiden Szenarien wird zunächst untersucht, inwiefern die Versorgung der Tierbestände mit Futter sichergestellt ist. Denn die durch angehobene Wasserstände bedingte extensivere Nutzung führt dazu, dass die Futtergewinnung für die Rinderhaltung in Menge und Qualität eingeschränkt ist (Mährlein, 1993). Die einzelbetrieblichen Tierbestände entstammen den InVeKoS-Daten der betroffenen Betriebe. Aufgrund der untergeordneten Bedeutung von Veredlungsbetrieben in den Fokusregionen beschränkt sich die folgende Betrachtung auf Rinderhaltende Betriebe. Diese können in der Rationsgestaltung für eine wiederkäuergerechte Fütterung nur in begrenztem Maße auf (teureres) Kraftfutter ausweichen, sodass sie auf die Flächen zur Grobfuttererzeugung angewiesen sind. Anderes Ersatzfutter wird voraussichtlich in diesen Betrieben nur schwierig zu beschaffen sein, da die betroffenen Regionen häufig große räumlich zusammenhängende Gebiete umfassen.

Zur Analyse der einzelbetrieblichen Grundfuttersituation setzen wir im ersten Schritt für jeden Betrieb in der betroffenen Region die Tierbestände ins Verhältnis zur Futterfläche und treffen die Annahme, dass dieses Verhältnis bei einem Verlust von Futterfläche konstant gehalten werden soll. Die Betriebe reagieren somit annahmegemäß direkt mit der Abstockung der Tierbestände proportional zum Anteil der betroffenen Futterfläche an der gesamten Futterfläche. Damit verändert

sich die betriebliche Fittersituation nicht. Die Futterfläche eines Betriebes ist hier definiert als Summe aus Dauergrünlandfläche und Ackerfutterfläche. Bei der Ermittlung der Abstockungsrate wird beachtet, dass das Grünland geringere Energieerträge erzielt als der Ackerfutterbau.

Im zweiten Schritt bilden wir zusätzliche Anpassungsreaktionen ab. Betriebe, die über für den Marktfruchtbau genutzte Flächen verfügen, könnten diese zum Futterbau umnutzen, um zumindest einen Teil der Futterlücke zu schließen. Allerdings verzichten diese Betriebe dann auf die Einkünfte aus dem Marktfruchtbau. Einen weiteren Teil der Futterlücke können einige Betriebe durch die intensivere Nutzung nicht betroffener Futterflächen kompensieren. Diesen Zusammenhang bilden wir über eine Erhöhung der Viehdichte auf das 90%-Perzentil aller Betriebe in der betroffenen Region ab, wobei in dieses nur Betriebe eingehen, die die 170 kg N-Grenze nach Düngerverordnung einhalten. Die Grenze des 90%-Perzentils liegt für reine Grünlandbetriebe bei 1,9 GV/ha, für Betriebe, die auch über Ackerfutterflächen verfügen, beträgt das 90%-Perzentil 2,0 GV/ha LN. Bis zu diesen Grenzen können die Viehbestände in den Betrieben annahmegemäß aufgestockt werden.

Schlussendlich stehen neben dem Ausgangsviehbestand ein reduzierter Viehbestand ohne innerbetriebliche Anpassungsreaktionen (im Folgenden „ohne Anpassung“) und ein reduzierter Tierbestand unter Berücksichtigung der genannten Anpassungsreaktionen (im Folgenden „mit Anpassung“) zur Verfügung. Diese Bestände konnten in die Tierkategorien der nationalen Klimaberichterstattung eingeteilt werden (vgl. Voß et al., 2022).

Die Quantifizierung der Effekte reduzierter Tierbestände auf die Treibhausgasemissionen erfolgte nach dem im Gutachten von Latacz-Lohmann et al. (2022) beschriebenen Vorgehen. Bei einzelnen Emissionsaspekten weicht das Vorgehen des genannten Gutachtens von der nationalen Klimaberichterstattung ab. So wurde die Ausbringungs- und die Lagersituation der Wirtschaftsdünger in Latacz-Lohmann et al. (2022) in Anlehnung an die Landwirtschaftszählung 2020 modelliert und nicht nach den in Voß et al. (2022) beschriebenen Modellen. Diese Abweichungen halten sich jedoch aufgrund des geringeren Einflusses der Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung auf die Gesamttreibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft in Grenzen.

Neben den Auswirkungen auf die einzelbetriebliche Tierzahlen werden auch die Folgen der Umnutzung der wiedervernässten Flächen im Hinblick auf Treibhausgaseinsparpotenziale bewertet. An dieser Stelle gehen wir zunächst davon aus, dass auf den nass zu bewirtschaftenden (roten) Flächen keine produktiven Folgenutzungen stattfinden und somit keine Treibhausgasemissionen durch Bewirtschaftung entstehen. Somit werden auf diesen Flächen auch die Treibhausgasemissionen der Düngemittelproduktion und -ausbringung eingespart. Auf die Bewirtschaftungsemissionen der Folgenutzungsmöglichkeiten auf den eingeschränkt und nass zu bewirtschaftenden Flächen gehen wir im Detail in Abschnitt 5 ein.

In diesem Abschnitt treffen wir für die Nutzung der gelben (eingeschränkt zu bewirtschaften) Flächen folgende Annahmen: Grünlandflächen dieser Kategorie können bspw. in den Sommermonaten genutzt werden. Statt 4 Schnitten gehen wir von 2 bis 3 Schnit-

ten bei mäßiger Futterqualität aus (vgl. „Feuchtwiese“ oder „Weide mit Rindern“ in Närmann et al. 2021). Ackerflächen dieser Kategorie sind langfristig als Grünland zu nutzen. Daher scheint die Annahme gerechtfertigt, dass diese Flächen hinsichtlich der Nutzungsintensität zwischen den intensiv genutzten grünen und den extensiven roten Flächen liegen. Zur Abschätzung der THG-Emissionen wird vereinfachend der Mittelwert aus beiden Nutzungsformen angesetzt. Bewirtschaftungsemissionen der Folgenutzung werden auch hier zunächst nicht berücksichtigt. Es werden nur die Einsparpotenziale der bisherigen Nutzung bewertet.

Die eingesparten indirekten Emissionen der Flächennutzung ergeben sich im Kern aus dem Verzicht auf eine Mineraldüngung. Wir beschränken uns an dieser Stelle auf die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium. Auf der einen Seite führt eine Abstockung der Tierbestände zu einer Nährstofflücke, die durch einen Mineraldüngerzukauf zumindest teilweise geschlossen werden kann. Daraus resultieren zusätzliche Ammoniakemissionen bei der Mineraldüngerausbringung, die es ebenfalls zu bilanzieren gilt. Auf der anderen Seite kann für die roten Flächen der gesamte Düngedarf und auf gelben Flächen ein Teil des Düngedarfs eingespart werden. Auch hier werden neben der Mineraldüngerbereitstellung Folgeemissionen bei dessen Ausbringung berücksichtigt. Im Endeffekt sind daher drei Emissionsquellen durch den Verzicht auf Mineraldüngereinsatz zu berücksichtigen:

1. Emissionen bei der Mineraldüngerproduktion. Stickstoffmineraldünger werden nach KTBL (2023) mit 3,52 kg CO₂-Äq/kg N für Kalkammonsalpeter bewertet. Kaliumdü-

ger verursachen 0,416 kg CO₂-Äq/kg K₂O und Phosphordünger 0,542 kg CO₂-Äq/kg P₂O₅ (Giuntoli et al., 2017).

2. Ammoniakverluste bei der Ausbringung von Stickstoffmineraldüngern. Nach Voß et al. (2022) werden diese beim Einsatz von Kalkammonsalpeter mit 0,008 kg NH₃/kg N bewertet. Die resultierenden Ammoniakemissionen können dann in Lachgasemissionen und schlussendlich in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden.
3. Direkte und indirekte Lachgasemissionen. Direkte Lachgasemissionen der Mineraldüngung werden nach Voß et al. (2022) mit einem Emissionsfaktor von 0,005254 kg N₂O/kg N bewertet. Der Emissionsfaktor der indirekten Lachgasemissionen durch Auswaschung ergibt sich aus dem Produkt des Stickstoffauswaschungsfaktors von 0,3 kg N/ kg N_{zugeführt} (IPCC, 1996) und des Emissionsfaktors für ausgewaschenen Stickstoff (0,0075 kg N₂O/kg N_{ausgewaschen}) (IPCC, 2006).

Der mittlere Stickstoffdüngbedarf für Dauergrünland, Acker- und Ackerfutterfläche ergibt sich aus einer Düngbedarfsermittlung nach Düngverordnung für die nach InVeKoS relevanten Kulturen (über 3% Anbauanteil an der betroffenen LN) bei Beachtung des Moortyps. Je nach Moortyp sind nach Düngverordnung Abschläge in der Bedarfsermittlung vorzunehmen: auf Niedermoorgrünland 80 kg N/ha, auf Hochmoorgrünland 50 kg N/ha und auf humosen Acker- bzw. Ackerfutterflächen 20 kg N/ha. Die Nährstoffbedarfe für Phosphor und Kalium entsprechen den Abfuhr über die Ernteprodukte und entstammen den Empfehlungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (LKSH, 2022). Auch hier beschränken wir uns auf die Kulturen

mit einem Anbauanteil von mehr als 3%. Eine Korrektur der Nährstoffbedarfswerte um Beiträge aus organischer Düngung braucht nicht zu erfolgen, da diese bereits bei der Tierhaltung in Form eines Mineraldüngerzukaufs berücksichtigt werden.

4.2.2 Ergebnisse

Tabelle 9 zeigt die prognostizierte Entwicklung der Rinderbestände bei einer Anhebung des Wasserstandes um 20 cm und bei oberflächennahen Wasserständen.

Ohne Berücksichtigung von Anpassungsreaktionen reduziert sich der Milchkuhbestand in der Betroffenheitskulisse um ungefähr ein Siebtel bei 20 cm höheren Wasserständen und um ca. 30% bei oberflächennahen Wasserständen. Im Extremfall würden somit knapp ein Drittel weniger Milchkuhe gehalten werden. Eine Intensivierung verbleibender Futterflächen und die Futtergewinnung auf Ackerflächen können die Bestandsrückgänge der Milchkuhe auf 9% bzw. 23% verringern. In den anderen Tierkategorien sind ähnliche Größenordnungen der Bestandsrückgänge zu erwarten. Die Möglichkeiten der innerbetrieblichen Anpassung in der betroffenen Region scheinen nahezu ausgeschöpft zu sein, denn in den meisten Tierkategorien beträgt die Differenz zwischen beiden Szenarien weniger als 10 Prozentpunkte.

Tabelle 10 stellt die Folgen für die Flächennutzung bei um 20 cm angehoben und bei oberflächennahen Wasserständen dar. Bei einer Wasserstandsanhhebung um 20 cm wären auf knapp 33.000 ha Grünland nur noch nasse Folgenutzungen möglich, sodass diese Fläche für die bisherige landwirtschaftliche Nutzung verloren geht. Dieser Wert bezieht sowohl die roten,

nass zu bewirtschaftenden Flächen als auch die gelben, eingeschränkt zu bewirtschaftenden Flächen ein. Gelbe Flächen wurden mit dem Faktor 0,5 herabgewichtet, um sie in nass zu bewirtschaftende (rote) Flächenäquiva-

lente umzurechnen. Neben den 33.000 ha Dauergrünland wären ca. 2.200 ha Ackerfutterfläche und 5.700 ha sonstige Ackerfläche nass zu bewirtschaften.

Tabelle 9: Änderung der Tierbestände bei einer Wasserstandsanhhebung um 20 cm und bei oberflächennahen Wasserständen in der Betroffenheitskulisse gemäß Abb. 2 mit und ohne innerbetrieblichen Anpassungsreaktionen.

Tiergruppe	Ausgangsbestand	Wasserstand 20 cm angehoben		Wasserstand oberflächennah	
		ohne Anpassung	mit Anpassung	ohne Anpassung	mit Anpassung
Milchkühe	146.758	-21.163 (-14,4%)	-13.604 (-9,3%)	-43.952 (-29,9%)	-33.805 (-23,0%)
Kälber	45.158	-6.746 (-14,9%)	-3.866 (-8,6%)	-13.721 (-30,4%)	-9.781 (-21,7%)
Milchfärsen	147.036	-21.619 (-14,7%)	-12.491 (-8,5%)	-44.106 (-30,0%)	-31.715 (-21,6%)
Schlachtfärsen	21.287	-3.348 (-15,7%)	-1.919 (-9,0%)	-6.779 (-31,8%)	-4.870 (-22,9%)
Männliche Mastrinder	59.022	-8.720 (-14,8%)	-4.926 (-8,3%)	-17.724 (-30,0%)	-12.564 (-21,3%)
Mutterkühe	18.165	-3.461 (-19,1%)	-1.167 (-6,4%)	-6.801 (-37,4%)	-3.382 (-18,6%)
Männliche Rinder > 2 Jahre	28.393	-4.763 (-16,8%)	-2.753 (-9,7%)	-9.602 (-33,8%)	-6.959 (-24,5%)

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 10: Flächennutzung bei einer Wasserstandsanhhebung um 20 cm und bei oberflächennahen Wasserständen in der Betroffenheitskulisse gemäß Abb. 2 mit und ohne innerbetrieblichen Anpassungsreaktionen (alle Angaben in ha).

	Ausgangsfläche	Wasserstand 20 cm angehoben		Wasserstand oberflächennah	
		ohne Anpassung	mit Anpassung	ohne Anpassung	mit Anpassung
Grünland	156.636	123.792 (-32.844)	123.792 (-32.844)	89.907 (-66.729)	-89.907 (-66.729)
Ackerfutterfläche (AF)	79.499	77.298 (-2.201)	70.599 (-8.901)	74.631 (-4.868)	68.674 (-10.825)
sonstiges Ackerland (AL)	116.858	111.150 (-5.707)	117.850 (+992)	104.744 (-12.114)	110.701 (-6.157)
AL zu AF		0	528	0	1.343
AF zu AL		0	7.228	0	7.300

Quelle: eigene Darstellung

Werden innerbetriebliche Anpassungsreaktionen berücksichtigt, kommt es nach unseren Annahmen sogar zu einer Zunahme des sonstigen Ackerland-

des bei einer Abnahme der Ackerfutterfläche. In der betroffenen Region würden 7.228 ha von Ackerfutterfläche zu sonstiger Ackerfläche umgewandelt werden. Dies ist bedingt durch

die annahmegemäß ermöglichte Intensitätssteigerung im Futterbau.

Ähnlich sieht es bei oberflächennahen Wasserständen aus. Wenn keine innerbetrieblichen Anpassungen stattfinden, sind die Auswirkungen auf die Tierzahlen in diesem Szenario ungefähr doppelt so groß wie bei um 20 cm angehobenen Wasserständen. Die innerbetriebliche Anpassung kann auch in diesem Fall auf Ackerfutterflächen und sonstigen Ackerflächen die Folgen abpuffern. Grünlandflächen können annahmegemäß nicht umgewandelt werden.

Ob eine derartige Effizienzsteigerung im Futterbau in der Praxis möglich ist, wird an dieser Stelle nicht geprüft. Es lassen sich sowohl Argumente für als auch gegen diese Annahme finden: Dafür spricht bspw., dass mehrere Betriebe in der betroffenen Region bei den zugrunde gelegten Viehdichten wirtschaften und diese Intensitäten damit real sind. Außerdem ist es möglich, dass bewusst auf eine Marktfruchtnutzung aufgrund fehlender Mechanisierung verzichtet wird und stattdessen extensiver im Futterbau gewirtschaftet wird. Dagegen könnten Viehdichtelimitationen von Extensivierungsprogrammen und bereits in der Ausgangssituation hohe Wasserstände in der Fläche sprechen.

Schlussendlich konnten durch die Quantifizierung der Tierbestands- und Flächennutzungsänderungen in den einzelnen Szenarien die Auswirkungen auf die indirekten Treibhausgasemissionen nach Latacz-Lohmann et al. (2022) ermittelt werden. Tabelle 11 fasst die Ergebnisse zusammen.

Eine Wasserstandsanhhebung um 20 cm in der betroffenen Region bringt

bei einer Vernachlässigung der Anpassungsreaktionen eine Treibhausgaseinsparung von 182.500 t CO₂-Äq in anderen Berichtssektoren als dem LULUCF-Sektor mit sich. Der Großteil dieser Einsparung ist im Sektor Landwirtschaft berichtbar. Drei Viertel der Treibhausgaseinsparung (130.400 t CO₂-Äq) in diesem Sektor sind auf verminderte Emissionen aus der enterischen Fermentation der Wiederkäuer zurückzuführen. Eine Intensivierung der Flächennutzung (Szenario „mit Anpassung“) führt zu einer Einsparung von immerhin noch gut 120.000 t CO₂-Äq.

Bei oberflächennahen Wasserständen summieren sich die indirekten THG-Einsparungen auf 374.800 t CO₂-Äq pro Jahr (ohne Anpassung) bzw. 292.200 t CO₂-Äq (mit Anpassung). Auch in diesem Fall sind ca. drei Viertel des Einsparpotenzials im Sektor Landwirtschaft auf die Reduktion verdauungsbedingter Methanemissionen der Rinder zurückzuführen.

Auffällig sind die höheren Einsparpotenziale bei der Mineraldüngerbereitstellung im Szenario mit Anpassung. Hier wären zunächst niedrigere Einsparpotenziale durch eine Intensivierung der Flächennutzung zu erwarten. Da es hier jedoch aufgrund der Intensitätssteigerung im Futterbau zu einer Umnutzung von Ackerfutterfläche in Marktfruchtflächen (vgl. Tabelle 10) kommt und Ackerflächen mit durchschnittlich 108 kg N/ha weniger stark gedüngt werden als Ackerfutterflächen (184 kg N/ha), resultieren größere Einsparpotenziale. Ob diese in der Praxis realisierbar sind, bleibt zu hinterfragen.

Tabelle 11: Indirekte Treibhausgaseinsparpotenziale bei einer Wasserstandsanhhebung um 20 cm und bei oberflächennahen Wasserständen in der Betroffenheitskulisse gemäß Abb. 2 mit und ohne innerbetrieblichen Anpassungsreaktionen (alle Angaben in Tsd. t CO₂-Äq).

	Wasserstand 20 cm angehoben		Wasserstand oberflächennah	
	ohne Anpassung	mit Anpassung	ohne Anpassung	mit Anpassung
Sektor Landwirtschaft				
CH₄				
WD-Management	-16,1	-9,7	-33,2	-24,5
Verdauung	-130,4	-78,3	-267,8	-197,0
N₂O				
Düngung				
Stickstoffdüngeranwendung	-16,4	-14,6	-33,7	-32,1
Wirtschaftsdüngeranwendung	-2,6	-1,5	-5,3	-3,9
Gärrückstände	-0,5	-0,3	-1,1	-0,8
indirekte Emissionen				
Wirtschaftsdüngermanagement				
Wirtschaftsdüngermanagement	-9,7	-5,7	-19,8	-14,3
indirekte Emissionen				
andere Sektoren				
Mineraldüngerbereitstellung	-6,8	-10,0	-13,9	-19,5
Saldo Landwirtschaft	-175,7	-110,2	-360,9	-272,7
Saldo alle Sektoren (ohne LULUCF)	-182,5	-120,2	-374,8	-292,2

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 19 gibt einen Überblick über die direkten und indirekten Treibhausgaseinsparpotenziale über alle Sektoren der nationalen Klimaberichterstattung hinweg. Die Werte ergeben sich durch Addition der Potenziale im Sektor LULUCF nach Thünen-Ansatz und der indirekten Einsparpotenziale. In Summe können somit bei um 20 cm angehobenen Wasserständen gut 1,5 Millionen t CO₂-Äq eingespart werden. Bei oberflächennahen Wasserständen verdoppelt sich dieses Potenzial nahezu. Außerdem wird deutlich, dass in allen Szenarien der Sektor LULUCF für knapp 90% des Einsparpotenzials verantwortlich ist. Die übrigen Emissionen sind zum Großteil im Sektor Landwirtschaft berichtbar, in anderen Sektoren resultieren kaum Einsparpotenziale.

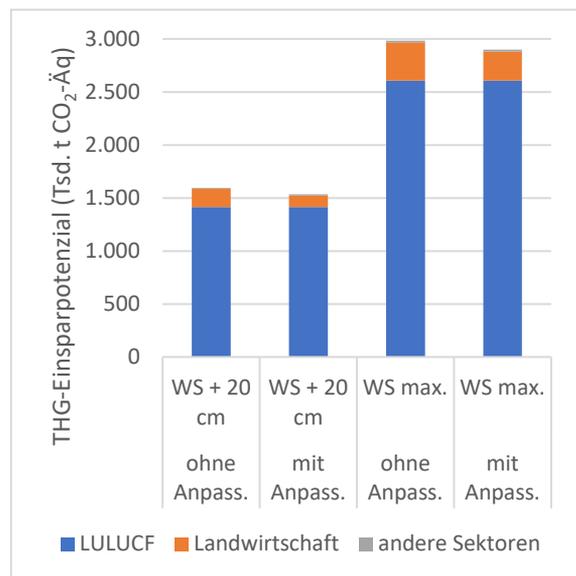


Abb. 19: Treibhausgaseinsparpotenziale in der Betroffenheitskulisse (Abb. 2) über alle Sektoren in den verschiedenen Szenarien (LULUCF nach Thünen-Ansatz). Quelle: eigene Darstellung

4.3 Zwischenfazit

Zur Abschätzung des Treibhausgaseinsparpotenzials im LULUCF-Sektor wurden die Wasserstände in der Fläche für jeden Schlag der betroffenen Region GIS-basiert schrittweise in 10 cm Schritten angehoben. Somit konnte das Einsparpotenzial schlagspezifisch abgeschätzt werden. Dieses Einsparpotenzial ergibt sich aus der Summe der Einsparpotenziale der Einzelschläge. Das Treibhausgaseinsparpotenzial im LULUCF-Sektor liegt in der betroffenen Region (ca. 86.000 ha LN) bei ganzjähriger Einstellung oberflächennaher Wasserstände (Grundwasserflurabstand auf allen Schlägen von kleiner 10 cm) je nach Modellierungsansatz zwischen 2,280 und 2,608 Mio. t CO₂-Äq pro Jahr. Nach dem Modellierungsansatz des Thünen-Instituts wird bereits bei einer Wasserstandsanhhebung um 50 cm nahezu das vollständige Einsparpotenzial erreicht. Selbiges wird nach den Modellierungsansätzen mittels des Digitalen Geländemodells (DGM) langsamer erreicht, nämlich erst bei ganzjährig oberflächennahen Wasserständen. Der Thünen-Ansatz prognostiziert, dass bei einer Wasserstandsanhhebung um 20 cm bereits auf ca. 90% der betroffenen Fläche (knapp 80.000 ha) mit Bewirtschaftungseinschränkungen zu rechnen ist. Diese Fläche fällt nach den DGM-Modellen deutlich kleiner aus. Die nach dem Thünen-Ansatz modellierten Wasserstände scheinen somit in der Ausgangssituation höher zu sein. Hier zeigen sich große Unsicherheiten in der geohydrologischen Modellierung.

