

SWAMPS-Verbundprojekt – Verfahrensanalysen und
Handlungsoptionen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen und
zum Schutz von Mooren für landwirtschaftlich genutztes Grünland

Zwischenergebnisse der bisherigen Projektlaufzeit
(Kernaussagen)



Autoren in Reihenfolge der Module: Sebastian Pagenkemper, Franz Jansen-Minßen, Heinrich Höper, Ann Christin Sieber, Merten Minke, Bärbel Tiemeyer, Sebastian Heller, Gerd Lange, Uwe Schröder, Peter Gatersleben, Luise Giani, Sarah Landscheidt, Rainer Buchwald und Lea Kupke

Ansprechpartner / Kontakt

Franz Jansen-Minßen und Dr. Sebastian Pagenkemper
Grünlandzentrum Niedersachsen / Bremen e.V.
Albrecht-Thaer-Straße 1, 26939 Ovelgönne

E-Mail: jansen-minssen@gruenlandzentrum.de oder sebastian.pagenkemper@gruenlandzentrum.de

Tel.: 04401 / 82926-21 oder 04401 / 82926-24

Datum: 18. Januar 2021

Verantwortliche Projektpartner SWAMPS

Grünlandzentrum Niedersachsen / Bremen e.V.

Dr. Sebastian Pagenkemper, Franz Jansen-Minßen

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Dr. Heinrich Höper, Ann Christin Sieber, Dr. Merten Minke

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarklimaschutz

Dr. Bärbel Tiemeyer, Sebastian Heller, Willi Oehmke, Dr. Ullrich Dettmann

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Gerd Lange, Uwe Schröder, Peter Gatersleben

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg – AG Bodenkunde

Prof. Dr. Luise Giani, Sarah Landscheidt

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg – AG Vegetationskunde und Naturschutz

Prof. Dr. Rainer Buchwald, Lea Kupke

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Zweck dieser Darstellung	4
1.2	Standortbeschreibung und Versuchsaufbau	4
1.3	Themenbereiche	5
2	Kernaussagen der Themenbereiche.....	7
2.1	Akteursarbeit (GLZ).....	7
2.2	SWAMPS-GIS.....	8
2.3	Standort und Wasser (LBEG).....	8
2.4	Treibhausgas-Emissionen (Thünen).....	9
2.5	Agronomische Parameter (LWK).....	12
2.6	Nährstoffdynamik (UOL).....	15
2.7	Biodiversität (UOL).....	17
3	Zusammenfassung.....	20
3.1	Wissenschaftliche Kernaussagen.....	20
3.2	Kernaussagen der Akteursarbeit	20
4	Ausblick.....	21
5	Literatur	21

1 Einleitung

Das SWAMPS-Verbundprojekt (Laufzeit 03/2016 bis 12/2021) steht als Pilotvorhaben für die Erarbeitung und Bewertung von praktikablen Handlungsoptionen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen auf landwirtschaftlich intensiv bewirtschafteten Grünlandstandorten, die typisch für Niedersachsen sind. Das Ziel ist eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen solcher Standorte und somit Möglichkeit zur Fortsetzung einer betriebswirtschaftlich orientierten Landwirtschaft unter Berücksichtigung von Maßnahmen und Handlungsoptionen.

Die zentral untersuchten Aspekte dieses Projektes sind:

1. die Verfahren der kontrollierten Wasserstandanhebung und
2. die schonende Grünlandnarbenerneuerung.

Diese Maßnahmen werden in ihren Auswirkungen auf die Freisetzung von Treibhausgasen (THG) und auf agronomische Aspekte (v.a. Futtermenge und -qualität sowie Befahrbarkeit) bewertet. Zusätzlich werden die Auswirkungen auf die Stoffmobilisierung im Hinblick auf die Beeinflussung des Oberflächenwassers als auch auf die biologische Vielfalt (Vegetation und Heuschrecken, seit 2020 auch Laufkäfer) der Grünlandbestände erfasst. Zudem wurden die Effekte einer Kleiüberdeckung auf die THG-Emissionen untersucht.

1.1 Zweck dieser Darstellung

Die Darstellung der Kernaussagen richtet sich in erster Linie an die auf Moorstandorten wirtschaftenden Landwirte, aber auch an weitere Akteure. Die hier vorgestellten Kernaussagen fassen die bisher von den Projektpartnern an den Versuchsstandorten erzielten Ergebnisse im Hinblick auf die Bewertung der getesteten Maßnahmen bezüglich Klimaschutz und Moorbodenschutz zusammen. Damit wird eine Grundlage für die Ableitung verschiedener Handlungsoptionen gelegt.

1.2 Standortbeschreibung und Versuchsaufbau

Im SWAMPS-Projekt werden insgesamt drei Standorte untersucht, großräumig das Pumpgebiet 1 in der Braker Sielacht und kleinräumig zwei Exaktversuchsflächen im Hammelwarder Moor sowie im Ipweger Moor:

- Der Hochmoorstandort im Ipweger Moor (IM; Exaktversuch) ist mit einer Weißtorfauflage von mehr als 0,6 m typisch für mächtige Hochmoore in Niedersachsen. Darunter liegt Schwarztorf und dichtet den Standort hydrologisch ab. Durch Sackung und Befahrung ist der Weißtorf verdichtet und weist eine relativ geringe gesättigte Wasserleitfähigkeit ($\approx 0,1 \text{ m d}^{-1}$) auf.

- Das Hammelwarder Moor (HM) umfasst das Pumpgebiet 1 sowie einen Exaktversuch und repräsentiert als Überflutungsmoor etwa 25 % der niedersächsischen Niedermoore. Er liegt ca. 1,5 bis 2 m unter NN und ist durch aufsteigendes Grundwasser gekennzeichnet, das ganzjährig in die Weser abgepumpt wird. Die Niedermoortorfe im Pumpgebiet 1 sind durch Klei, also schluffig-tonige fluviatile Ablagerungen, überdeckt. Diese unterscheiden sich in ihrer Mächtigkeit und Gehalt an Bodenkohlenstoff.
- Der Exaktversuch im Hammelwarder Moor (HM) weist ca. 1,2 bis 1,5 m mächtige Niedermoortorfe (Schilf- und Radzellentorfe) mit einer geringen gesättigten Wasserleitfähigkeit ($\approx 0,1 \text{ m d}^{-1}$) auf.

