

Abschlussbericht Modellprojekt Gnarrenburger Moor

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch



Dr. K. Kalinski, Dr. H. Höper, J. Bockelmann, Dr. C. Brümmer, Dr. U. Dettmann, D.
Düvel, Dr. H. Kruse-Dörgeloh, G. Lange, C. Lübke, D. Meinardi, L. Offermanns, Prof.
K. Röttcher, J. Ruffer, U. Schröder & Dr. B. Tiemeyer

September 2023

gefördert durch



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



AutorInnen und Institutionen

Folgende AutorInnen verantworten die Kapitel 1-5 und 7-10 sowie die Anhänge 1, 2 und 4:

Dr. Kira Kalinski, Carolin Lübke, Dr. Heinrich Höper. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Stilleweg 2, 30655 Hannover. (zusätzlich Beiträge zu den Kapiteln 6.1, 6.2, 6.4)

Dr. Heike Kruse-Dörgeloh, Jelde Bockelmann, Gerd Lange, Uwe Schröder, Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK), Mars-la-Tour-Straße 1-13, 26121 Oldenburg. (zusätzlich Beiträge zu den Kapitel 6.3 und 6.5).

Dominic Meinardi, Prof. Dr.-Ing. Klaus Röttcher, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften (Ostfalia), Ostfalia-Campus Suderburg, Herbert-Meyer-Str. 7, 29556 Suderburg.

Folgende AutorInnen verantworten ausschließlich Kapitel 6 und Anhang 3:

Dr. Christian Brümmer, Dr. Ulrich Dettmann, Dominik Düvel, Liv Offermanns, Jeremy Rüffer, Dr. Bärbel Tiemeyer (TI), Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarklimaschutz, Bundesallee 65A, 38116 Braunschweig

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	11
1 Einleitung.....	15
2 Projektziele.....	17
3 Projektstruktur	20
4 Projektgebiet	23
5 Grundlagen für Maßnahmen- und Gebietsauswahl.....	27
5.1 Demonstrationsversuche.....	27
5.2 Agrarstrukturelle Erhebung	62
5.3 Gebietsbezogenes Wassermanagement.....	84
6 Unterflurbewässerung im Praxisversuch.....	99
6.1 Standort und Versuchsaufbau.....	99
6.2 Hydrologie	103
6.3 Bewirtschaftung und Grünlanderträge	106
6.4 Entwicklung der Geländehöhen	107
6.5 Eindringwiderstände.....	108
6.6 Treibhausgasemissionen	109
6.7 Wasserqualität.....	128
7 Kooperation	139
7.1 Tätigkeit und Entwicklungsperspektiven der Kooperation.....	139
7.2 Umsetzbarkeit von praxistauglichen Maßnahmen.....	144
7.3 Wissensaustausch, -transfer und Öffentlichkeitsarbeit.....	149
8 Landesweite Grundlagen	152
8.1 Agrarumwelt- und Klimaschutzmaßnahmen	152
8.2 Projekt MoWa – Moornutzung im Wandel.....	153
9 Umsetzungskonzepte	158
9.1 Identifizierung von Teilgebieten.....	158

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

9.2	Schaffung von Teilnahmereitschaft	160
9.3	Dreieck Oberklenkendorf	162
9.4	Langenhausen Nord.....	177
10	Ausblick klimaschonende Landwirtschaft auf Hochmoor	197
10.1	Ziele für den Klimaschutz auf Moorstandorten	197
10.2	Transformationspfade zur Erreichung der Ziele.....	198
10.3	Zentrale Bedeutung des Wassermanagements.....	200
10.4	Unterflurbewässerung als Maßnahme in der Transformationsphase.....	201
10.5	Synergien zwischen Nutzungen und Schutzzielen in Moorgebieten.....	203
10.6	Sektorübergreifende Zusammenarbeit.....	205
	Danksagung	206
	Literatur	206
	Anhang.....	210

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektstruktur aus dem Modellprojekt Gnarrenburger Moor	20
Abbildung 2: Karte der Hochmoormächtigkeit im Gnarrenburger Moor	24
Abbildung 3: Karte der Boden-/Moortypen im Gnarrenburger Moor.....	24
Abbildung 4: Karte der Treibhausgasemissionen im Gnarrenburger Moor	26
Abbildung 5: Maßnahmenart und Lage der Demonstrationsversuche.....	27
Abbildung 6: Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr	32
Abbildung 7: Mittlere jährliche Moorwasserstände auf D04	34
Abbildung 8: Trockenmasseerträge (TM) auf D04.....	36
Abbildung 9: Wasserstände und Eindringwiderstände auf D04	37
Abbildung 10: Mittlere jährliche Moorwasserstände auf D06.....	38
Abbildung 11: Trockenmasseerträge (TM) auf D06.....	40
Abbildung 12: Wasserstände und Eindringwiderstände auf D06.....	41
Abbildung 13: Moorwasserstände und Eindringwiderstände auf D13.....	46
Abbildung 14: Moorwasserstände auf D05.....	48
Abbildung 15: Trockenmasseerträge (TM) nach Schnitt auf D05.....	49
Abbildung 16: Moorwasserstände und Eindringwiderstände auf D05.....	50
Abbildung 17: Moorwasserstände auf D07.....	51
Abbildung 18: Trockenmasseerträge (TM) nach Schnitten auf D07.....	53
Abbildung 19: Moorwasserstände und Eindringwiderstände auf D07.....	53
Abbildung 20: Anteil der Grasarten am Trockenmasseertrag auf D01.....	57
Abbildung 21: Anteil der Grasarten am Trockenmasseertrag auf D02.....	58
Abbildung 22: Trockenmasseerträge (TM) nach Düngung und Schnitt auf D03.	59
Abbildung 23: Schläge der befragten Betriebe	63
Abbildung 24: Nutzung der Landwirtschaftsfläche.	72
Abbildung 25: Anteil der Moorflächen an der Betriebsfläche.....	74
Abbildung 26: Das Teilgebiet Langenhausen Nord.....	81
Abbildung 27: Das Teilgebiet Oberklenkendorf.....	83
Abbildung 28: Übersichtskarte des Gewässersystems im Gnarrenburger Moor	84
Abbildung 29: Niederschläge, Verdunstung und Grundwasserneubildung.....	87
Abbildung 30: Niederschlag und Verdunstung 2017-2022 und im langjährigen Mittel..	88
Abbildung 31: Wasserabfluss von Findorff-Flächen in der Ortslage Augustendorf.....	90
Abbildung 32: Wasserabfluss von freien Fläche ohne Anbindung an eine Hofstelle.....	90

Abbildung 33: Geländehöhen und Maßnahmen für Gebiet mit Findorff-Flächen	92
Abbildung 34: Querschnitt mit Maßnahmen durch eine Findorff-Fläche.....	92
Abbildung 35: Mechanisches Wehr.....	94
Abbildung 36: Hydraulisch gesteuertes Wehr.....	94
Abbildung 37: Grabeneinstau und Abstau.....	95
Abbildung 38: Wasserspiegelunterschied an den Wehren, Staustufen alle 20 cm.....	96
Abbildung 39: Wasserspiegelunterschied an den Wehren, Staustufen alle 10 cm.....	96
Abbildung 40: Lage der Versuchsfläche D12 (Unterflurbewässerung, UFB) sowie der Referenzfläche (REF).....	100
Abbildung 41: Aufbau des Feldversuchs und der Messeinrichtungen.....	102
Abbildung 42: Moorwasserstände der Teilflächen auf D12 und der unvernässten Referenzfläche	104
Abbildung 43: Trockenmasseerträge von Referenzstandort (REF) und Unterflurbewässerung D12 (UFB).....	107
Abbildung 44: Wasserstände und Eindringwiderstände auf D12.....	109
Abbildung 45: Tageswerte der Bruttoprimärproduktion (GPP), des Netto-Ökosystem- austausches (NEE) und der Ökosystematmung (R_{eco}) auf der Referenzfläche.....	110
Abbildung 46: Tageswerte der Bruttoprimärproduktion (GPP), des Netto-Ökosystem- austausches (NEE) und der Ökosystematmung (R_{eco}) auf D12.....	111
Abbildung 47: Oben: Kumulativer Kohlenstoff-Fluss als Summe des Netto-Ökosystem- austausches (NEE) sowie Import und Export von Kohlenstoff durch organischen Dünger und Ernte auf D12 (UFB) und der Referenzfläche (REF).....	113
Abbildung 48: Emissionen von Kohlendioxid (CO_2) von Hochmoorgrünlandstandorten in Deutschland, Irland und den Niederlanden sowie Ergebnisse bisheriger Studien zur Unterflurbewässerung.....	115
Abbildung 49: N_2O -N-Flüsse in Dränbeetmitte und auf einem Dränrohr am Referenzstandort:.....	119
Abbildung 50: N_2O -N-Flüsse in Dränbeetmitte und auf einem Dränrohr auf D12 (Unterflurbewässerung):.....	120
Abbildung 51: Bisherige Messdaten zu Emissionen von Lachgas (N_2O) von Moorgrünlandstandorten.....	124

Abbildung 52: Treibhausgasbilanzen der Referenzfläche (REF) und der Unterflurbewässerung (UFB)	126
Abbildung 53: pH-Werte der Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF)	130
Abbildung 54: Elektrische Leitfähigkeit der Wasserproben aus der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF)	131
Abbildung 55: Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) in Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF)	133
Abbildung 56: Nitrat-Stickstoff (Nitrat-N) in Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF)	135
Abbildung 57: Gelöster organischer Stickstoff (DON) in Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF)	136
Abbildung 58: Phosphat-P (PO ₄ -P) in Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF)	137
Abbildung 59: Mitglieder der Kooperation	140
Abbildung 60: Besuch aus dem BMUV-Pilotprojekt Ostallgäu	150
Abbildung 61: Untersuchungsgebiete im Projekt MoWa.....	154
Abbildung 62: Die vier Säulen des MoWa Projektes.....	155
Abbildung 63: Untersuchungsgebiet Oberklenkendorf mit den Ortslagen Oberklenkendorf und Heinrichsdorf	163
Abbildung 64: Die Ortslage Oberklenkendorf – Zonen A-C	165
Abbildung 65: Querschnitt eines Entwässerungsgrabens in Oberklenkendorf und Position der Wehre bei 20 cm Höhenabstufung.....	166
Abbildung 66: Querschnitt eines Entwässerungsgrabens in Oberklenkendorf und Position der Wehre bei 30 cm Höhenabstufung.....	167
Abbildung 67: Zwei Querschnitte von typischen Flächen in Oberklenkendorf.	168
Abbildung 68: Mögliche Position von Speicherbecken im Konzeptgebiet Oberklenkendorf.....	171
Abbildung 69: Übersicht der aktuellen Fließwege in Oberklenkendorf.....	171
Abbildung 70: Nach Umsetzung des hydrologischen Konzeptes ändern sich auch die Fließwege.	172
Abbildung 71: Untersuchungsgebiet Langenhausen.....	179
Abbildung 72: Fließrichtungen im Untersuchungsgebiet Langenhausen.....	180

Abbildung 73: Einteilung der Flächen in Langenhausen.....	181
Abbildung 74: Höhenprofil eines Entwässerungsgrabens in der Untersuchungsfläche Langenhausen.....	182
Abbildung 75: Höhenprofile des Entwässerungsgrabens in Langenhausen mit planierter Fläche für Grünlandbewirtschaftung (rote Linie).....	183
Abbildung 76: Einrichtung der Fläche im Untersuchungsgebiet Langenhausen für ein mögliches Folgeprojekt.....	185
Abbildung 77: Transformationspfade zur Umwandlung der bestehenden Bewirtschaftungsformen zu den zukünftigen Nutzungsformen.....	200
Abbildung 78: Jahrgang der Wasserstände auf D01, D02, D03 und D09 (nicht vernässt) und KWB.....	213
Abbildung 79: Jahrgang der Wasserstände auf D04 und D06 (Grabenanstau), KWB.....	214
Abbildung 80: Jahrgang der Wasserstände von Anstauerebenen 1-3, Grundwasser und Gräben auf D13 (Grabenanstau) und D14 (Referenz), KWB.....	219
Abbildung 81: Jahrgang der Wasserstände und der täglichen Wasserförderraten auf D05 (Unterflurbewässerung und Referenz), KWB.....	220
Abbildung 82: Jahrgang der Wasserstände und der Wasserförderraten auf D07 (Unterflurbewässerung und Referenz), KWB.....	221
Abbildung 83: Jahrgang der Wasserstände und der Wasserförderraten auf D12 (Unterflurbewässerung), KWB.....	222
Abbildung 84: Eddy-Turm mit Gasanalysator, 3D Anemometer und meteorologischen Sensoren.....	224
Abbildung 85: Einrichtungen zur Messung der Methan- und Lachgasflüsse (UFB_1)....	226
Abbildung 86: Plot für die Wurzelbeprobung nach Entfernen der oberirdischen Biomasse (links) und Waschen der Wurzelproben (rechts).....	228
Abbildung 87: Einbau von Saugplatten.....	231
Abbildung 88: Lageplan von D13 (Grabenanstau im Niedermoor).....	234
Abbildung 89: Grabenwasserstände auf D13 und D14.....	235
Abbildung 90: Grundwasserstände (im Mineralischen) auf D13 und D14.....	236
Abbildung 91: Moorwasserstände (Stauwasserstände im Torf) auf D13 und D14.....	237

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fläche und Treibhausgasemissionen im Projektgebiet Gnarrenburger Moor.	26
Tabelle 2: Maßnahmen und Beginn der Demonstrationsversuche.	28
Tabelle 3: Methoden der Gelände- und Laboruntersuchungen.....	31
Tabelle 4: Höhenänderung auf D04 von September 2016 bis März 2022	35
Tabelle 5: Höhenänderung auf D06 von Januar 2017 bis März 2022	39
Tabelle 6: Grabenwasserstände am Standort D13 und D14.....	42
Tabelle 7: Moorwasserstände auf D13 und D14	43
Tabelle 8: Grundwasserstände auf D13 und D14	45
Tabelle 9: Höhenänderung auf D13 von September 2020 bis September 2022	45
Tabelle 10: Höhenänderung auf D05.....	48
Tabelle 11: Höhenänderung auf D07 von Januar 2017 bis März 2022	52
Tabelle 12: Mittlere Moorwasserstände auf D01, D02, D03 und D09	55
Tabelle 13: Gewichtsanteile der Arten in den Saatgutmischungen.....	56
Tabelle 14: Erwerbstyp und Landwirtschaftsfläche (LF) nach Befragung.....	65
Tabelle 15: Anzahl und Anteil der Betriebe nach Landwirtschaftsfläche (LF).	66
Tabelle 16: Zukunftsperspektive der Betriebe nach Betriebstypen.....	67
Tabelle 17: Situation zur Leitung und Nachfolge des Betriebes	68
Tabelle 18: Anzahl der Betriebe und Landwirtschaftsfläche (LF) nach Betriebsformen.	69
Tabelle 19: Tierhaltung der erhobenen Betriebe.	69
Tabelle 20: Eigentumsverhältnisse nach Grünland und Acker.	70
Tabelle 21: Flächenanteil der befragten Betriebe am Gebiet nach Bodennutzung.	71
Tabelle 22: Betriebe und Landwirtschaftsfläche (LF) nach Nutzungsart und -intensität	73
Tabelle 23: Betroffenheit nach Betriebstyp (Haupt- bzw. Nebenerwerb).....	75
Tabelle 24: Interesse an Unterflurbewässerung oder Grabenanstau.....	76
Tabelle 25: Interesse an weiteren Maßnahmen des Wassermanagements.....	76
Tabelle 26: Interesse an Bewirtschaftungsverfahren auf nasseren Moorböden.....	78
Tabelle 27: Interesse an Verfahren mit Vollernässung, bzw. an Flächentausch mit dem Ziel der Renaturierung.	79
Tabelle 28: Die Bereitschaft zum Tausch von Landwirtschaftsflächen (LF).....	80
Tabelle 29: Klimatische Wasserbilanz im Gnarrenburger Moor	86
Tabelle 30: Moorwasserstände der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der tief entwässerten Referenzfläche (REF).....	106

Tabelle 31: Höhenänderung auf D12 von Mai 2019 bis September 2022	108
Tabelle 32: Jahresbilanzen von Lachgas und Methan für die Bilanzjahre 2019-2021	123
Tabelle 33: Änderung der CO ₂ - und THG-Emissionen durch Unterflurbewässerung im Vergleich zur Referenzfläche	127
Tabelle 34: Treibhausgasemissionen im Istzustand - Teilgebiet Oberklenkendorf.....	173
Tabelle 35: Treibhausgasemissionen im Zielzustand - Teilgebiet Oberklenkendorf	175
Tabelle 36: Treibhausgasemissionen im Istzustand - Teilgebiet Langenhausen.....	186
Tabelle 37: Treibhausgasemissionen im Zielzustand - Teilgebiet Langenhausen.....	187
Tabelle 38: Niederschlag, Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz, saisonal.....	210
Tabelle 39: Niederschlag, Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz, monatlich.....	210
Tabelle 40: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D04 (Grabenanstau).....	215
Tabelle 41: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D05 (Unterflurbewässerung) ...	216
Tabelle 42: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D06 (Grabenanstau).....	217
Tabelle 43: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D07 (Unterflurbewässerung) ..	218
Tabelle 44: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D12 (Unterflurbewässerung) ...	218
Tabelle 45: Exemplarisches Bodenprofil (Normerdhochmoor) am Standort mit Unterflurbewässerung (Site UFB_1)	229
Tabelle 46: Exemplarisches Bodenprofil (Normerdhochmoor) am Referenzstandort ..	230

Zusammenfassung

Landwirtschaftlich genutzte und zu diesem Zweck entwässerte Moore stellen mit 14,8 Mio. t CO₂-Äquivalenten eine wesentliche Quelle für Treibhausgase in Niedersachsen dar. Eine Reduzierung dieser Emissionen dient dem Klimaschutz und verlängert in vielen Fällen die Nutzungsdauer der Moorstandorte, indem die Torfmächtigkeitsverluste vermindert und eine Verschlechterung der Torfeigenschaften verlangsamt werden. Maßnahmen zur Anhebung der Moorwasserstände sind von zentraler Bedeutung für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen und zur Erhaltung der Produktionsfunktion der Moorböden.