Für die beiden Fokusregionen wurden zwei Szenarien genauer analysiert: Eine Anhebung des Wasserstandes um 20 cm sowie eine ganzjährige Anstauung auf allen Teilschlägen von ca. 10 cm unter Geländeoberfläche – Letzter-

es zur Ermittlung des maximal zu erreichenden Einsparpotenzials. Die Fokusregion Eider-Treene-Niederung trägt in beiden Szenarien zu ca. 15% der im LULUCF-Sektor berichtbaren Treibhausgaseinsparung der insgesamt betroffenen Region bei. Der Oldenburger Graben kann einen Beitrag von knapp 3% liefern.

In absoluten Zahlen bedeutet dies bei 20 cm höher eingestellten Wasserständen je nach Modellierungsansatz eine THG-Einsparung von 120.000 bis 214.000 t CO₂-Äq pro Jahr in der Eider-Treene-Niederung und von 23.000 bis 32.000 t CO₂-Äq pro Jahr im Oldenburger Graben. Bei Einstellung ganzjährig oberflächennaher Wasserstände liegen die THG-Einsparungen deutlich höher: zwischen 351.000 und 367.000 t CO₂-Äq pro Jahr in der Eider-Treene-Niederung und zwischen 36.000 und 71.000 t CO₂-Äq pro Jahr im Oldenburger Graben.

Neben der THG-Einsparung im LULUCF-Sektor ergeben sich Einsparungen in den Sektoren Landwirtschaft und Industrie durch den Rückgang der Tierzahlen und den reduzierten Mineraldüngereinsatz infolge der eingeschränkten Nutzbarkeit vernässter Flächen. Eine Wasserstandsanhhebung um 20 cm bringt in der betroffenen Region (ca. 86.000 ha LN) eine Treibhausgaseinsparung von 182.500 t CO₂-Äq in den genannten Berichtssektoren, wenn man unterstellt, dass die Viehzahlen proportional zum Verlust der Produktionsfläche zurückgehen. Dementsprechend ist der Großteil dieser Einsparung im Sektor Landwirtschaft berichtbar (130.400 t CO₂-Äq allein durch verminderte Emissionen aus enterischer Fermentation).

Berücksichtigt man realistische Anpassungsreaktionen der betroffenen Betriebe (z.B. Intensivierung und Umnut-

zung von Ackerfläche zu Futterfläche statt Viehbestandsabbau) verringert sich das genannte Einsparpotenzial auf rund 120.000 t CO₂-Äq pro Jahr. Bei Einstellung ganzjährig oberflächennaher Wasserstände liegen die THG-Einsparungen mit 292.000 (mit Anpassungsreaktionen der Betriebe) bis 371.000 t CO₂-Äq pro Jahr (ohne Anpassungen) deutlich höher.

Über alle Berichtssektoren hinweg können in Summe bei um 20 cm angehobenen Wasserständen gut 1,5 Mio. t CO₂-Äq in der betroffenen Region (ca. 86.000 ha LN) eingespart werden. Bei oberflächennahen Wasserständen ver-

doppelt sich dieses Potenzial nahezu. In beiden Szenarien sind knapp 90% des Einsparpotenzials dem LULUCF-Sektor zuzurechnen.

Global gesehen ist dieser Wert vermutlich überschätzt, da der Produktionsausfall bei konstantem Konsum ggf. durch Importe kompensiert wird, welche ebenfalls mit einem CO₂-Rucksack belastet sind. Da allerdings nicht davon auszugehen ist, dass Importprodukte einen ähnlichen hohen Fußabdruck wie auf Moorflächen erzeugte Güter haben, bleibt ggf. auch im globalen Kontext die positive Klimawirkung bestehen.

5 Folgenutzungen bei angehobenen Wasserständen

Flächen mit geringen Grundwasserflurabständen können auf verschiedene Weise genutzt werden. Grundsätzlich lassen sich die Folgenutzungsalternativen in vier Gruppen einteilen:

1. Extensive Tierhaltungsverfahren

Diese Folgenutzungskategorie umfasst eine Flächennutzung zur extensiven Rindermast bzw. zur extensiven Milcherzeugung. Voraussetzung für extensive Tierhaltung ist, dass die Flächen in den Sommermonaten mit einer nassen Nutzung angepasster Technik befahrbar oder zumindest weidefähig sind. In den Wintermonaten können die Flächen zum Teil überstaut sein. Derartige Voraussetzungen dürften insbesondere in den Randbereichen der Mooregebiete erfüllt sein.

2. Paludikultur

Anbaupaludikulturen werden aufgrund der unsicheren rechtlichen Situation in erster Linie auf Ackerland angebaut. Feuchtwiesen gelten ebenfalls als Paludikultur im weiteren Sinne und stellen eine Nutzungsform des Dauergrünlandes dar. Ihr Aufwuchs kann z.B. in der Dämmstoffindustrie, in der Papierindustrie oder zur Energieerzeugung verwertet werden.

3. Photovoltaik

Mit Photovoltaikanlagen kann auf vernässten Flächen Strom erzeugt werden. Der Anbau einer Kultur auf der Fläche ist somit nicht mehr notwendig bzw. möglich.

4. Klimapunkte/CO₂-Zertifikate

Diese Folgenutzungskonzepte zielen auf die explizite Inwertsetzung der Klimaschutzleistung ab. Inwiefern eine Nutzung der Fläche möglich ist, hängt vom gewählten Konzept ab. Klimapunkte werden bspw. generiert, indem das Vernässungsrecht veräußert wird.

Theoretisch lässt dieses Konzept zusätzlich eine Paludikulturnutzung zu.

Mögliche Folgenutzungen einer wiedervernässten Moorfläche sind abhängig von ihrer räumlichen Lage. In Naturschutz-, Vogelschutz- und FFH-Gebieten wird eine Folgenutzung aufgrund des bestehenden Schutzcharakters i.d.R. auf eine extensive, nasse Grünlandnutzung begrenzt sein. Auch die Errichtung von Photovoltaikanlagen wird aufgrund der Entfernung zu Einspeisepunkten nicht überall betriebswirtschaftlich rentabel sein.

In den folgenden Abschnitten beleuchten wir die dargestellten Folgenutzungskonzepte hinsichtlich ihres Flächeneignungspotenzials in Schleswig-Holstein und ihrer Wirtschaftlichkeit. Die Betriebsstrukturanalyse hat gezeigt, dass die Milchviehbetriebe in Moorregionen die größte Gruppe betroffener Betriebe darstellen und die höchsten Deckungsbeiträge und Gewinne erzielen. Ein in Anlehnung an die Milchviehbetriebe aus der Betriebsstrukturanalyse konstruierter Milchviehbetrieb mit einer Flächenbetroffenheit von 80% (vgl. Tabelle 12) wird zur Einordnung der Ergebnisse und zur Ermittlung von Einkommensverlusten herangezogen. Die wirtschaftlichen Kennzahlen entstammen den Kalkulationsdaten der Landwirtschaftskammern Schleswig-Holstein und Niedersachsen sowie dem KTBL (LKSH, 2022; LWK Niedersachsen, 2022; Mährlein, 1993). In den Kalkulationen bewerten wir Veränderungen im Arbeitszeitbedarf mit, obwohl diese formal nicht im Deckungsbeitrag erfasst werden. Hierfür wird ein Stundensatz von 20 € veranschlagt (Rinderreport SH, 2022).

Tabelle 12: Beispielbetrieb zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Folgenutzungsalternativen.

	Deckungsbeitrag (€/Einheit)	Deckungsbeitrag insg. (€)
120 Milchkühe 9.000 kg ECM/Kuh und Jahr, 0,40 €/kg	2.000	240.000
50 erzeugte Färsen pro Jahr als Nachzucht	1.000	50.000
80 ha Moorgrünland vollständig betroffen, 46.000 MJ NEL/ha	-1.050	-88.000
20 ha Silomais Geest, nicht betroffen, 70.000 MJ NEL/ha	-1.300	-26.000
5.770 h/Jahr Arbeitszeitbedarf		
	Summe	180.000

Quelle: eigene Darstellung

Die Folgenutzungen können durch die Bewirtschaftung THG-Emissionen verursachen. Eine Quantifizierung dieser Bewirtschaftungsemissionen ist jedoch für die meisten der analysierten Folgenutzungen mit großer Unsicherheit behaftet. Für Paludikulturen stehen bisher keine Emissionsfaktoren in der nationalen Klimaberichterstattung zur Verfügung. Die Bodeneingriffe bei der Errichtung von PV-Anlagen in Mooren wurden ebenfalls bisher nicht im Hinblick auf die Treibhausgasemissionen bewertet.

Einzig für die extensiven Tierhaltungsverfahren lassen sich die THG-Emissionen fundiert abschätzen. Der Großteil der Emissionen stammt, wie in Abschnitt 4.2.2. dargelegt, aus der Wiederkäuerhaltung an sich. Soweit möglich bilanzieren wir die THG-Emissionen der verschiedenen Folgenutzungen zumindest näherungsweise mit.

5.1 Extensive Tierhaltungsverfahren

5.1.1 Flächeneignung

Die extensive Tierhaltung wird grundsätzlich in der gesamten betroffenen Region möglich sein, unabhängig davon, ob eine Fläche Grünland oder Ackerland ist oder in einem Schutzgebiet liegt oder nicht. Ackerland kann bspw.

durch die Ansaat von Grünlandmischungen in bewirtschaftbare Grünlandfläche umgewandelt werden, die dann über extensive Tierhaltung genutzt werden kann. In Schutzgebieten bestehen häufig Auflagen bezüglich eines späteren Nutzungstermins. Mit großer Wahrscheinlichkeit verschiebt sich das Nutzungsfenster auf den im Wasserstand angehobenen Flächen an sich nach hinten, da hohe Wasserstände im Frühjahr lange in der Fläche gehalten werden. Einzig Flächen mit ganzjährig hohen Wasserständen werden nicht über extensive Tierhaltungsverfahren genutzt werden können. Hier besteht neben der mangelnden Befahrbarkeit und Weidefähigkeit die Gefahr von Futterverunreinigungen (z.B. mit Clostridien). Diese Flächen können mit der vorhandenen Datenbasis jedoch nicht identifiziert werden.

5.1.2 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit und die Einkommenswirkung der extensiven Tierhaltung beleuchten wir anhand des Beispielbetriebes (vgl. Tabelle 12). Diesem Betrieb stehen nach Experteninterviews verschiedene Möglichkeiten im Bereich der Tierhaltung offen.

Extensive Milcherzeugung

Die erst ab Mitte Juni mit angepasster Technik zu befahrenden Flächen können in diesem Szenario lediglich dreimal genutzt werden. Der späte erste Schnitt ist qualitativ deutlich schlechter als bisher. Im Durchschnitt nimmt der Energieertrag von der Fläche um 15% ab (Mährlein, 1993). Da auch die

Energiedichte zurückgeht und die Ersatzfutterbeschaffung im Falle einer großflächigen Wasserstandsanhhebung erschwert sein dürfte, erfolgt eine Abstockung der Tierbestände. Die Milchleistung sinkt annahmegemäß auf 7.500 kg ECM/Kuh und Jahr. Tabelle 13 stellt den Beispielbetrieb in der neuen Situation (bei angehobenen Wasserständen) mit seiner Wirtschaftlichkeit dar.

Tabelle 13: Wirtschaftliche Auswirkungen eines Überganges des Beispielbetriebes zur extensiven Milcherzeugung.

	Deckungsbeitrag (€/Einheit)	Deckungsbeitrag insg. (€)
112 Milchkühe 7.500 kg ECM/Kuh und Jahr, 0,40 €/kg	1.600	179.200
46 erzeugte Färsen pro Jahr als Nachzucht	1.000	46.000
80 ha Moorgrünland vollständig betroffen, 39.000 MJ NEL/ha	-850	-68.000
20 ha Silomais Geest, nicht betroffen, 70.000 MJ NEL/ha	-1.300	-26.000
420 h/Jahr Arbeitszeiteinsparung	20	8.400
	Summe	139.600

Quelle: eigene Darstellung

Der Gesamtdeckungsbeitrag des Beispielbetriebes sinkt durch die Extensivierung von 180.000€ auf 139.600 €. Der Einkommensverlust von 40.400 € geht zum Großteil auf die durch die verringerte Milchleistung bzw. Bestandsreduktion geringeren Erlöse aus dem Milchverkauf zurück. Geringere Grundfutterkosten und eingesparte Arbeitszeit wirken den verringerten Umsatzerlösen entgegen.

Prämienorientierte extensive Milcherzeugung

Der Grundgedanke dieses Szenarios ist es, den Einkommensrückgang von ca. 40.400 € (ca. 400 €/ha) durch die gezielte Teilnahme an Ökoregelungen und Vertragsnaturschutzprogrammen abzuf puffern. Das Risiko, die nassen Flächen nicht in jedem Jahr nutzen zu

können, wird durch die vertraglich vereinbarte Einkommenskomponente reduziert. Auf lange Sicht besteht bei dieser Betriebsausrichtung jedoch eine größere Politikabhängigkeit, da ein großer Teil des Betriebsgewinns aus Förderprogrammen stammt, die in zukünftigen Legislaturperioden auslaufen können.

Um an der Ökoregelung 4 „Extensivierung des gesamten Dauergrünlandes eines Betriebes“ teilzunehmen, muss der Beispielbetrieb seinen Rinderbestand auf 1,4 RGV/ha Grünland (RGV = Raufutterfressende Großvieheinheiten) abstocken und Düngeeinschränkungen in Kauf nehmen. Er kann so lediglich 75 Kühe und 60 Färsen halten. Mittelfristig bekommt er dafür eine Prämienzahlung von 100 €/ha. Die

Teilnahme am schleswig-holsteinischen Vertragsnaturschutzprogramm „Grünlandwirtschaft Moor“ zieht ebenfalls weitreichendere Einschränkungen nach sich. Dieses Programm wurde gezielt für die moorigen Niederungen konzipiert. Hier wird die Grünlandfläche in sogenannte grüne, gelbe und rote Flächen eingeteilt. Auf allen Flächen darf keine Absenkung des Wasserstandes erfolgen und die Duldung von Biotop gestaltenden Maßnahmen ist erforderlich. Auf den grünen Flächen gibt es hingegen nahezu keine praxisrelevanten Bewirtschaftungseinschränkungen. Auf gelben Flächen ist die mineralische Düngung untersagt und es sind klare Nutzungsfenster definiert. Auf roten Flächen kommen ein Verbot des Pflanzenschutzes und der

gezielte Wassereinstau hinzu. Die Grünlandpflege im Frühjahr ist hier ebenfalls ausgeschlossen. Diese stärkeren Nutzungseinschränkungen werden durch höhere Zahlungen kompensiert: Auf roten Flächen liegt die Kompensation bei 770 €/ha, auf gelben Flächen werden 350 €/ha gezahlt und auf grünen Flächen erhält der Antragsteller 50 €/ha. Die Einstiegsschwelle liegt bei 10% roten Flächen. Für unseren Beispielbetrieb nehmen wir an, dass sich die Restfläche gleichmäßig in die grüne und gelbe Kategorie aufteilt, d.h. 45% gelbe und 45% rote Flächen.

Tabelle 14 fasst die wirtschaftlichen Folgen der prämiensorientierten, extensiven Milchviehhaltung für den Beispielbetrieb zusammen.

Tabelle 14: Wirtschaftliche Auswirkungen eines Übergangs des Beispielbetriebes zur prämiensorientierten, extensiven Milcherzeugung.

	Deckungsbeitrag (€/Einheit)	Deckungsbeitrag insg. (€)
75 Milchkühe 7.500 kg ECM/Kuh und Jahr, 0,4 €/kg	1.600	120.000
30 erzeugte Färsen pro Jahr als Nachzucht	1.000	30.000
36 ha grünes/36 ha gelbes/8 ha rotes Moorgrünland vollständig betroffen	-690	-55.200
20 ha Silomais Geest, nicht betroffen, 70.000 MJ NEL/ha	-1.300	-26.000
2.043 h/Jahr Arbeitszeiteinsparung	20	40.860
Prämien Extensivierung Ökoregelungen und Vertragsnaturschutz		28.560
	Summe	138.220

Quelle: eigene Darstellung

Gegenüber der Ausgangssituation (vgl. Tabelle 12) geht das Einkommen des Beispielbetriebes um 41.780 € zurück. Damit erreicht der Gesamtdckungsbeitrag ungefähr das Niveau ohne Prämiensorientierung. Aufgrund des deutlich verringerten Tierbestandes geht auch der Arbeitsbedarf deutlich zurück. Es wird ungefähr eine Ar-

beitskraft freigesetzt. Ob eine extensive Milchproduktion mit oder ohne Prämiensorientierung einzelbetrieblich sinnvoll ist, hängt im Einzelfall entscheidend von den tatsächlichen Verwertungsmöglichkeiten der freigesetzten Arbeitszeit ab.

Sofern das Grünland durch die Extensivierung nicht mehr die Voraussetzungen für die Milchkuhhaltung erfüllt,

kann es **für extensive Rindermastverfahren** wie Mutterkuhhaltung, Färsenmast oder extensive Bullenmast genutzt werden. Durch die Düngerreduktion und spätere Schnittzeitpunkte ist davon auszugehen, dass sich der Pflanzenbestand des Grünlands verändert und artenreicher wird. Aus diesem Grund wird die Annahme getroffen, dass der Beispielbetrieb auf der Hälfte seines Grünlandes an der Ökoregelung 5 „Vier Kennarten“ teilnehmen kann. Diese 40 ha Grünland kann er gleichzeitig als rote Fläche in das Vertragsnaturschutzprogramm „Grünlandwirtschaft Moor“ einbringen. Die übrigen

40 ha Grünland werden als gelbe Flächen ins Vertragsnaturschutzprogramm eingebracht. Die Ökoregelung 4 „Extensivierung des gesamten Dauergrünlandes eines Betriebes“ kann der Betrieb bei diesem Extensivierungsschritt ebenfalls beantragen. Für den Umbau des alten Kuhstalls zum Rindermaststall werden Kosten von einmalig 30.000 € angesetzt, die auf eine Restnutzungsdauer von zehn Jahren verteilt werden. Die sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Konsequenzen sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Wirtschaftliche Auswirkungen eines Übergangs des Beispielbetriebes zur prämiensorientierten, extensiven Rindermast.

	Deckungsbeitrag (€/Einheit)	Deckungsbeitrag insg. (€)
100 extensiv erzeugte Mastbullen 24 Monate, 4 €/kg Schlachtgewicht	450	45.000
0 ha grünes/40 ha gelbes/40 ha rotes Moorgrünland vollständig betroffen	-410	-32.800
20 ha Silomais Geest, nicht betroffen, 70.000 MJ NEL/ha	-1.300	-26.000
3.690 h/Jahr Arbeitszeiteinsparung	20	73.800
Prämien Extensivierung Ökoregelungen und Vertragsnaturschutz		61.200
30.000 € Umbaukosten (13% jährliche Kosten)		-3.900
	Summe	117.000

Quelle: eigene Darstellung

In Summe kann in diesem Szenario ein Gesamtdeckungsbeitrag von 117.000 € pro Jahr erreicht werden. Allerdings gilt dies nur für den Fall, dass die freierwerdende Arbeitskraft auch mit 20 €/h vergütet wird, denn sie liefert den größten Beitrag zum Gesamtdeckungsbeitrag. Gegenüber der Ausgangssituation verzeichnet der Beispielbetrieb einen Einkommensrückgang von 63.000 € pro Jahr bzw. 630 €/ha. Selbst bei Teilnahme an vielen Förderprogrammen reichen die Kompensationszahlungen nicht aus, um die Einkommenslücke zu schließen.

Somit wird deutlich, dass die aktuell angebotenen Förderprogramme überarbeitet werden müssen, wenn es das Ziel der Politik ist, dass stark von Wasserstandsanehebungen betroffene Betriebe freiwillig extensivieren und die Einkommensverluste ausgeglichen werden. Andernfalls ist damit zu rechnen, dass Betriebe vermehrt aus der Rinderhaltung aussteigen werden. Dies würde im ländlichen Raum zu einer deutlichen Reduktion der Wertschöpfung führen. Aufgrund der Größe der betroffenen Gebiete ist auch mit Konsequenzen für den vor- und nach-

gelagerten Bereich (z.B. Landhandel, Molkereien) zu rechnen.

5.1.3 THG-Emissionen

Eine viehhaltungsbasierte Folgenutzung führt trotz THG-Einsparungen infolge der Wasserstandsanhebung im Sektor LULUCF zu weiteren Emissionen im Sektor Landwirtschaft. Der Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen des KTBL (Arbeitsgruppe BEK, 2021) ermöglicht eine Quantifizierung dieser Emissionen. Tabelle 16 fasst die nach diesem Standard ermittelten Ergebnisse getrennt nach den Emissionen der Grünlandbewirtschaftung und den Emissionen der Tierhaltung zusammen. Dieser Darstellung liegt die Kernannahme zugrunde, dass die Tierhaltung an die Grünlandnutzung gebunden ist. Somit werden die Treibhausgasemissionen der Tierhaltungsverfahren direkt auf die Grünlandfläche umgelegt. Auf den Ackerflächen würde auch ohne Tierhaltung weiterhin Silomais angebaut werden, welcher annahmegemäß verkauft werden würde.