An den beiden Standorten mit Exaktversuchen wurden zwei wasserregulierende Maßnahmen auf jeweils ca. 0,6 ha Fläche getestet, der Grabeneinstau und die Unterflurbewässerung, und mit einer ortsüblichen Kontrolle verglichen. Zwischen April und Oktober wurden Grabenabschnitte mit Oberflächenwasser aus benachbarten Gräben auf Zielniveau (0,1 bis 0,2 m unter Geländeoberkante) aufgefüllt. Dieses entspricht einem Grabeneinstau. Auf einer Teilfläche wurden zudem Dränrohre in 4 m Abstand und ca. 0,6 m Tiefe verlegt, um den Wasserfluss in die Fläche bei gleichzeitiger Befahrbarkeit im Frühjahr zu verbessern. Diese Variante wird als Unterflurbewässerung bezeichnet. Zusätzlich wurden auf beiden Standorten Varianten zur Untersuchung der Verfahren Direktsaat und Umbruch zur Narbenerneuerung im Vergleich zur Altnarbe angelegt (siehe nachfolgende Tabelle mit einer Übersicht der Varianten auf den Exaktversuchsflächen).

Varianten zur Wasserregulierung	Varianten zur Neuansaat von Grünland
1 Kontrolle IM: Graben- und Rohrdränung HM: Grabendränung und Grütten	1 Altnarbe
2 Grabeneinstau (GS)	2 Direktsaatverfahren
3 Unterflurbewässerung (UFB)	3 Umbruchverfahren

1.3 Themenbereiche

Innerhalb des SWAMPS Verbundes obliegt jedem der Partner die Bearbeitung seines Modules und dessen spezifischer Inhalte. Die sich daraus ergebenden

Themenbereiche sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt und an dieser Stelle beschrieben.

- Der Themenbereich „**Akteursarbeit**“ wird vom Grünlandzentrum (GLZ) bearbeitet und befasst sich im Wesentlichen mit der Bildung und Aktivierung einer Akteursgemeinschaft (Projektlandwirte sowie Landwirte anderer Moorregionen), so dass alle landwirtschaftlichen Akteure aktiv als zentraler Bestandteil in diesem Projekt mit eingebunden werden. Die Ziele sind die Schaffung von Akzeptanz, das Etablieren der Projektregion als Modellregion mit Leuchtturmcharakter und die Verbreitung der Ergebnisse durch Beteiligung der Projektlandwirte an weitere Akteure (Landwirte, Gesellschaft, Politik).
- Der Themenbereich „**Standort und Wasser**“ wird vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) bearbeitet. Dazu gehören die Standortansprache, Standortauswahl und Einrichtung der hydrologischen Versuchsvarianten, Steuerung und Monitoring der Wasserstände in Gräben und auf den Flächen.
- Der Themenbereich „**Treibhausgas-Emissionen**“ wird vom Thünen-Institut (Thünen) bearbeitet. Hier werden die Treibhausgas-Emissionen und deren Steuerfaktoren auf den Versuchsflächen gemessen und die entsprechenden THG- und Kohlenstoffbilanzen ermittelt.
- Der Themenbereich „**Agronomie**“ wird von der Landwirtschaftskammer (LWK) bearbeitet und umfasst die Betrachtung der Auswirkungen von Wasserstandregulierung, Grünlanderneuerung und Nährstoffversorgung auf betriebswirtschaftlich relevante Parameter.
- Der Themenbereich „**Nährstoffflüsse**“ wird von der Arbeitsgruppe Bodenkunde der Universität Oldenburg (UOL) bearbeitet und betrachtet die Nährstoffdynamik auf den Versuchsflächen unter Berücksichtigung der untersuchten Varianten.
- Der Themenbereich „**Biodiversität**“ wird von der Arbeitsgruppe Vegetationskunde und Naturschutz der Universität Oldenburg (UOL) bearbeitet und beschäftigt sich mit der Untersuchung der Auswirkungen und Effekte der hydrologisch-landwirtschaftlichen Maßnahmen des Projektes auf Flora, Vegetation sowie Heuschrecken- und Laufkäferfauna der Standorte.



„Akteursarbeit“ in Kapitel 2.1

- Grünlandzentrum Niedersachsen / Bremen e.V.
- Abkürzung „GLZ“



„Standort und Wasser“ in Kapitel 2.2

- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
- Abkürzung „LBEG“



„Treibhausgas-Emissionen“ in Kapitel 2.3

- Johann Heinrich von Thünen-Institut
- Abkürzung „Thünen“



„Agronomie“ in Kapitel 2.4

- Landwirtschaftskammer Niedersachsen
- Abkürzung „LWK“



„Nährstoffflüsse“ in Kapitel 2.5

- Carl von Ossietzky Universität Oldenburg – AG Bodenkunde
- Abkürzung „UOL“



„Biodiversität“ in Kapitel 2.6

- Carl von Ossietzky Universität Oldenburg – AG Vegetationskunde und Naturschutz
- Abkürzung „UOL“

In den nachfolgenden Kapiteln stellen die Projektpartner die Kernaussagen aus ihren Modulen dar. Diese Aussagen beziehen sich auf den aktuellen Stand (04/2020) der Auswertungen und Ergebnisse des Projektes und werden nach Abschluss des letzten Untersuchungsjahres ergänzt.

2 Kernaussagen der Themenbereiche

2.1 Akteursarbeit (GLZ)

Die hier dargestellten Informationen basieren auf im Projektverlauf durchgeführten Feldbegehungen, Veranstaltungen, Interviews und Gespräche mit relevanten Akteuren innerhalb und außerhalb des Projektes.