Im „Modellprojekt Gnarrenburger Moor“ wurde deutlich, dass eine klimawirksame Anhebung der Moorwasserstände im Hochmoor nur durch ausreichend Zusatzwasser möglich ist. Auf den Demonstrationsversuchen zur Unterflurbewässerung wurde Wasser aus Grundwasser bereitgestellt. Eine entsprechende Versorgung aller landwirtschaftlichen Nutzflächen des Gnarrenburger Moores könnte zu einer Übernutzung des Grundwassers führen. Als Alternative bietet sich eine Rückhaltung hoher Abflüsse, besonders im Winter, und dessen Nutzung zur Versorgung der Grünlandflächen im Sommer an. Dafür ist ein Wassermanagement erforderlich, das das komplette Einzugsgebiet im Gnarrenburger Moor umfasst.

Die Entwicklung eines solchen Wassermanagements mit entsprechend großräumigen hydrologischen Untersuchungen und der Einbeziehung aller Anliegerinnen und Anlieger wurde in dem hier dargestellten Folgeprojekt „Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch“ durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse aus den weitergeführten Demonstrationsversuchen und der Unterflurbewässerung im Praxisversuch aus dem Vorgängerprojekt, einer Agrarstrukturellen Erhebung und eines gebietsbezogenen Wassermanagements konnten Teilgebiete ausgewählt werden, in denen in enger Abstimmung mit den betroffenen Landwirtinnen und Landwirten ein Konzept zur Umsetzung wasserregulierender Maßnahmen und angepasster landwirtschaftlicher Nutzung erarbeitet wurde.

Die Methoden zur Wasserstandsanhhebung wurden auf Grundlage der Ergebnisse der Demonstrationsversuche aus dem Vorgängerprojekt ausgewählt. Beim Grabenanstau im

Hochmoor ist standortabhängig eine leichte Anhebung der mittleren Flächenwasserstände möglich, allerdings in einem Bereich, der sich nicht in einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bemerkbar machen dürfte. Beim Grabenanstau am Niedermoorstandort ließen sich die mittleren Grabenwasserstände durch einfache Staueinrichtungen im Graben deutlich anheben. Die Moorwasserstände und die Grundwasserstände im Mineralischen wurden im Vergleich zu den nicht angestauten Nachbarflächen nur um wenige Zentimeter angehoben. Allein durch die Unterflurbewässerung wurde eine starke Anhebung der Moorwasserstände, vor allem auch im Sommerhalbjahr, erreicht unter Einsatz von jährlich gut 300 mm Zusatzwasser. Im Hinblick auf eine großflächige Umsetzung kann angenommen werden, dass der flächenspezifische Wasserbedarf infolge geringerer Randeffekte niedriger ist. Auch trat der hohe Wasserbedarf vor allem in den außergewöhnlich trockenen Jahren 2018 und 2019 auf, so dass auch hier für Normaljahre ein geringerer Wasserverbrauch angenommen werden kann.

Im Teilprojekt „Unterflurbewässerung im Praxisversuch“ wurde erstmalig eine Unterflurbewässerung auf Schlagebene etabliert und Treibhausgasemissionen über drei Jahre gemessen. Die Anhebung der mittleren Flächenwasserstände auf höher als 0,3 m unter Geländeoberkante führte im Mittel zu 45 % niedrigeren CO₂-Emissionen als an dem tief entwässerten Referenzstandort. Jedoch traten infolge einer extrem ungünstigen Kombination aus Grünlanderneuerung, mangelndem Aufwuchs der neuen Grasnarbe und Wasserstandsanhhebung im ersten Versuchsjahr sehr hohe Lachgasemissionen auf, so dass es in der Summe über die drei Messjahre zu einer Erhöhung der Treibhausgasemissionen um 59 % kam. Um die Etablierung einer neuen Grasnarbe zu beschleunigen und hohen Lachgasemissionen zu vermeiden, sollten Bodenbearbeitung und Neuansaat im Herbst und die Wasserstandsanhhebung im Sommer oder Herbst des Folgejahres, nach erfolgreicher Etablierung der Grasnarbe, erfolgen.

Nach den entwickelten Transformationspfaden werden bis zum Jahr 2045 zum Erreichen der Klimaziele drei verschiedene Nutzungsformen für Moorflächen angestrebt: Paludikultur, Freiflächen-Fotovoltaik auf vernässtem Moor und Wiedervernässung für Ziele des Naturschutzes. Allen drei Nutzungsformen liegt eine Vollvernässung zugrunde. Im Falle der Paludikultur sind eine genaue Steuerung des Wasserstandes auf der Fläche und eine aktive Wasserzufuhr im Sommerhalbjahr erforderlich. Im Rahmen der anderen Nutzungsformen können auch variable Wasserstände toleriert werden, solange im Sommer ausreichend Wasser zur Verfügung steht, um die Torfmineralisation gering zu halten. Das

kann entweder durch den Rückhalt der Winterniederschläge auf der Fläche mittels Überstau oder durch eine zusätzliche, dann allerdings auch kostenaufwändige Wasserversorgung in den Sommermonaten mit an anderer Stelle gespeichertem Niederschlagswasser geschehen. Bis auf die Freiflächen-Fotovoltaik sind die vorgesehenen Lösungen für die Landwirte derzeit betriebswirtschaftlich nicht umsetzbar, so dass Zwischenlösungen erforderlich sind. Sofern Finanzmittel zur Verfügung stehen und eine Verkaufsbereitschaft seitens der Landwirte besteht, kann ein Teil der Flächen aus der Produktion genommen und wiedervernässt werden. Darüber hinaus kann über eine Unterflurbewässerung der Einstieg in ein aktives Wassermanagement (Wasserspeicherung, Wassermanagement) vorgenommen und damit bei entsprechender Entwicklung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der spätere Einstieg in eine Torfmoos-Paludikultur vorbereitet werden. Aufbauend auf diesem Transformationsansatz, wird auf den für das Gnarrenburger Moor typischen Findorff-Flächen für die hoffernden, höher gelegenen Flächen eine Vollvernässung vorgesehen, mit einer in Richtung Hofstelle anschließenden, nassen Bewirtschaftung (Unterflurbewässerung, Grabeneinstau) und einer in Hofnähe aus Gründen des Hochwasserschutzes trockeneren Bewirtschaftung, auch als Weide.

Mit einer Agrarstrukturellen Erhebung wurden Teilgebiete mit dem höchsten Potential für die Umsetzung wasserregulierender Maßnahmen identifiziert. Die Fragen zur Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen, dem Status Quo der Betriebe und der Bereitschaft zu neuen Maßnahmen geben Aufschluss darüber, wo die landwirtschaftlichen Strukturen den nächsten Transformationsschritt am meisten begünstigen. Durch die Fragen zur Erwerbsart, Größe und Flächennutzung wird die Agrarstruktur dargestellt. Darüber hinaus wird mit Fragen zu möglichen Wassermanagementmaßnahmen und alternativen Produkten, die auf den Flächen produziert werden könnten, ein Fokus auf zukünftige Wirtschaftsweisen und den zukünftigen Umgang mit Wasser als Ressource gelegt.

Aus der Verschneidung der hydrologischen Gebietserfassung und der Agrarstrukturellen Erhebung resultierten das Teilgebiet Oberklenkendorf (270 ha) und das Teilgebiet Langenhausen (80 ha), die den Voraussetzungen für eine mögliche Umsetzung wasserregulierender Maßnahmen in besonderem Maße entsprachen. Im Teilgebiet Langenhausen wurde ein detailliertes Umsetzungskonzept (siehe vorheriger Abschnitt) erarbeitet, welches mit den dort ansässigen Landwirten diskutiert wurde. In mehreren Workshops wurden Einzelheiten zum Versuchsdesign und zu den Ausgleichszahlungen abgestimmt. Dazu gehören optionale Regelungen zur finanziellen Kompensation der Flächeneigentümer für

den Fall, dass auf der dauerhaft vollvernässten Fläche langfristig kein Einkommen über Freiflächen-Fotovoltaikanlagen generiert kann.

Bei der Umsetzung des Konzeptes in Langenhausen könnte rein rechnerisch der mittlere Emissionsfaktor durch die Wasserstandsanhebungen auf 23 t CO₂-Äquivalente je Hektar und Jahr reduziert werden. Die Minderung entspräche 40 % der Emissionen vor Umsetzung der Maßnahmen. Auf den Flächen mit Wasserstandsanhebungen müssen die jeweiligen Bewirtschaftungen an die geänderten Verhältnisse angepasst werden. Von Seiten der Landwirtschaft wird bei diesem Punkt eine Intensivierung von Beratung und Förderung angepasster Verfahrens- und Landtechnik sowie nassetoleranter Gräserarten gefordert. Insbesondere hier werden Anreizinstrumente erwartet.

Im Modellprojekt wurden Maßnahmen entwickelt, die an die bisherigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen mit weitgehend unveränderten Absatzwegen anknüpfen. Das geplante interdisziplinäre Folgeprojekt Gnarrenburger Moor 3 geht einen Schritt weiter und verfolgt das Ziel, Lösungen zur Entwicklung und Erprobung von Transformationspfaden zu erarbeiten. Diese Pfade setzen an der aktuellen Situation an und ermöglichen eine Entwicklung in Richtung immer nasserer Bewirtschaftungsverfahren.

In Fortsetzung des „Modellprojektes Gnarrenburger Moor“ steuerte eine Kooperation als Diskussions-, Entwicklungs- und Umsetzungsplattform der Landwirtinnen und Landwirte, der Stakeholder und der Verbundpartner den Bottom-up-Prozess in der Modellregion. Dies schloss auch eine sektorübergreifende Zusammenarbeit ein, wenn beispielsweise Fotovoltaikanlagen auf wiedervernässten Flächen als Maßnahme in den Blick genommen wird. Der regelmäßige Arbeitskreis der Kooperationslandwirtinnen und -landwirte sowie Workshops für Teilgebetskonzepte mit vorgeschalteten Bewirtschaftergesprächen und Feldbegehungen führten zu einer breiten Beteiligungsbereitschaft in der Landwirtschaft. Um zukünftig auch an der Umsetzung klimaschutzorientierter Maßnahmen in der Fläche mitarbeiten zu können, erwarten die Landwirtinnen und Landwirte Anreizinstrumente insbesondere über Ausgleichszahlungen, angepasste Verfahrens- und Landtechnik sowie die Umstellung auf innovative Wertschöpfungsketten. Die Herausforderungen der Kooperation liegen dabei nicht zuletzt in der gleichzeitigen Betrachtung der Flächen- und der Zeitdimension, wenn die Teilgebiete möglichst groß und Maßnahmen mit Blick auf die Treibhausgasreduzierungsziele möglichst schnell nass(er) und dabei wirtschaftlich tragfähig sein sollen.

1 Einleitung

Landwirtschaftlich genutzte und zu diesem Zweck entwässerte Moore stellen mit über 7,9 Mio. t CO₂-Äquivalenten eine wesentliche Quelle für Treibhausgase in Niedersachsen dar (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, 2016). Eine Reduzierung dieser Emissionen dient dem Klimaschutz und verlängert in vielen Fällen die Nutzungsdauer der Moorstandorte, indem die Torfmächtigkeitsverluste vermindert und eine Verschlechterung der Torfeigenschaften verlangsamt werden.

Maßnahmen zur Anhebung der Moorwasserstände sind von zentraler Bedeutung für den Erhalt des Torfkörpers, der Reduktion der Treibhausgasemissionen und zur Sicherstellung der Produktionsstandorte der Moorböden in Trockenjahren. Im Vorgängerprojekt Gnarrenburger Moor wurden zwei Varianten der Wasserstandsanhhebung auf landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten in Demonstrationsversuchen getestet: Grabenanstau und Unterflurbewässerung (Kalinski et al. 2021). Für den Grabenanstau wurden steuerbare Wehre installiert, um den Oberflächenabfluss im Graben zurückzuhalten. Bei der Unterflurbewässerung wurde darüber hinaus ein konstant hoher Wasserspiegel im Graben durch Zufuhr von Grundwasser eingestellt. Zudem wurde das Wasser aus dem Graben über eng liegende Dränrohre in die Fläche geleitet. Während der Projektlaufzeit konnten mit dieser Methode die mittleren Jahresmoorwasserstände auf bis zu 0,20 m unter Geländeoberkante angehoben und die Sackung der Mooroberfläche reduziert werden. Die durch diese Maßnahmen eingestellten höheren Moorwasserstände haben, neben dem positiven Effekt des Moorschutzes, den Nachteil einer eingeschränkten Bewirtschaftung. Diese Einschränkung führte zunächst bei vielen Landwirtinnen und Landwirten zu einer kritischen Haltung gegenüber den wasserregulierenden Maßnahmen, welche sich Laufe des Vorgängerprojektes deutlich geändert hat. Maßgeblich dazu beigetragen hat die Kooperation, bestehend aus freiwillig beteiligten Landwirtinnen und Landwirten, der Landwirtschaftskammer (LWK), dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) sowie beratenden Akteuren aus Gemeinde, Behörden und Verbänden. In regelmäßigen Kooperationstreffen wurden die wasserregulierenden Maßnahmen dargestellt, diskutiert und praxistaugliche Anpassungen erarbeitet. Verbessertes Moorschutz durch höhere Wasserstände und die Sicherstellung der landwirtschaftlichen Produktion überzeugten die Landwirtinnen und Landwirte und führten zu einem großen Interesse an der Unterflurbewässerung.

Der Einfluss der höher eingestellten Wasserstände auf die Treibhausgasemissionen ist noch nicht abschließend untersucht. Im Rahmen des angegliederten Projektes „Unterflurbewässerung im Praxisversuch“ wurde auf gut 4 ha eine Unterflurbewässerung im Schachtverfahren eingerichtet und im Hinblick auf die erreichten Wasserstände sowie Treibhausgasemissionen im Vergleich zu einem nicht vernässten Hochmoorgrünland untersucht. Die ersten Ergebnisse aus 3 Jahren werden in Kapitel 6 dargestellt. Auf den Demonstrationsversuchen zum passiven Grabenanstau fielen die Graben- und Moorwasserstände mit Einsatz der Verdunstungsperiode zu tief, als dass eine Anhebung der Moorwasserstände und damit einhergehender Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erwarten wäre. Es wurde deutlich, dass eine klimawirksame Anhebung der Moorwasserstände im Hochmoor nur durch ausreichend Zusatzwasser möglich ist. Auf den Demonstrationsversuchen zur Unterflurbewässerung wurde dieses durch Grundwasser bereitgestellt. Eine entsprechende Versorgung aller landwirtschaftlichen Nutzflächen des Gnarrenburger Moores könnte zu einer Übernutzung des Grundwassers führen. Als Alternative bietet sich eine Rückhaltung hoher Abflüsse, besonders im Winter und dessen Nutzung zur Versorgung der Grünlandflächen im Sommer an. Dafür ist ein Wassermanagement erforderlich, dass das komplette Einzugsgebiet im Gnarrenburger Moor umfasst.

Die Entwicklung eines solchen Wassermanagements mit entsprechend großräumigen hydrologischen Untersuchungen und der Einbeziehung aller Anliegerinnen und Anlieger wurde in dem hier dargestellten Folgeprojekt Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse aus den weitergeführten Demonstrationsversuchen und der Unterflurbewässerung im Praxisversuch aus dem Vorgängerprojekt (Kapitel 5.1 und 6), einer Agrarstrukturellen Erhebung (Kapitel 5.2) und eines gebietsbezogenen Wassermanagements (Kapitel 5.3) konnten Teilgebiete ausgewählt werden, in denen in enger Abstimmung mit den betroffenen Landwirtinnen und Landwirten ein Konzept zur Umsetzung wasserregulierender Maßnahmen und angepasster landwirtschaftlicher Nutzung erarbeitet wurde (Kapitel 9).