Zur Ermittlung der THG-Emissionen werden folgende weitere Annahmen getroffen:

- Die ermittelten Emissionswerte sind Durchschnittswerte über alle Grünlandflächen des Beispielbetriebes. Eine Differenzierung nach Art der Flächennutzung (Weide, Mähweide, Wiese) erfolgt nicht.
- Mit voranschreitender Extensivierung nehmen die Trockenmasseerträge ab.
- Das Grundfutter wird ausschließlich auf betriebseigenen Flächen gewonnen. Ein Zukauf ist nicht erforderlich.
- Die Extensivierung erfordert eine Absenkung der Wirtschaftsdüngungsintensität, einerseits zur Ein-

haltung der Stickstoffbedarfswerte, andererseits zur Teilnahme an den Förderprogrammen.

- Auf eine Kalkung gelber und roter Flächen nach Vertragsnaturschutzprogramm „Grünlandwirtschaft Moor“ wird verzichtet.
- Formal sieht der Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen eine Quantifizierung der Humuswirkung nach Humusbilanz der VDLUFA (2014) vor. Auf diese wird jedoch verzichtet, da auf kohlenstoffreichen Böden davon auszugehen ist, dass die Nutzung den Bodenkohlenstoffvorrat nur unwesentlich beeinflusst. Ebenfalls können die in Tiemeyer et al. (2020) ausgewerteten Messwerte (z.B. Poyda et al., 2016) nicht zwischen der nutzungsbedingten Wirkung und der Wirkung der Entwässerung auf den Kohlenstoffabbau differenzieren. Eine Berücksichtigung der Humuswirkung stellt in der Folge eine Doppelbewertung dar, wenn die entwässerungsbedingten Emissionen des LULUCF-Sektors mit denen der Folgenutzung addiert werden. Gleiches gilt für die Lachgasemissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen.
- Die düngungsbedingten Lachgasemissionen stellen wir dennoch dar, da diese die Gesamttreibhausgasemissionen einer Folgenutzungsalternative stark beeinflussen. Diese werden bei der sektorübergreifenden Betrachtung in Abschnitt 6 herausgerechnet.

Tabelle 16 zeigt, dass die THG-Emissionen der Grünlandbewirtschaftung mit fortschreitender Extensivierung je Hektar abnehmen. Auch in der Tierhaltung nehmen die Emissionen bezogen auf das Tier bzw. den Tierplatz weiter ab. Da Tierhaltung und Grünlandnut-

zung in diesem Fall jedoch als eine Einheit zu betrachten sind, müssen diese Treibhausgasemissionen unter Berücksichtigung der Viehdichte je Hektar Grünland aufaddiert werden. Wird die Fläche als Bezugsgröße gewählt, so erzeugt das System „Milchviehhaltung intensiv“ mit knapp 14.000 kg CO₂-Äq/ha die höchsten Treibhausgasemissionen. Das System „Milchviehhaltung

extensiv“ folgt mit knapp 11.000 kg/ha CO₂-Äq vor den prämiensorientierten Folgenutzungen mit knapp 7.500 bzw. 7.800 kg CO₂-Äq/ha. Demnach verursachen die extensivsten viehhaltungsorientierten Folgenutzungen die geringsten THG-Emissionen pro Flächeneinheit.

Tabelle 16: THG-Emissionen der viehhaltungsbasierten Folgenutzungen im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung (alle Angaben in kg CO₂-Äq). Die Emissionen des Silomaisanbaus sind nicht berücksichtigt, da dieser in allen Szenarien in gleichem Umfang erfolgt.

	Milchvieh intensiv	Milchvieh extensiv	Milchvieh extensiv, prämiensorientiert	Rindermast extensiv
Grünlandbewirtschaftung (je Hektar)				
TM-Ertrag (kg)	13.000	7.000	6.000	5.000
N _{org} ausgebracht (kg N)	170	123	120	70
Direkte und indirekte THG-Emissionen aus dem Feld				
N₂O Düngung	1.169	869	792	526
CO₂ Kalk und Harnstoff	395	395	158	0
Vorgelagerte THG-Emissionen Betriebsmitteleinsatz				
CO₂-Äq Dünger	773	502	489	283
CO₂-Äq sonstiges	500	227	210	195
Summe Futterbau	2.837	1.994	1.649	1.003
je kg TM-Ertrag	0,218	0,285	0,280	0,201
Viehhaltung (je Milchkuh bzw. Stallplatz)				
Milch-/Mastleistung	9.000 kg ECM/Jahr	7.500 kg ECM/Jahr	7.500 kg ECM/Jahr	189 kg SG/Jahr
Direkte und indirekte THG-Emissionen aus Wirtschaftsdünger und enterischer Fermentation				
CH₄ Verdauung	3.561	3.290	3.290	1.219
CH₄ Lager und Weide	902	665	665	221
N₂O Stall, Lager, Weide	387	377	377	140
Vorgelagerte THG-Emissionen Betriebsmitteleinsatz				
CO₂-Äq Tierzugang	2.394	2.394	2.394	714
CO₂-Äq Kraftfutter	2.292	1.909	1.909	745
CO₂-Äq sonstiges	382	382	382	148
THG-Gutschriften Nebenprodukte				
CO₂-Äq Wirtschaftsdünger	-347	-306	-306	-97
CO₂-Äq Kälber	-406	-406	-406	0
CO₂-Äq Ersatz Schlachtung	-1.917	-1.917	-1.917	0
Summe Viehhaltung	7.247	6.386	6.386	3.092
je Produkteinheit	0,81	0,85	0,85	16,3
Viehhaltung + Futterbau				
Viehdichte je ha Grünland	1,5	1,4	0,9	2,2
CO₂-Äq je ha	13.708	10.934	7.396	7.805
CO₂-Äq je Produkteinheit	1,02	1,04	1,1	18,8

Quelle: eigene Darstellung

Die Folgenutzungen, welche Milch als Produkt erzeugen, können zusätzlich hinsichtlich ihrer THG-Emissionen bezogen auf eine Produkteinheit bewertet werden. Hier schneiden die intensiveren Produktionssysteme mit 1,02 kg CO₂-Äq/kg Milch besser ab als die extensive, prämiensorientierte Variante. Bei der Interpretation dieser Werte muss jedoch beachtet werden, dass die intensive Milchproduktion eine Entwässerung des Grünlandes zwingend erfordert. Die extensiven Folgenutzungen sind so konzipiert, dass sie auch bei angehobenen Wasserständen umsetzbar sind, zumindest wenn in den Sommermonaten eine Befahrbarkeit gegeben ist. Ihnen müssten für einen fairen Vergleich somit die eingesparten Emissionen im Sektor LULUCF gutgeschrieben werden. Hier können Größenordnungen von 20 bis 30 t CO₂-Äq/ha erreicht werden. Der negative Einfluss der Grünlandbewirtschaftung durch die Tierhaltung wird vor diesem Gesichtspunkt überkompensiert.

5.2 Paludikultur

Im Bereich der Anbaupaludikulturen stehen mittlerweile unterschiedliche Kulturen zur Verfügung. So gehen Wichmann et al. (2022) explizit auf Schilf und Rohrkolben, Schwarzerlen zur Aufforstung und Torfmoose ein. Die aktive Bestandsetablierung und -führung lässt in gewissen Grenzen eine Einflussnahme auf die Qualität des Erntegutes zu. Am nächsten an der klassischen landwirtschaftlichen Nutzung ist der Anbau von Rohrkolben oder Schilf zu verorten. Dieser basiert auf jährlichen Pflege- und Ernteprozessen, während eine Aufforstung deutlich langfristiger zu betrachten ist. Der Torfmoosanbau ist eher in Hochmooren interessant.

Die Biomasse von Nasswiesen und -weiden kann sowohl in der Tierhaltung

(vgl. Abschnitt 5.1 als Beispiel für eine intensive Nutzung von Nasswiesen) als auch in der Dämmstoff- und Papierindustrie sowie zur Energieerzeugung verwertet werden. In der Literatur lassen sich teils äußerst attraktive tierhaltungsbasierte Folgenutzungsalternativen von Nasswiesen identifizieren. So nennen Wichmann et al. (2022) Erlösspannen von 500 bis 2000 €/ha für eine Beweidung mit Wasserbüffeln. Nach Nährmann et al. (2021) sind Gewinne zwischen 1.000 und 1.200 €/ha zu erzielen. Hierbei wird einerseits von sehr günstigen Aufzucht- und Verarbeitungskosten und andererseits von sehr guten Erlösen durch Direktvermarktung ausgegangen, sodass diese Folgenutzung für die breite Masse ausscheiden dürfte. Die alternativen Verwertungen der Nasswiesen als Einstreu (195 bis 250 €/ha Erlös), Brennstoff (100 bis 280 €/ha Erlös) oder Pferdeheu (300 bis 1.040 €/ha Erlös; alle Erlöse nach Wichmann et al., 2022) können für spezialisierte Einzelbetriebe interessant werden. Für die breite Masse scheiden diese Konzepte jedoch aufgrund unsicherer Nachfragesituationen und im Aufbau befindlicher Märkte häufig aus. Hier sind die in Abschnitt 5.1 dargestellten Folgenutzungen als sicherer zu betrachten.

Da die Folgenutzungskonzepte des Grünlands bei angehobenen Wasserständen für die breite Masse bereits in Abschnitt 5.1 diskutiert wurden, beschränken wir uns in diesem Abschnitt auf die Anbaupaludikulturen. Der Fokus liegt in dieser Gruppe auf dem Anbau von Schilf und Rohrkolben.

5.2.1 Flächeneignung

Hinsichtlich der Flächeneignung zur Etablierung von Anbaupaludikulturen ist die rechtliche Situation derzeit der limitierende Faktor. Im Kern beschränkt sich der Anbau derzeit auf

Ackerland. Der Dauergrünlandumbruch ist rechtlich im Rahmen der Konditionalität der GAP über die GLÖZ-Standards untersagt. Nach Wichmann et al. (2022) beschreibt jedoch §12 der GAP-Konditionalitätsverordnung eine Ausnahmemöglichkeit für den Anbau von Paludikulturen. Die Autoren weisen jedoch auf die ungenaue Formulierung in Bezug auf die Bereitstellung von Grünlandersatzflächen beim Umbruch einer Grünlandfläche für den Anbau von Paludikulturen hin, welche zu Vorbehalten bei Landwirten und Verwaltungs- bzw. Kontrollbehörden führe. Zusätzlich ist in Schleswig-Holstein das Dauergrünlandhaltungsgesetz zu beachten, welches Kulissen mit einem Grünlandumbruchverbot definiert. Hierunter fallen ebenfalls Moor- und Anmoorböden. Ob hier Befreiungsmöglichkeiten für den Anbau von Paludikulturen ohne die Bereitstellung einer Ersatzfläche bestehen, ist bisher nicht eindeutig geklärt.

Für die Flächeneignung zur Etablierung von Anbaupaludikulturen bedeutet dies, dass sich die Anbaumöglichkeit bisher auf Ackerflächen beschränkt. Zusätzlich besteht eine Einschränkung durch verschiedene Schutzgebiete. Je nach Schutzzweck sollen gewisse Arten erhalten werden, sodass ein Anbau von Paludikulturen in Vogelschutzgebieten, FFH-Gebieten und Naturschutzgebiete eingeschränkt ist. Eine Einzelfallprüfung der Schutzgebietsverordnungen ist aufgrund der Vielzahl einzelner Schutzgebietsbestimmungen in Schleswig-Holstein im Rahmen dieser Studie nicht möglich, sodass wir zunächst generell alle Schutzgebiete ausschließen.

Abbildung 20 stellt die Flächeneignung in der betroffenen Region dar. Zum

Anbau von Anbaupaludikulturen eignen sich von den insgesamt betroffenen 86.096 ha LN lediglich 17.164 ha LN. Gerade in der stark betroffenen Eider-Treene-Niederung ist die Flächeneignung jedoch deutlich geringer. Hier sind es lediglich 132 ha LN, die sich für Anbaupaludikulturen eignen würden. Im Oldenburger Graben kommen für die Etablierung 564 ha LN in Frage.

5.2.2 Wirtschaftlichkeit

Da Anbaupaludikulturen bisher nicht großflächig angebaut werden, stehen kaum Angaben zur Wirtschaftlichkeit für die breite Masse bereit. Bisher werden Anbaupaludikulturen meist im Rahmen von Forschungs- und Demonstrationsprojekten angebaut, bei denen die Verwertung im Vorfeld geklärt und organisiert wurde. Die projektintern ermittelten Wirtschaftlichkeitskenngrößen sind somit mit großer Unsicherheit zu betrachten, da sie keine reale Vermarktungssituation abbilden. Dennoch sind sie bisher die einzige verfügbare Datengrundlage. Wichmann et al. (2022) geben Erlösspannen und Kosten der verschiedenen Paludikulturen an. Aus dieser Studie lässt sich bei Annahmen zur Verwertung ein Deckungsbeitrag als Vergleichsgröße ableiten, der sich an den durchschnittlichen Werten orientiert. Tabelle 17 stellt den auf diese Weise ermittelten Deckungsbeitrag des Rohrkolbenanbaus beispielhaft für die Gruppe der Anbaupaludikulturen dar. Mit 213 €/ha liegt der Deckungsbeitrag des Rohrkolbenanbaus deutlich unter den Deckungsbeiträgen im Ackerbau (vgl. Abschnitt 3.2). Ohne Förderprogramme werden die Betriebe somit nicht freiwillig in den Paludikulturanbau einsteigen.

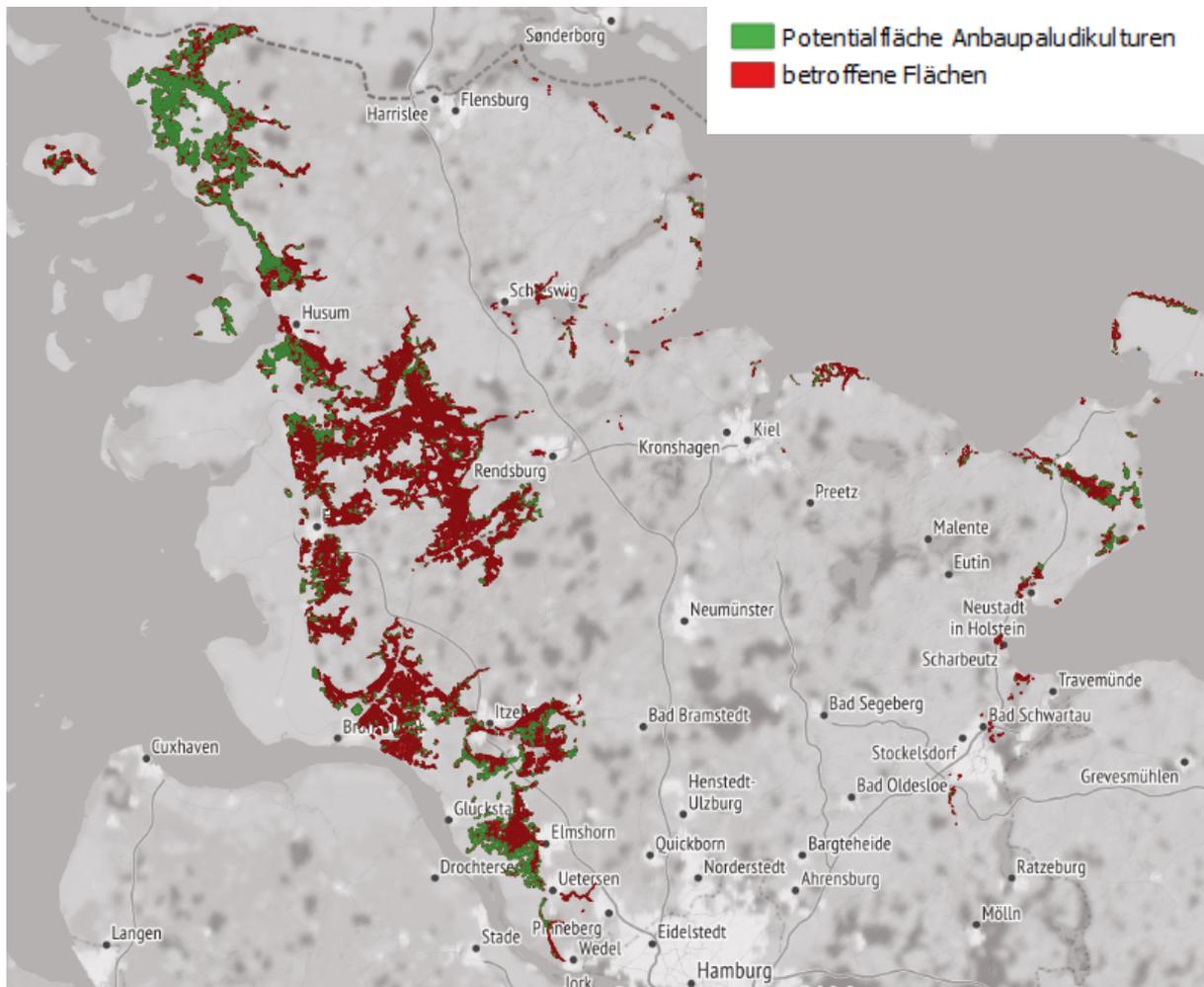


Abb. 20: Flächeneignung für Anbaupaludikulturen in der betroffenen Region.

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 17: Beispielhafte Deckungsbeitragskalkulation für den Rohrkolbenanbau.

Position	Spanne	Durchschnitt	Anteil	€/ha
Ertrag Rohrkolben	5 – 20 dt			
Dämmplatten (150 – 200 €/dt)	750 – 4.000 €/ha	2.375 €/ha	25%	594
Biomasse (Verbrennung; 50 €/dt)	250 – 1.000 €/ha	625 €/ha	75%	469
Summe Erlös				1.063
Anpflanzungskosten (verteilt auf 20 Jahre; 5% Zinsen, 0,5% Unterhalt → 8%)	2.000 – 13.000 €/ha	5.000 €/ha		400
Erntekosten Lohnunternehmer (260 – 640 €/ha)				450
Summe Kosten				850
Deckungsbeitrag				213

Quelle: eigene Darstellung nach Wichmann et al. (2022)

Tabelle 18: Einkommenssituation des Beispielbetriebes beim Übergang zum Rohrkolbenanbau auf Grünland (bisher rechtlich nicht möglich).

	Deckungsbeitrag (€/Einheit)	Deckungsbeitrag insg. (€)
80 ha Rohrkolben (auf ehemaligem Grünland)	213	17.040
20 ha Mais ab Feld	600	12.000
5.000 h/Jahr Arbeitszeiteinsparung	20	100.000
	Summe	129.040

Quelle: eigene Darstellung nach Wichmann et al. (2022)

Anhand des Beispielbetriebes (Tabelle 12) kann die gesamtbetriebliche Einkommenswirkung abgeschätzt werden (Tabelle 18). Die Aufnahme des Rohrkolbenanbaus in das Produktionsprogramm führt im Beispielbetrieb zu einem Einkommensrückgang von 50.960 €. Die wichtigste Einkommenskompensation stammt in diesem Fall aus der alternativen Verwertung der Arbeitszeit. Dies bedeutet, dass das Einkommen künftig hauptsächlich außerhalb der Landwirtschaft erzielt werden muss, da die Anbaupaludikultur wenig Pflege bedarf. Damit ein nahezu spezialisierter Betrieb von Anbaupaludikulturen ein Familieneinkommen bestreiten kann, bedarf es sehr großer Betriebsgrößen. Bei 132 ha Flächeneignung in der gesamten Eider-Treene-Niederung (vgl. Abschnitt 5.2.1) wird hier mit großer Wahrscheinlichkeit kein spezialisierter Betrieb vom Anbau von Anbaupaludikulturen leben können. Die Öffnung der Grünlandflächen für den Anbaupaludikulturanbau könnte den Einstieg zumindest aus Sicht der Flächeneignung erleichtern.

5.2.3 THG-Emissionen

Auch der Anbau von Paludikulturen auf Ackerland führt zu berichtbaren THG-Emissionen in anderen Sektoren. In der Literatur sind jedoch noch keine Emissionsfaktoren für die verschiedenen Paludikulturarten verfügbar. Daher kann an dieser Stelle lediglich eine Abschätzung der THG-Emissionen in den anderen Sektoren über den BEK-Ansatz des KTBL (Arbeitsgruppe BEK, 2021) erfolgen. Die THG-Emissionen wurden dabei analog zu Abschnitt 5.1.3 ermittelt. Als Beispielkultur wurde der Rohrkolben bei einem Ertragsniveau von 12.500 kg FM/ha gewählt. Kulturartabhängige Eingangsparameter wurden vom Dauergrünland übernommen, Düngungsmaßnahmen und Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgen annahmegemäß nicht. Der Kraftstoffverbrauch zur Ermittlung der Emissionen aus Energiebereitstellung und Maschinenherstellung wurden aus den KTBL-Richtwerten für den Miscanthusanbau übernommen. Tabelle 19 fasst die mit dem BEK-Ansatz ermittelten Ergebnisse zusammen.

Schlussendlich ist mit dem beschriebenen Vorgehen lediglich eine Emissionsquelle beim Paludikulturanbau zu verzeichnen. Lachgasemissionen bei der Düngung resultieren nicht, da annahmegemäß keine Düngung erfolgt. Lediglich die Energiebereitstellung und

Maschinenherstellung zieht THG-Emissionen nach sich, sodass in Summe 215 kg CO₂-Äq/ha beim Anbau von Paludikulturen emittiert werden. Ein Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatz könnte dennoch zu weiteren THG-Emissionen führen. Im Vergleich zu den THG-Emissionen der extensiven Tierhaltungsverfahren (vgl. Abschnitt 5.1.3) schneidet die Bewirtschaftung mit Anbaupaludikulturen deutlich besser ab.

Tabelle 19: THG-Emissionen des Paludikulturanbaus am Beispiel Rohrkolben (alle Angaben in kg CO₂-Äq).