- Die Akteure in den Moorlandschaften sind aufgrund der aktuellen Debatten um den Klima- und Moorschutz hochgradig verunsichert und sehen sich in ihrer Existenz gefährdet.
- Die Gesprächsbereitschaft der Akteure über zukünftige Landnutzungskonzepte in Moorregionen ist vorhanden.
- Die Aktorengemeinschaften der Moorbetriebe im Landkreis Wesermarsch und im Projektgebiet „Gnarrenburger Moor“ sind über die AG Moor des

Landesbauernverbandes vernetzt und tauschen sich regelmäßig über Fortschritt und Ergebnisse in den Projekten aus.

- Zwischen Landesbauernverband und dem Wasserverbandstag besteht Konsens, dass ein integriertes Land- und Wassermanagement notwendig ist.
- Die Akteure erwarten, dass Maßnahmen zur weiteren Nutzung der Moorstandorte auf Privatbesitz dem Prinzip der Freiwilligkeit folgen und entsprechende Budgetmittel des Landes für landeskulturelle und wasserbauliche Maßnahmen verfügbar sind. Die Akteure gehen davon aus, dass die landwirtschaftliche Nutzung der Moorstandorte auch zukünftig gewährleistet bleibt.
- Hinsichtlich einer standortangepassten Nutzungsintensität auf Moorböden besteht hoher Beratungsbedarf. Die Akteure erwarten ein qualifiziertes Beratungsangebot für die klimaschonende- und klimafolgenangepasste Moorbewirtschaftung.
- Paludikulturen und extensive Formen der Nassbewirtschaftung von Mooren sind für milchviehhaltende Betriebe, nach dem derzeitigen Erkenntnisstand, keine Option.

2.2 SWAMPS-GIS

- Ein integriertes Land- und Wassermanagement in Moorlandschaften erfordert ein Geoinformationssystem (GIS) der gebietlichen Standortverhältnisse einschließlich aller raumrelevanten Informationen.
- Das GIS muss auch die wasserbaulichen Daten der jeweiligen Moorregionen abbilden.
- Am LBEG wird derzeit ein landesweites Moorinformationssystem MoorIS aufgebaut, das im Hinblick auf die hier dargestellten Zwecke erweitert werden kann und an dieser Stelle die Basis darstellt.

2.3 Standort und Wasser (LBEG)

- An beiden Standorten ist es gelungen, die Grabenwasserstände der wasserregulierenden Varianten im Sommerhalbjahr durch Wasserzufuhr auf 0,1 bis 0,2 m unter Geländeoberkante (u. GOK) einzustellen. Höhere Grabenwasserstände sind in der Regel nicht möglich, da es zu einem Umströmen der Wehre kommen kann.

Wasserstände – Hoch- und Niedermoor

- Die Moorwasserflurabstände weichen in allen Varianten von den Grabenwasserständen ab. In der Unterflurbewässerung werden, auch in trockenen Jahren, mittlere Moorwasserflurabstände von 0,3 bis 0,35 m u. Geländeoberkante (GOK) im Sommerhalbjahr erreicht. Im Grabeneinstau schwanken die Werte witterungsbedingt stärker und liegen zwischen 0,5 und 0,7 m u. GOK. Im Vergleich zur Kontrolle wurden die Moorwasserflurabstände am Hochmoorstandort deutlich und am Niedermoorstandort geringfügig angehoben. Die Unterflurbewässerung hat an beiden Standorten eine stärkere Anhebung der Moorwasserflurabstände bewirkt als der Grabeneinstau.

Veränderung der Geländehöhe (Sackung) – Hoch- und Niedermoor

- Im Ipweger Moor (Hochmoor) wurde die Sackung (Abnahme der Geländehöhe) durch beide wasserregulierenden Maßnahmen (Unterflurbewässerung und Grabeneinstau) seit Versuchsbeginn gestoppt. Im Hammelwarder Moor (Niedermoor) wurde die Sackung durch die Unterflurbewässerung halbiert, wohingegen der Grabeneinstau keine Veränderung im Vergleich zur Kontrolle zeigte. Die Veränderung der Geländehöhe in Mooren wird v.a. durch die Prozesse Sackung und Schwellung, Schrumpfung und Quellung sowie durch den Torfverzehr infolge Mineralisation bestimmt. In den wasserregulierenden Varianten spielt die Schwellung, d.h. der Auftrieb des Torfkörpers durch den höheren Wasserstand, eine wichtige Rolle.

2.4 Treibhausgas-Emissionen (Thünen)

Wassermanagement – Hochmoor

- Je nach Messjahr waren die CO₂-Emissionen der Grabeneinstauvariante höher, niedriger oder vergleichbar mit den Kontrollen. Die N₂O-Emissionen waren im Mittel niedriger als in den Kontrollen und als in der Unterflurbewässerung.
- Die CO₂-Emissionen der Varianten mit Unterflurbewässerung waren in zwei Jahren höher und in einem Jahr (2018) niedriger als in den Kontrollen, im Mittel trat eine Erhöhung um 18 % auf. Die N₂O-Emissionen waren mit Ausnahme von 2019 niedriger als in den Kontrollen.
- Überraschend ist dabei, dass die CO₂-Emissionen 2019, also bei deutlich höheren Wasserständen als in den Vorjahren, sowohl höher als in den Vorjahren als auch in den Kontrollen waren.