2 Projektziele

Das Ziel des Projektes „Gebietskonzept und Wassermanagement“ war die Erarbeitung eines Umsetzungskonzeptes für ein gebietsbezogenes Wassermanagement, welches für zwei Einzugsgebiete im Gnarrenburger Moor detailliert ausgearbeitet wurde. Das Konzept enthält ein detailliertes Wassermanagementsystem zur Anhebung der Moorwasserstände und an höhere Moorwasserstände angepasste Nutzungen, die in Zukunft auf Moorstandorten möglich sein werden. Für die Erarbeitung eines solchen Konzeptes waren vorangegangene Arbeitsschritte notwendig, die im Folgenden aufgeführt werden:

- Die Methoden zur Wasserstandsanhhebung (Grabenanstau und Unterflurbewässerung) wurden auf Grundlage der Ergebnisse der Demonstrationsversuche aus dem Vorgängerprojekt ausgewählt. Ziel ist es, Methoden umzusetzen, die die Moorwasserstände anheben, die Sackung der Mooroberfläche und die Treibhausgasemissionen reduzieren und eine mittelintensive Bewirtschaftung weiterhin ermöglichen.
- Zur Einschätzung der Perspektive eines gebietsbezogenen Wassermanagements wurde eine Agrarstrukturelle Erhebung durchgeführt, die alle im betrachteten Gebiet ansässigen landwirtschaftlichen Betriebe umfasst. Hierbei wurden neben den aktuellen betrieblichen Gegebenheiten auch betriebliche Entwicklungsziele und die Bereitschaft zur Teilnahme an wasserregulierenden Maßnahmen abgefragt. Damit wurde geklärt, welcher Flächenbedarf zukünftig seitens der Landwirtschaft besteht und inwieweit sich aus dem Interesse an wasserregulierenden Maßnahmen eine räumliche Clusterung im Gnarrenburger Moor ergibt.
- Durch hydrologische Voruntersuchungen wurden Teilgebiete identifiziert, in denen die Umsetzung eines gebietsbezogenen Wassermanagements aus hydrologischer Sicht möglich ist.
- Zur Förderung der Akzeptanz für ein großräumiges Wassermanagement, für dessen Konkretisierung, zur Vorbereitung auf eventuell nötige Flächentausche und zur Erarbeitung eines Gebietsumsetzungskonzeptes wurden Workshops mit den betroffenen Landwirtinnen und Landwirten und den zuständigen Wasser- und Bodenverbänden durchgeführt.

Für die Konzeption eines einzugsgebietsbezogenen Wassermanagements wurde der Fokus auf Flächen mit wirtschaftlichem Interesse gelegt, was neben herkömmlicher landwirtschaftlicher Nutzung auch zukünftig mögliche, nasse Moornutzungen, wie zum Beispiel Paludikultur, sein kann. Die Einführung von Paludikulturen konnte allerdings im Projekt, aufgrund der Komplexität der Thematik nicht direkt bearbeitet werden, vor allem technische und pflanzenbauliche Aspekte, Verarbeitung und Vermarktung der Produkte und Wirtschaftlichkeit der Verfahren.

Auch wenn die Nutzung der Flächen bei den hier angestellten Überlegungen im Vordergrund steht, soll dennoch geprüft werden, ob ggf. hofferne Flächen aus der Nutzung genommen oder ob durch Maßnahmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen Synergien zu benachbarten Naturschutzflächen genutzt werden können. Auf Naturschutzflächen ohne Nutzung ist ein deutlich weniger aufwändiges Wassermanagement möglich. Sie können so angelegt werden, dass sie durch oberflächliche Speicherung des winterlichen Niederschlagsüberschusses mittels Überstau nicht auf sommerliches Zusatzwasser angewiesen sind. Hierbei werden Synergien zwischen Moornutzung und Naturschutz gesehen, indem zum Beispiel nassere genutzte Moorflächen einen hydrologischen Puffer zu vernässten Naturschutzflächen darstellen können. Weiterhin dienen volle Gräben den Zielen eines linearen Biotopverbundes. Nicht zuletzt könnte der Naturschutz, zum Beispiel in besonders trockenen Jahren, auch auf das für die genutzten Flächen bereitgestellte Wasser zugreifen.

Im Projekt „Unterflurbewässerung im Praxisversuch“ (2018-2023) wurden folgende Ziele verfolgt:

- Demonstration der feldskaligen und praxistauglichen Umsetzbarkeit einer Unterflurbewässerung an einen intensiv genutzten Hochmoorgrünlandstandort.
- Feldskalige Quantifizierung der Einsparung von Treibhausgasen im Vergleich zu einem konventionell tief entwässerten Hochmoorgrünland. Zum Vergleich steht der vom Thünen-Institut im Rahmen von ICOS („Integrated Carbon Observation Project“, <http://www.icos-infrastruktur.de/>) betriebene Standort im Gnarrenburger Moor zur Verfügung.

- Quantifizierung der Auswirkungen auf Wasserqualität im Vergleich zu einem konventionell tief entwässerten Hochmoorgrünland.

Aufgrund der starken Auswirkungen der Grünlanderneuerung und möglicher witterungsbedingter Schwankungen der THG-Emissionen ist anzunehmen, dass die Messergebnisse noch nicht mittelfristigen Mittelwerten entsprechen. Aus diesem Grund werden die Messungen derzeit im Rahmen des Projekts „Effekte einer etablierten Unterflurbewässerung auf Treibhausgasemissionen und Wasserqualität“ fortgeführt.

3 Projektstruktur

Die Projektstruktur des Folgeprojektes Gebietskonzept und Wassermanagement baut auf der Struktur des Vorgängerprojektes auf (Abbildung 1). In dem hier beschriebenen Projekt sind Arbeitspakete erweitert und neue Arbeitspakete hinzugekommen. Diese werden im Folgenden erläutert.

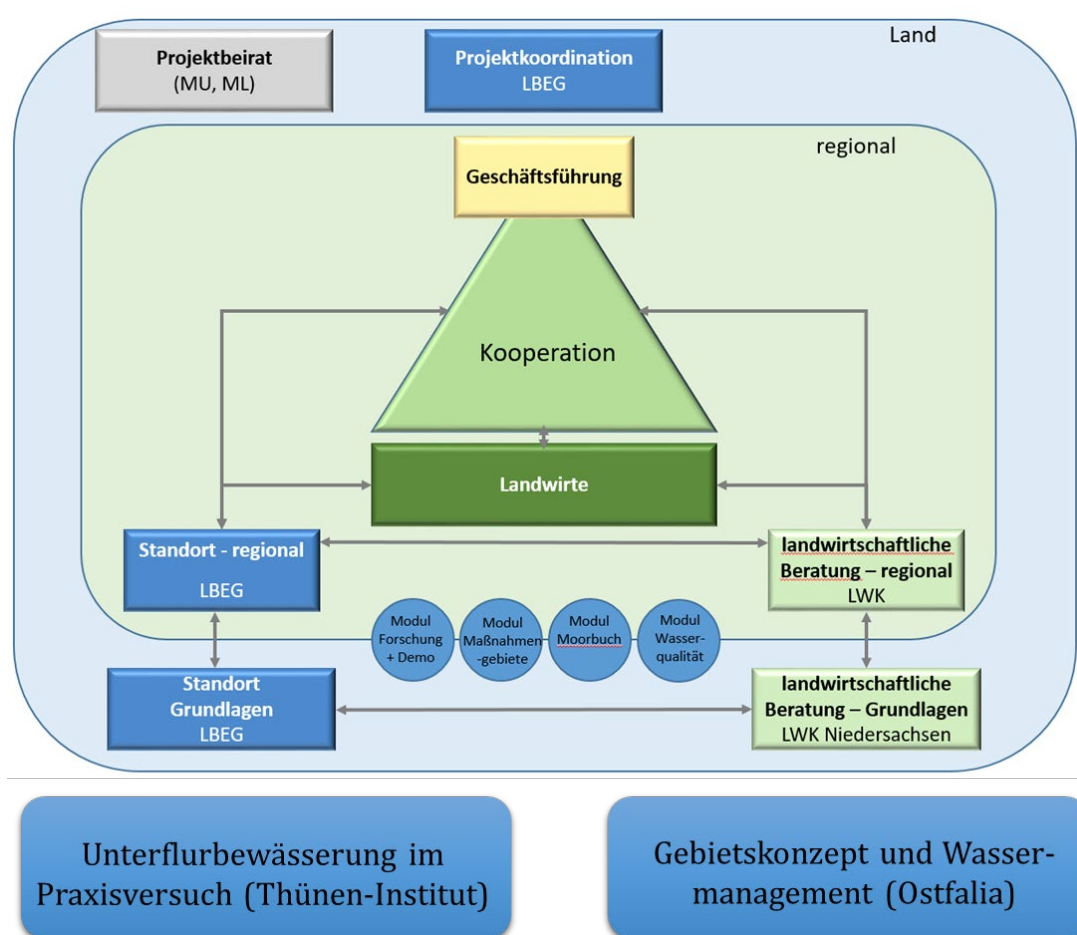


Abbildung 1: Projektstruktur aus dem Modellprojekt Gnarrenburger Moor, erweitert durch das neu hinzugekommene Modul Gebietskonzept und Wassermanagement.

Die **Projektkoordination** wurde, wie auch im Vorgängerprojekt, vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Energie (LBEG) übernommen. Die Aufgaben umfassten die Antragstellung, die Gesamtkoordination der Arbeitspakete, die Organisation der Sitzungen des Projektbeirates, die jährliche Berichterstattung (Zusammenführung der Berichte der beteiligten Institutionen und Bericht an den Projektbeirat) und das Zusammenführen und Verfassen des Abschlussberichtes.

Die **Geschäftsführung der Kooperation** wurde aus dem Vorgängerprojekt fortgesetzt und von der Landwirtschaftskammer (LWK) übernommen. Die Kooperation war zuständig für die Umsetzung der Geschäftsordnung mit dem Ziel über Demonstrationsvorhaben praxistaugliche Maßnahmen und Grundlagen für Beratungen, ein Gebietskonzept zu entwickeln und dieses konzeptionell zu begleiten. Des Weiteren fand über die Geschäftsführung der Kooperation die Öffentlichkeitsarbeit des Projektes statt.

Von der LWK wurde außerdem die im Vorgängerprojekt gestartete **einzelbetriebliche Beratung** zur Unterstützung klimaschutzorientierter Bewirtschaftungsverfahren und die für dieses Projektvorgesehene **Agrarstrukturelle Erhebung** übernommen. Diese hatte zum Ziel, die landwirtschaftlichen Nutzungen, die Situationen der Betriebe und Flächen und die Bereitschaft zur Teilnahme an wasserregulierenden Maßnahmen entsprechend des landwirtschaftlichen Bedarfs zu erfassen.

Die **Entwicklung eines einzugsgebietsbezogenen Wassermanagements** ist als neues Arbeitspaket hinzugekommen und wird von der Hochschule Ostfalia bearbeitet. Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Entwicklung eines einzugsgebietsbezogenen Wassermanagements, das Wasserüberschuss speichert, gegebenenfalls Grundwasser zuführt und für genutzte Hochmoorflächen nutzt, um klimaschutzorientierte Landwirtschaft zu ermöglichen.

Auf Grundlage einer Gesamtgebietsanalyse (Agrarstrukturelle Erhebung und hydrologische Untersuchung) wurde ein Teilgebiet identifiziert und vorbereitende Einzelgespräche mit den dort wirtschaftenden Landwirtinnen und Landwirten geführt, um in **Workshops** zusammen mit Wasser- und Bodenverbänden ein Umsetzungskonzept zu entwickeln. Dieses neu hinzugekommene Arbeitspaket wurde durch das LBEG und die LWK betreut.

Die im Vorgängerprojekt eingerichteten **Demonstrationsversuche** wurden durch das LBEG und die LWK fortgeführt und ergänzt, um eine moorschonende Bewirtschaftung zu testen und den dafür notwendigen Wasserbedarf zu quantifizieren. Der Demonstrationsversuch D12 – **Unterflurbewässerung im Praxisversuch** – wurde, wie im Vorgängerprojekt auch, vom Thünen Institut betreut und fortgeführt. Neu hinzugekommen ist die Installation von Einrichtungen zur Steuerung der Grabenwasserstände und Erprobung von Messeinrichtungen, die später dauerhaft eingesetzt werden können. Dieses Vorhaben wurde durch die Hochschule Ostfalia betreut.

In dem ausgewählten Teilgebiet wurde durch das LBEG die **Wirkung des Wassermanagements auf Moorwasserstände** und die **Prognosen der Treibhausgasemissionen** modelliert. Während im Vorgängerprojekt die Treibhausgasemissionen des Projektgebiets mit aktuellem Wassermanagement ermittelt wurden, sind nun Prognosen zu Treibhausgasemissionen des neuen konzipierten Wassermanagements und höheren Moorwasserständen entwickelt wurden. Dazu wurden auch Ergebnisse der Treibhausgasemissionen des Moduls Unterflurbewässerung im Praxisversuch und des SWAMPS Projektes einbezogen (SWAMPS - Verminderung von Treibhausgasemissionen (gruenlandzentrum.org)).

Unter Einbeziehung der neuen Aspekte des Wassermanagements gilt es, Landwirtinnen und Landwirte zum Mitmachen zu gewinnen, Umsetzungsverfahren zu definieren und Ergebnisse aus den Projekten SWAMPS und Gnarrenburger Moor verfügbar zu machen. Die **Entwicklung landesweiter Grundlagen** wurde dabei vom LBEG, der LWK und der Hochschule Ostfalia bearbeitet.

4 Projektgebiet

Das Projektgebiet ist im nördlichen Niedersachsen zwischen Bremen und Bremervörde verortet und umfasst das Gnarrenburger Moor (6.160 ha) und das Rummeldeis Moor (1.020 ha). Im Folgenden wird das Projektgebiet vereinfacht als Gnarrenburger Moor bezeichnet. Es besteht in weiten Teilen fast ausschließlich aus Hochmoor, mit Mächtigkeiten der Hochmoortorfe von 2 - 4 m auf den nicht abgetorften Flächen. Im Rummeldeis Moor betragen die Mächtigkeiten 1 - 2 m, abnehmend zu den Moorrändern (Abbildung 2). An den Rändern der Moorgebiete sind vereinzelt Niedermoore oder Moorgleye anstehend (Abbildung 3). Detaillierte Bodenansprachen wurden für jeden Demonstrationsversuch bereits im Vorgängerprojekt durchgeführt und können dem Abschlussbericht entnommen werden (Kalinski et al. 2021).

Im Projektgebiet werden etwa 4.680 ha von 7.180 ha landwirtschaftlich genutzt. Davon wird mit etwa 55 % der Großteil der landwirtschaftlichen Fläche als Grünland bewirtschaftet, teilweise auch als Ackerland (10 %). Darüber hinaus befinden sich Abtorfungsflächen sowie wiedervernässte Flächen nach Abtorfung im Gebiet, letztere vor allem im südöstlichen Teil des Gnarrenburger Moores, dem Huvenhoopsmoor. Wald nimmt nur einen geringen Flächenanteil von 4 % ein.

Das Projektgebiet ist durch viele Gräben 2. Ordnung (62 km) und 3. Ordnung (390 km) gekennzeichnet.

Viele der in der Region ansässigen landwirtschaftlichen Betriebe bewirtschaften fast ausschließlich Moorböden. Im Zentrum der landwirtschaftlichen Wertschöpfung stehen die Milchviehhaltung auf Dauergrünland und der Anbau der Moorkartoffel. Einige Betriebe nehmen an Agrarumweltmaßnahmen, vor allem zur extensiven Grünlandnutzung, teil.