Rohrkolben	
Paludikulturbewirtschaftung (je ha)	
FM-Ertrag (kg)	12.500
Direkte und indirekte THG-Emissionen Feld	
N₂O Düngung	0
CO₂ Kalk und Harnstoff	0
Vorgelagerte THG-Emissionen Betriebsmitteleinsatz	
CO₂-Äq Dünger	0
CO₂-Äq sonstiges	215
Summe Anbaupaludikultur	215

Quelle: eigene Darstellung

5.3 Photovoltaik

Als weitere Folgenutzung bei angehenden Wasserständen wird die Freiflächenphotovoltaik diskutiert. Diese findet zunehmend auf Mineralböden Verbreitung. In diesem Abschnitt sollen die Flächeneignung, Wirtschaftlichkeit und THG-Emissionen von Freiflächen-PV-Anlagen auf Moorstandorten untersucht werden. Hierbei sind bestehende Förderprogramme zu beachten. Grundgedanke dieses Systems ist, dass die hohen Wasserstände in der Fläche einer PV-Nutzung kaum im Wege stehen.

5.3.1 Flächeneignung

Für eine PV-Nutzung geeignete Flächen zeichnen sich im ersten Schritt dadurch aus, dass diese nicht in

Schutzgebieten liegen, denn häufig ist eine PV-Nutzung mit den Schutzzwecken nicht vereinbar. Allerdings dient nach §2 des EEG die Errichtung und der Betrieb von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie dem öffentlichen Interesse. Gegebenenfalls ist hier im Einzelfall zu prüfen, welches öffentliche Interesse „Naturschutz“ oder „Erneuerbare Energien“ überwiegt.

Zur Gewinnung von Sonnenenergie eignen sich sowohl Acker- als auch Grünlandflächen. Die Entfernung zu möglichen Stromtrassen entscheidet über die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage. In Abschnitt 5.3.2 beleuchten wir diesen Zusammenhang genauer. Abbildung 21 zeigt neben der PV-Eignungsfläche das bestehende Netz aus Hoch- und Höchstspannungsleitungen. Theoretisch ist auch eine Einspeisung in das Mittelspannungsnetz denkbar. Bei einem großflächigen Zubau auf Moorstandorten kann jedoch lediglich das Hoch- und Höchstspannungsnetz diese großen Strommengen aufnehmen.

Insgesamt ist auf 74.174 ha LN in der betroffenen Region nach den beschriebenen Kriterien die Folgenutzung Freiflächen-PV denkbar. Gerade in der stark betroffenen Eider-Treene-Niederung liegen jedoch viele Flächen in Schutzgebieten und kommen somit für eine PV-Nutzung nicht in Frage.

Weiter einschränkend auf die dargestellte PV-Eignungsfläche kann die Moormächtigkeit wirken. In Experteninterviews wurde deutlich, dass ab einer Moormächtigkeit von ca. 3 m mit stark erhöhten Gründungskosten und erhöhten Kosten für die Unterkonstruktion zu rechnen ist (Wetjen, 2023). Statiker sehen Moor als nicht tragend an, sodass eine Gründung in den Unterboden unter der Torfschicht

erfolgen muss. Dies treibt die Kosten für die Unterkonstruktion im Vergleich zu Mineralstandorten deutlich in die Höhe. Trotz eines Vergütungszuschlags im Rahmen des EEG führt diese Tatsache dazu, dass aktuell ab ca. 3 m Moormächtigkeit Freiflächen-PV-Anlagen in der Regel nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden können.

Daten zu Moormächtigkeiten stehen aktuell nicht für ganz Schleswig-Holstein in digitaler Form als Shape-Datei zur Verfügung. In der Fokusregion Eider-Treene-Niederung sind jedoch entsprechende Karten vorhanden, so dass eine Korrektur der PV-Eignungsfläche um Moormächtigkeiten größer 3 m erfolgen konnte.

Abb. 22 stellt den Einfluss der Moormächtigkeit dar. Allein in der Eider-Treene-Niederung sind auf ca. 5.500 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche Torfmächtigkeiten von über 3 m zu finden. Außerdem sind in der betroffenen Region knapp 3.500 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche als Schutzgebiet ausgewiesen. Beide Ausschlusskriterien umfassen zusammen eine Fläche von 7.300 ha, da sich die Flächen zum Teil überlappen. Somit sind nur 40% der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Mooren in der Eider-Treene-Niederung (ungefähr 4.700 ha) potenziell für den Bau von Freiflächen-PV-Anlagen geeignet.

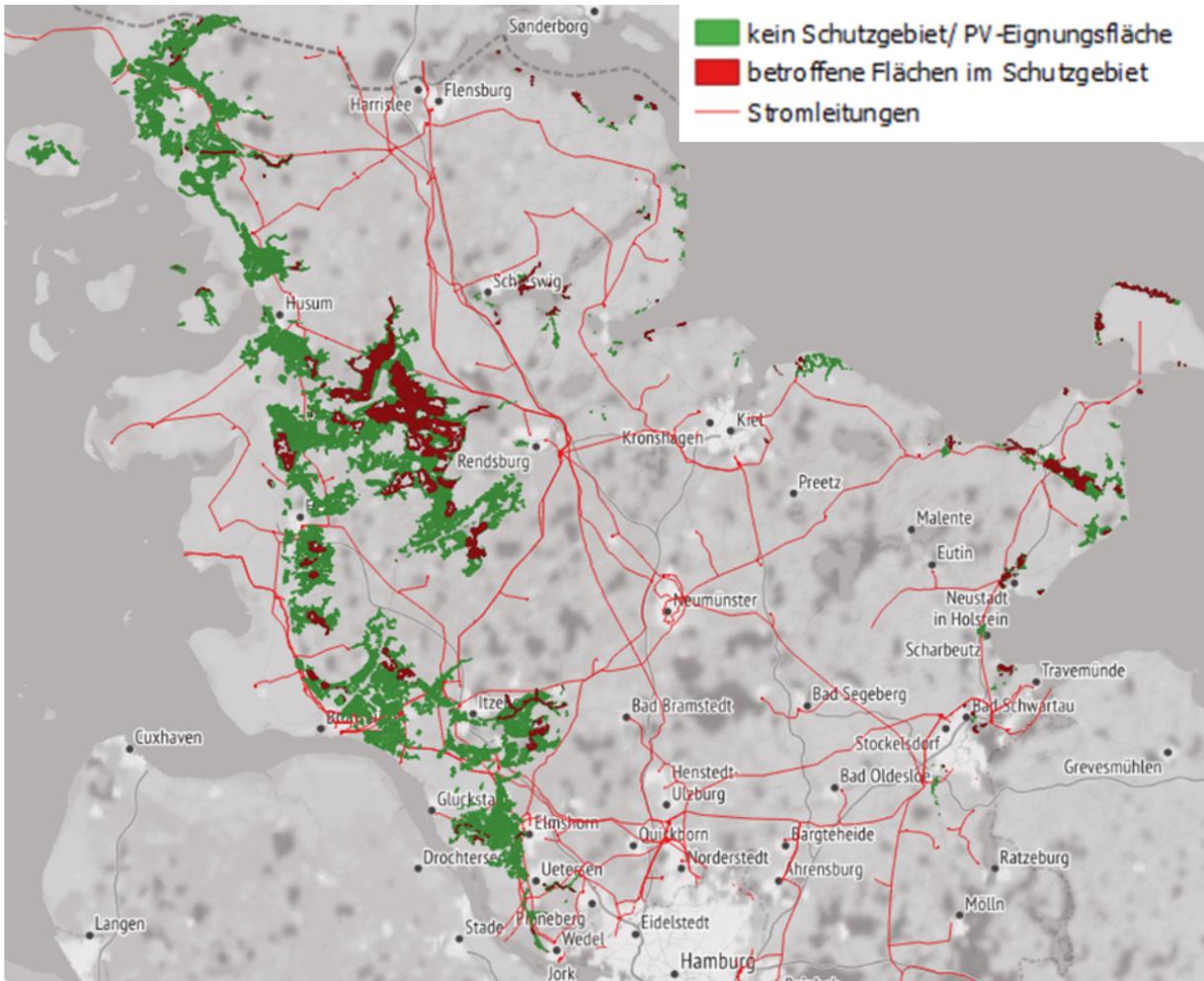


Abb. 21: Flächeneignung für Freiflächen-PV-Anlagen in der betroffenen Region.

Quelle: eigene Darstellung

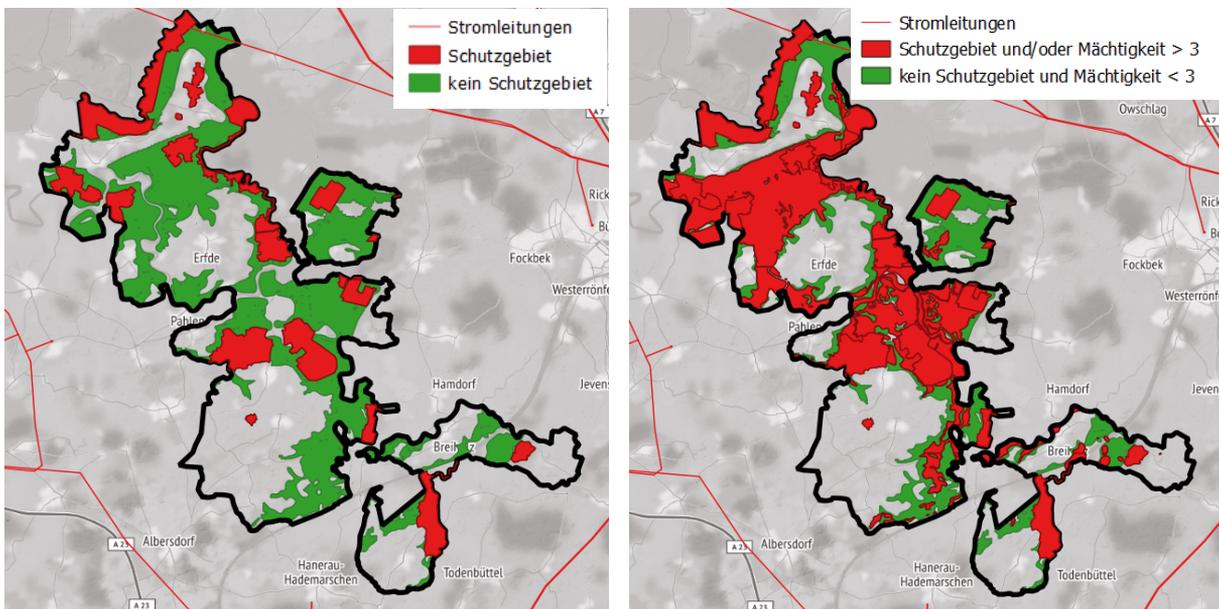


Abb. 22: Flächeneignung für Freiflächen-PV-Anlagen in der Eider-Treene-Niederung (links: Einschränkungen durch Schutzgebiete, rechts: Einschränkungen durch Schutzgebiete und Moormächtigkeit größer 3 m).

Quelle: eigene Darstellung

5.3.2 Wirtschaftlichkeit

In diesem Abschnitt betrachten wir die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage aus Betreiberperspektive. Ausgangspunkt unserer Analysen bildet die Studie von Böhm et al. (2022), welche die Wirtschaftlichkeit von konventionellen Freiflächen-PV-Anlagen in Abhängigkeit der Anlagengröße beleuchtet. Aus Betreiberperspektive muss die Leistungs-Kostendifferenz einer Moor-PV-Anlage mindestens genauso groß sein als diejenige einer konventionellen Freiflächen-PV-Anlage. Sonst wäre die Investition in eine PV-Anlage auf einem Mineralbodenstandort vorzuziehen.

PV-Anlagen auf Moorstandorten erhalten zwar einen Vergütungszuschlag im EEG von derzeit 0,5 Ct/kWh (§38b Abs. 1 Satz 3 EEG 2023), jedoch sind die Gründungskosten in der Regel deutlich höher. Die einzige Stellenschraube, an der ein Betreiber primär drehen kann, ist die Entlohnung der Fläche. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass die erhöhten Gründungskosten an den Grundstückseigentümer weitergereicht werden.

Diesem Gedankengang sind wir gefolgt und haben zunächst die Leistungs-Kostendifferenz einer konventionellen Freiflächen-PV-Anlage mit 10.000 kWp Leistung bei 2 km Entfernung zum Einspeisepunkt und einer Pachtzahlung an den Flächeneigentümer von 3.000 €/ha ermittelt. Tabelle 20 fasst die hierzu notwendigen Kernannahmen nach Böhm et al. (2022) zusammen.

Für Moor-PV-Anlagen mussten diese Kernannahmen angepasst werden. Während die Flächeninanspruchnahme identisch zur konventionellen Freiflächen-PV ist, wird einerseits die höhere Einspeisevergütung für Moor-PV-Anlagen berücksichtigt. Auf der anderen Seite ist von höheren Gründungskosten auszugehen. Da Moor-PV-Anlagen bisher lediglich in Pilotprojekten umgesetzt wurden und somit keine gesicherten Angaben zur Höhe der Gründungskosten zur Verfügung stehen, orientieren wir uns an den Kosten der Unterkonstruktion für hoch aufgeständerten Anlagen (> 4 m). Die Schwankungsbreite dieser ist jedoch nach Fraunhofer ISE (2022) mit 243 bis 500 €/kWp sehr groß. Bei konventionellen Freiflächen-PV-Anlagen liegen die Kosten der Unterkonstruktion bei 76 €/kWp (Fraunhofer ISE, 2022). Vereinfachend nehmen wir daher an dieser Stelle an, dass die Kosten der Unterkonstruktion doppelt so hoch wie bei konventioneller Freiflächen-PV sind.

In den strukturell kleinflächigen Moorregionen gehen wir ebenfalls von 20% höheren Kosten für B-Pläne und Umweltgutachten aus, die Pflegekosten sind annahmegemäß 10% höher als bei konventioneller Freiflächen-PV, da die vernässten Flächen schwieriger zu befahren sind und evtl. Spezialtechnik und Handarbeit notwendig werden. Die Wartungskosten setzen wir 5% höher an, da die Zuwegung bei Moor-PV-Anlagen wahrscheinlich komplizierter ist. Tabelle 20 (rechte Spalte) fasst die Annahmen für die Moor-PV-Anlagen zusammen.

Tabelle 20: Annahmen zur Kalkulation der Leistungs-Kostendifferenz für konventionelle Freiflächen-PV-Anlagen (vgl. Böhm et al., 2022) und Moor-PV-Anlagen.

	Einheit	Konventionelle Freiflächen-PV	Moor-PV
Installierte Leistung	kWp	10.000	10.000
Spezifische Flächeninanspruchnahme	ha/MWp	1,1	1,1
Genutzte Fläche	ha	11	11
Einspeisevergütung	ct/kWh	6	6,5
Investitionskosten	€/kWp	550	620
Anschaffungskosten PV Module	€/kWp	260	260
Anschaffungskosten Wechselrichter	€/kWp	57	57
Anschaffungskosten Aufständering	€/kWp	59	118
Installationskosten	€/kWp	96	96
Weitere Kosten (Umfriedung, Kabel etc.)	€/kWp	26	26
Kosten B-Plan, Umweltgutachten, Zertifizierung	€/kWp	52,5	63
jährliche Kosten ohne Pacht	€/kWp	9,7	10,0
Anlagenbetrieb, Überwachung, Wartung	€/kWp	3,8	4,0
Reparaturrücklage Wechselrichter	€/kWp	2,3	2,3
Grünlandpflege	€/kWp	1,2	1,3
Reinigung	€/kWp	0,5	0,5
Kosten für Versicherung	€/kWp	1,0	1,0
Direktvermarktung	€/kWp	1,0	1,0
Investition Trafo	€/Anlage	445.000	445.000
Pachtansatz	€/ha	3.000	als Restgröße berechnet
Investitionsbedarf Kabel (Zach, 2021)	€/km	100.000	100.000
Jährliche Leistungsdegradation PV-Anlage	%	0,25	0,25
Jährliche Steigerung Wartungskosten	%	1,3	1,3
Mittlere Ertragseinbußen Abregelung	%	1	1
Kalkulationszinssatz	%	2,5	2,5
Nutzungsdauer	Jahre	25	25

Quelle: eigene Darstellung

Der Investitionsbedarf für 1 km Kabel zum Einspeisepunkt beträgt nach Zach (2021) 100.000 €. Um schlussendlich diesen Entfernungsaspekt mit zu berücksichtigen, haben wir Moor-PV-Anlagen kalkuliert, die unterschiedlich weit vom Einspeisepunkt entfernt gelegen sind. Dabei sollte immer die gleiche Leistungs-Kostendifferenz wie bei der konventionellen Freiflächen-PV-

Anlage erreicht werden. Der Pachtpreis wurde als Residualgröße kalkuliert, welcher auch für den Entfernungsaspekt korrigiert. So war es möglich, eine Entfernung zum Netzeinspeisepunkt zu ermitteln, bei welcher die landwirtschaftliche Nutzung der Fläche als Opportunität zur PV-Nutzung konkurrenzfähig ist. Tabelle 21 stellt die Ergebnisse dar.

Tabelle 21: Ermittlung der Leistungs-Kostendifferenz von konventioneller Freiflächen-PV im Vergleich zur Moor-PV (beide Anlagen 10.000 kWp auf 11 ha Fläche) bei unterschiedlichen Entfernungen zum Einspeisepunkt.

Entfernung Einspeisepunkt	Ein- heit km	konven. Freifl.-PV	Moor-PV							
		2	1	2	3	4	5	6	7	
Einnahmen	€	565.267	612.373	612.373	612.373	612.373	612.373	612.373	612.373	612.373
jährliche Kosten	€	95.216	107.242	107.242	107.242	107.242	107.242	107.242	107.242	107.242
Abschreibungen	€	333.526	365.820	371.247	376.675	382.102	387.530	392.958	398.385	398.385
Pacht (Restgröße)	€	33.000	35.786	30.358	24.931	19.503	14.075	8.648	3.220	
Leistungs- Kostendifferenz	€	103.526	103.526	103.526	103.526	103.526	103.526	103.526	103.526	103.526
jährliche Grundrente	€/ha	9.411	9.411	9.411	9.411	9.411	9.411	9.411	9.411	9.411
Pacht	€/ha	3.000	3.253	2.760	2.266	1.773	1.280	786	293	

Quelle: eigene Darstellung

Demnach wird bei einer Entfernung zum Einspeisepunkt von 6 bis 7 km die landwirtschaftliche Nutzung konkurrenzfähig. Denn dieses Pachtpreisniveau wird von landwirtschaftlichen Betrieben gezahlt. Nach Pachtpreisspiegel 2021 und 2022 aus Schleswig-Holstein liegen die Dauergrünlandpachten im Mittel bei 336 €/ha und für Ackerland bei 563 €/ha (MLLEV, 2023). Im Mittel der angezeigten Pachtverträge erreicht das Pachtpreisniveau somit ähnliche Größenordnungen, wie sie von einem PV-Anlagenbetreiber bei 6 bis 7 km Entfernung zum Einspeisepunkt gezahlt werden könnten.

Für die Flächeneigentümer bedeutet dies jedoch auch, dass die Entfernung zum Einspeisepunkt die Wirtschaftlichkeit von Moor-PV-Anlagen und damit das maximal zahlbare Pachtpreisniveau stark beeinflussen wird. Liegt die eigene Fläche weiter entfernt von der nächsten nutzbaren Stromtrasse, so kann es sein, dass diese Flächen von

einer Moor-PV-Nutzung ausgeschlossen sind.

Abbildung 23 zeigt, dass gerade in der stark betroffenen Eider-Treene-Niederung das Stromnetz die Nutzung für Photovoltaik limitieren kann. Dieser Darstellung liegt die Annahmen zu Grunde, dass lediglich das Hoch- und Höchstspannungsnetz die über Moor-PV produzierten Strommengen zum Verbraucher bringen kann und dass bei 6 km Entfernung die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage nicht mehr gegeben ist. Da das Stromnetz jedoch erweitert werden könnte, ist diese Limitierung lediglich in der kurzen Frist von Bedeutung. Langfristig könnten gezielt Stromtrassen in diese Regionen gebaut werden. Außerdem könnte in Zukunft die Vergütung für Moor-PV-Anlagen angepasst werden, wie es aktuell im Solar-Paket diskutiert wird. Eine Erhöhung der Vergütung im Cent-Bereich hat erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit zur Folge.