- Im Gegensatz zu den kleiüberdeckten Standorten (s.u.) lässt sich keine lineare (oder auch parabolische) Abhängigkeit der CO₂-Emissionen vom Grundwasserflurabstand ableiten. Dies lässt vermuten, dass an Standorten mit aktivem Wassermanagement aufgrund einer komplexen Interaktion zwischen Bodenfeuchten, Temperaturen und Nährstoffen einfache, bisher genutzte Erklärungsansätze nicht anwendbar sind. In bisherigen Datensätzen liegt eine Korrelation von Grundwasserstand und Nutzungsintensität vor, d.h. nasse und gleichzeitig intensiv genutzte Standorte sind nicht enthalten.
- Die Messvarianten mit Wassermanagement zeigten eine stärkere Temperatursensitivität der Ökosystematmung als die Kontrollen. Möglicherweise lässt sich dies mit der besseren Wasserversorgung im Vergleich zu den mutmaßlich feuchtelimitierten Kontrollvarianten oder dem Rückhalt nährstoffreichen Wassers im „reaktiven“ Oberboden erklären.
- Mögliche Erklärungsansätze für die hohen CO₂-Emissionen liegen in den erhöhten Nährstoffgehalten – insbesondere relevant bei Hochmoortorfen, die unter nährstoffarmen Bedingungen entstanden sind – in Kombination mit optimalen Wassergehalten im Oberboden und in einer Anpassungsphase an die neuen hydrologischen Verhältnisse.
- Insgesamt lassen die Ergebnisse aus dem Ipweger Moor zweifeln, ob eine Minderung der THG-Emissionen an Hochmoorstandorten bei gleichzeitiger intensiver Grünlandbewirtschaftung und Nutzung von nährstoffreichem Oberflächenwassers möglich ist.

Wassermanagement – Niedermoor

- Die CO₂- und THG-Emissionen der Variante Grabeneinstau waren etwas niedriger oder mit den Kontrollvarianten vergleichbar (CO₂ im Mittel 12 % niedriger, Werte schwanken stark zwischen den Jahren).
- Die Auswirkungen der Unterflurbewässerung sind zwischen den Jahren und Messvarianten äußerst uneinheitlich: an einer der beiden Messvarianten zeigte sich eine deutliche Verringerung der CO₂-Emissionen, an der anderen wurden 2019 die höchsten CO₂-Emissionen aller Varianten gemessen, so dass 2020 eine weitere Messvariante mit Unterflurbewässerung eingerichtet wurde. Bisher wurde im Mittel eine Reduktion der CO₂-Emissionen um ca. 22 % festgestellt. In manchen Jahren traten im Vergleich zu den Kontrollvarianten erhöhte N₂O- oder CH₄-Emissionen auf.

Grünlanderneuerung

- Die Grünlanderneuerung erfolgte im Herbst bei trockener Witterung. Eindeutige Effekte der Grünlanderneuerung auf die CO₂-Emissionen sind nicht festzustellen.
- In den ersten beiden Jahren nach Grünlanderneuerung waren am Niedermoorstandort die N₂O-Emissionen der Umbruchvarianten und zumeist auch der Direktsaat (Kontrolle) im Vergleich zu den jeweiligen Altnarben erhöht. Eine Interpretation der Daten des dritten Jahres ist aufgrund der Störung durch den Mausbefall schwierig.
- Am Hochmoorstandort, der generell sehr hohe N₂O-Emissionen aufwies, waren die Effekte uneinheitlich. In den ersten 1,5 Jahren nach Grünlanderneuerung waren die N₂O-Emissionen an den Umbruchvarianten und teilweise auch an der Direktsaat (Kontrolle) im Vergleich zur Altnarbe ebenfalls erhöht, während danach sowohl niedrigere als auch höhere Emissionen auftraten.

Kleiüberdeckung

- Die Gesamt-THG-Emissionen der sechs Messvarianten mit Kleiüberdeckung von $48,1 \pm 10,7 \text{ t CO}_2\text{-Äq. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Mittelwert \pm Standardabweichung) sind im Vergleich zum „typischen“ tief entwässerten (Grundwasserflurabstand tiefer als -0,30 m im Jahresmittel) Niedermoorgrünland ($36,1 \pm 19,2 \text{ t CO}_2\text{-Äq. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, TIEMEYER ET AL., 2016) in Deutschland je nach Variante als ähnlich bis sehr hoch einzuschätzen.
- Bei ähnlichen Grundwasserflurabständen sind die CO₂-Emissionen vergleichbar mit denen der Kontrollvariante (Altnarbe) im Hammelwarder Moor, so dass nicht von einer Verringerung der Emissionen durch die vermutlich in der Vergangenheit gepflügten Kleidecke auszugehen ist. Die Gehalte an Bodenkohlenstoff (C_{org}) der 26 bis 40 cm mächtigen Kleidecken liegen mit ca. 7–11 % deutlich über denen von mineralischen Marschböden¹, was die Hypothese einer C_{org}-Anreicherung durch Bodenbearbeitung und Einmischen liegender Torfe stützt.

¹ nach BZE Landwirtschaft ca. $3,2 \pm 1,8 \%$ in 0–30 cm bei Grünlandnutzung und ohne unterliegende Torfe (JACOBS et al., 2018)

- Die CO₂-Emissionen lassen sich durch den belüfteten Bodenkohlenstoffvorrat (Torf + Kleidecke), also den Bodenkohlenstoffvorrat über dem Grundwasserspiegel erklären.
- Während CH₄ keine Rolle spielt, sind trotz der hohen CO₂-Emissionen auch die N₂O-Emissionen relevant, die teilweise die höchsten jemals in Deutschland auf Nieder- und Anmoorstandorten gemessenen Werte darstellen.
- Die hohen N₂O-Emissionen lassen sich aus einer Kombination von wechselfeuchten Bedingungen, hoher N-Düngung, niedrigen pH-Werten und bindigem Oberbodenmaterial mit gleichzeitig hohen C_{org}-gehalten erklären.