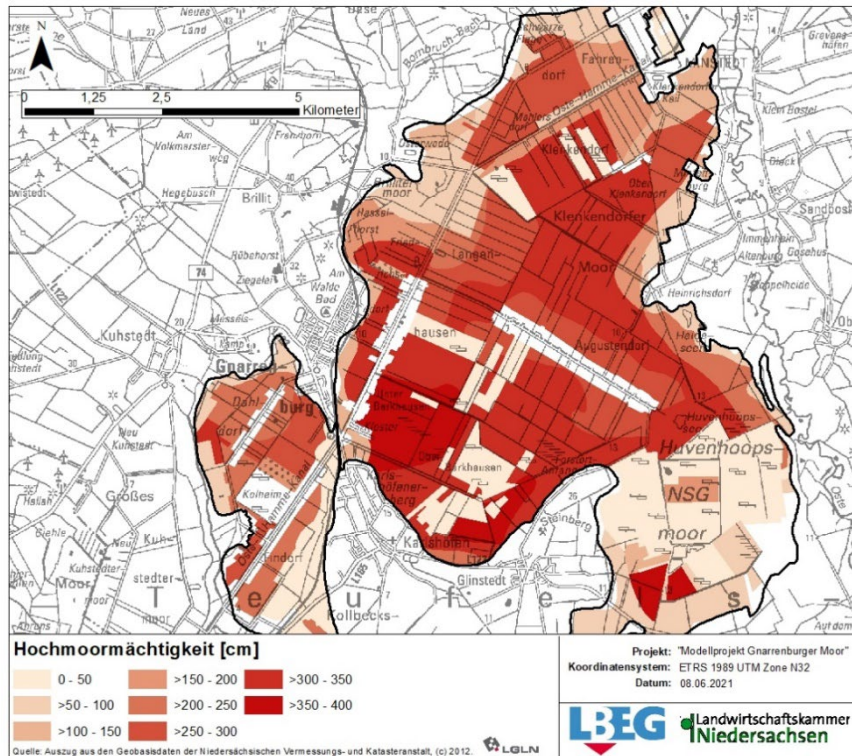


Abbildung 2: Karte der Hochmoormächtigkeit im Gnarrenburger Moor und Grenze des Projektgebietes (Originalmaßstab 1:100.000).

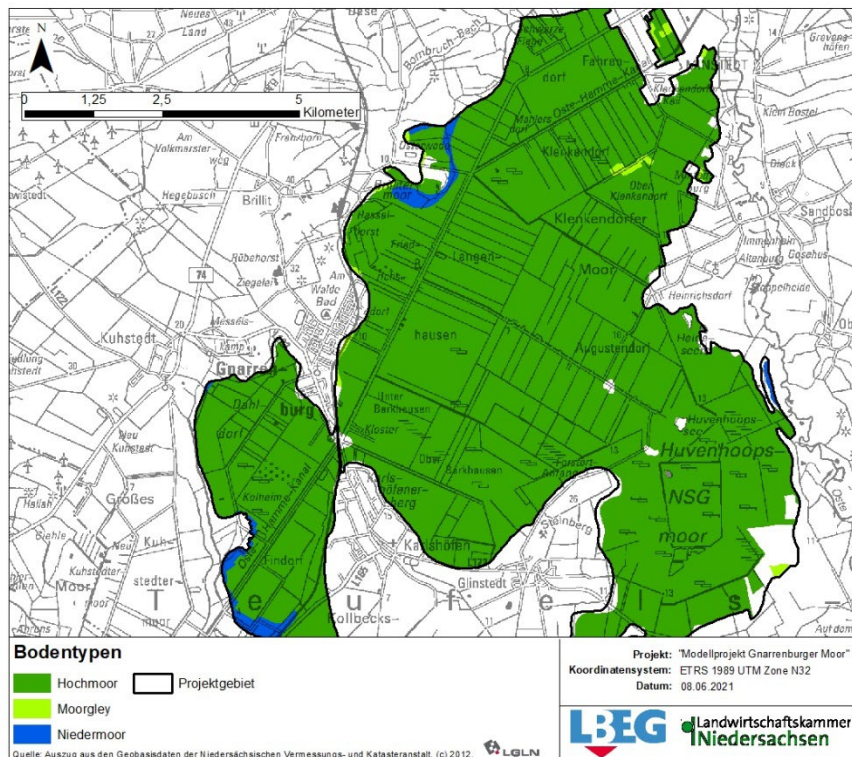


Abbildung 3: Karte der Boden-/Moortypen im Gnarrenburger Moor und Grenze des Projektgebietes (Originalmaßstab 1:100.000).

Die Treibhausgasemissionen wurden mit den neuen Emissionsfaktoren nach Höper (2022) berechnet. Danach belaufen sich die Gesamtemissionen auf der für den Klimaschutz relevanten Fläche von 6.712 ha auf knapp 209.000 t CO₂-Äquivalente pro Jahr. Der größte Teil ist auf die Acker- und Grünlandnutzung zurückzuführen. Auf den Torfabauflächen sind lokal die on-site-Emissionen bei aktiven Torfabbau, das heißt die Emissionen von den trockenen in aktivem Abbau befindlichen Abtorfungsflächen sowie die der nach Abschluss der Torfgewinnung wiedervernässten Flächen berücksichtigt.

Kasten: Ermittlung der Treibhausgasemissionen

Die Emissionen werden anhand des Biotoptyps oder der Landnutzung abgeleitet. Bei Vorhandensein eines kohlenstoffreichen Bodens werden dem Biotoptyp oder der Nutzungskategorie Emissionsfaktoren nach Höper (2022) zugewiesen. Hierbei wird hierarchisch vorgegangen. Sofern eine aktuelle Biotopkartierung, zum Beispiel in FFH-Gebieten vorliegt, wird diese verwendet. Gibt es eine solche nicht, können gegebenenfalls älteren Biotopkartierung verwendet werden. Bei gemischten Biotoptypen, das heißt mehrere, räumlich nicht genauer verorteten Biotoptypen in einer Flächeneinheit, werden die Emissionsfaktoren der Biotoptypen nach Flächenanteil gewichtet und der Flächeneinheit zugewiesen. Liegt keine Biotopkartierung vor, werden Nutzungskategorien nach ATKIS ausgewählt. Dabei wird gegebenenfalls noch berücksichtigt, ob diese Flächen in einem Naturschutzgebiet liegen. Hier wird zum Beispiel bei Grünlandnutzung nach ATKIS immer eine extensive Grünlandnutzung angenommen. Flächen mit einem Versiegelungsgrad über 30 % wurden nicht bewertet.

Im Projektgebiet wurden die Treibhausgasemissionen auf 6.459 ha nach ATKIS-Kategorien, davon 1.042 ha in einem NSG, auf 256 ha nach Biotoptypen vorgenommen. 463 ha wurden nicht bewertet, da sie nicht zu den kohlenstoffreichen Böden zählten oder einen Versiegelungsgrad über 30 % aufwiesen.

Tabelle 1: Fläche und Treibhausgasemissionen im Projektgebiet Gnarrenburger Moor.

	Fläche	Treibhausgasemissionen	
		absolut	anteilig
	ha	t CO ₂ -Äq./ha/Jahr	%
Acker	747	27.202	13
Grünland	3.931	149.354	72
Wald	301	7.043	3
Siedlung/Brache	129	3.197	2
Moor/Heide/Gehölz	1.273	20.202	10
Torfabbau, on-site	331	1.657	1
nicht bewertet*	466	0	0
Summe	7.178	208.654	100

*Flächen mit > 30% Versiegelung, kein kohlenstoffreicher Boden.

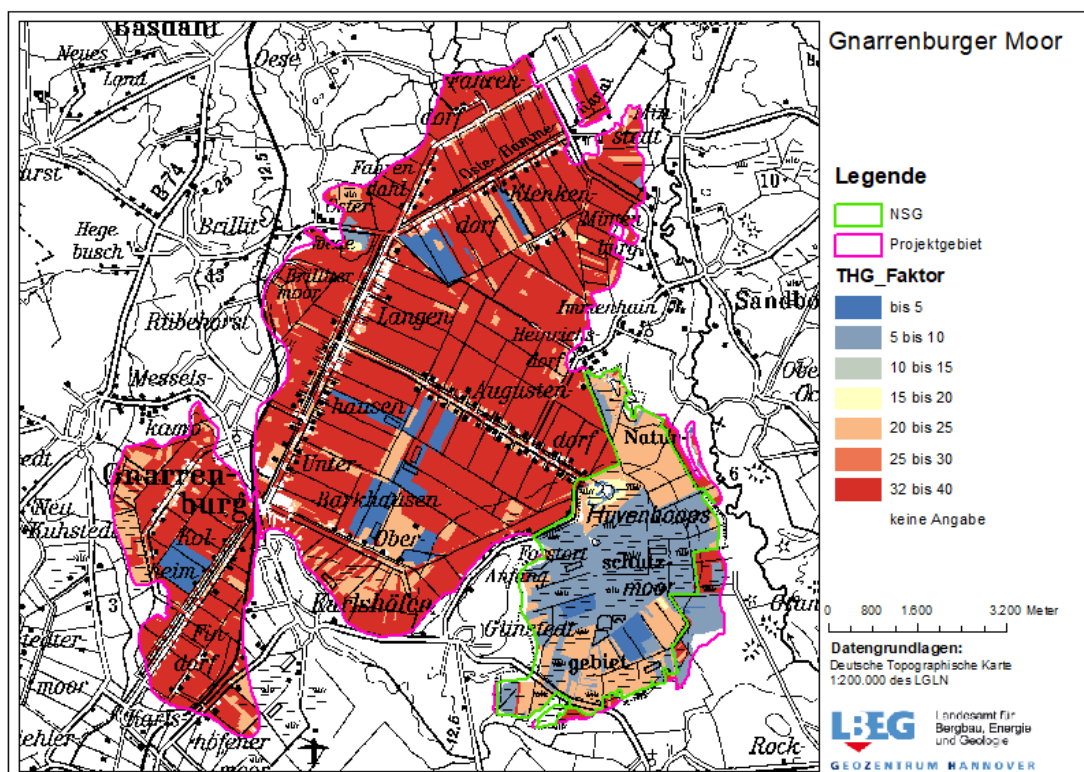


Abbildung 4: Karte der Treibhausgasemissionen im Gnarrenburger Moor, Naturschutzgebiet Huvenhoopsmoor und Grenze des Projektgebietes (Originalmaßstab 1:100.000).

5 Grundlagen für Maßnahmen- und Gebietsauswahl

5.1 Demonstrationsversuche

5.1.1 Wasserregulierende Maßnahmen und Methoden

Die Demonstrationsversuche sind zentraler Bestandteil bei der Schaffung von Akzeptanz hinsichtlich einer klima- und torfschonenden Moorbewirtschaftung im Modellprojekt Gnarrenburger Moor. In den Versuchen wurden Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung und Anpassungsoptionen der Grünlandnutzung an höhere Wasserstände getestet. Die Möglichkeit Wasserstände mit dem Ziel des Torfschutzes anzuheben hängt zum großen Teil von der angestrebten Landnutzung und der vorhandenen Torfauflage ab. Im Modellprojekt wurden Maßnahmen nur auf ausgewählten Einzelflächen durchgeführt (Demonstrationsversuche), auf welchen sowohl die Standortvoraussetzungen (Torfauflage, Hydrologische Verhältnisse, Geländebeschaffenheit und Grünland) günstig waren, als auch die Landwirtin/der Landwirt bereit war, die Bewirtschaftung der Fläche als Grünland mit eventuellen Bearbeitungseinschränkungen durchzuführen (siehe Abbildung 5 und Tabelle 2).

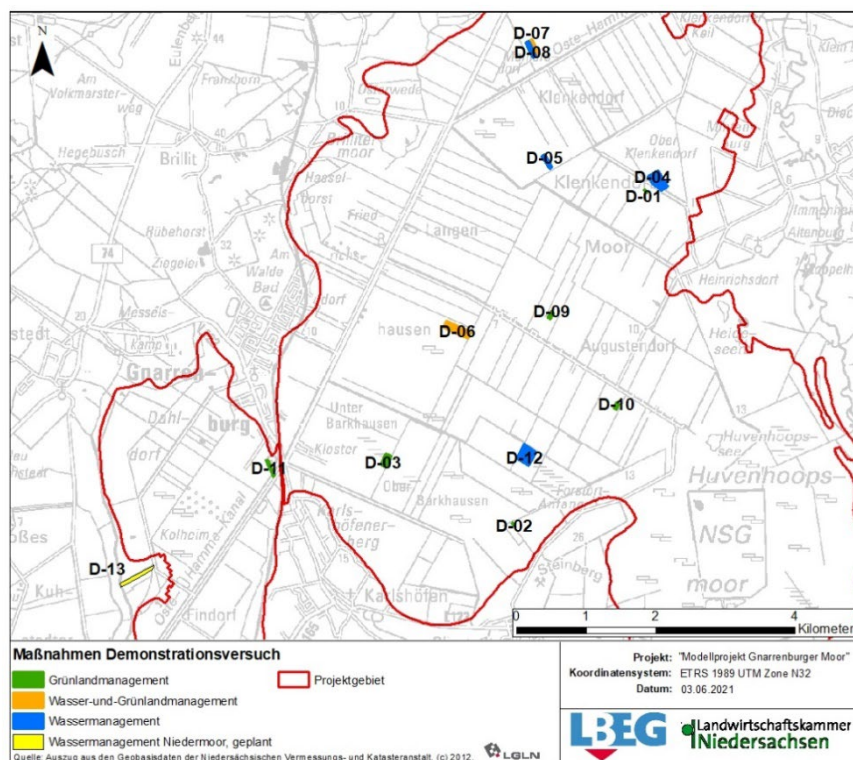


Abbildung 5: Maßnahmenart und Lage der Demonstrationsversuche.

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

Die Demonstrationsversuche D01 – D11 wurden im Sommer 2022 beendet und abgebaut. Eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Versuche ist im vorangegangenen Abschlussbericht (Kalinski et al. 2021) zu finden.

Tabelle 2: Maßnahmen und Beginn der Demonstrationsversuche. Landwirtschaftliche Maßnahmen sind grün hinterlegt, während wasserregulierende Maßnahmen blau hinterlegt sind.

Demonstrationsversuch	Maßnahme	Beginn
D01	Gräsermischung mit Rohrschwengel auf Grünland mit geringer Intensität	2016
D02	Gräsermischung mit Rohrschwengel auf Intensivgrünland	2016
D03	Reduzierte organische und mineralische Düngung auf Intensivgrünland	2017
D04	Grabenanstau auf Grünland mit geringer Intensität	07/2017*
D05	Unterflurbewässerung auf Intensivgrünland	10/2018**
D06	Grabenanstau auf Intensivgrünland mit angeschlossenen Versuchen zu Gräsermischungen (2 Anstauerebenen)	05/2017*
D07	Unterflurbewässerung auf Intensivgrünland mit angeschlossenen Versuchen zu Gräsermischungen	09/2018**
D08	Betroffenheit eines Grünlandes mittlerer Intensität durch angrenzende Versuchsfläche mit Unterflurbewässerung (D07)	09/2018**
D09	Großparzellenversuch zur Neuansaat ausgewählter Gräsermischungen auf einer Referenzfläche ohne Wasserstandsanhebung (Referenz zu D06)	2017
D10	Großparzellenversuch zur Neuansaat ausgewählter Gräsermischungen auf einer Referenzfläche ohne Wasserstandsanhebung (Referenz zu D07)	2018
D11	Großparzellenversuch zur Neuansaat ausgewählter Gräsermischungen auf einer Referenzfläche ohne Wasserstandsanhebung (Referenz zu D04)	2018
D12	Schachtbasierte Unterflurbewässerung auf Intensivgrünland im Praxisversuch mit THG-Messungen	06/2019**
D13	Grabenanstau auf Grünland mit mittlerer Intensität auf Niedermoor	10/2021*

*bei Grabenanstau, erster voller Monat nach Einbau der Stauwehre.

**bei Unterflurbewässerung, erster voller Monat nach Beginn der Wasserzufuhr, in dem der Flächenwasserstand in etwa das Niveau der Folgejahre erreicht hat.

Der **Grabenanstau**, als kostengünstige wasserregulierende Maßnahme, ist im Besonderen für landwirtschaftliche Betriebe vorgesehen, die Moorgrünland mit mittlerer oder niedriger Intensität nutzen. Durch die Rückhaltung des winterlichen Wasserüberschusses, können die Wasserstände vor allem im Frühjahr höher eingestellt werden als ohne Grabenanstau. Mit Hilfe von steuerbaren Wehren in den Vorflutern, sollen die Winterniederschläge in der Fläche bis zu einem definierten Termin durch Anstau des Grabens auf 30 cm unter Geländeoberkante zurückgehalten werden. Während der Sommermonate war zunächst geplant die Wehre auf 50 cm unter GOK einzustellen, um eine Bewirtschaftung mit maximal 2 - 3 Schnitten zu ermöglichen. Es zeigte sich schon im ersten Jahr, dass diese temporäre Absenkung der Stauhöhen nicht erforderlich war, weil aufgrund der hohen Verdunstung die Befahr- und Beweidbarkeit in den Sommermonaten auch bei der höheren Stauhöhe im Graben generell gegeben war. Beim Demonstrationsversuch D13, der als einziger Versuch an einem Niedermoorstandort angelegt wurde, war es das Ziel, den Wasserzustrom aus dem Einzugsgebiet durch Stauwehre in den Gräben zurückzuhalten und somit die Flächenwasserstände v.a. in den Sommermonaten anzuheben. Über Erdwälle und eingebaute Knickrohre wurden die Wasserstände in den Gräben und angrenzenden Flächen manuell gesteuert.