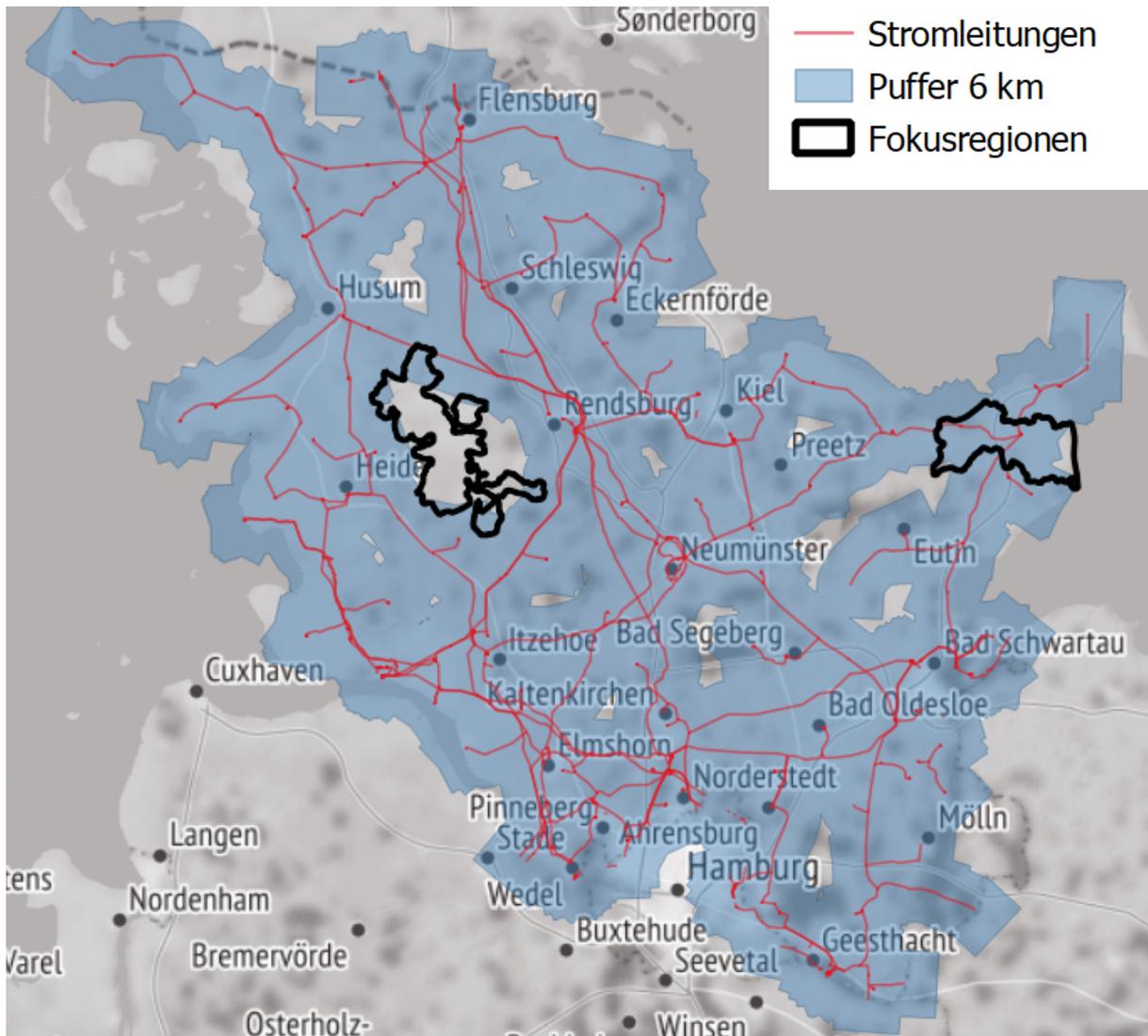


Abb. 23: 6 km Puffer um das Hoch- und Höchstspannungsnetz in Schleswig-Holstein zur Abbildung der Wirtschaftlichkeitszone von Moor-PV-Anlagen.

Quelle: eigene Darstellung

5.3.3 THG-Emissionen

Die Flächenpflege von Moor-PV-Anlagen verursacht ebenfalls THG-Emissionen. Gleichzeitig wird der Aufwuchs auf diesen Flächen häufig nicht abgefahren. So bildet er in der Theorie ein Nebenprodukt. Mithilfe des BEK-Berechnungsstandards des KTBL kann auch für die Flächenpflege von Moor-PV-Anlagen eine Abschätzung der THG-Emissionen erfolgen. Dabei bewerten wir analog zu den Abschnitten 5.1.3 und 5.2.3 die Lachgasemissionen aus den Ernte- und Wurzelrück-

ständen sowie die Humuswirkung der Flächenpflege nicht.

Die Aufwuchserträge werden durch die extensive Bewirtschaftung und die Beschattung durch die Modultische gering sein. An dieser Stelle legen wir einen Frischmasseertrag von 14 t /ha bei 20% TM am Stängel zugrunde. Außerdem gehen wir davon aus, dass die ganze Fläche gepflegt werden muss, d.h., dass auch unter den Modultischen eine Flächenpflege erfolgt. Ein Ansatz für den Dieserverbrauch liefert ein schmalmechanisiertes Mulchver-

fahren aus dem KTBL-Feldarbeitsrechner mit 20 l/ha.

Tabelle 22 fasst die mit dem BEK-Ansatz ermittelten Ergebnisse zusammen. Demnach würden durch die Flächenpflege einer Moor-PV-Anlage jährlich 78 kg CO₂-Äq/ha emittiert. Diese Emissionen resultieren allein aus der Bereitstellung von Energie und Maschinen.

Tabelle 22: THG-Emissionen der Flächenpflege einer Moor-PV-Anlage (THG-Angaben in kg CO₂-Äq).

Aufwuchs	
Flächenpflege (je ha)	
Frischmasseertrag Nebenprodukt (kg)	14.000
Direkte und indirekte THG-Emissionen Feld	
N₂O Düngung	0
CO₂ Kalk und Harnstoff	0
Vorgelagerte Emissionen Betriebsmitteleinsatz	
CO₂-Äq Dünger	0
CO₂-Äq sonstiges	78
Summe Flächenpflege	78

Quelle: eigene Darstellung

5.4 Klimapunkte/CO₂-Zertifikate

Der freiwillige Kohlenstoffmarkt bietet eine Möglichkeit, die Klimaschutzleistung wiedervernässter Flächen in Wert zu setzen. Auf den verpflichtenden Kohlenstoffmärkten (EU-Emissionsrechtehandel, nationale CO₂-Bepreisung) ist bisher keine Inwertsetzung der Treibhausgasreduktion aus Mooren vorgesehen.

Da über Kohlenstoffmärkte allein die Anhebung des Wasserstandes honoriert würde, wäre eine Kombination mit den in den Abschnitten 5.1 bis 5.3 beschriebenen Folgenutzungen denkbar. Diesen additiven Effekt beurteilen wir in diesem Kapitel nicht.

Die Hürde bei der Inwertsetzung über die freiwilligen Kohlenstoffmärkte war bisher der Zugang für Flächeneigentümer, denn sie selbst müssten Einspar-

potenziale ermitteln, entsprechende Zertifikate ausstellen und die Vernässungsmaßnahmen umsetzen und nachweisen. Da eine flächenscharfe Wasserstandsanhhebung in der Praxis kaum umzusetzen ist, ist die selbstständige Bereitstellung von Zertifikaten somit nahezu ausgeschlossen. Es bedarf zumindest einer regionalen Organisationseinheit, die die genannten Aufgaben ausführt und gleichzeitig das Flächen- und Wasserstandsmanagement übernimmt.

In Schleswig-Holstein hat die Stiftung Naturschutz diese Aufgabe in mehreren Pilotgebieten übernommen. Mit den sogenannten Klimapunkten bietet sie Flächeneigentümern die Möglichkeit, ihre Vernässungsrechte an die Stiftung Naturschutz zu verkaufen. Die Stiftung selbst handelt die gekauften Klimapunkte bisher nicht über freiwillige Kohlenstoffmärkte. Sie erhält die notwendigen Mittel aus dem Programm „biologischer Klimaschutz“. Ein Klimapunkt entspricht einer eingesparten Tonne CO₂-Äq. Das Einsparpotenzial der Fläche wird mithilfe des GEST-Ansatzes der Uni Greifswald ermittelt (Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, 2023). Das ermittelte Einsparpotenzial wird dann mit dem CO₂-Preis und einem Arrondierungsfaktor multipliziert. Über 30 Jahre gerechnet ergibt dies dann den Wert der Vernässungsrechte. Diese werden als Grunddienstbarkeit im Grundbuch eingetragen. Mit dem Vernässungsrecht geht auch das Nutzungsrecht für 30 Jahre an die Stiftung Naturschutz über. Eine erneute Entwässerung der Fläche nach diesen 30 Jahren ist nicht möglich. Es ist aber möglich, die Fläche zum Restwert komplett an die Stiftung Naturschutz zu verkaufen (Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, 2023).

Das Einsparpotenzial wird bei den Klimapunkten nach dem GEST-Ansatz ermittelt, wobei dieser gerade auf tiefentwässerten Standorten die THG-Emissionen im Vergleich zu anderen Studien (z.B. Poyda et al., 2016) tendenziell unterschätzt. Wir mindern daher konservativ das durchschnittliche Einsparpotenzial Schleswig-Holsteins nach dem Thünen-Ansatz von 30,7 t CO₂-ÄQ/ha und Jahr (vgl. Tabelle 7) um 25% und vernachlässigen den Arrondierungsfaktor. Der genannte CO₂-Preis von 40 €/t entstammt einem Experteninterview zu den Klimapunkten. Folgt man obigem Vorgehen, so ergibt sich bei konservativer Bewertung des Einsparpotenziales ein Wert der Vernässungsrechte von 27.630 €/ha. Ob eine weitere Inwertsetzung der Fläche über die in den vorangegangenen Abschnitten diskutierten Folgenutzungen möglich sein wird, liegt schlussendlich im Ermessen der Stiftung Naturschutz. Wir verzichten somit an dieser Stelle auf eine kumulierte Betrachtung von Klimapunkten und Folgenutzung. Wird der Verkauf der Fläche in Erwägung gezogen, so kommen nach Expertenmeinungen weitere 2.000 €/ha zum Erlös der Vernässungsrechte hinzu.

5.5 Zwischenfazit

Zur Abschätzung der Einkommenswirkungen einer Moorrenaturierung ist entscheidend, welche Folgenutzungen auf den vernässten Flächen möglich sind. Diese lassen sich grundsätzlich in die folgenden vier Gruppen einteilen: (1) Extensive Tierhaltungsverfahren, (2) Paludikultur, (3) Photovoltaik und (4) Klimapunkte/CO₂-Zertifikate. Letzteres dient der expliziten Inwertsetzung der Klimaschutzleistung vernässter Flächen und ist u.U. mit den anderen genannten Nutzungsalternativen kombinierbar.

Voraussetzung für extensive Tierhaltung ist die Befahrbarkeit und Weidefähigkeit der Flächen während der Sommermonate. Im Winter kann der Wasserstand oberflächennah eingestellt werden. Wirtschaftlichkeitsberechnungen anhand eines typischen Milchviehbetriebs zeigen, dass der Übergang von der intensiven Milchviehhaltung zu einer extensiveren Form der Milchviehhaltung zu einem Erwerbsverlust von ca. 400 €/ha führen würde. Eine noch stärkere Extensivierung mit Abstockung des Viehbestands, welche die Teilnahme an den Ökoregelungen auf Grünland sowie am Vertragsnaturschutz ermöglichen würde, führt zu ähnlich hohen Erwerbsverlusten. Sofern das Grünland durch die Erhöhung der Wasserstände nicht mehr die Voraussetzungen für die Milchkuhhaltung erfüllt, kann es für extensive Rindermastverfahren wie Mutterkuhhaltung, Färsenmast oder extensive Bullenmast genutzt werden. Für diese Nutzungsformen ergeben sich – selbst bei Wahrnehmung der Förderungen durch die Ökoregelungen und Vertragsnaturschutz – nach unseren Modellberechnungen Erwerbsverluste von über 600 €/ha. Dies ist deutlich mehr als bei einer Extensivierung der vorhandenen Milchviehhaltung. Somit kann konstatiert werden, dass die gegenwärtig angebotenen Förderprogramme nicht ausreichen, um die wirtschaftlichen Auswirkungen von Wasserstandsanehebungen in stark betroffenen Betrieben auszugleichen. Sie bieten diesen Landwirten somit keinen ausreichenden Anreiz für eine freiwillige Maßnahmenumsetzung.

Die Modellrechnungen für den Anbau von Paludikulturen (am Beispiel des Anbaus von Rohrkolben) führen zu einem Erwerbsverlust von gut 500 €/ha im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung. Hinsichtlich der Flächeneig-

nung zur Etablierung von Anbaupaludikulturen ist zu bedenken, dass sich der Anbau derzeit auf Ackerland beschränkt. Der Schutz von Dauergrünland im Rahmen der GAP-Konditionalitätsverordnung (mit nicht eindeutig geregelten Ausnahmemöglichkeiten für den Anbau von Paludikulturen) sowie das schleswig-holsteinische Dauergrünlanderhaltungsgesetz stehen einer Ausweitung des Anbaus von Paludikulturen entgegen. Zusätzlich wird die potenzielle Eignungsfläche durch Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete und Naturschutzgebiete eingeschränkt. Von den insgesamt betroffenen rund 86.000 ha LN eignen sich unter diesen Vorgaben ca. 17.100 ha für den Anbau von Paludikulturen. In der stark betroffenen Eider-Treene-Niederung kommen lediglich 132 ha LN für Anbaupaludikulturen in Frage – zu wenig, um den Betrieben ein wirtschaftliches Standbein zu bieten. Im Oldenburger Graben eignen sich 564 ha LN für den Paludikulturanbau. Das ökonomische Potenzial von Nasswiesenpaludikulturen wurde an dieser Stelle nicht explizit berücksichtigt.

Photovoltaik ist die einzige nasse Folgenutzung, die potenziell zu einer Einkommenssteigerung im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung führen kann. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist die Entfernung der Anlage zu einem möglichen Einspeisepunkt. Nach unseren Modellberechnungen rechnet sich eine Moor-PV-Anlage mit einer Leistung von 10.000 kWp (11 ha Fläche) bei der gegenwärtigen Einspeisevergütung von 6,5 ct/kWh bis zu einer Entfernung von 6 km zu einem möglichen Einspeisepunkt. Beispielsweise könnte ein Investor bei 3 km Entfernung eine Flächenpacht von gut 2.200 €/ha zahlen – mehr als mit intensiver Milchviehhaltung im Schnitt an Deckungsbeitrag zu erwirtschaften

ist. Rechtlich wird die Etablierung von Moor-PV-Anlagen durch ausgewiesene Schutzgebiete und ökonomisch durch starke Moormächtigkeit beschränkt. Gerade in der stark betroffenen Eider-Treene-Niederung liegen viele Flächen (insgesamt 3.500 ha) in Schutzgebieten; 5.500 ha weisen eine Torfmächtigkeit von über 3 m auf, so dass hohe Gründungskosten der Anlagen deren Rentabilität in Frage stellen. Beide Ausschlusskriterien umfassen zusammen eine Fläche von 7.300 ha, da sich die Flächen zum Teil überlappen. Somit sind nur 40% der Moorflächen in der Eider-Treene-Niederung (ungefähr 4.700 ha) potenziell für Freiflächen-PV-Anlagen geeignet. Der überwiegende Teil dieser Flächen liegt jedoch in einer Entfernung von mehr als 6 km zu möglichen Einspeisepunkten, so dass Moor-PV-Anlagen in der Eider-Treene-Niederung bei der gegenwärtigen Einspeisevergütung nicht wirtschaftlich sein dürften. Die im Rahmen des „Solar-Pakets“ der Bundesregierung in Aussicht gestellte Einspeisevergütung von 9,5 ct/kWh dürften die Entfernung zum Einspeisepunkt sowie die Moormächtigkeit als rentabilitätsbegrenzende Faktoren in den Hintergrund rücken lassen und Moor-PV-Anlagen stark nach vorne bringen. Insgesamt ist auf gut 74.000 ha LN in der betroffenen Region (ca. 86.000 ha) nach den beschriebenen Kriterien die Folgenutzung Freiflächen-PV denkbar.

Der freiwillige Kohlenstoffmarkt bietet Landwirten die Möglichkeit, die Klimaschutzleistung wiedervernässter Flächen in Wert zu setzen. Mit den sogenannten Klimapunkten bietet die Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein Flächeneigentümern die Möglichkeit, ihre Vernässungsrechte an die Stiftung zu verkaufen. Die Kompensation für eine auf 30 Jahre angelegte, grundbuchlich abgesicherte Wiedervernäs-

sung ergibt sich als Produkt aus dem CO₂-Preis und der insgesamt eingesparten Menge an Treibhausgasen. Sie liegt der Größenordnung nach über den regional üblichen Verkehrswerten der Flächen. Ob eine weitere Nutzung

der Fläche über die oben genannten Folgenutzungen möglich ist, liegt im Ermessen der Stiftung Naturschutz und dürfte die Akzeptanz dieses Modells entscheidend beeinflussen.

6 Einordnung der Ergebnisse – Schlussfolgerungen und Empfehlungen für eine Moorschutzpolitik in Schleswig-Holstein

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte quantitative Analyse bezieht sich auf die eingangs definierte Betroffenheitskulisse von gut 86.000 ha LN. Hierbei handelt es sich um kohlenstoffreiche Böden, die in der Niederungskulisse Schleswig-Holsteins gelegen sind. Diese Betroffenheitsfläche macht etwa 85% der Moor- und Anmoorkulisse nach dem Dauergrünlanderhaltungsgesetz und 8,5% der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche Schleswig-Holsteins aus.

Bei vollständiger Wiedervernässung der betroffenen Fläche, also Einstellung von ganzjährig oberflächennahen Wasserständen ließen sich über alle Berichtssektoren der nationalen Klimaberichterstattung hinweg ca. 3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr einsparen. Dies entspricht einer Einsparung von knapp 35 t CO₂-Äq pro Hektar und impliziert die Aufgabe der bisherigen Nutzung auf der gesamten betroffenen Fläche.

Bei einer moderaten Anhebung der Wasserstände um 20 cm ließen sich jährlich gut 1,5 Mio. t CO₂-Äq (ca. 17,5 t CO₂-Äq/ha) in der betroffenen Region einsparen. In diesem Fall wäre die Nutzbarkeit in Teilen der Region noch gegeben – und somit der Verlust an landwirtschaftlicher Wertschöpfung deutlich geringer. In der Prognose der dann noch uneingeschränkt, eingeschränkt und nass zu bewirtschaftenden Flächen unterscheiden sich die geohydrologischen Modellierungsansätze deutlich. Während nach dem Thünen-Modell auf 90% der betroffenen Fläche (knapp 80.000 ha) mit Bewirtschaftungseinschränkungen zu rechnen ist,

prognostizieren die Modelle des Digitalen Geländemodells diesen Wert mit nur knapp 60%, so dass noch gut 40% der Fläche ohne Einschränkungen bewirtschaftet werden könnten.

Sowohl bei vollständiger als auch bei moderater Wasserstandsanhhebung (um 20 cm) sind knapp 90% der möglichen Treibhausgaseinsparungen dem LULUCF-Sektor zuzurechnen. Die restlichen 10% sind zum überwiegenden Teil dem Sektor Landwirtschaft zuzuschreiben und fallen im Wesentlichen infolge der reduzierten Methanemissionen durch Tierbestandsreduktionen an. Der Rest ist dem Sektor Industrie (Rückgang der Mineraldüngerproduktion) zuzurechnen.

Der mit einer Wasserstandsanhhebung einhergehende Verlust an landwirtschaftlicher Wertschöpfung hängt stark von den Möglichkeiten der Folgenutzung ab. Alle im Rahmen dieser Studie untersuchten landwirtschaftlichen Folgenutzungen (extensive Milchvieh- und Mastrinderhaltung, Anbau von Paludikulturen) führen selbst bei Teilnahme an Ökoregelungen und Vertragsnaturschutzprogrammen zu spürbaren Einkommensverlusten in dem untersuchten Beispielbetrieb, welcher 80% seiner Betriebsfläche auf Moor bewirtschaftet. In absoluten Zahlen bewegen sich die Einkommensverluste zwischen 400 und gut 600 €/ha. Die verfügbaren GAP-Förderungen bieten stark betroffenen Landwirten somit keinen ausreichenden Anreiz für eine freiwillige Maßnahmenumsetzung.

Der Anbau von Paludikulturen als nasse Folgenutzung ist nach unseren

Modellrechnungen mit einem Deckungsbeitrag von gut 200 €/ha nicht rentabel. Dies liegt zum Teil am Fehlen vollständig entwickelter Wertschöpfungsketten für die Biomasse. Außerdem steht der Schutz von Dauergrünland im Rahmen der GAP-Konditionalitätenverordnung sowie des schleswig-holsteinischen Dauergrünlanderhaltungsgesetzes einer Ausweitung des Anbaus von Paludikulturen entgegen. Wenn der Anbau von Paludikulturen politisch vorgebracht werden soll, müssten entsprechende Ausnahmetatbestände für die Umwandlung von Grünland in die entsprechenden Regelungen aufgenommen werden bzw. die vorhandenen Sonderregelungen konkretisiert werden.

Freiflächen-Photovoltaik ist die einzige nasse Folgenutzung, die potenziell zu einer Einkommenssteigerung im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung führen kann. Dies setzt allerdings das Vorhandensein von Einspeisepunkten ins Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz voraus, wenn großflächig Freiflächen-Photovoltaikanlagen installiert werden sollen. Diese Bedingung ist zurzeit insbesondere in der Eider-Treene-Niederung nicht erfüllt. Rechtlich wird die Etablierung von Moor-PV-Anlagen durch ausgewiesene Schutzgebiete beschränkt. Gerade in der stark betroffenen Eider-Treene-Niederung liegen viele Flächen (insgesamt 3.500 ha) in Schutzgebieten. Innerhalb der insgesamt betroffenen Region (ca. 86.000 ha) liegt die Potenzialfläche für Freiflächen-PV nach unseren Berechnungen bei gut 74.000 ha LN. Hierbei handelt es sich um die Fläche außerhalb von Schutzgebietskulissen. Zu einer weiteren Einschränkung der PV-Eignungsfläche kommt es durch Moormächtigkeiten von mehr als 3 Metern (hohe Gründungskosten) sowie gro-

ßen Entfernungen zu möglichen Einspeisepunkten. Die im Rahmen des „Solarpakets 1“ der Bundesregierung in Aussicht gestellte Einspeisevergütung von bis zu 9,5 ct/kWh dürften Moor-PV-Anlagen stark nach vorne bringen. Auch Standorte mit größerer Moormächtigkeit als 3 m könnten durch diese höhere Einspeisevergütung für eine PV-Folgenutzung in Frage kommen.

Eine explizite Inwertsetzung der Klimaschutzleistung durch Teilnahme am freiwilligen Kohlenstoffmarkt ist in Schleswig-Holstein durch das Klimapunkte-Programm der Stiftung Naturschutz möglich. Hierzu veräußern teilnehmende Betriebe die Vernässungsrechte an die Stiftung. Abgesehen von Einzelfällen, die aufgrund ihrer Lage für eine gesamtbetriebliche Wiedervernässung (Klimapunkte als Geschäftsmodell) in Frage kommen, dürfte diese Art der Folgenutzung im Wesentlichen auf Betriebe beschränkt bleiben, die einzelne Moorflächen bewirtschaften, aber ansonsten außerhalb der Kulisse wirtschaften und den Verlust der Moorflächen abpuffern können.