2.5 Agronomische Parameter (LWK)

Wassermanagement – Hochmoor

- Der Grabeneinstau war im Frühjahr und nach ausgeprägten Niederschlägen später zu befahren, daher konnte die Frühjahrsdüngung in zwei von drei Versuchsjahren nur eingeschränkt oder deutlich verzögert ausgebracht werden.
- Mit der Unterflurbewässerung wurde gegenüber dem Grabeneinstau eine verbesserte Befahrbarkeit durch (entwässernde) Ableitung von Wasser nach niederschlagsreichem Herbst / Winter 2017/18 erreicht.
- Die Anhebung der Grundwasserstände bewirkte in den Trockenjahren 2018-2019 eine deutlich verbesserte Ausdauer der futterbaulich wertvollen Arten des Wirtschaftsgrünlands sowohl in den Altnarben wie auch in den Neuansaatn!
- Hinsichtlich der Ertragsmenge und Ertragsverteilung (Einzelschnitte) sowie der Futterqualität waren die gesteuerten Wasservarianten in allen drei Jahren den Kontrollparzellen überlegen.
- Die Energieerträge (GJ ha⁻²) der Wasservarianten lagen in den Dürre Jahren 2018 und 2019 ca. 23 % und 26 % höher als in den frei entwässernden Kontrollvarianten.
- Entsprechend der Wasserleitfähigkeit des Weißtorfs entfaltet die Wasserverfügbarkeit auch ihre Wirkung bei der Nährstoffversorgung. In der Unterflurbewässerung konnten besonders hohe Entzüge für Stickstoff und Phosphor durch verbessertes Pflanzenwachstum verzeichnet werden.
- Nach dem im Jahr 2018 die Phosphordüngung in Bezug auf Nutzungsintensität und Bedarf der Pflanzen nicht ausgewogen war, entsprach die Düngung im Jahr

2019 der Empfehlung auf Grundlage der Bodenanalyse und der Nutzungsintensität. Eine durch geringe Befahrbarkeit bedingte „theoretische“ Unterversorgung nach Düngungsverzicht (Grabeneinstau) hatte keinen wesentlichen Einfluss auf die P-Abfuhrmenge mit dem Ernteaufwuchs. Der P_{CAL} -Gehalt je 100 ml Boden wurde während der Erntesaison 2019 gegenüber dem Vorjahr deutlich reduziert und konnte überwiegend von Gehaltsklasse D (2018) in Gehaltsklasse C (2019) zurückgeführt werden.

Wassermanagement – Niedermoor

- Die Befahrbarkeit des Niedermoorstandortes tritt aufgrund der standörtlich bedingten allgemein hohen Wasserstände nach Winter etwas verzögert ein.
- Während der Hauptvegetationszeit wurden, mit Ausnahme eines einzelnen Sackungsbereiches, kaum Einschränkungen der Bewirtschaftung in den Varianten mit Grabeneinstau und/oder Unterflurbewässerung festgestellt.
- Im grundwassernahen Niedermoor waren die Ertrags-Effekte von Grabeneinstau und Unterflurbewässerung gegenüber der Kontrolle gering.
- In den Kontrollvarianten (ohne aktive Zuwässerung) waren die Altnarben gegenüber den Direktsaaten und Neuansaaten mit Umbruch insgesamt ertragreicher.
- Direktsaaten erzielten auch bei Grabeneinstau und Unterflurbewässerung gegenüber der Umbruchvariante vergleichbare (2018) oder deutlich höhere (2017, 2019) Erträge und Futterqualitäten.
- Die Neuansaaten entwickelten sich in den Bewässerungsvarianten besonders gut. Da alle Versuchspartellen ausreichend gut mit Nährstoffen versorgt waren, wurden der Bestandsentwicklung entsprechend in den Wasservarianten deshalb höhere Stickstoffmengen aufgenommen.
- Für die Bodenphosphorgehalte auf Moorböden werden 3 bis 4 mg P 100 ml⁻² empfohlen (Gehaltsklasse C). Die ermittelten Werte aus den Bodenproben lagen am Niedermoorstandort zunächst deutlich darüber. Durch den Pflanzenentzug konnten die Boden-Nährstoffgehalte in den ertragsstarken Varianten innerhalb eines Vegetationsjahres (2018) um 1 bis 2 mg P 100 ml⁻² Boden reduziert werden.

Grünlanderneuerung und Schädlingsbefall

- Mit der Möglichkeit, das Wasser auf den Flächen zu regulieren, konnte aktiv in die Lebensbedingungen potenzieller Grünlandschädlinge eingegriffen werden, die sich ab Sommer 2019 an beiden Standorten einstellten.
- Kontrollparzellen ohne Grabeneinstau und Unterflurbewässerung wurden an beiden Standorten bereits ab dem dritten Aufwuchs 2019 nachhaltig durch sehr hohen Feldmausbesatz geschädigt.
- Die Feldmausgradation und daraus hervorgerufene Fraßschäden betrafen die Parzellen mit Wassermanagement an beiden Standorten zunächst kaum, konnten aber, trotz durchgängig hoher Grundwasserstände, letztlich nicht verhindert werden: die Ernte des vierten Aufwuchses musste aufgrund starker Fraßtätigkeit der Mäuse in allen Varianten entfallen.
- Starke Herbstniederschläge verhinderten 2019 in Verbindung mit dem Wassermanagement, dass sich die Feldmauspopulation in den bereits eingestauten/bewässerten Parzellen stärker etablieren konnten, so dass keine nachhaltige Schädigung der GS/UFB Versuchspartellen eintrat.
- Ein sehr starker Tipulabefall im Herbst 2019 hatte ebenfalls Einfluss auf die Versuchspartellen. Beide Standorte überschritten im Februar 2020 den Schadschwellenwert (100 Larven m⁻²) um ein Mehrfaches (HM >700; NM 189–576 Larven m⁻²).
- Im Frühsommer 2020 konnten sich die Versuchspartellen von den Fraßschäden durch Mäuse und Tipularlarven in den bewässerten Varianten bei erneut ausbleibenden Niederschlägen im März deutlich besser erholen als die Kontrollen ohne gesteuerte Bewässerung.