Für intensiv wirtschaftende Landwirtinnen und Landwirte, v.a. Milchviehbetriebe, wurde die **Unterflurbewässerung** auf Hochmoorgrünland erprobt. Ziel war das Aufrechterhalten der Wirtschaftsweise mit 4 bis 5 Schnitte pro Jahr, unter gleichzeitiger Anhebung der sommerlichen Grundwasserstände. Analog zum Grabenanstau wurden steuerbare Wehre in den Vorflutern installiert. Die Stauhöhe der Wehre in den Vorflutern sollte während des Jahres optimaler Weise nicht verstellt werden und bei ca. 20 cm unter Geländeoberkante liegen, damit in der Fläche Sommerwasserstände von höher als 40 cm unter Geländeoberkante erreicht werden können. Das Wasserdefizit in den Sommermonaten wurde durch die Zufuhr von Grundwasser in den angestauten Vorfluter ausgeglichen. Darüber hinaus wurde eine Dränage auf den Versuchsflächen durch den Einbau von Dränagerohren mit einem Dränabstand von 4 m und einer Dräntiefe von ca. 70 cm angelegt. Dies erfolgte, um in den Sommermonaten das Wasser besser aus den Gräben in die Fläche leiten und einen möglichst hohen Moorwasserstand einstellen zu können. Zur Verbesserung der Befahrbarkeit während der Phasen der Bewirtschaftung wurden zeitweise die Grabenwasserstände heruntergeregelt.

Auf den Versuchsflächen **Grünlandmanagement ohne Wasserregulierung** wurden in mehreren Gräserversuchen verschiedene Saatgutmischungen auf ihre Eignung im entwässerten und witterungsbedingt teilweise nassen Hochmoor geprüft. Je nach Standort und Bewirtschaftungsintensität des Betriebes wurden geeignete Mischungen ausgewählt. Auf sieben verschiedenen Betrieben konnte ein breites Spektrum an Nutzungsintensitäten abgedeckt werden. Die Düngung orientierte sich stets an der Nutzungshäufigkeit und dem Rahmen der Düngeverordnung. Da neben den Wasserständen auch die Nährstoffmengen im Boden einen Einfluss auf die Zersetzung des Torfes und Emission von Treibhausgasen haben, wurde der Düngeversuch D03 angelegt. Ziel dessen war es die Entwicklung der Vegetation, der Erträge und der Nährstoffversorgung des Bodens bei reduzierter Düngung sowie in Abhängigkeit der Düngerart, rein mineralisch oder organisch (Rindergülle), zu beobachten.

Die im Gelände und Labor durchgeführten Untersuchungen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Methoden der Gelände- und Laboruntersuchungen.

Methode	Beschreibung
Höhenmessung	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring der Sackung der Mooroberfläche, der Schrumpfung und der Torfminalisation auf Flächen mit wasserregulierenden Maßnahmen • Aufnahme der Höhen zweimal jährlich zum Zeitpunkt der tiefsten (September/Oktober) und höchsten Wasserstände (Februar/März)
Hydrologisches Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> • Insgesamt wurden 87 Pegel (Rugged Troll 100 Data Logger der Firma In Situ) und zwei Barologger (D04, D12) im Modellgebiet eingerichtet • Stündliche Aufzeichnung der Graben- und Moorwasserstände auf allen Demonstrationsversuchen mit wasserregulierenden Maßnahmen
Eindringwiderstände	<ul style="list-style-type: none"> • Meist monatliche Messung unter Verwendung eines Penetrologgers der Firma Eijkelkamp unter Verwendung eines 5 cm² Konus • Auf den Flächen mit wasserregulierenden Maßnahmen und Referenzflächen wurden in 10-facher Wiederholung die Eindringwiderstände in 0 – 80 cm Tiefe ermittelt.
Bonituren	<ul style="list-style-type: none"> • Auf allen Demonstrationsversuchen wurden an fünf Terminen im Jahr der Zustand der Grünlandvegetation erfasst • Die Bonituren wurden mit Hilfe einer Skala von 1 bis 9 bewertet (1 keine Mängel, 5 mittlere Mängel und 9 starke Mängel)
Trockenmasseertrag	<ul style="list-style-type: none"> • Kurz vor jeder Ernte wurden Grasproben genommen und bei 90°C zur Ermittlung des Trockenmasseertrags getrocknet. • Probennahme erfolgte auf 0,25 m² in vierfacher Wiederholung mit ca. 5 cm Schnitthöhe
Boden und N_{min}	<ul style="list-style-type: none"> • Auf allen Versuchsflächen des Düngerversuchs D03 wurden vor der ersten Düngung die Nährstoffe P und K sowie der pH- Wert in 0 - 5 cm und 5 - 10 cm Bodentiefe gemessen • Der N_{min} Gehalt wurde in den Bodentiefen 0 - 30 cm, 30 - 60 cm und 60 - 90 cm ermittelt • Alle Analysen wurden durch ein beauftragtes Labor durchgeführt

Die wichtigsten Ergebnisse der Demonstrationsversuche D01 bis D11 und D13 werden in den Kapiteln 5.1.3, 5.1.4 und 5.1.5 berichtet. Die Ergebnisse zum Versuch D12 finden sich in Kapitel 6. Die Ergebnisse können in detaillierterer Form auch Tabellen und Grafik auch Anhang 1 und Anhang 2 entnommen werden.

5.1.2 Übersicht der klimatischen Verhältnisse

Daten zu Niederschlägen und Verdunstung stammen von der DWD-Wetterstation Bremervörde. Die klimatische Wasserbilanz wurde aus der Differenz von Niederschlag und potentieller Verdunstung (nach Haude) ermittelt.

In Anhang 1 sind die Jahressummen, saisonale Summen und Monatssummen dieser drei Parameter aufgelistet.

Von besonderem Interesse für die Versuche mit wasserregulierenden Maßnahmen und die Wasserverfügbarkeit ist die Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr. Die Jahre 2017 und 2021 waren durch einen sommerlichen Bilanzüberschuss gekennzeichnet und können somit als relativ nasse Jahre bezeichnet werden (Abbildung 6). Die Jahre 2020 und 2022 waren dagegen trockene Jahre mit einem Wasserdefizit von über 100 mm und das Jahr 2018 extrem trocken, mit einem sommerlichen Wasserdefizit von mehr als 300 mm. Im Mittel des 20-Jahres-Zeitraums 1998-2017 gab es einen geringfügigen Bilanzüberschuss.

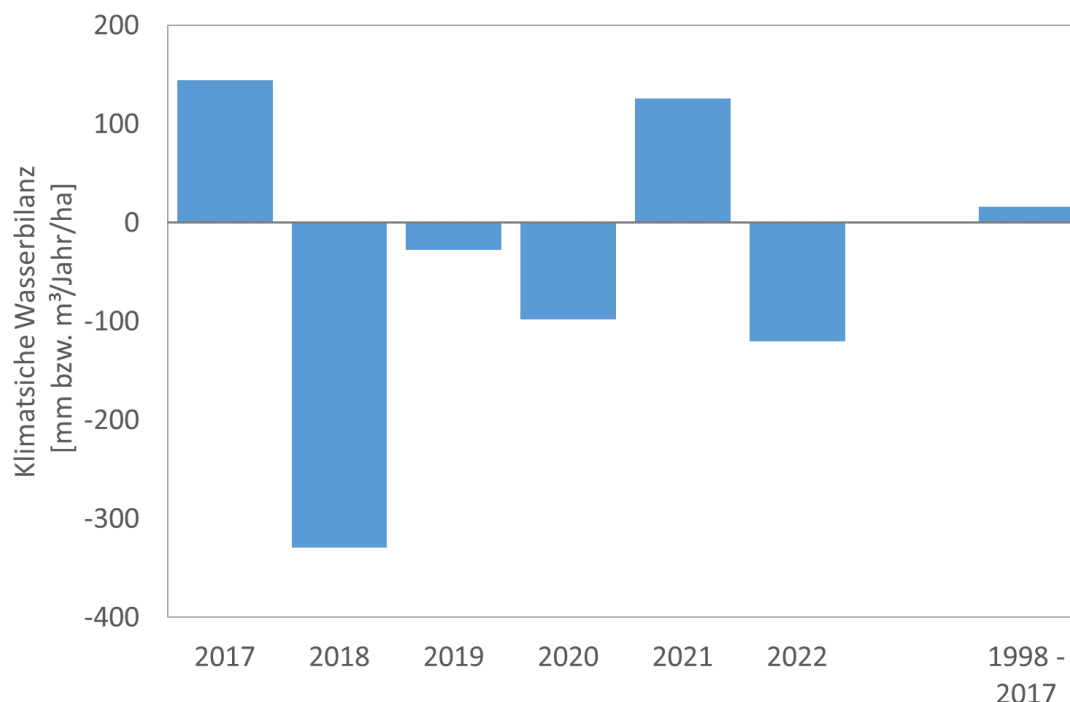


Abbildung 6: Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr für die Jahre 2017-2022 und Mittelwert über die Jahre 1998-2017. Sommerhalbjahr vom 01. Mai bis 31. Oktober. DWD-Station Bremervörde

5.1.3 Ergebnisse der Demonstrationsversuche mit Grabenanstau

Demonstrationsversuch 04

Der Demonstrationsversuch D04 mit Grabenanstau ist durch eine Anstauenebene (Stauwehr im Graben) und die unvernässte Referenz gekennzeichnet. Die Auswirkungen des Grabenanstaus im Vergleich zur Referenz werden beidseitig des Grabens, „Ost“ und „West“ untersucht und für zusammenfassende Darstellungen über beide Teilbereiche gemittelt.

Wasserstände

Die Moorwasserstände des Anstauversuchs D04 wurden durch den Rückhalt des winterlichen Überschusswassers von 0,65 auf 0,48 m u. Flur angehoben. Vergleicht man die mittleren Jahreswasserstände der Anstau- und der Referenzmoorfläche lagen die Unterschiede im Mittel aller Jahre bei ca. 0,17 m (Abbildung 7, Tabelle 40). Der Zielwert der Moorwasserstände von 0,30 m unter Geländeoberkante im Jahresdurchschnitt wurden lediglich im nassesten Jahr 2021 erreicht.

Im Jahresverlauf fallen die Moorwasserstände unabhängig von der Variante ab ca. Mitte April bis in den Herbst stetig ab und steigen mit den Herbstniederschlägen wieder an (Abbildung 79 oben). Lediglich im nassen Sommer 2021 werden auch im Sommer höhere Wasserstände gehalten, wobei der Grabenanstau hier im Vergleich zur Kontrolle eine stärkere Wirkung entfaltet (+0,22 m) als in den anderen Jahren (Tabelle 40).

Die Moorwasserstände erreichten nach dem Trockenjahr 2018 erst im Januar eine Höhe von 0,30 m unter Geländeoberkante, womit dieser Winter der trockenste im Untersuchungszeitraum war (Abbildung 79 oben). In den Folgejahren wurde die 0,30 m-Marke bereits im Oktober/November und im nasseren Jahr 2021 bereits etwa einen Monat früher erreicht. In den Sommerhalbjahren lagen die Unterschiede zwischen Anstau und Referenz bei maximal 0,18 m. Außerdem konnte lediglich im Sommer 2021 ein Wasserstand über 0,50 m unter Geländeoberkante erreicht werden.

Die Grabenwasserstände der Anstau- und der Referenzfläche lagen in den entscheidenden Sommermonaten, insbesondere in den trockenen Jahre 2018 bis 2020, recht tief. Allerdings konnten sie in diesen Jahren durch den Grabenanstau um bis zu 0,44 m auf bis zu 1,58 m u. Flur angehoben werden. Im nasseren Jahr 2021 war die Wirkung des Grabenanstaus größer, mit einem Unterschied von 0,71 m im Vergleich zur Kontrolle.

Es zeigt sich, dass mit dem Grabenanstau eine Anhebung der Wasserstände in Graben und auf der Fläche möglich ist. Das Ausmaß der Anhebung hängt stark von der Witterung ab, lediglich in einem nassen Jahr konnte der Zielwert für den Moorwasserstand von 0,3 m unter Flur im Jahresmittel überschritten werden. Über alle Jahre hinweg ist zu erwarten, dass mit den durch den Grabenanstau eingestellten Moorwasserständen keine Reduktion der Treibhausgasemissionen bewirkt werden kann.

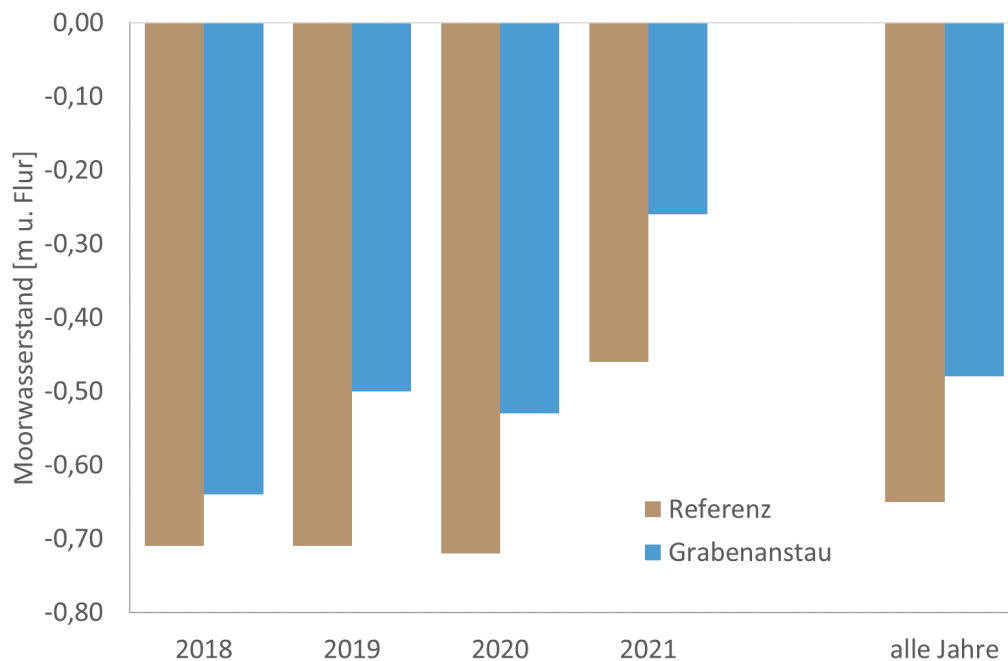


Abbildung 7: Mittlere jährliche Moorwasserstände auf D04 für Grabenanstau und unvernässte Referenz nach Jahren und Gesamtmittelwert über alle Jahre

Geländehöhen

Bei den mittleren Geländehöhen haben sich unabhängig von der Variante über den gesamten Untersuchungszeitraum nicht verändert (Tabelle 4). Es gab allerdings zwischen 2016 und 2020, aufgrund der starken Trockenheit in den Jahren 2018 - 2020, eine Sackung im Mittel von rund 7 cm auf allen Flächen. Im Frühjahr 2022 wurden, nach dem relativ nassen Jahr 2021, im Mittel wieder die Ausgangswerte von 2016 gemessen.

Tabelle 4: Höhenänderung auf D04 von September 2016 bis März 2022 (in m). Positive Werte zeigen Höhenzunahme, negative Höhenabnahme. MW – Mittelwert; N – Anzahl der Messungen.

Versuch	Variante	MW	5% Quantil	95% Quantil	N
D04	Anstau Ost	0,02	0,21	-0,15	35
D04	Anstau West	0,00	0,04	-0,03	32
D04	Referenz Ost	-0,01	0,02	-0,05	50
D04	Referenz West	-0,02	0,03	-0,06	50

Erträge

Bei dem Versuch D04 handelte es sich um eine extensiv genutzte Wiese mit einem Schnitt und geringer Düngung, bedingt durch das geringe Aufkommen an Wirtschaftsdüngern auf dem wirtschaftenden Betrieb.

Die Gräser im Versuch D04 sind stark vom wolligen Honiggras dominiert, auch weiterhin im Jahr 2022. Dies passt zum Grünland auf Moorboden mit der beschriebenen Bewirtschaftung. Darüber hinaus waren auch der Kriechende Hahnenfuß und der Wiesen-Sauerampfer sehr präsent, wie schon in den vorherigen Jahren. Hierbei trat der Wiesen-Sauerampfer vor allem in den westlichen Parzellen Anstau-West und Referenz-West auf.