Für die Gestaltung von Politikmaßnahmen zum Moorschutz in den Niederungen Schleswig-Holsteins können aus den Ergebnissen dieser Studie folgende Hinweise abgeleitet werden:

1. Die strukturelle Betroffenheitsanalyse (Kapitel 2) zeigt, dass die potenziell von einer Wasserstandsanhhebung betroffenen Moor- und Anmoorflächen im Bundesland regional stark konzentriert auftreten. Es handelt sich überwiegend um größere zusammenhängende Moorregionen. Dies spricht dafür, Politikmaßnahmen gezielt nur in einer klar zu definierenden Gebietskulisse anzubieten. Die Ausweisung einer Kulisse mit betroffenen Flächen würde

für die zwingend notwendige Transparenz sorgen und klare Rahmenbedingungen schaffen, sodass sich die Betriebsleiter/innen in den entsprechenden Regionen darauf einstellen können, dass die Bewirtschaftung in Zukunft zu ändern ist. Allerdings kann eine Kulissenweisung auch kurzfristige Reaktionen, wie bspw. ein Rückgang des Verkehrswertes der Flächen in der Kulisse nach sich ziehen. Neben dem reinen Vermögensverlust ergeben sich dadurch auch Auswirkungen auf die Kreditwürdigkeit und die Altersabsicherung der Landwirte und Landwirtinnen. Staatliche Kredite oder Bürgschaften für notwendige Folgeinvestitionen könnten hier ein Mittel sein, um diesen Betrieben eine Bewirtschaftung bis zum Renteneinstieg zu ermöglichen.

2. Die starke räumliche Konzentration kohlenstoffreicher Böden erfordert Politikmodelle, die zusammenhängende Flächen unterschiedlicher Eigentümer in den Fokus nehmen und nicht nur Einzelflächen adressieren. Mögliche Politikmaßnahmen sollten daher Anreizmechanismen für eine räumliche Koordination von freiwilligen Moorschutzmaßnahmen enthalten. Hier bietet sich beispielsweise ein Nachbarschaftsbonus oder ein Gebietsbonus an. Ersterer ist eine Zusatzzahlung, die gewährt wird, wenn aneinandergrenzende Flächen zweier oder mehrerer Eigentümer oder Bewirtschafter gemeinsam wiedervernässt werden. Der Gebietsbonus wendet das gleiche Prinzip auf Landschaftsebene an und wird gezahlt, wenn in einer Moorregion ein bestimmtes Flächenziel der Wiedervernässung erreicht wird.

3. Die strukturelle Betroffenheitsanalyse zeigt ferner, dass 40% der Betriebe mit weniger als 20% ihrer Betriebsfläche von potenziellen Wasserstandsanehebungen betroffen sind. In

der Eider-Treene-Niederung sind es 37%, im Oldenburger Graben 48%. Diese Betriebe sind mit großer Wahrscheinlichkeit über Flächentauschmodelle zu erreichen. Vielleicht kommt für diese Betriebe auch eine geförderte nasse Nutzung der Flächen in Frage. Hier dürften moderate Förderprämien ausreichen, da diese Betriebe vergleichsweise leicht zu realisierende Anpassungsoptionen haben werden. Schwieriger steht es um die 23% der Betriebe (gut 900 Betriebe insgesamt), die mehr als 60% ihrer Flächen in der betroffenen Region bewirtschaften. Hier sprechen wir nicht mehr von Flächentausch, sondern von Umsiedlung. Sowohl für ein gezieltes, auf Moorregionen zugeschnittenes Flächentauschprogramm als auch für ein entsprechendes Umsiedlungsprogramm könnte der Landgesellschaft Schleswig-Holstein eine wichtige Rolle zukommen, da sie – im Gegensatz zu einem behördlichen Flurbereinigungsverfahren – deutlich schneller durch den An- und Verkauf von Flächen reagieren kann. So könnte im Rahmen des Flächentauschprogramms gezielt ein Flächenpool auf Mineralböden angelegt werden, der ausschließlich Landwirten zur Verfügung steht, die im Gegenzug Moorflächen abgeben bzw. diese im Rahmen des Klimapunkteprogramms der Stiftung Naturschutz vernässen. Ein entsprechendes Umsiedlungsprogramm müsste ebenfalls solchen Landwirten vorbehalten sein, die ihren (stark betroffenen) Betrieb im Moor aufgeben, um sich an anderer Stelle eine Existenz aufzubauen. Für den Aufbau eines Flächenpools müsste die Landgesellschaft mit entsprechenden finanziellen Mitteln ausgestattet werden.

4. Besonders auffällig ist der in beiden Fokusregionen hohe Anteil an Kleinbetrieben mit weniger als 30 ha LN, die

in der Regel nicht im Haupterwerb betrieben werden. Diese machen rund ein Drittel der Antragsteller aus. Im Schnitt bewirtschaften diese Betriebe ca. 50% ihrer Fläche auf Moorstandorten. Viele dieser Betriebe fallen in die Klasse der stark betroffenen Betriebe. Hier stellt sich die Frage nach der Bereitschaft, an Förder- und Umsiedlungsprogrammen teilzunehmen. Wenn bei den Betriebsleiter/innen weniger die wirtschaftlichen, sondern eher ideelle Aspekte im Vordergrund stehen, könnten sie schwer zu erreichen sein, da eine enge Bindung zu den Flächen und der Hofstelle besteht. Handelt es sich allerdings um Betriebe, die sich aufgrund ihrer geringen Betriebsgröße in einer wirtschaftlich prekären Lage befinden, könnte eine finanziell unterstützte Betriebsaufgabe die bisher fehlende Möglichkeit bieten, um die finanziellen Verhältnisse neu zu ordnen. Wir empfehlen daher, diese Betriebe im Rahmen der Politikentwicklung besonders in den Fokus zu nehmen und maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln. Für die finanziell schwächeren Betriebe könnte sich die Politikentwicklung am niederländischen Modell zur „warmen Sanierung“ von Tierhaltungsbetrieben orientieren (siehe z.B. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, 2019). Betriebe, die über außerlandwirtschaftliche Einkommensquellen verfügen, könnten hingegen wichtige Akteure für die regionale Landschaftspflege darstellen (z.B. als Landschaftspflegbetrieb), da sie in der Regel keine intensive Tierhaltung betreiben und somit nicht auf energiereiches Futter angewiesen sind. Durch Förderprogramme mit moderaten Prämienhöhen könnten entsprechende Anreize gesetzt werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang jedoch ein nicht zu hoher Bürokratieaufwand.

5. Für die Politik stellt sich ferner die Frage, welche Folgenutzungen in den Fokus genommen werden sollten. Die Ausführungen in Kapitel 5 hatten die verschiedenen Folgenutzungsalternativen aus betriebswirtschaftlicher Sicht bewertet und dabei die möglichen Einkommensbeiträge in den Vordergrund gerückt. Bei dieser Analyse stach die Freiflächen-Photovoltaik besonders positiv heraus. Aus gesamtgesellschaftlicher Sicht sollten die möglichen Folgenutzungen jedoch aus volkswirtschaftlicher Perspektive bewertet werden. Hierfür sind die spezifischen Vermeidungskosten ein geeigneter Maßstab: Es sollten diejenigen Nutzungen propagiert werden, die zu den geringsten Vermeidungskosten je Tonne CO₂-Äquivalent führen. Tabelle 23 rangiert die untersuchten Folgenutzungsoptionen hinsichtlich ihrer spezifischen Vermeidungskosten. Diese ergeben sich durch Division des jeweiligen Erwerbsverlustes durch die vermiedenen THG-Emissionen – beides im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung, wie sie in den meisten Moorregionen vorherrscht.

Es verwundert nicht, dass auch bei der volkswirtschaftlichen Betrachtung die Freiflächen-PV auf Moorstandorten am besten abschneidet: Sie vermeidet im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung gut 43 t CO₂-Äq/ha und erzielt einen um gut 2.000 € höheren arbeitskorrigierten Deckungsbeitrag. Dies führt zu negativen Vermeidungskosten und somit zu einer Win-win-Situation für Klimaschutz und Einkommen. Nicht berücksichtigt ist hierbei die Tatsache, dass es sich bei der zugrunde liegenden Einspeisevergütung um einen subventionierten Strompreis handelt und somit eine der Prämissen einer rein volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise nicht erfüllt ist.

Die Verfahren der extensiven Tierhaltung und der Anbau von Paludikulturen sind aus Sicht der Vermeidungskosten auf einem ähnlichen Niveau. Anbaupaludikulturen bieten einen geringeren Deckungsbeitrag pro ha und somit weniger Wertschöpfungspotential für die Region. Sie können für einzelne Betriebe dennoch eine interessante Alternative sein, wenn entweder genü-

gend Fläche zur Erzielung eines ausreichenden Familieneinkommens zur Verfügung steht oder die familieneigene Arbeitskraft anderweitig lukrativ verwertet werden kann. Außerdem ermöglicht sie ein höheres THG-Einsparpotenzial als extensive Tierhaltung, sodass im Endeffekt gleichhohe Vermeidungskosten je Tonne CO₂-Äquivalent resultieren.

Tabelle 23: THG-Vermeidungskosten der Folgenutzungsalternativen wiedervernässter Flächen.

	Milchvieh intensiv	Tierhaltung extensiv	Anbaupaludikultur	Moor-PV	Klimapunkte
THG-Emissionen LULUCF nach TI (t CO₂-Äq/ha)	36,3	5,5	5,5	5,5	5,5
THG-Emissionen andere Sektoren (t CO₂-Äq/ha)	12,5	6,6 bis 10,1	0,2	0,1	abhängig von Nutzung*
THG-Emissionen insg. (t CO₂-Äq/ha)	48,8	12,1 bis 16,6	5,7	5,6	5,5
THG-Einsparung insg. (t CO₂-Äq/ha)	Ref.	32,2 bis 36,7	43,1	43,2	43,3
Deckungsbeitrag (€/ha)	1.800	1.170 bis 1.396	1.290**	3.860***	1.929****
Erwerbsverlust (€/ha)	Ref.	404 bis 630	510	-2.060	-129
Vermeidungskosten (€/t CO₂-Äq)		11,4 bis 17,5	11,8	-47,7	-3,0*

*Folgenutzung in der Entscheidungshoheit der Stiftung Naturschutz, Folgenutzung nicht mitbewertet

**Deckungsbeitrag Rohrkolbenanbau (213 €/ha) + Arbeitszeiteinsparung bewertet zu 20 €/AKh

***2.760 €/ha Pachteinahmen + 55 AKh/ha × 20 €/AKh Arbeitseinsparung

****Verkauf Vernässungsrecht umgelegt auf 30 Jahre (3% Zinsen) + 55 AKh/ha × 20 €/AKh Arbeitseinsparung

Quelle: eigene Darstellung

Von den untersuchten Verfahren der extensiven Tierhaltung schneidet die „Prämienorientierte Milchviehhaltung“ (vgl. Tab. 14) mit 11,4 €/t CO₂-Äq am besten ab, gefolgt von der „Extensiven Milchviehhaltung“ (vgl. Tab. 13) mit 12,5 €/t CO₂-Äq und der „Extensiven Rindermast“ (vgl. Tab. 15) mit Vermeidungskosten von 17,5 €/t CO₂-Äq.

Der Verkauf von Klimapunkten stellt mit negativen Vermeidungskosten von 3,0 €/t CO₂-Äq ebenfalls eine Win-win-

Situation für Klimaschutz und Einkommen dar. In den Berechnungen ist unterstellt, dass die vernässten Flächen nicht weiter landwirtschaftlich genutzt werden. Wenn eine produktive Folgenutzung zugelassen wird, z.B. in Form des Paludikulturanbaus, sind weiter abnehmende Vermeidungskosten zu erwarten.

Im Vergleich zum Gutachten von Latacz-Lohmann et al. (2022), in der die

Vermeidungskosten der Moorrenaturierung auf Werte zwischen 20 und 30 €/t CO₂-Äq beziffert wurden, liegen die hier ermittelten Vermeidungskosten auf einem niedrigeren Niveau. Das liegt an der expliziten Berücksichtigung der Wertschöpfung aus den nasen Folgenutzungen. Damit bestätigt sich die bereits in Latacz-Lohmann et al. (2022) getroffene Feststellung, dass die Moorrenaturierung im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Maßnahmen des Klimaschutzes (wie klimafreundliche Fruchtfolgegestaltung oder Düngungsextensivierung im Ackerbau) als eine besonders kostengünstige Alternative gelten kann, sofern eine Vernässung sowohl technisch als auch ökonomisch sinnvoll umgesetzt werden kann.

Die bisher nicht einkalkulierten wasserbaulichen Kosten der Wiedervernässung bewegen sich nach Wichmann et al. (2022) in einer Spanne von 1.065 bis 17.555 €/ha. Im Mittel aller ausgewerteten Projekte waren einmalig 3.262 €/ha für die Wasserstandsanehebung einzuplanen. Bezogen auf die THG-Einsparungen der unterschiedlichen Folgenutzungen führt dieser Mittelwert zu einmalig anfallenden Kosten der Wiedervernässung zwischen 75 und 98 €/t CO₂-Äq. Um diese additiv zum Wertschöpfungsverlust betrachten zu können, ist eine Transformation in jährliche Kosten notwendig. Diese erfolgt durch eine Verrentung (Umlegung) auf unendliche Zeit. Bei einem Zinssatz von 3% ergeben sich so jährliche Wiedervernässungskosten von 98 €/ha und Jahr bzw. 2 bis 3 €/t CO₂-Äq pro Jahr. Den Löwenanteil der Gesamtkosten macht somit die entgangene Wertschöpfung aus der Nutzungsänderung (d.h. der entgangene landwirtschaftliche Deckungsbeitrag) aus. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass

bei großflächig zusammenhängenden Vernässungsgebieten deutliche Degressionseffekte bei den wasserbaulichen Kosten realisiert werden können.

6. Wenn bei der Entwicklung von Politikmaßnahmen auch die Verteilungswirkungen unterschiedlicher Folgenutzungen ins Auge gefasst werden sollen, ist insbesondere zu beachten, dass von der Förderung von Moor-PV-Anlagen nur Flächeneigentümer (als potenzielle Verpächter) profitieren. Pächter dürften schlechter gestellt werden, wenn auslaufende Pachtverträge nicht verlängert werden oder sich das Pachtpreinsniveau in der Region infolge lukrativer Pachtpreisgebote von Anlagenbetreibern insgesamt erhöht. Ähnliches gilt beim Verkauf von Klimapunkten als Folgenutzung. Diese Option steht rechtlich nur Flächeneigentümern zur Verfügung. Gemäß Landwirtschaftszählung 2020 liegt der Pachtflächenanteil in Schleswig-Holstein bei 53,8% der LN. Damit sind Landwirte lediglich zu knapp 50% Flächeneigentümer. Umgekehrt betrachtet könnten Landwirte auf mehr als der Hälfte der LN nicht von der hohen Entlohnung der Fläche über Moor-PV und Klimapunkte profitieren. Reine Pachtbetriebe werden deutlich schlechter gestellt.

Abschließend seien noch ein paar kritische Anmerkungen zu den durchgeführten Analysen explizit herausgestellt:

- Bei allen untersuchten Folgenutzungen wurde unterstellt, dass die im Vergleich zur intensiven Milchviehhaltung nicht mehr benötigte Arbeitszeit einer alternativen Entlohnung von 20 €/AKh zugeführt werden kann. In strukturschwachen Moorregionen dürfte diese Annahme nicht immer erfüllt sein.

Dies hätte zur Folge, dass die Deckungsbeiträge der Folgenutzungen geringer und die spezifischen Vermeidungskosten dementsprechend höher ausfallen.

- Die ökonomischen Kalkulationen beruhen auf Durchschnittspreisen für Agrarprodukte und Betriebsmittel der Wirtschaftsjahre 2017/18 bis 2020/21. Bei hohen Preisen wie im Wirtschaftsjahr 2022/23 werden die Einkommensverluste und Vermeidungskosten deutlich unterschätzt.
- Aufgrund der bereits mehrfach angesprochenen Unsicherheiten der geohydrologischen Modellierung der Wasserstände (Thünen-Ansatz vs. DGM-Ansatz) lassen sich die Nutzungsmöglichkeiten der einzelnen Schläge bei sukzessiver Anhebung der Wasserstände nur schwer abschätzen. Die Modellierungsunsicherheit setzt sich in die Abschätzung der Nutzungsmöglichkeiten fort und beeinflusst somit auch die Quantifizierung der vermeidbaren THG-Emissionen und der Vermeidungskosten.
- Die Betrachtung von Paludikulturen als nasse Folgenutzung ist im Rahmen dieser Studie vergleichsweise knapp ausgefallen. Dies ist zum Teil dem Mangel an Daten aus dem gewerbsmäßigen Praxisanbau geschuldet. Aus Praktikersicht bestehen aber zurzeit noch zu viele Unsicherheiten, um einen gewerbsmäßigen Anbau ernsthaft in Erwägung zu ziehen. Neben dem Fehlen etablierter Wertschöpfungsketten

mangelt es an Rechtssicherheit etwa bezüglich der Zulässigkeit von Grünlandumbruch zur Etablierung von Anbaupaludikulturen oder der Rechtmäßigkeit des Anbaus in Schutzgebieten. Verschiedene gegenwärtig laufende Forschungs- und Demonstrationsprojekte werden zur Marktentwicklung beitragen und die Transparenz bezüglich produktionstechnischer und betriebswirtschaftlicher Kennziffern erhöhen.

- Ein in der vorliegenden Studie nur am Rande gestreifter Aspekt ist der Einfluss einer potenziellen Wasserstands-anhebung auf die Verkehrswerte der betroffenen Flächen. Es ist davon auszugehen, dass allein die Ankündigung des politischen Ziels einer großflächigen Renaturierung der Moore in Deutschland zu sinkenden Verkehrswerten geführt hat. Dies kann negative Rückwirkungen auf die Beleihungswerte der betroffenen Flächen haben, und reduzierte Beleihungswerte können die Betriebsentwicklungsmöglichkeiten im Einzelfall erheblich einschränken. Gerade dieser Aspekt dürfte maßgeblich zur ablehnenden Haltung vieler Landwirte gegenüber Renaturierungsmaßnahmen beitragen. Um stärker verschuldeten Betrieben die Umstellung auf nasse Folgenutzungen zu ermöglichen, sollte die Politik staatliche Bürgschaften zur Finanzierung der dafür erforderlichen Investitionen in Erwägung ziehen.

Literaturverzeichnis

Arbeitsgruppe BEK (2021): Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft. Handbuch, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., 2. Auflage. In: www.ktbl.de.

Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. und Weiber, R. (2015): Multivariate Analysemethoden, 14. Auflage, Springer-Gabler.

Bechtold, M., Tiemeyer, B., Laggner, A., Leppelt, T., Frahm, E. and Belting, S. (2014): Large-scale regionalization of water table depth in peatlands optimized for greenhouse gas emission upscaling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 3319–3339.

BfN – Bundesamt für Naturschutz (2023): Eider-Treene-Sorge-Niederung. Online verfügbar unter: <https://www.bfn.de/landschaftssteckbriefe/eider-treene-sorge-niederung> (27.04.2023).

Böhm, J., de Witte, T. und Plaas, E. (2022): PV-Freiflächenanlagen: Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeit. *Berichte über Landwirtschaft* 100 (2). <https://doi.org/10.12767/buel.v100i2.421>

Fraunhofer ISE – Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Hrsg.) (2022): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland. Online verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/agri-photovoltaik-chance-fuer-landwirtschaft-und-energie-wende.html> (17.08.2023).

Giuntoli, J., Agostini, A., Edwards, R. and Marelli, L. (2017): Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions. Calculated according to the methodology set in COM (2016). 767, EUR 27215 EN, [doi:10.2790/27486](https://doi.org/10.2790/27486).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC WGI Technical Support Unit, Bracknell.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, Japan, Intergovernmental Panel on Climate Change. Online verfügbar unter: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> (12.02.2019).

KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2023): Berechnungsparameter für einzelbetriebliche Klimabilanzen. Webanwendung. Online verfügbar unter: <https://daten.ktbl.de/bek/berechnungsparameter> (20.04.2023).

Latacz-Lohmann, U., Tiedemann, T., Taube, F. und Buhk, J.-H. (2022): Untersuchung der THG-Minderungspotenziale ausgewählter Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein. Gutachten im Auftrag des MELUND SH. Online verfügbar unter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/L/landwirtschaft/Downloads/gutachten_thg_minderungspotenziale.pdf?blob=publicationFile&v=4 (29.08.2023).

LKSH - Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2022): Kalkulationsdaten aus Schleswig-Holstein. Deckungsbeiträge Pflanzenproduktion WJ 2021/22. Online verfügbar unter: https://www.lksh.de/fileadmin/PDFs/Landwirtschaft/Markt/Kalkpl21_22.pdf (14.04.2023).

LLUR SH - Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (2014): Moor- und Anmoorböden gemäß DGLG für Schleswig-Holstein – Open-Data Schleswig-Holstein 2023, 21.01.2014. Online verfügbar unter: <https://opendata.schleswig-holstein.de/dataset/moor-und-anmoorboden-gemass-dglg-fur-schleswig-holstein> (27.04.2023).

LLUR - Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (2019): FFH-Gebiete – Open-Data Schleswig-Holstein 2022, 04.06.2019. Online verfügbar unter: <https://opendata.schleswig-holstein.de/dataset/ffh-gebiete> (27.04.2023).

LLUR - Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (2019b): Naturschutzgebiete – Open-Data Schleswig-Holstein, 20.11.2019. Online verfügbar unter: <https://opendata.schleswig-holstein.de/dataset/naturschutzgebiete1> (27.04.2023).

LLUR SH – Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (2023): Bodenkundlicher Grundwasserflurabstand. Shapedatei. Online verfügbar unter: <https://opendata.schleswig-holstein.de/dataset/bodenkundlicher-grundwasser-flurabstand> (11.04.2023)

LLUR SH Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (2023b): EG-Vogelschutzgebiete (1:25.000) – Open-Data Schleswig-Holstein 09.01.2023, 05.01.2023. Online verfügbar unter: <https://opendata.schleswig-holstein.de/dataset/eg-vogelschutzgebiete-1-25-000> (27.04.2023).

Mährlein, A. (1993): Kalkulationsdaten für die Grünlandbewirtschaftung unter Naturschutzauflagen. KTBL-Arbeitspapier 179. ISBN: 378431819.