Sonstiges

- Das Risiko der Verkrautung (z.B. Vogelmiere) und einer mangelhaften Etablierung von Neuansaat ist bei Grünlanderneuerung mit Umbruch auf Moorstandorten erheblich.
- Grünlandverbesserungsmaßnahmen auf Moorstandorten sollten möglichst ohne Umbruch der Altnarbe als Direktsaat umgesetzt werden, um standortangepasste Gräser im Bestand zu erhalten.
- Standortangepasste Altnarben sollten auf diesen Standorten gefördert werden. Ausreichend befeuchtete Böden sind eine gute Voraussetzung für die Entwicklung und Förderung der Altnarben durch Nutzung und Pflege.

- Mit der Möglichkeit, das Wasser auf den Flächen zu regulieren, kann man aktiv einer Bestandsverschlechterung entgegenwirken und die Effizienz der Düngungsmaßnahmen hinsichtlich der Ertragswirkung deutlich verbessern.
- Durch ein gesteuertes Wassermanagement kann in Dürre Jahren das Risiko des Ertragsausfalls in Altnarben und Neuansäten drastisch reduziert werden.
- Mit der Möglichkeit das Wasser auf den Flächen zu regulieren, werden die Lebensbedingungen potenzieller Grünlandschädlinge, besonders bei Unterflurbewässerung, stark eingeschränkt.
- Die Bewertung der agronomischen Auswirkungen eines Jahres mit überdurchschnittlichen Niederschlägen steht noch aus.

2.6 Nährstoffdynamik (UOL)

Wassermanagement – Hochmoor

- Die Böden der hydraulisch unterschiedlichen eingestellten Flächen unterscheiden sich nicht bezüglich ihrer Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen (NH_4 , NO_3 , PO_4). Eine Ausnahme davon bilden zeitweise höhere Nitratgehalte in der Kontrollfläche im Vergleich zur Einstau- und Unterflurbewässerungsfläche. Insgesamt lässt sich kein Effekt der unterschiedlichen Feuchtereime auf die Torfoxidation und auf die damit verbundene Nährstofffreisetzung erkennen. Dies beruht wahrscheinlich darauf, dass die Düngung und die Entzüge durch die Pflanzen maßgeblich die Nährstoffdynamik bestimmt, und mögliche Nährstoffbeiträge, wie aus Torfoxidation, überlagert werden.
- Bodenwasser, Dränwasser in der Unterflurbewässerung und Grabenwasser stehen bezüglich der Nährstoffgehalte durch Massenfluss (und geringerem Maße durch Diffusion) in enger Verbindung. Es stellen sich Nährstoffkonzentrationsgradienten ein. In höheren Wasserständen in den Gräben als in der Fläche, d.h. in längeren Zeiten negativer Wasserbilanz, fließt Wasser mit den darin enthaltenen Nährstoffen vom Graben in den Torfkörper und kann ggf. von den Pflanzen aufgenommen werden. Im umgekehrten Fall werden Nährstoffe mit dem Dränwasser in den Gräben ausgetragen.
- Die an die einzelnen hydrologischen Varianten angrenzenden Grabenabschnitte unterscheiden sich nicht in ihren Nährstoffkonzentrationen (NH_4 , NO_3 , PO_4); ein Einfluss der wasserregulierten Varianten auf die Nährstoffkonzentrationen des Grabenwassers ist im Vergleich zur Kontrolle

nicht feststellbar. Die Gräben an den Versuchsflächen unterscheiden sich auch nicht in ihren Nährstoffkonzentrationen im Vergleich zu Gräben im weiteren Einzugsgebiet.

- Neben Ammonium und Phosphat wird auch Nitrat mit dem Dränwasser aus der entwässerten Hochmoorkontrollfläche ausgetragen, ist in den Gräben aber auf Grund schneller Umsetzung fast nie nachweisbar, d. h. Im Grabensystem werden Nährstoffe teilweise zurückgehalten (in die Biomasse eingebaut) oder abgebaut (Denitrifikation).
- Generell werden durch die hydrologischen Varianten (Grabeneinstau, Unterflurbewässerung) die Nährstoffausträge im Vergleich zur klassischen Drainage (Kontrolle) verringert. Vor allem in den Sommermonaten wird durch die Stauwehre Wasser mit den darin enthaltenen Nährstoffen weitgehend im System zurückgehalten.

Wassermanagement – Niedermoor

- Bodenwasser, Dränwasser in der Unterflurbewässerung und Grabenwasser stehen auch hier in enger Verbindung. Je nach Wasserständen im Graben und in der Fläche können so Nährstoffe aus den Gräben in die Böden eingetragen werden und umgekehrt. Die Saisonalität in der Kopplung des Bodenchemismus über die Unterflurbewässerung mit dem Grabenchemismus ist im Niedermoorgrünland vor allem durch höhere Phosphatgehalte während Entwässerungsphasen (Winter) in den Unterflurrohren im Vergleich zum Grabenabschnitt erkennbar.
- Ein Einfluss der wasserregulierten Varianten auf die Nährstoffkonzentrationen des Grabenwassers ist auch im Niedermoorgrünland nicht feststellbar: Die an die einzelnen hydrologischen Varianten angrenzenden Grabenabschnitte unterscheiden sich nicht in ihren Nährstoffkonzentrationen (NH_4 , NO_3 , PO_4). Die Grabenabschnitte des Versuches weisen dagegen im Vergleich zum Zufluss niedrigere NH_4 -Konzentrationen auf und bilden somit eine NH_4 -Senke.
- Da die Kontrollfläche des Niedermoorstandortes einen deutlich höheren Wasserstand als die Hochmoorkontrollfläche hat, und auch nicht gedrängt ist, konnte hier keine Nitratauswaschung in den Gräben festgestellt werden.

Grünlanderneuerung

- Im Gegensatz zum Erhalt der Altnarbe sowie zur Neuansaat mittels Direktsaat bewirkt der Umbruch eine Nitratfreisetzung. Ein direkter Einfluss der

Maßnahmen zur Grünlanderneuerung auf Phosphat- und Ammoniumgehalte der Böden ist dagegen nicht feststellbar.