Die Trockenmasseerträge unterlagen jährlichen Schwankungen und wurden nicht einheitlich durch den Grabenanstau beeinflusst (Abbildung 8). Tendenziell waren auf allen Varianten die Erträge in den nassen Frühjahren 2018 (nach einem nassen Winterhalbjahr 2017/18) und 2021 höher als in den trockenen Frühjahren 2019 und 2020. In 2019 und 2020 lagen die Erträge insgesamt auf einem niedrigeren Niveau, allerdings waren sie, bis auf eine Ausnahme (Anstau-W im Vergleich zu Referenz-W), in den Anstauvarianten höher als in der Referenz. Die hohen Erträge in 2021 wurden bei hohen Moorwasserständen vor der Ernte erwirtschaftet. In den 14 Tagen vor dem Erntetermin lagen diese zwischen 0,08 und 0,14 m unter Geländeoberkante in den Anstauvarianten und bei 0,32 m unter Geländeoberkante in den beiden Referenzvarianten (Jahresgänge der Wasserstände siehe Abbildung 79). Dies liefert einen Hinweis darauf, dass die hohen Wasserstände im Extensivgrünland, sowohl in der Anstau- als auch in der Referenzvariante, in dem nassen Jahr zu höheren Erträgen geführt haben als in den trockenen Vorjahren.

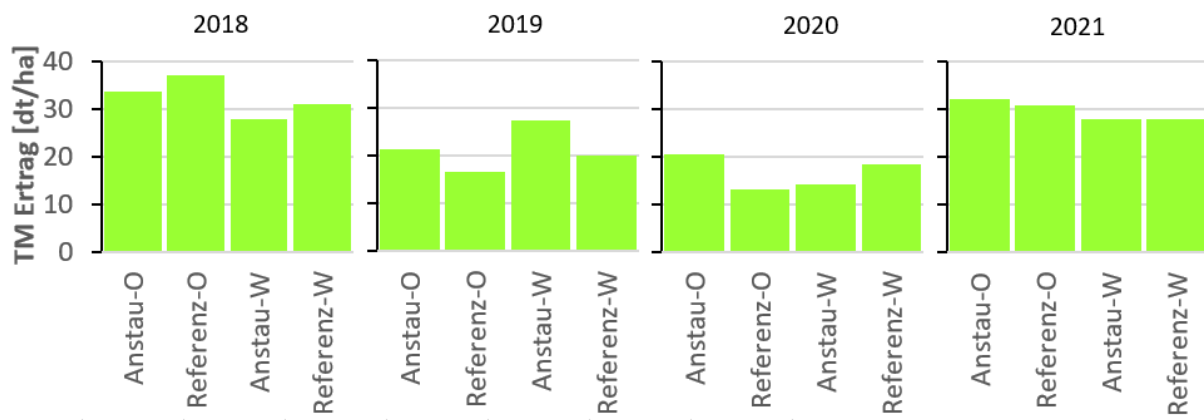


Abbildung 8: Trockenmasseerträge (TM) auf D04. Ein-Schnittnutzung von 2018 bis 2021. Schnitttermine: 10.06.2018, 26.06.2019, 16.06.2020 und 02.06.2021. Die Trockenmasseerträge für das Jahr 2021 wurden 20 Tage vor der Ernte ermittelt. Methodik siehe Tabelle 3.

Eindringwiderstände

Insgesamt sanken die Eindringwiderstände in den Jahren 2021 und 2022 gegenüber den Werten der vorherigen Jahre und zeigten weniger Variabilität zwischen den Jahreszeiten (Abbildung 9). Möglicherweise liegt dies an einer geringeren Anzahl an Messungen im Jahr 2021 im Vergleich zu den Vorjahren. Dies geht einher mit ansteigenden Minima der Wasserstände in den Sommerperioden. Die Werte der beiden Varianten, sowohl für die Eindringwiderstände, als auch für die Wasserstände, lagen dicht beieinander, der Effekt des Grabenanstaus ist somit gering. Damit ist der geringere Eindringwiderstand in 2021 zwar nicht auf die Maßnahme des Grabenanstaus zurückzuführen, jedoch korreliert er mit den höheren Wasserständen in diesem Jahr. Eine Verschlechterung der Befahrbarkeit konnte auf dieser Fläche nicht beobachtet werden.

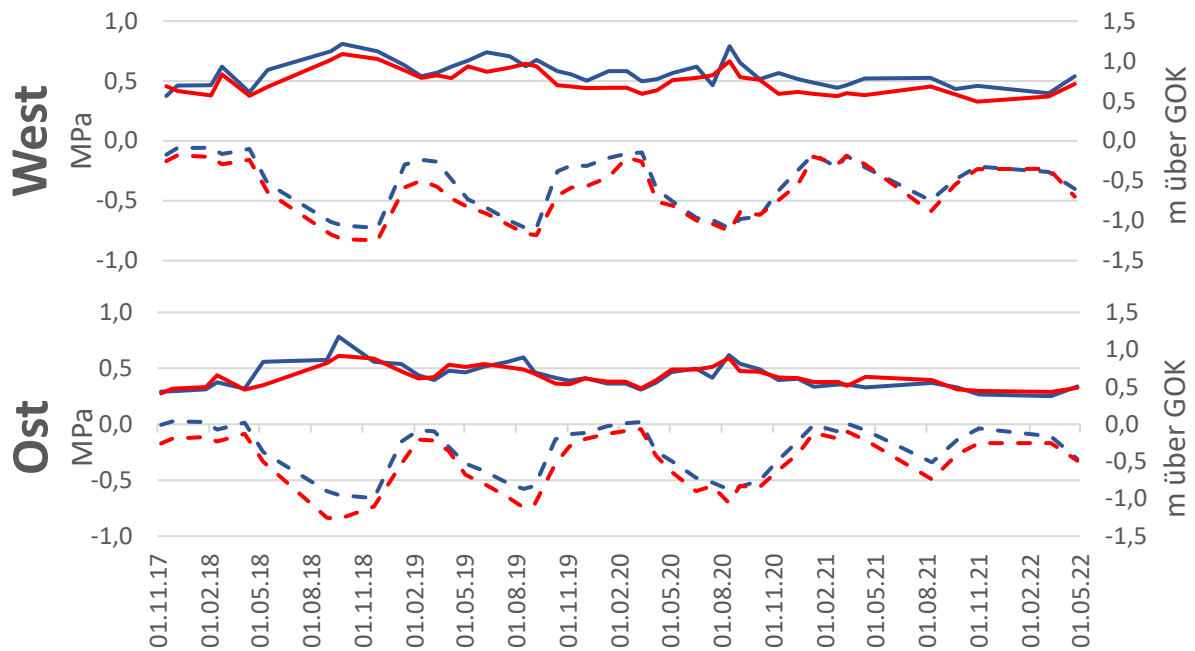


Abbildung 9: Wasserstände und Eindringwiderstände auf D04 Eindringwiderstände als Mittelwert für den Tiefenbereich 5 bis 20 cm, Wasserstände im Boden bezogen auf den Median der Geländehöhe östlich und westlich des angestauten Grabens. Eindringwiderstände: durchgezogene Linien – Ordinate links; Wasserstände: gestrichelte Linien - Ordinate rechts. Blau: Grabenanstau, rot: Referenzfläche ohne Anstau. GOK – Geländeoberkante.

Demonstrationsversuch 06

Der Demoversuch 06 mit Grabenanstau ist durch 2 Anstauerebenen (2 Stauwehre), den Geländehöhen folgend, und eine Referenzparzelle ohne Anstau gekennzeichnet. Auf beiden Seiten des Grabens, hier als „Nord“ und „Süd“ bezeichnet, werden Messungen durchgeführt.

Wasserstände

Der Grabenanstau hat hier weder im Mittel der Jahre noch in einzelnen Jahren zu einer Anhebung der Moorwasserstände geführt (Abbildung 10, Anhang 2: Tabelle 42). Im relativ nassen Jahr 2021 wurden zwar die höchsten Moorwasserstände erreicht, dies aber auf allen Varianten unabhängig vom Wasserregime. Die Wasserstände lagen im Mittel bei 0,36 - 0,49 m unter Flur und erreicht damit nicht den Zielwasserstand von 0,3 m unter Flur im Jahresmittel.

In den Wintermonaten waren die Moorwasserstände, wie im Hochmoor typisch, hoch. Es sind lediglich kleine Unterschiede zwischen trockenen und nassen Jahren zu erkennen. Die Wasserstände übersteigen nie die Geländeoberkante, da das Wasser bei Erreichen der Geländeoberfläche seitlich in die Gräben ablaufen kann.

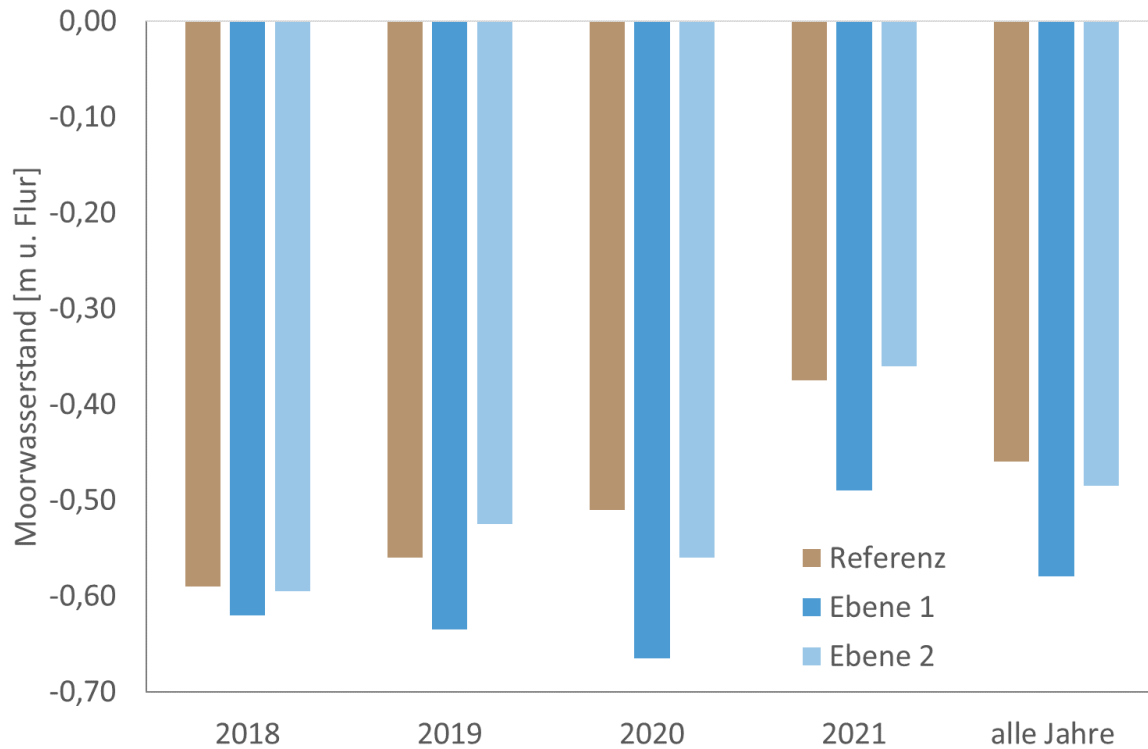


Abbildung 10: Mittlere jährliche Moorwasserstände auf D06 Grabenanstau auf 2 Ebenen und unvernässte Referenz, nach Jahren und Gesamtmittelwert über alle Jahre.

In den Sommerhalbjahren fielen die Moorwasserstände je nach Jahr etwa ab Anfang April bis Mai wie erwartet deutlich ab (Anhang 2: Abbildung 79). Hierbei zeigte sich keine Überschied zwischen den Anstauvarianten und der Referenz. Das Ziel von 0,50 m unter Geländeoberkante im Sommer wurde lediglich 2021, und hier nur auf Ebene 2 und der Referenzfläche erreicht.

Im Gegensatz zu den Moorwasserständen wurden die Grabenwasserstände durch den Grabenanstau und den Rückhalt von Überschusswassers im Jahresmittel um bis zu 0,68 m angehoben (Anhang 2: Tabelle 39). Dies war jedoch nicht ausreichend, um auch die Moorwasserstände anzuheben.

Geländehöhen

Auf der Fläche D06 wurde eine Abnahme der mittleren Geländehöhen (Tabelle 5) zwischen 6 und 15 cm von 2017 bis 2022 festgestellt. Die Sackung war im nördlichen Bereich, mit 12 und 15 cm, deutlich stärker als im südlichen Bereich, zwischen 6 und 9 cm. Ein Einfluss des Grabenanstaus auf die Sackung war nicht ersichtlich.

Tabelle 5: Höhenänderung auf D06 von Januar 2017 bis März 2022. Positive Werte zeigen Höhenzunahme, negative Höhenabnahme. MW – Mittelwert; n – Anzahl der Messpunkte.

Versuch	Variante	MW [m]	5% Quantil [m]	95% Quantil [m]	n
D06	Ebene 1 Nord	-0,13	-0,10	-0,16	35
D06	Ebene 1 Süd	-0,09	-0,05	-0,13	35
D06	Ebene 2 Nord	-0,12	-0,04	-0,19	35
D06	Ebene 2 Süd	-0,06	-0,01	-0,10	35
D06	Referenz Nord	-0,15	-0,07	-0,24	30
D06	Referenz Süd	-0,06	-0,04	-0,09	30

Erträge

Die Bewirtschaftung des Versuchs D06 erfolgte als Wiese mit 3 bis 4 Schnitten pro Jahr und einer bedarfsgerechten Düngung.

Wie schon auf D04 beobachtet, gingen auch auf D06 höhere Erträge mit einem nasserem Frühjahr (2018 und 2021) einher. Im Jahr 2020 führte die Trockenheit und die Erwartung von Mindererträgen bei einem möglichen vierten Schnitt dazu, dass lediglich ein dritter und dafür späterer Schnitt gewählt wurde. Ähnlich verlief die Ernte 2021 mit einem späten dritten Schnitt und ohne vierten Schnitt. Die Anstauflächen wiesen hier von 2018 bis einschließlich 2020 höhere Erträge auf. Im Jahr 2018 kam dies auch durch einen guten dritten Schnitt zustande, während in den anderen beiden Jahren die ersten beiden Schnitte den Hauptanteil des Jahresertrages ausmachten. Im nassen Jahr 2021 war kein signifikanter Unterschied zwischen dem Anstau und der Referenz zu erkennen (Abbildung 11).

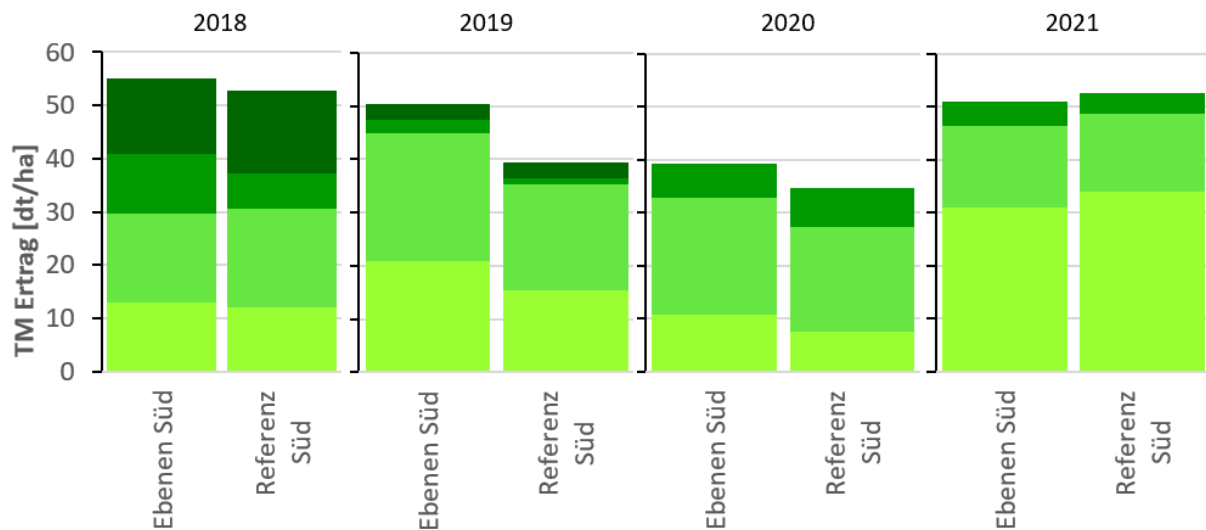


Abbildung 11: Trockenmasseerträge (TM) auf D06 3-4-Schnittnutzungen von 2018 bis 2021. Die Schnitte erfolgten 2018 am 21.05., 26.06., 12.08. und 08.10.; 2019 am 23.05., 28.06., 24.08. und 25.10.; 2020 am 26.05., 15.07. und 01.09. sowie 2021 am 25.05., 14.07. und 06.09.

Eindringwiderstände

Bei den Eindringwiderständen zeichnete sich für die Fläche D06 eine ähnliche Entwicklung ab, wie bereits für D04 beschrieben. Die Minima der Wasserstände im Sommer nahmen bis zum nassen Jahr 2021 ab, d.h. die Sommerwasserstände fielen immer höher aus, während die Eindringwiderstände im gleichen Zeitraum stetig zu niedrigeren Werten tendierten, mit den niedrigsten Werten im nassen Jahr 2021 (Abbildung 12). Eine Beeinträchtigung der Befahrbarkeit auf Versuch D06 wurde allerdings nicht festgestellt.