MEKUN – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2023): Tabellen und Abbildungen zum Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz Schleswig-Holstein. Online verfügbar unter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/energiewende/Daten/pdf/monitoringbericht_2023_excel.html?nn=a7a1f501-0dcb-4ec3-b611-62605f645397 (19.10.2023).

MELUND – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (2020): Zuordnung der Gemeinden zu den Naturräumen. Online verfügbar unter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/L/landwirtschaft/Downloads/Duerrehilfe_Liste_Gemeinde.pdf?blob=publicationFile&v=1 (27.04.2023).

MELUND – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2022): Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein 2022. Kurzfassung. Online verfügbar unter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/energiewende/Daten/pdf/Monitoringbericht_kurz.pdf?blob=publicationFile&v=2 (11.04.2023).

MELUND – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2022b): Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein 2022. Langfassung. Online verfügbar unter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/energiewende/Daten/pdf/Monitoringbericht_lang.pdf?blob=publicationFile&v=3 (11.04.2023).

MELUND - Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (2022c): Eckpunkte einer Strategie für die Zukunft der Niederungen bis 2100. Online verfügbar unter: <https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/niederungen/downloads/eckpunkteNiederungen.pdf?blob=publicationFile&v=1> (10.11.2023).

MLLEV – Ministerium für Landwirtschaft, Ländliche Räume, Europa und Verbraucherschutz (2023): Pachtpreisspiegel 2021 und 2022 in Schleswig-Holstein. Online verfügbar unter: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Sonderver%C3%B6ffentlichungen/Kauf- und Pachtpreisspiegel/Pachtpreisspiegel/Pachtpreisspiegel_2021_2022.pdf (17.08.2023).

Närmann, F., Birr, F., Kaiser, M., Nerger, M., Luthardt, V., Zeitz, J. und Tanneberger, F. (Hrsg.) (2021): Klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung von Niedermoorböden. BfN-Skripten 616. Online verfügbar unter: <https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-11/Skript616.pdf> (20.04.2023).

Poyda, A., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R. and Taube, F. (2016): Greenhouse gas emissions from fen soils used for forage production in northern Germany. *Biogeosciences* 13, 5221–5244. <https://doi.org/10.5194/bg-13-5221-2016>.

Statistisches Bundesamt (2023): Landwirtschaftliche Betriebe insgesamt und Betriebe mit ökologischem Landbau nach Bundesländern. Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/oekologischer-landbau-bundeslaender.html?nn=371820> (20.04.2023).

Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein (2023): Antworten auf Ihre Fragen. Klimapunkte. Online verfügbar unter: <https://www.stiftungsland.de/?id=433#Klimapunkte> (18.08.2023).

Ta, P. und Tetzlaff, B. (2021): Betroffenheitsanalyse für die Niederungen Schleswig-Holsteins. Durchführung der Analyse und statistische Auswertung. Forschungszentrum Jülich GmbH.

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-Sauheidl, K., Peichl-Brak, M. and Drösler, M. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 109 (2020).

VDLUFA - Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.) (2014): Standpunkt Humusbilanzierung. Online verfügbar unter: <https://www.vdlufa.de/wp-content/uploads/2021/05/11-Humusbilanzierung.pdf> (11.08.2023).

Vos, C., Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B. und Fuß, R. (2022): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2020. Report zu Methoden und Daten (RMD) Berichterstattung 2022. *Thünen Report 91*.

Wichmann, S., Nordt, A. und Schäfer, A. (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“. Hg. v. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (DEHSt). Berlin.

Wetjen, E. (2023): Photovoltaik auf Moorstandorten – Umsetzungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit von Freiflächenanlagen in der Landwirtschaft am Beispiel des Landkreises Cuxhaven. Masterarbeit am Institut für Agrarökonomie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. November 2023.

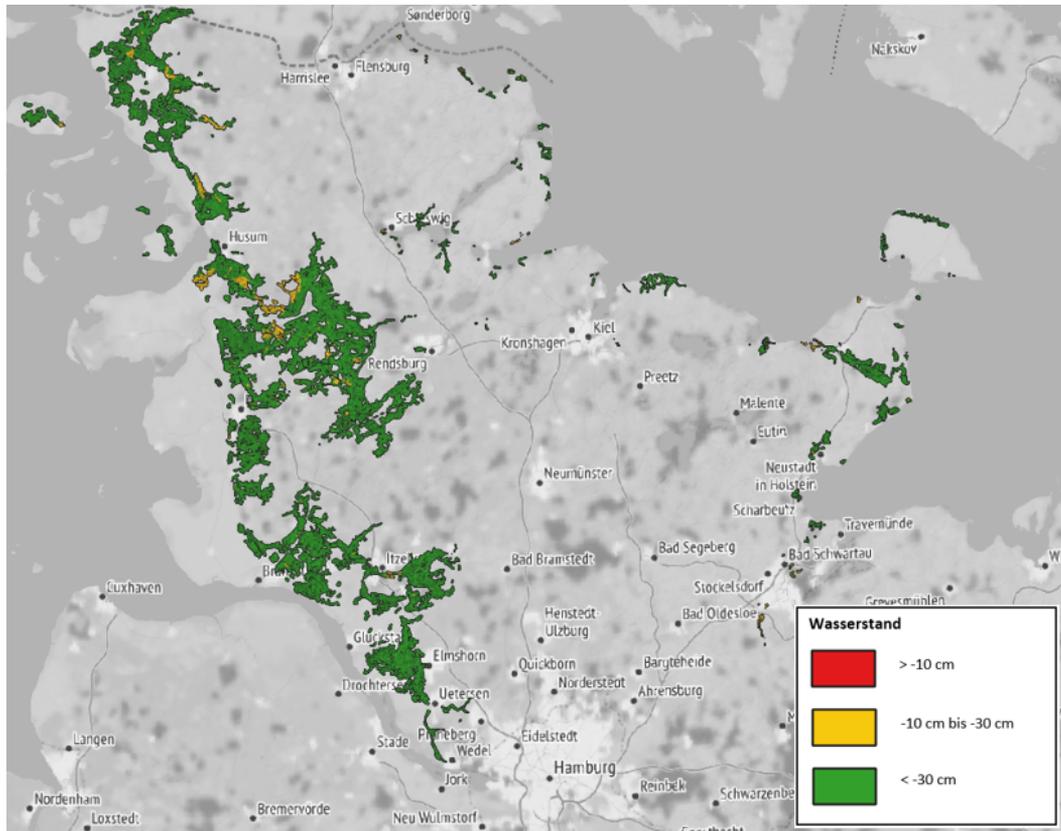
Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2019): Förderung von Maßnahmen in den Niederlanden zur Regulierung des Nutztierbestandes. Ausarbeitung. Berlin, Aktenzeichen WD 5 - 3000 - 053/19.

Zach, S. (2021): Photovoltaik-Ausbau II: So teuer ist der Netzanschluss. (19. Januar 2021) energie:bau Portal für Architektur und Technik. Online verfügbar unter: <https://www.energie-bau.at/energie-wirtschaft/3527-photovoltaik-in-niederoesterreich-so-viel-kostet-der-netzanschluss> (17.08.2023).

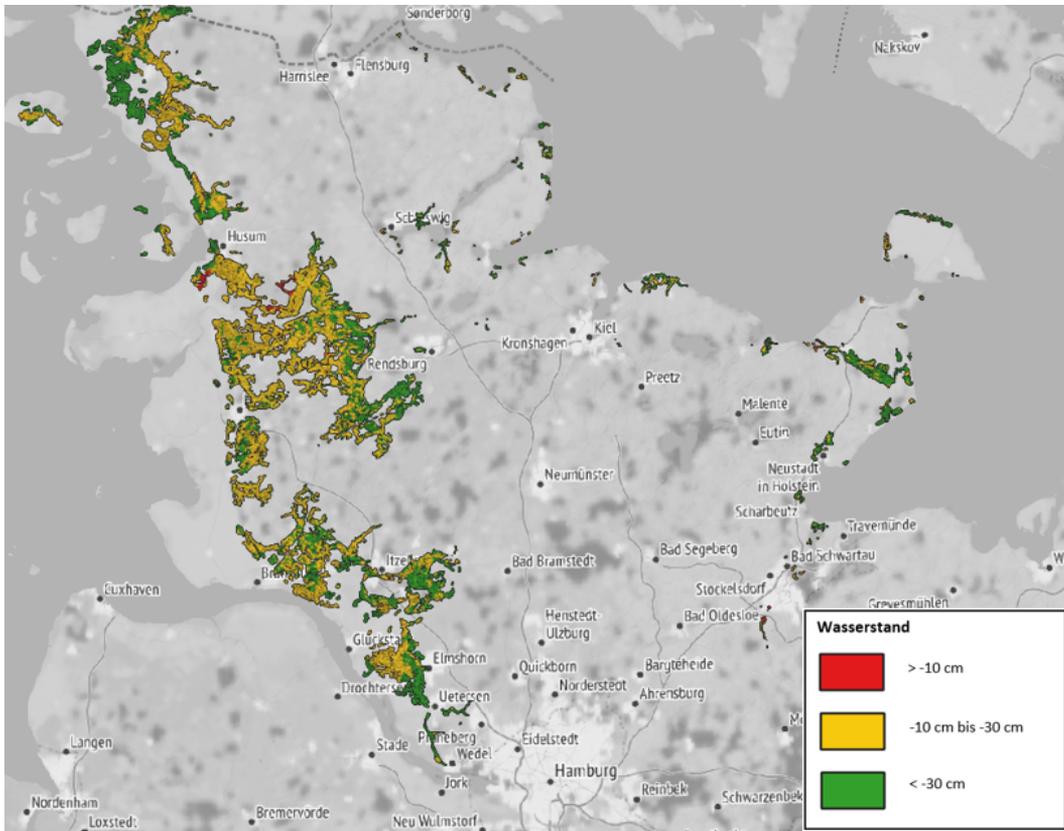
Anhang

A1: Simulation der Wasserstandsanhhebung in 10 cm Schritten

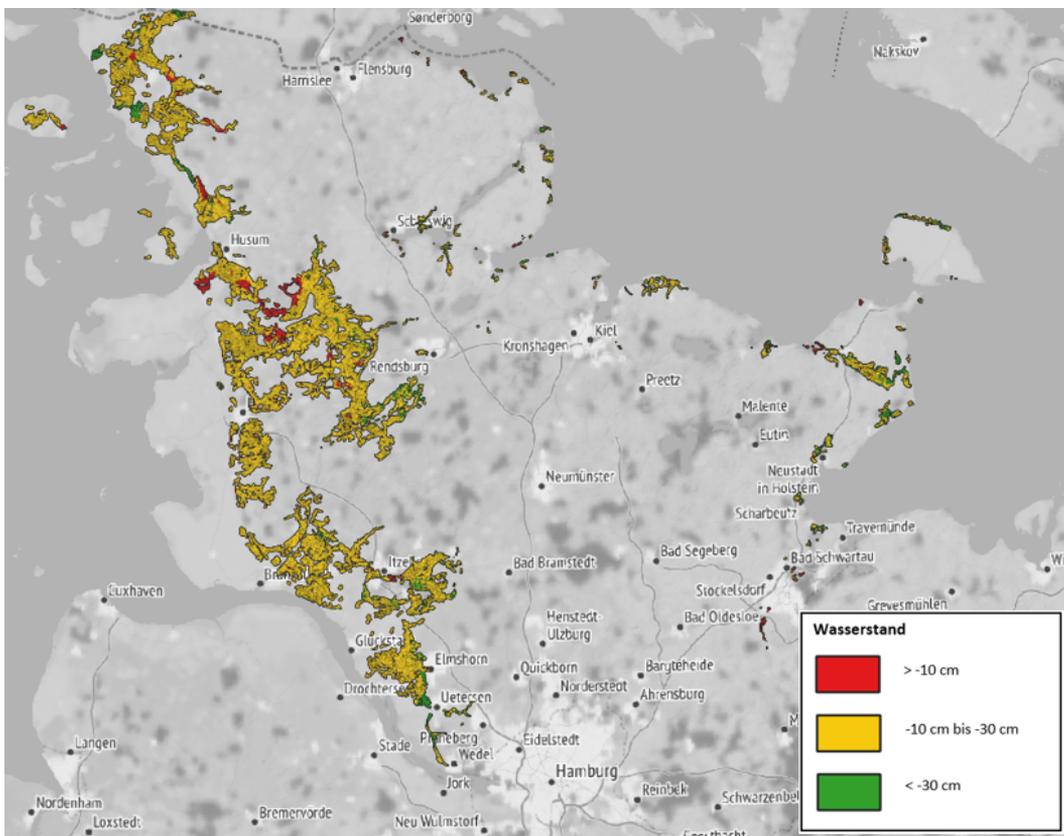
Thünen-Ansatz



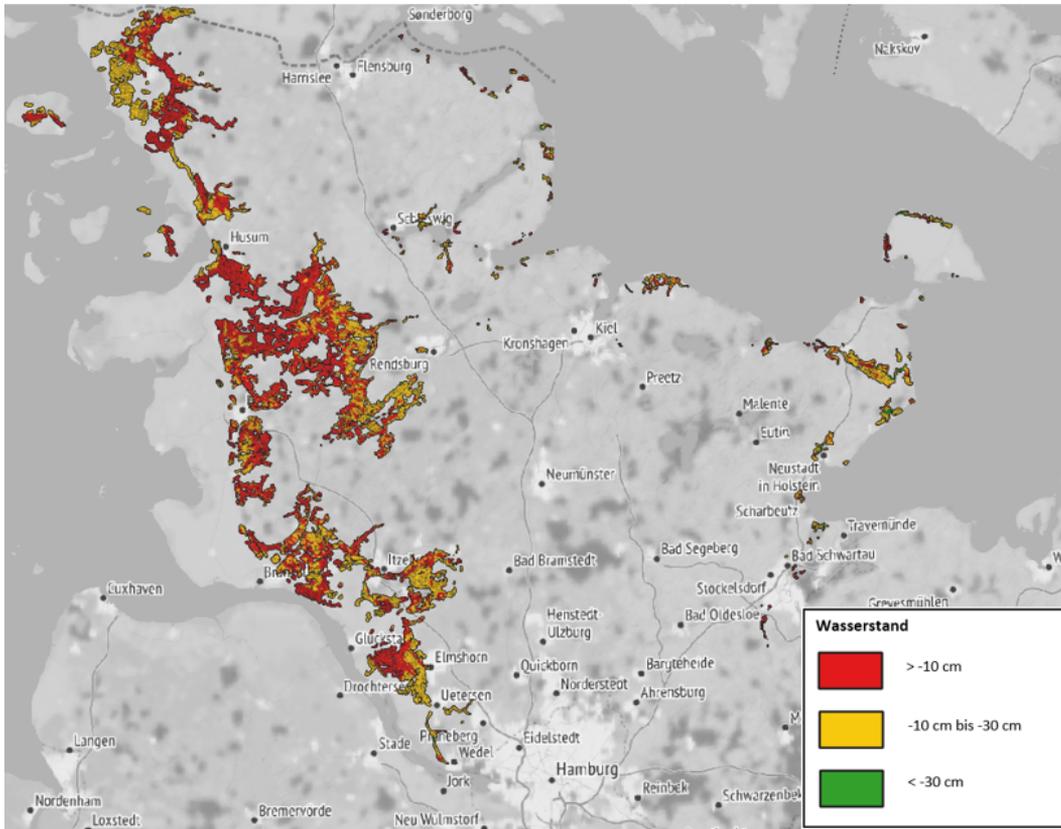
A 1: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem Thünen-Ansatz – IST-Situation.



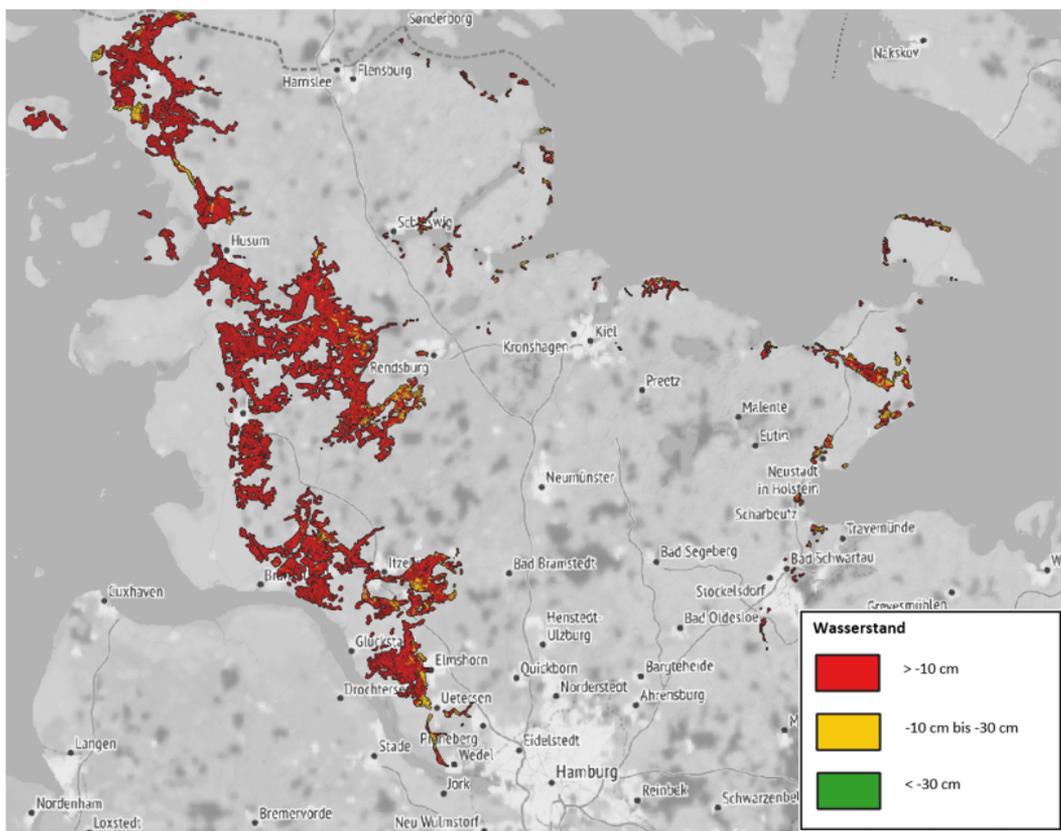
A 2: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem Thünen-Ansatz – +10 cm.



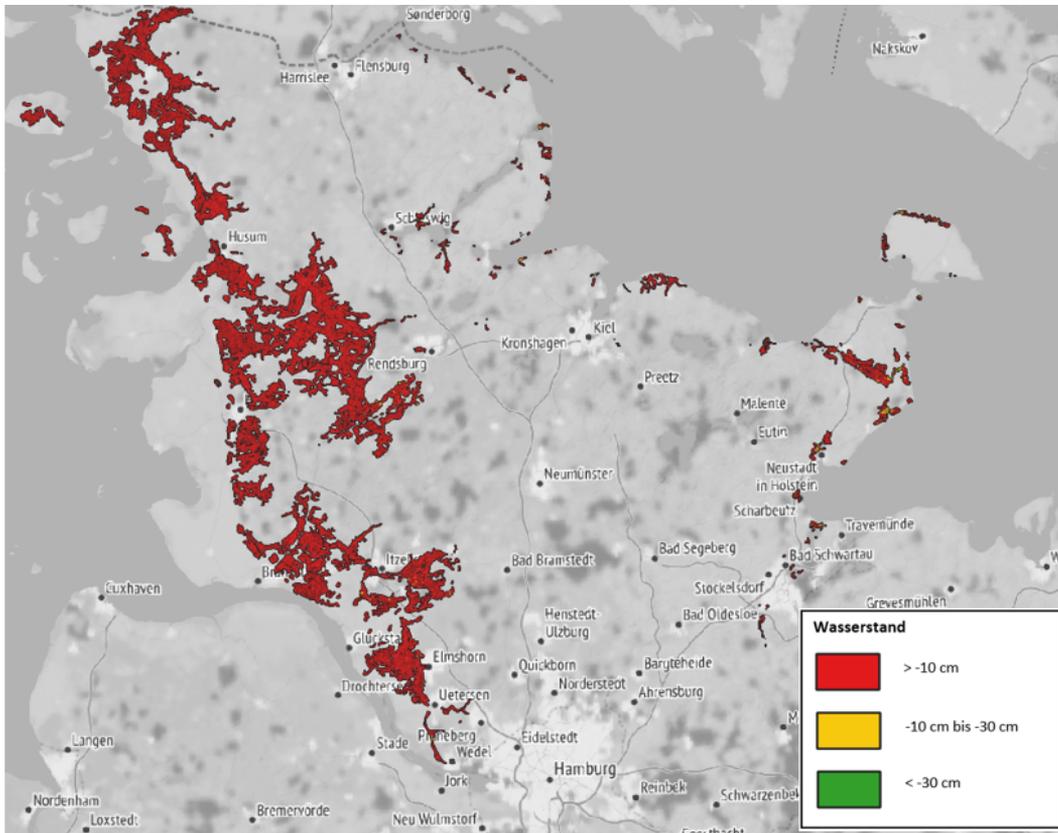
A 3: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem Thünen-Ansatz – +20 cm.