Sonstiges

- Intensität der Bewirtschaftung im Hochmoorgrünland: Pflanzenverfügbaren Stickstoff und teilw. auch pflanzenverfügbares Phosphat findet man auch im Unterboden. Dies weist auf eine vertikale Verlagerung und damit auf ein Austragsrisiko in Oberflächen- und eventuell auch Grundwasser hin. Nährstoffe wurde auch im Unterboden von extensiv und intensiv bewirtschafteten Hochmoorböden in der Nähe der SWAMPS-Hochmoorfläche gefunden. Ersteres weist auch auf ein Nährstoffaustragsrisiko bei extensiver Nutzung hin, und Letzteres zeigt, dass die Nährstoffverhältnisse an den SWAMPS-Versuchsflächen als repräsentativ für eine Hochmoorgrünlandwirtschaft angesehen werden können.
- Unterschiede im Stoffhaushalt zwischen Niedermoor- und Hochmoorgrünland: Im Niedermoorgrünland wurden um Faktor drei bis vier höhere Phosphatgehalte im Oberboden gemessen als im Hochmoorgrünland, die Grabenwasserkonzentration ist dabei etwa um den Faktor zehn geringer. Dies zeigt die deutlich stärkere Festlegung und geringere Mobilität von Phosphor im Niedermoorboden im Vergleich zum Hochmoor. Die im Niedermoor deutlich höheren Gehalte an Stickstoff im Unterboden spiegeln sich dagegen in den im Vergleich zum Hochmoorstandort wesentlich höheren Ammoniumkonzentrationen im Grabenwasser wider.
- Eutrophierte Gräben: Erhöhte Ammonium- und Phosphatgehalte sowie pH-Werte im neutralen Bereich bei starkem Aufwuchs der Grabenvegetation sind deutliche Merkmale einer Eutrophierung der Gräben.

2.7 Biodiversität (UOL)

- Grundsätzlich hängt die Biodiversität von Grünland weniger von den Standortverhältnissen als von der Nutzungsintensität (Anzahl der Schnitte oder Weidegänge; Anzahl der Düngergaben) ab. Daher sind in den intensiv genutzten Projektflächen (meist 4-5 Schnitte, 3-5 Düngergaben) keine hohen Artenzahlen zu erwarten.
- Grundsätzlich ist auf vergleichbar genutzten Grünland-Standorten die Phytodiversität (Vielfalt der Pflanzenarten) auf Moorböden (Hoch- und Niedermoor) niedriger als auf rein mineralischen Böden. Ursache dafür sind die

spezifischen Eigenschaften von Torf, charakterisiert u.a. durch (sehr) geringe Nährstoffspeicherung und -nachlieferung.

Wassermanagement – Hoch- und Niedermoor

- Grünland auf entwässerten Standorten weist eine Reihe spezifischer Probleme sowohl für die landwirtschaftliche Nutzung als auch für die Biodiversität auf. So kann es bspw. durch Verdichtung des Torfes – je nach Witterungsverlauf - zu Staunässe oder zu verstärkter Mineralisierung und ggf. zu Trockenrissen im Torf kommen. Solche extremen hydrologischen Bedingungen im Moorboden schließen eine Vielzahl von Pflanzenarten des (Feucht-)Grünlandes aus. Eine Regulierung der Wasserstände würde dazu beitragen, dass die Veränderungen in der Torfqualität und in der Artenzusammensetzung von Flora und Fauna (bspw. in trockenen Jahren) nicht zu stark ausfallen, indem eine gewisse Kontinuität der Standortbedingungen gegeben ist.
- Für Flora und Vegetation ebenso wie für manche Tiergruppen ist ein deutlicher Unterschied zwischen Hoch- und Niedermoorgrünland (HMG, NMG) festzustellen. HMG befindet sich selten in einem stabilen Gleichgewichtszustand, da es sich um ein aus ökologischer Sicht sehr künstliches System handelt, das zwischen einem Extremstandort (Hochmoor) und einem Produktionssystem (Grünland) angesiedelt ist. Die Phytodiversität von HMG ist sowohl bei intensiver als auch extensiver Nutzung bzw. Pflege (sehr) gering. Die Phytodiversität von NMG kann – je nach Niedermoor Typ und Nutzungshistorie – ebenfalls (sehr) niedrig oder in günstigen Fällen (sehr) hoch sein. Während im NMG sowohl bei Flora und Fauna (unter günstigen Bedingungen) gefährdete und/oder geschützte Arten auftreten können, ist dies beim HMG fast niemals der Fall.

Wassermanagement Hochmoor

- Weder im Vergleich der Jahre (2017–2019) noch im Vergleich der 9 Varianten ergeben sich deutliche Unterschiede in Artenzusammensetzung und Abundanzen der Flora und der Heuschreckenfauna, die statistisch signifikant gesichert werden könnten. In den Trockenjahren 2018 und 2019 ergaben sich bei den Varianten Grabeneinstau und Unterflurbewässerung jedoch bessere Wüchsigkeiten und höhere Deckungsgrade von Arten (frischer bis) feuchter Standorte (z.B. Wiesenfuchsschwanz) als in der Kontrolle. Diese geringen Unterschiede konnten vor allem im Hochmoor beobachtet werden und sind allgemein bedingt a) durch die geringe Größe der Versuchsparzellen und deren räumliche Nähe zueinander (besonders relevant für die Heuschrecken) sowie

durch die grundsätzlich geringe Entwicklungsgeschwindigkeit von Vegetation (Einwanderung neuer Arten; Veränderung der Dominanzstruktur), die in drei Jahren noch keine wesentlichen Veränderungen erwarten lässt.

Grünlanderneuerung

- Ein besonderes Problem stellen die Umbruchsvarianten mit Neu-Etablierung der Grasnarbe dar. Neben möglichen Einbußen im Ertrag (bedingt bspw. durch trockene Witterungsphasen, Mäusekalamitäten o.a.) stellt sich zwar ggf. vorübergehend eine erhöhte Diversität der Flora und Heuschrecken ein; diese ist aber, bedingt durch das Aufkommen und die Ausbreitung Biotop-fremder Arten („Störzeiger“), die – im Falle der Gefäßpflanzen - i.d.R. einen geringen Futterwert aufweisen (u.a. Purpurrote Taubnessel, Hirtentäschel, Behaartes Schaumkraut, Vogelmiere), sowohl aus naturschutzfachlicher als auch aus landwirtschaftlicher Sicht von geringem Wert.