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

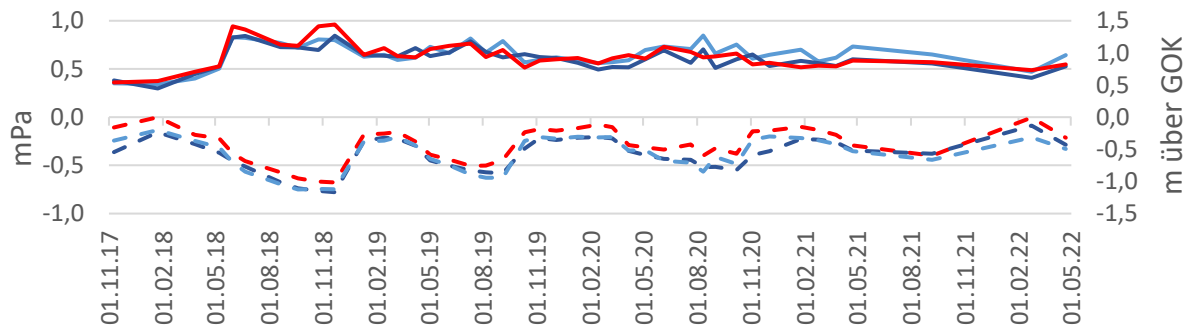


Abbildung 12: Wasserstände und Eindringwiderstände auf D06 Eindringwiderstände im Mittel über den Tiefenabschnitt 5 bis 20 cm des Bodens und Wasserstände im Boden, bezogen auf den Median der Geländehöhe. Eindringwiderstände: durchgezogene Linien, Wasserstände: gestrichelte Linien. Hellblau: Anstau_E1-S, Dunkelblau: Anstau_E2-S, rot: entwässerte Referenzfläche. Es sind nur die Flächen mit Altnarbe südlich des Grabens dargestellt. GOK – Geländeoberkante.

Demonstrationsversuch 13

Auf dem Demonstrationsversuch D13 wurden am 03.09.2021 im nördlichen und südlichen Graben jeweils drei Staue durch Erdverwallungen mit Knickrohr-Überläufen eingerichtet. Die Überläufe wurden auf 0,3 m unter mittlerer Geländehöhe der im Zufluss liegenden Teilfläche eingestellt. Es zeigte sich, dass sich die Gräben in der Regel nicht bis zum Überlauf füllten, was auf einen Kontakt der Grabensohle mit dem Grundwasser hinweist. Lediglich an Tagen mit Niederschlägen kam es kurzzeitig zu einem Anstieg des Grabenwasserstandes bis auf Höhe der Überläufe. Andererseits waren die Gräben stets gefüllt, was auf einen Zufluss aus dem Grundwasser hinweist.

Es wurden auf der Versuchsfläche und auf zwei südlich („Referenz“) und östlich („D14“) gelegenen Nachbarflächen Grabenwasserstände, Moorwasserstände (Stauwasserstand im Torf) und Grundwasserstände aufgezeichnet. Der Aufbau des Versuchs und die Lage der Messstellen sind in Abbildung 67 im Anhang 2 zu sehen.

Für eine abschließende Auswertung ist die Zeitreihe der Wasserstandsdaten nach Stau-einrichtung noch zu kurz (Abbildung 63 im Anhang 2). Dennoch soll hier eine erste Einschätzung der vorhandenen Daten vorgenommen werden:

Grabenwasserstände

Mit dem Grabenanstau (Messstellen D13, Ebenen 1 bis 3, jeweils im Nord- und Südgraben) wurden im Mittel des Winterhalbjahres 2021/22 Grabenwasserstände zwischen 0,18 und 0,43 m unter Geländeoberkante eingestellt (Tabelle 6). Damit lagen die mittleren Winterwasserstände der Gräben im Winterhalbjahr 2021/22 im Bereich der Ebene 1 0,43 m, der Ebene 2 0,46 m und der Ebene 3 0,27 m höher als im Winterhalbjahr 2020/21 (jeweils als Mittelwerte aus „Nord“ und „Süd“).

Tabelle 6: Grabenwasserstände am Standort D13 und D14 Mittelwerte in m über Geländeoberkante. SG – Neuer Schiffergraben. Für Sommer 2022 liegen Werte lediglich von 1. Mai bis 31. August vor.

Zeitraum	Referenz	SG	D13						D14
			Ebene 1		Ebene 2		Ebene 3		
			Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	
Sommer 21 (Mai-Aug.)	-0,64	-0,68	-0,61	-0,96	-0,59	-0,67	-0,51	-0,57	-0,75
Sommer 22 (Mai-Aug.)	-0,68	-0,83	-0,46	-0,64	-0,42	-0,44	-0,49	-0,51	-0,78
Sommer Differenz	-0,04	-0,15	0,15	0,32	0,18	0,23	0,02	0,05	-0,03
Winter 20/21	-0,61	-0,66	-0,60	-0,96	-0,67	-0,66	-0,58	-0,55	-0,74
Winter 21/22	-0,46	-0,67	-0,27	-0,43	-0,18	-0,23	-0,25	-0,35	-0,68
Winter Differenz	0,16	-0,02	0,33	0,52	0,49	0,42	0,33	0,20	0,06

Der Grabenwasserstand am östlichen Rand von D14 lag im Winterhalbjahr 2021/22 bei 0,68 m unter Geländeoberkante und damit lediglich 0,06 m höher als im Winterhalbjahr 2020/21. Der Unterschied kann auf den höheren Überschuss der klimatischen Wasserbilanz in 2021/22 (253 mm) im Vergleich zu 2020/21 (196 mm) zurückgeführt werden. Berücksichtigt man diesen witterungsbedingten Effekt, ergibt sich, dass durch den Anstau auf den 3 Ebenen eine zusätzliche Anhebung des Grabenwasserstandes um 0,21-0,40 m erzielt worden ist.

Auch für die Sommermonate, die hier nur bis zum 31.08. einbezogen werden konnten, ist ein Effekt des Grabenanstaus auf die Grabenwasserstände, vor allem auf den Ebenen 1 und 2, festzustellen. So waren die Grabenwasserstände im Sommer 2022 im Mittel aus Nord- und Südgraben auf Ebene 1 0,24 m, auf Ebene 2 0,21 m und auf Ebene 3 0,04 m

höher als im Sommer 2021, wohingegen der Referenzgraben leicht niedrigere Wasserstände in 2022 im Vergleich zu 2021 aufwies.

Inwieweit sich die Anhebung der Grabenwasserstände von D13 auf die Graben- und Moorwasserstände von D14 auswirken, ist im Anhang 4 dargestellt.

Flächen-/Moorwasserstände

Der Grabenanstau ist vor allem mit dem Ziel angelegt worden, die Sommerwasserstände auf der Fläche anzuheben. Um zu prüfen, ob dies gelungen ist, werden die mittleren Wasserstände im Zeitraum 01.05. bis 31.08. für die Jahre 2021 und 2022 gegenübergestellt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Moorwasserstände auf D13 und D14 Mittelwerte in m über Geländeoberkante.

Zeitraum	D13				D14
	Referenz	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	
Sommer 21 (Mai-Aug.)*	-0,58	-0,56	-0,56	-0,52	-0,37
Sommer 22 (Mai-Aug.)*	-0,69	-0,64	-0,59	-0,58	-0,49
Sommer Differenz	-0,11	-0,08	-0,03	-0,06	-0,12
Winter 20/21	-0,29	-0,20	-0,34	-0,38	-0,24
Winter 21/22	-0,25	-0,11	-0,22	-0,26	-0,14
Winter Differenz	0,03	0,09	0,12	0,12	0,10
Jahr 21/22 (15.09.21-14.09.22)	-0,43	-0,32	-0,42	-0,39	-0,27

*Für Sommer 2022 liegen Werte lediglich von 1. Mai bis 31. August vor, so dass aus Gründen der Vergleichbarkeit auch für 2021 der Mittelwert über diesen Zeitraum ermittelt wurde.

Auf den Ebenen 1 bis 3 fiel der Moorwasserstand in den Sommermonaten 2022 mit 0,58 bis 0,64 m unter Geländeoberkante 0,03 bis 0,08 m tiefer aus als im Sommer 2021. Bei der Referenz war der Wasserstand in 2022 0,11 m tiefer und bei der Fläche D14 0,12 m tiefer als im Vorjahr. Der Sommer 2021 war mit einem Überschuss der klimatischen Wasserbilanz von +126 mm überdurchschnittlich nass, der Sommer 2022 dagegen mit einem Wasserdefizit von -120 mm eher trocken (Kap. 5.1.2). Dass die Moorwasserstände in den Anstauerebenen zwischen 2021 und 2022 etwas weniger abgefallen sind als in der Referenz

oder auf der Beweissicherungsfläche, kann als Effekt des Anstaus interpretiert werden. Es ergibt sich eine relative mittlere Anhebung des Moorwasserstandes durch den Anstau um 0,03 bis 0,08 m.

Da am Standort D13 derzeit noch keine Messwerte für ein vollständiges Kalenderjahr nach Umsetzung der Maßnahmen zur Verfügung stehen, wurden Mittelwerte der Wasserstände in den 365 Tagen nach Einrichtung des Anstaus, für die Zeit vom 15.09.2021-14.09.2022, gerechnet. Im Mittel wurden Flächenwasserstände auf Ebene 1 von -0,32 m, Ebene 2 von -0,42 m und Ebene 3 von -0,39 m unter Geländeoberkante erreicht.

Grundwasserstände (im Mineralischen)

Es werden die mittleren Sommer-Grundwasserstände im Zeitraum 01.05. bis 31.08. für die Jahre 2021 und 2022 gegenübergestellt. Der Grundwasserstand wurde auf der Versuchsfläche im Mittel der oben festgelegten Sommermonate zwischen 2021 und 2022 auf Ebene 1 um 0,07 m und auf Ebene 2 um 0,03 m angehoben, während er auf Ebene 3 um 0,02 m abfiel. Im Mittel wurde der Sommer-Grundwasserstand um 0,03 m, angehoben. Auf der Referenzfläche fiel der mittlere Sommerwasserstand um 0,04 m ab, auf der Beweissicherungsfläche D14 stieg er um 0,03 cm an.

Im Winterhalbjahr wurde dagegen, vor allem unter den Ebenen 1 und 2, ein deutlicherer Effekt auf den Grundwasserstand erzielt. Dieser lag unter diesen beiden Ebenen bei Anstau 2022 0,27 bis 0,29 m höher als 2021, vor dem Anstau. Im Vergleich dazu betrug der rein klimatisch bedingten Unterschied zwischen den Jahren 0,16 m, jeweils gemessen unter der Referenz und unter D14.

Tabelle 8: Grundwasserstände auf D13 und D14 Mittelwerte in m über Geländeoberkante.

Zeitraum	D13				D14
	Referenz	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	
Sommer 21 (Mai-Aug.)*	-0,64	-0,58	-0,54	-0,51	-0,33
Sommer 22 (Mai-Aug.)*	-0,68	-0,52	-0,51	-0,53	-0,30
Sommer Differenz	-0,04	0,07	0,03	-0,02	0,03
Winter 20/21	-0,61	-0,52	-0,53	-0,50	-0,27
Winter 21/22	-0,46	-0,23	-0,26	-0,32	-0,11
Winter Differenz	0,16	0,29	0,27	0,18	0,16

*Für Sommer 2022 liegen Werte lediglich von 1. Mai bis 31. August vor, so dass aus Gründen der Vergleichbarkeit auch für 2021 der Mittelwert über diesen Zeitraum ermittelt wurde.

Geländehöhen

In Tabelle 9 ist die Höhenänderung auf D13 von 2020 bis 2022 zu sehen. Im Mittel war auf der Fläche eine Sackung von etwa 0,04 m in 2 Jahren, davon 1 Jahr mit Anstau zu verzeichnen.

Tabelle 9: Höhenänderung auf D13 von September 2020 bis September 2022 (in m). Positive Werte zeigen Höhenzunahme, negative Höhenabnahme. MW – Mittelwert; N – Anzahl der Messungen.

Versuch	Variante	MW	5% Quantil	95% Quantil	N
D13	Ebene 1	-0,03	0,01	-0,07	57
D13	Ebene 2	-0,04	-0,01	-0,07	56
D13	Ebene 3	-0,04	-0,01	-0,07	62

Eindringwiderstände

Das Versuchsfeld auf Niedermoorboden zeigte eine bemerkenswerte Konstanz in den Eindringungswiderständen. Die Mittelwerte lagen sowohl in 2021, als auch in 2022 über 0,5 mPa. Im trockenen Sommer 2022 waren sie mit Werten über 1 mPa besonders hoch. Über den gesamten Zeitraum lagen die Werte der drei Anstauerebenen dabei durchgehend nahe beieinander (Abbildung 13).

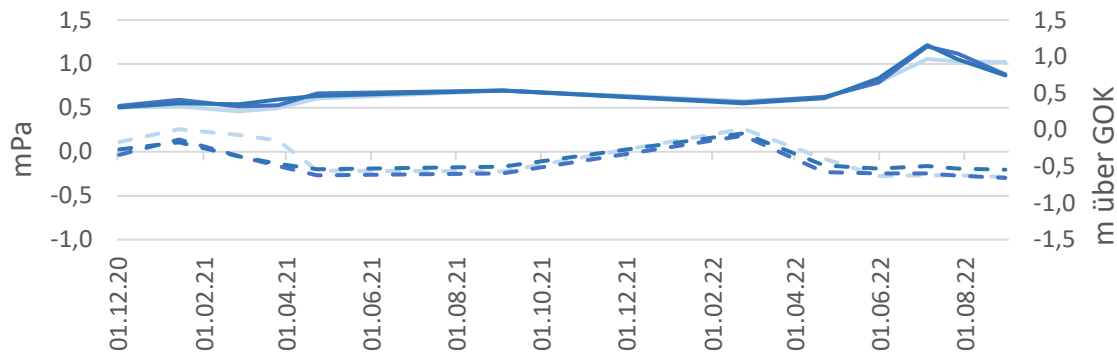


Abbildung 13: Moorwasserstände und Eindringwiderstände auf D13 Eindringwiderstand als Mittelwert über den Tiefenbereich in 5 bis 20 cm, Höhe der Wasserstände im Boden, bezogen auf den Median der Geländehöhe. Eindringwiderstände: durchgezogene Linien, Wasserstände: gestrichelte Linien. Hellblau: Anstau_Ost, Blau: Anstau_Mitte, Dunkelblau: Anstau_West. Es sind nur die Flächen mit Altnarbe auf der Südseite des Grabens dargestellt. GOK – Geländeoberkante.

5.1.4 Ergebnisse der Demonstrationsversuche mit Unterflurbewässerung

Demonstrationsversuch 05

Auf der Versuchsfläche zur Unterflurbewässerung D05 wurden Mitte 2017 zunächst Wehre in dem angrenzenden Vorfluter installiert. Die Förderung und Einleitung von Zusatzwasser begann Mitte 2018, so dass die Moorwasserstände ab Oktober 2018 in etwa das Zielniveau erreicht haben. Neben der Unterflurbewässerung wurde eine Referenzfläche ohne Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung mit gleicher Bewirtschaftung eingerichtet.

Wasserstände und Raten der Wasserzufuhr

Die Maßnahme hat dazu geführt, dass die Grabenwasserstände durch die Zufuhr von Grundwasser ganzjährig gleichmäßig hochgehalten werden konnten (siehe Tabelle 8). Seit 2019 wurde ein mittlerer jährlicher Grabenwasserstand von 0,26 bis 0,30 m unter Geländeoberkante eingestellt. Der Grabenwasserstand an der Referenzfläche lag mit 0,92 bis 1,03 m unter Geländeoberkante deutlich tiefer.

Die Moorwasserstände wurden durch die Unterflurbewässerung auf Jahresmittelwerte zwischen 0,25 und 0,35 m unter Geländeoberkante eingestellt. Der mittlere Moorwasserstand lag hier in allen Jahren über dem der Referenzfläche, im Mittel der Jahre allerdings

lediglich um 0,05 m. Ein Zielwasserstand von 0,30 m unter Geländeoberkante wurde durch die Unterflurbewässerung knapp erreicht und im relativ nassen Jahr 2021 auch überschritten. Die recht geringe Wasserstandsanhhebung durch die UFB im Vergleich zur Referenzfläche ist auf die hohen Wasserstände auf der Referenzfläche zurückzuführen. Hier liegen die Moorwasserstände im Gesamtmittel bei 0,36 m unter Geländeoberfläche und damit deutlich über dem Niveau anderer nicht vernässter Flächen im Gebiete (Tabelle 12) mit 0,52-0,78 m unter Geländeoberfläche.