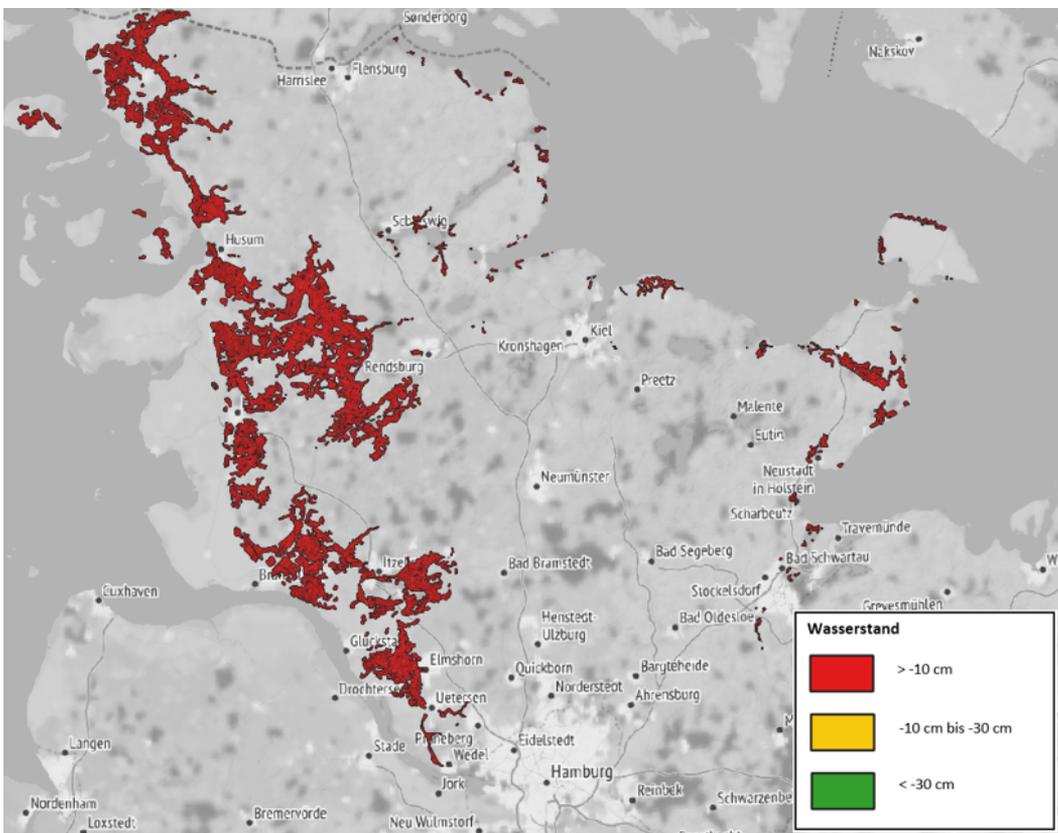
A 4: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem Thünen-Ansatz – +30 cm.



A 5: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem Thünen-Ansatz – +40 cm.

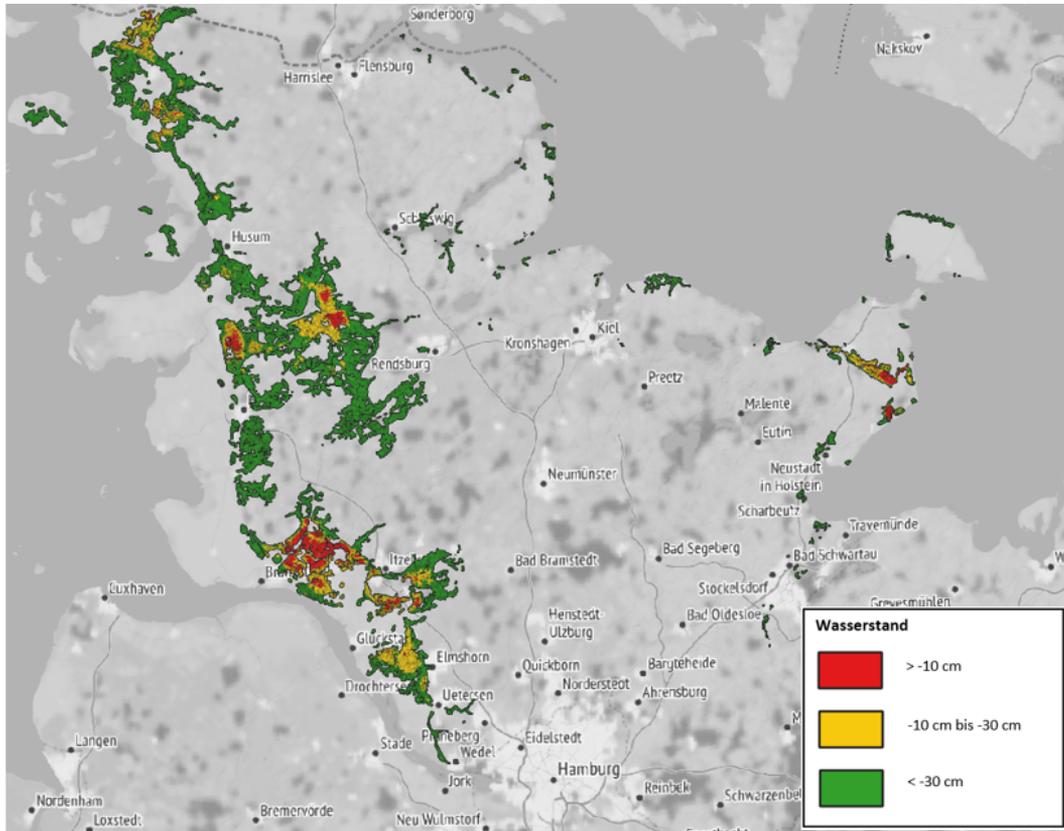


A 6: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem Thünen-Ansatz – +50 cm.

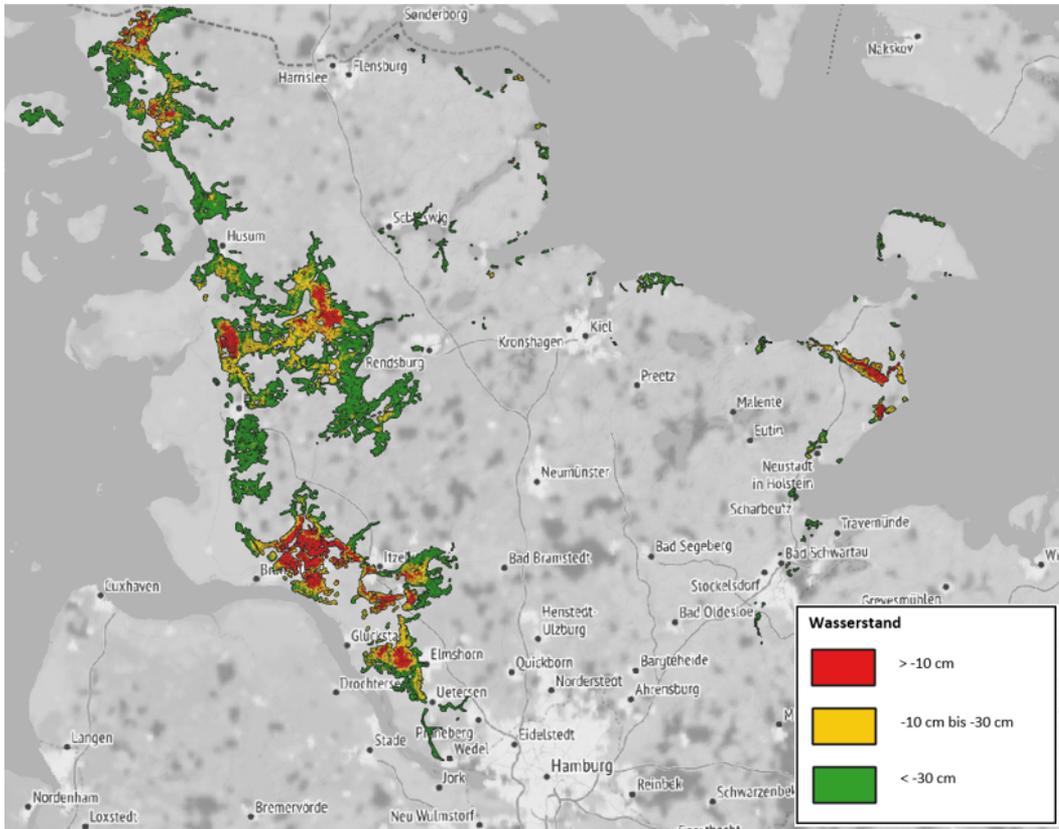


A 7: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem Thünen-Ansatz – max.

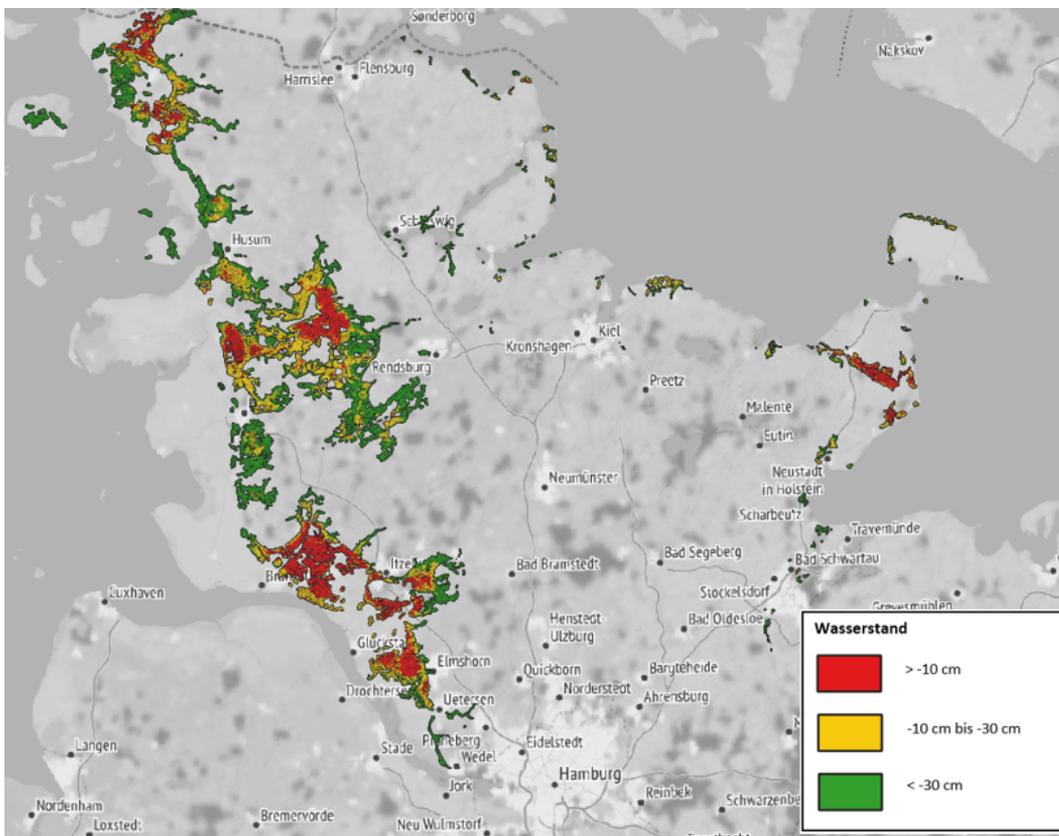
DGM3-Ansatz



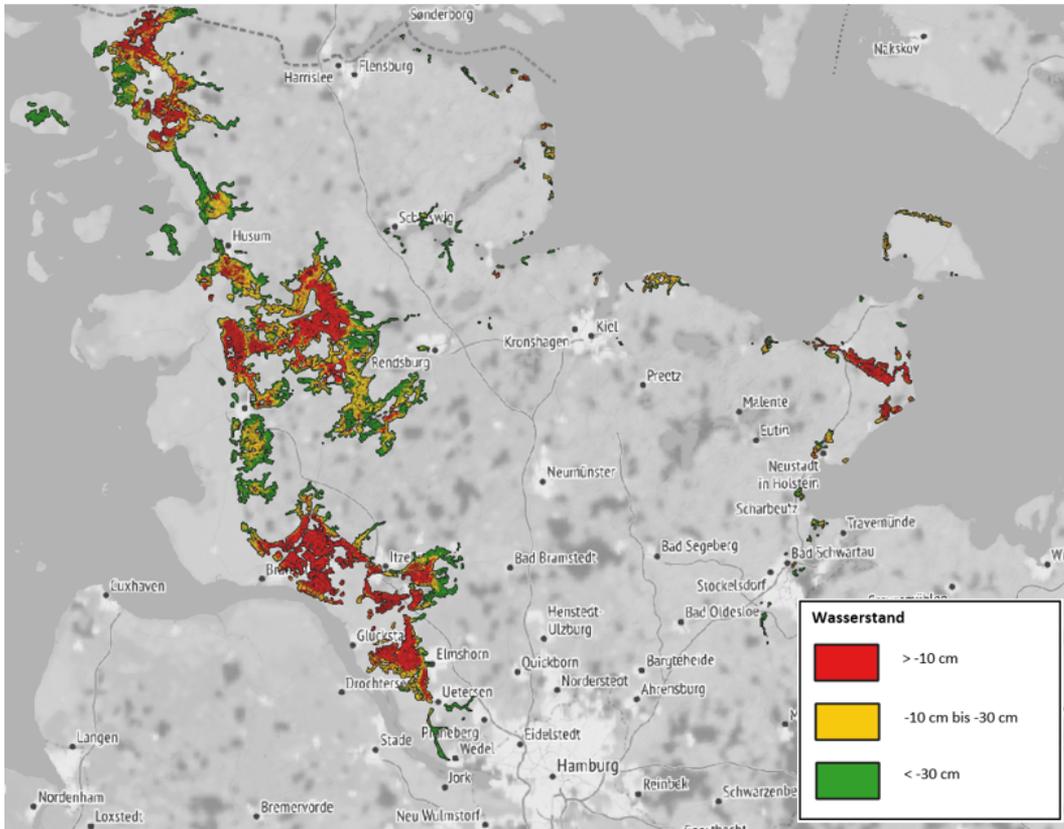
A 8: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem DGM3-Ansatz – IST-Situation.



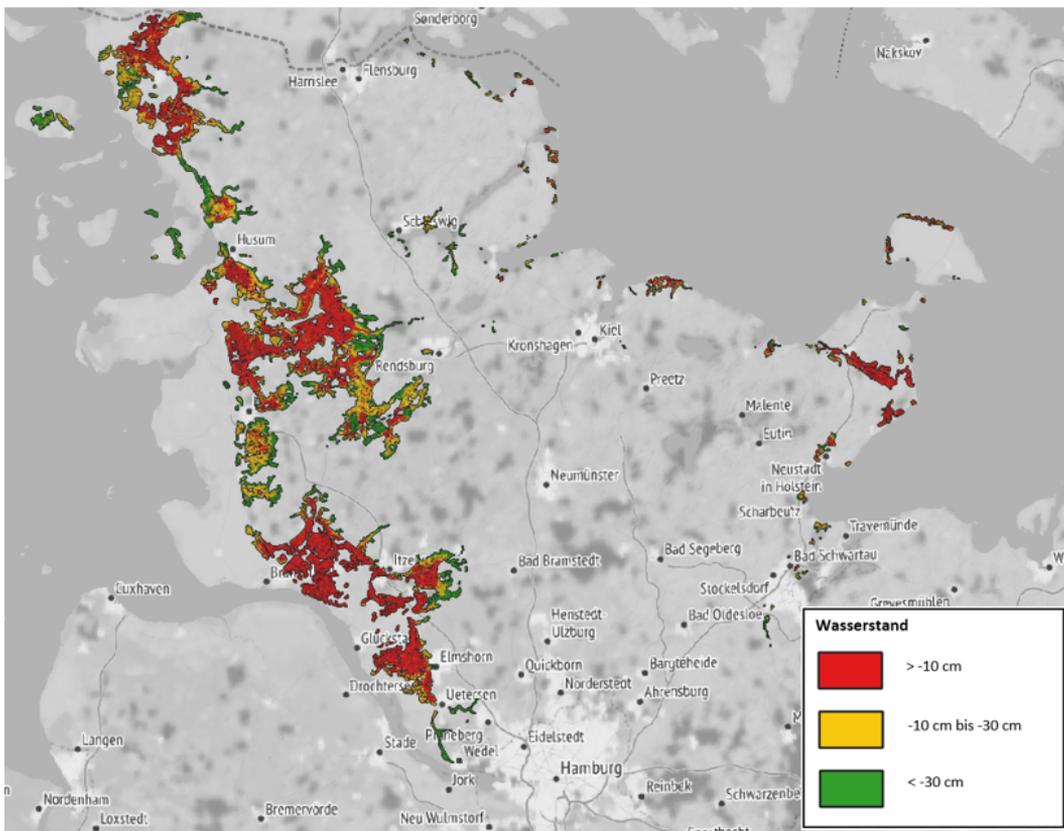
A 9: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem DGM3-Ansatz – +10 cm.



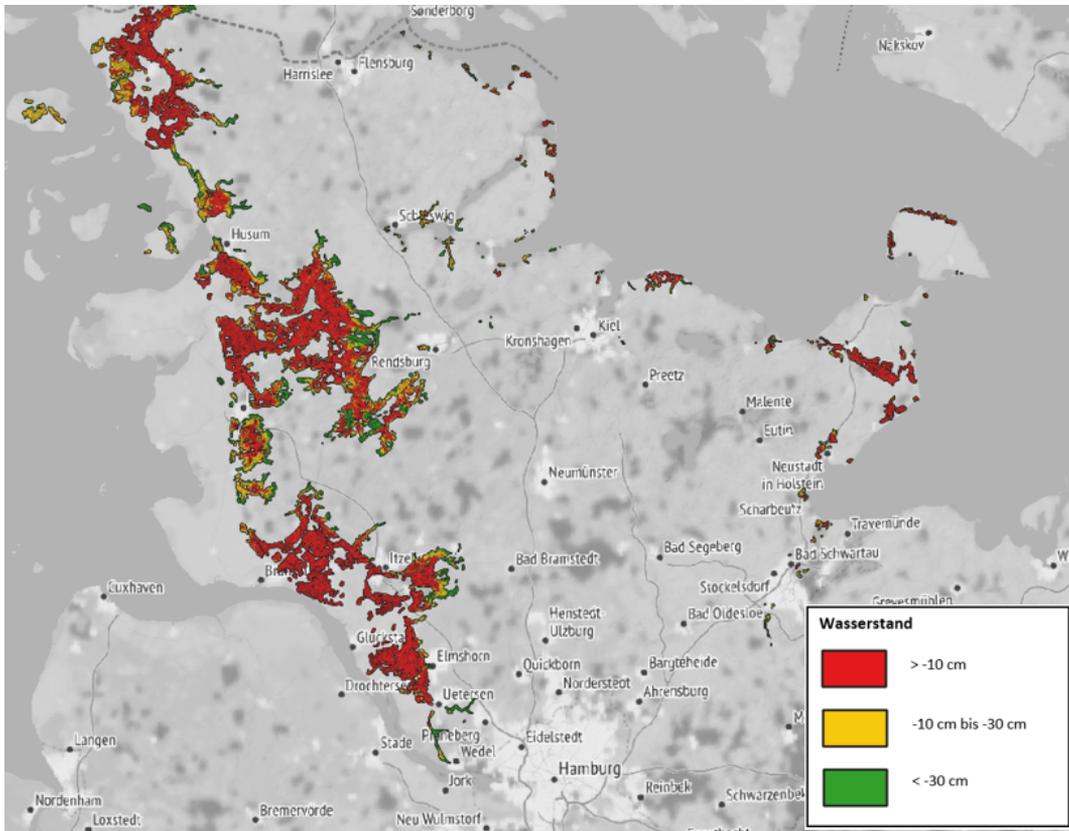
A 10: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem DGM3-Ansatz – +20 cm.



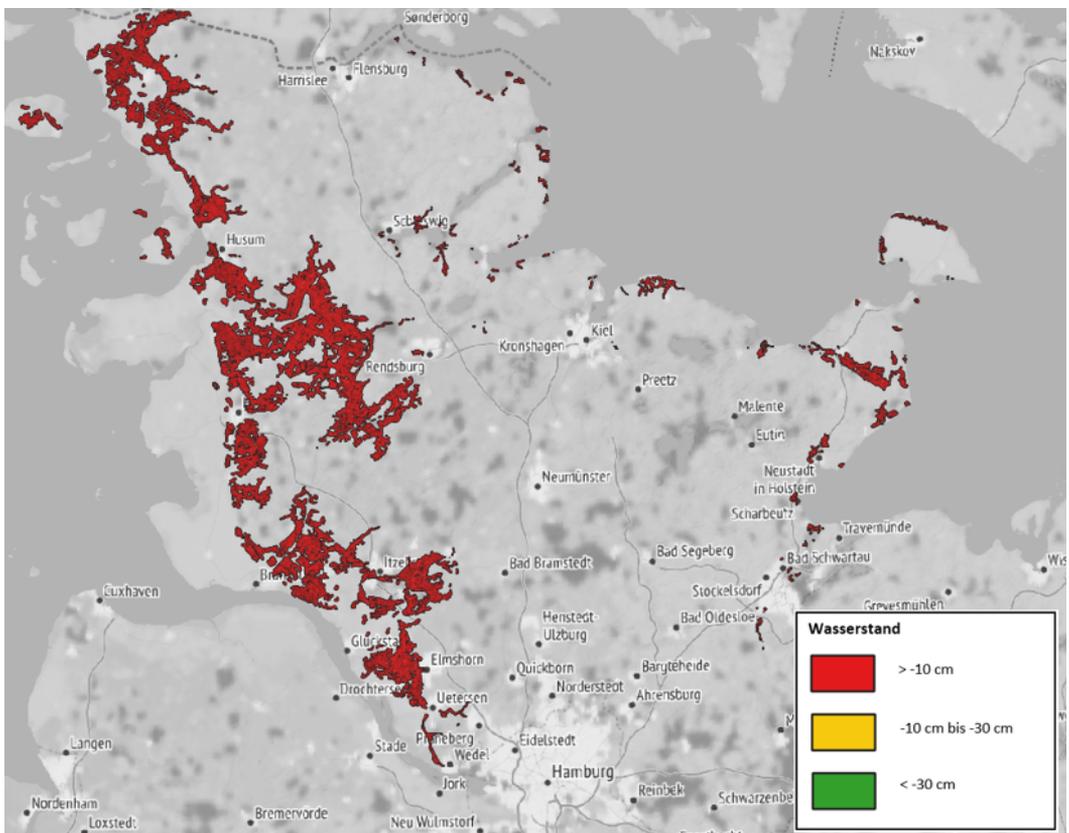
A 11: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem DGM3-Ansatz – +30 cm.



A 12: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem DGM3-Ansatz – +40 cm.



A 13: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem DGM3-Ansatz – +50 cm.



A 14: Simulation der Wasserstandsanhhebung in der betroffenen Region nach dem DGM3-Ansatz – max.