Sonstiges

- Für Heuschrecken kann die Einrichtung eines sogenannten „Schonstreifens“ eine Bereicherung darstellen. Diese Schonstreifen werden seltener gemäht/beweidet und gedüngt und dienen der Fauna (z.B. Heuschrecken, womöglich auch Tagfaltern, Laufkäfern, Spinnen) als Refugium bei Schnitt/Beweidung in angrenzenden Flächen, indem Flächen zum Schutz vor ungünstiger Witterung und Prädatoren oder zur Vollendung des Entwicklungszyklus angeboten werden. Die bisherigen Ergebnisse zeigen deutlich, dass trotz sehr geringer Flächengröße eine durchschnittlich doppelt so hohe Abundanz erreicht werden kann, während die Artenzahlen in gleicher Größenordnung liegen. Ob sich in diesen Schonstreifen auch zusätzliche Arten der Flora und Fauna einstellen, müssen die aktuellen Erhebungen (2020) zeigen. Auch ist zu prüfen, ob die Schonstreifen bevorzugt in Grabennähe (z.B. Böschungen) oder in anders gelegenen Randbereichen angelegt werden sollten.
- Für die Tiergruppe der Laufkäfer (Erhebungen 2020 und 2021) liegen noch keine Auswertungen vor.

3 Zusammenfassung

3.1 Wissenschaftliche Kernaussagen

- Die Moorwasserstände lassen sich grundsätzlich durch technische Eingriffe (Grabeneinstau, Unterflurbewässerung) anheben.
- Am Hochmoorstandort wurden seit Projektbeginn an im Vergleich zu anderen Hochmoorgrünländern gemessen sehr hohe THG-Emissionen aus den Kontrollvarianten (im Mittel $\sim 46 \text{ t CO}_2\text{-äq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$).
- Am Niedermoorstandort entsprachen die THG-Emissionen der Kontrollvarianten (im Mittel $\sim 38 \text{ t CO}_2\text{-äq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) den Erwartungen für tief entwässerte, intensiv genutzte Niedermoorgrünländer.
- In diesem Projekt wurden erstmalig THG-Emissionen auf intensiv genutztem Moorgrünland bei hohen Wasserständen erhoben. Vergleiche mit Ergebnissen anderer Standorte mit Wasserstandsanhhebung sind nur bedingt möglich, da diese Flächen (sehr) extensiv genutzt wurden.
- Für den Niedermoorstandort wurde eine mittlere Reduktion der CO_2 -Emissionen in Höhe von 22% bei durch Unterflurbewässerung angehobenem Flächenwasserstand ermittelt, während die Emissionen am Hochmoorstandort um 18% erhöht wurden.
- Offen bleibt die Frage, ob zukünftig eine Verminderung der THG-Emissionen auf Hochmoorstandorten bei einer standortangepassten Nutzung zu erwarten ist.
- Unabhängig von den gemessenen THG-Emissionen ist festzustellen, dass die Resilienz und das Ertragspotenzial der Moorflächen bei angehobenen Wasserständen deutlich verbessert wurde.

3.2 Kernaussagen der Akteursarbeit

- Die Akteure in den Moorlandschaften sind aufgrund der aktuellen Debatten um den Klima- und Moorschutz hochgradig verunsichert und sehen sich in ihrer Existenz gefährdet.
- Die Akteure gehen davon aus, dass die landwirtschaftliche Nutzung der Moorstandorte auch zukünftig gewährleistet bleibt

- Paludikulturen und extensive Formen der Nassbewirtschaftung von Mooren sind für milchviehhaltende Betriebe nach dem derzeitigen Erkenntnisstand, keine Option.
- Die Gesprächsbereitschaft der Akteure über zukünftige Landnutzungskonzepte in Moorregionen ist vorhanden.

4 Ausblick

In Anlehnung an die Erwartungen der Akteure und im Hinblick auf die bevorstehende Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz ist ein direkter Dialog zwischen den Akteuren der Moorprojekte und der Landesregierung über die niedersächsische Moorschutzstrategie erforderlich. Hierbei könnte an das Programm „Niedersächsische Moorlandschaften“ von 2016 angeknüpft werden. Die dort vorgeschlagenen noch fehlenden Programmbausteine sollten ergänzt und die vorgeschlagene Organisationsstruktur für das Moormanagement eingerichtet werden. Wie für die Themenbereiche der Acker- und Grünlandnutzung sollte es künftig auch eine zwischen den Akteuren abgestimmte Moorschutzstrategie des Landes Niedersachsen geben.

Alle Beteiligten müssen sich dessen bewusst sein, dass es sich hierbei wie im Programm „Niedersächsische Moorlandschaften“ dargestellt, um eine generationsübergreifende Aufgabe handelt, die jahrzehntelanger Anstrengungen bedarf.

5 Literatur

Jacobs, A., Flessa, H., Don, A., Heidkamp, A., Prietz, R., Dechow, R., Gensior, A., Poeplau, C., Riggers, C., Schneider, F., Tiemeyer, B., Vos, C., Wittnebel, M., Müller, T., Säurich, A., Fahrion-Nitschke, A., Gebbert, S., Jaconi, A., Kolata, H., Laggner, A., Weiser, C., Freibauer, A., 2018. Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Thünen Report 64. Johann Heinrich von Thünen- Institut, Braunschweig, Germany. <https://doi.org/10.3220/REP1542818391000>.

Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drösler, M., Eickenscheidt, T., Ebli, M., Fiedler, S., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Roßkopf, N., Sommer, M. & J. Zeitz, 2016. High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biology* 22: 4134–4149.