Die Sommerwasserstände wurden in den Jahren 2019 und 2021 im Vergleich zur Referenz deutlicher, im Mittel der Jahre um 0,12 m, angehoben. Im Sommer 2020 war der Unterschied nur sehr gering. Wühlgänge von Mäusen könnten zu horizontalen Dränverlusten geführt haben.

Die Fördermengen lagen in den trockenen Jahren 2018 bei 354 mm mit Spitzen im Spätsommer, 2019 bei 424 mm mit recht gleichbleibenden Fördermengen über den Sommer, 2020 bei 271 mm mit Spitzen im Frühsommer und im nasseren Jahr 2021 bei nur 90 mm mit ebenfalls gleichbleibend niedrigen Fördermengen bis Mitte August. Eine detaillierte Darstellung der Wasserstandsganglinien und Förderraten ist im Anhang 2 in Abbildung 64 zu finden.

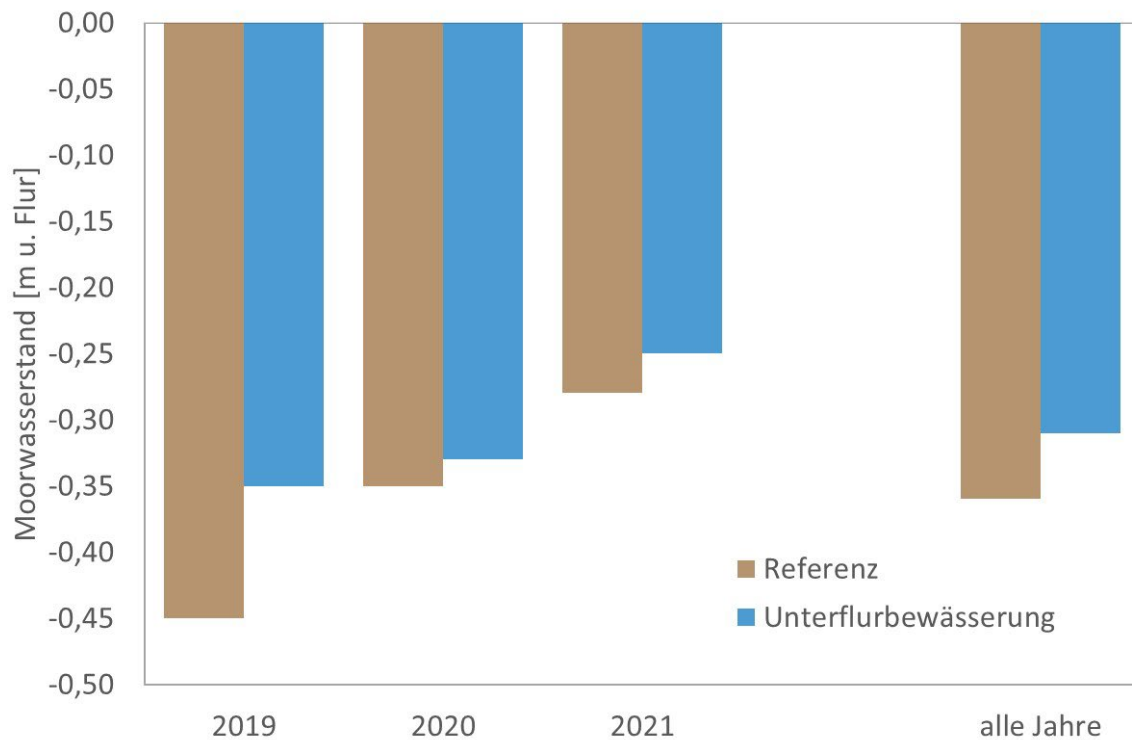


Abbildung 14: Moorwasserstände auf D05. Mittelwerte nach Jahren und über alle Jahre für Unterflurbewässerung und unvernässte Referenz

Geländehöhen

Auf der Versuchsfläche D05 haben die gemessenen mittleren Höhen auf der Fläche der Unterflurbewässerung wie auch auf der Referenzfläche zugenommen. (Tabelle 10).

Tabelle 10: Höhenänderung auf D05 von Dezember 2016 bei der Fläche der UFB bzw. Oktober 2019 bei der Referenzfläche bis März 2022 (in m). Positive Werte zeigen Höhenzunahme, negative Höhenabnahme. MW – Mittelwert; UFB – Unterflurbewässerung; N – Anzahl der Messungen.

Versuch	Variante	MW	5% Quantil	95% Quantil	N
D05	UFB	0,04	0,39	-0,37	66
D05	Referenz	0,06	0,24	-0,12	55

Erträge

Auf den Flächen des Versuchs D05 wurde eine Wiesennutzung mit vier Schnitten praktiziert und bedarfsgerecht gedüngt. In allen Untersuchungsjahren wurden 4 Schnittnutzungen vorgenommen. Die Unterflurbewässerung hat in jedem Jahr höhere Erträge erzielt als die Referenz. In den besonders trockenen Jahren 2019 und 2020 hat die Wasserzufuhr der Unterflurbewässerung einen deutlichen Einfluss auf die Erträge gehabt und für einen besonders großen Unterschied zwischen den Varianten geführt. Anders als in den Grabenanstauversuchen, waren die Erträge bei der Unterflurbewässerung in D05 in den trockenen Jahren 2019 und 2020 höher als in dem nassen Jahr 2021. 2018 war ebenfalls sehr trocken und es wurde versuchstechnisch erst Mitte des Jahres mit der Zufuhr von Wasser begonnen, weswegen sich der Unterschied hier vor allem bei den späteren Schnitten bemerkbar machte (Abbildung 15).

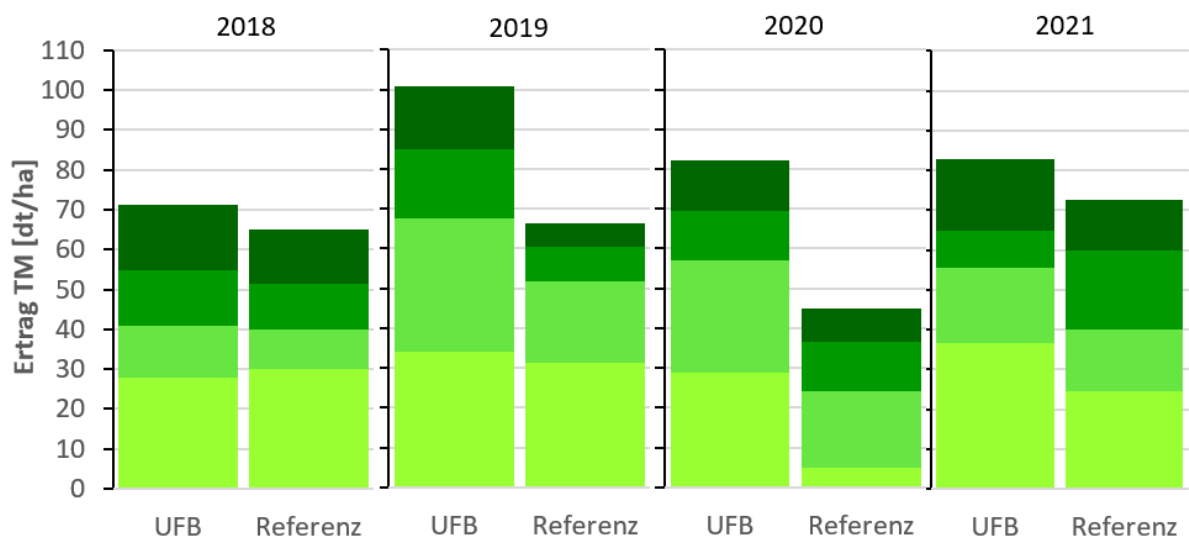


Abbildung 15: Trockenmasseerträge (TM) nach Schnitt auf D05 4-Schnittnutzung von 2018 bis 2021. Schnitttermine: 2018: 19.05., 20.06., 03.08. und 18.09.; 2019: 23.05., 28.06., 12.08. und 21.09.; 2020: 25.05., 07.07., 01.09., 14.10.; 2021: 27.05., 14.07., 01.09. und 08.10.

Eindringwiderstände

Die Eindringwiderstände lagen 2022, im Gegensatz zu den Vorjahren in 2021 und 2022, dicht beieinander. Dabei blieben sowohl die Werte der Unterflurbewässerung, als auch

der Referenzparzelle im Mittel durchgehend unter 0,5 mPa, was auf eine schlechte Befahrbarkeit mit schweren Maschinen hinweist (Abbildung 19). Dies ging einher mit konstant hohen Wasserständen seit 2021, welche auf der Versuchs- und Referenzfläche ähnliche Werte zeigten. Für die Referenz könnten die trotz etwas tieferer Wasserstände ebenfalls niedrigen Eindringwiderstände auf die Neuansaat im Jahr 2020 zurückzuführen sein. Dadurch kommt es zu einem Mangel an Wurzelmasse, die für die Tragfähigkeit des Bodens relevant ist und somit zu niedrigeren Eindringwiderständen.

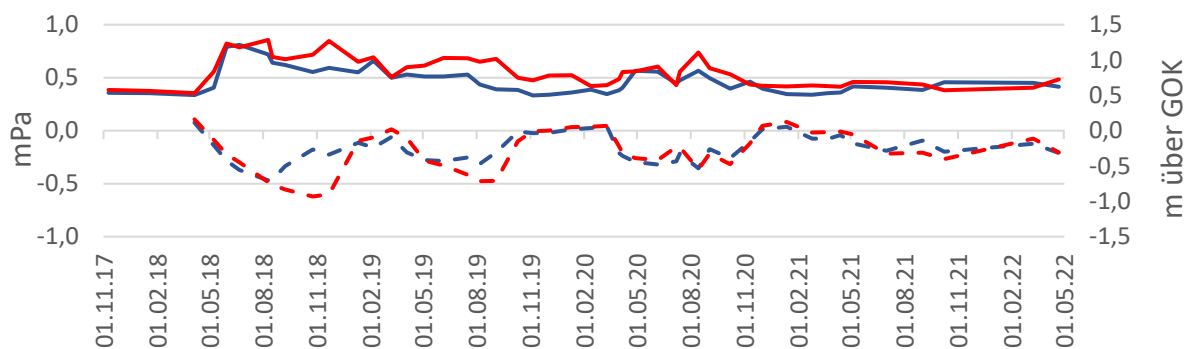


Abbildung 16: Moorwasserstände und Eindringwiderstände auf D05 Eindringwiderstände als Mittelwert über die Tiefe 5 bis 20 cm, Wasserstände im Boden, bezogen auf den Median der Geländehöhe. Eindringwiderstände: durchgezogene Linien, Wasserstände: gestrichelte Linien. Blau: Unterflurbewässerung, rot: entwässerte Referenzfläche. GOK – Geländeoberkante.

Demonstrationsversuch 07

Der Demoversuch D07 besteht aus einer Unterflurbewässerung mit Wasserzufuhr über einen eingestauten Graben. Grabenabwärts ist ortsnah eine Kontrollvariante ohne Grabeneinstau und freiem Grabenabfluss angelegt. Mitte 2017 wurden Wehre in den Vorfluter eingebracht und Mitte 2018 mit der Förderung und Einleitung von Zusatzwasser begonnen.

Wasserstände und Wasserzufuhr

Die Unterflurbewässerung auf der Versuchsfläche D07 hat dazu geführt, dass die Grabenwasserstände im Vergleich zur Referenzfläche durch die Wasserzufuhr im Sommerhalbjahr deutlich angehoben werden konnten. So lagen die Grabenwasserstände im Sommer der Jahre 2019 und 2020 teilweise über denen im Winter (siehe Tabelle 10).

Die mittleren Moorwasserstände wurden durch die Unterflurbewässerung, besonders in den trockenen Jahren 2019 und 2020, ebenfalls deutlich um bis zu 0,35 m angehoben, so dass im Mittel der Jahre ein Wert von 0,22 cm unter Geländeoberfläche erreicht wurde.

Für 2018 ergab sich eine Fördermenge von 296 mm mit keinen nennenswerten Spitzen, 2019 lag sie bei 299 mm mit Spitzen zum Ende der Förderperiode, 2020 bei 323 mm mit vermehrter Förderung im Frühsommer und 2021 bei nur 57 mm mit gleichbleibend niedrigen Förderraten. Eine detaillierte Darstellung der Wasserstandsganglinien und Förderraten ist im Anhang 2 in Abbildung 65 dargestellt.

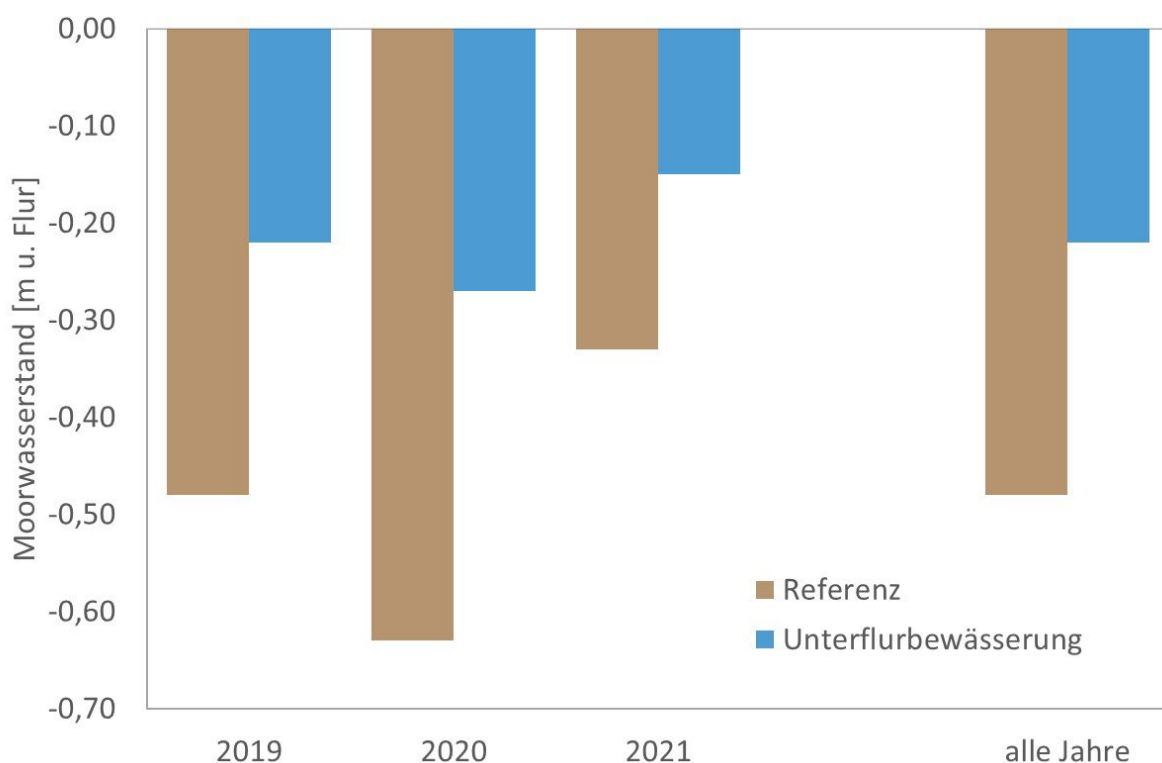


Abbildung 17: Moorwasserstände auf D07. Mittelwerte nach Jahren und über alle Jahre für Unterflurbewässerung und unvernässte Referenz.

Geländehöhen

Auf der Versuchsfläche D07 war die Sackung zwischen 2017 und 2022 bei der Unterflurbewässerung deutlich geringer als bei der Referenz. Die Höhenänderungen verliefen nicht linear. Zwischen 2017 und Ende 2019 war eine deutliche Höhensackung von 6 cm zu verzeichnen, was auf die starke Trockenheit in 2018 zurückzuführen ist. Im Jahr 2022 konnte eine mittlere Höhenzunahme um 3 cm gemessen werden, was auf die nasseren Verhältnisse im Jahr 2021 zurückzuführen ist. Auf der Referenzfläche war der Verlauf ähnlich, allerdings mit einer Sackung von 16 cm Anfang 2019 und einer Anhebung der Geländehöhen um 2 cm seit Mitte 2019 (Tabelle 11).

Tabelle 11: Höhenänderung auf D07 von Januar 2017 bis März 2022 (in m). Positive Werte zeigen Höhenzunahme, negative Höhenabnahme. MW – Mittelwert; N – Anzahl der Messungen.

Versuch	Variante	MW	5% Quantil	95% Quantil	N
D07	UFB	-0,02	0,02	-0,07	28
D07	Referenz	-0,13	-0,08	-0,19	40

Erträge

Die Bewirtschaftung des Versuchs D07 erfolgte mit einer Nutzung von drei bis vier Schnitten und einer bedarfsgerechten Düngung. Der Einfluss der Trockenheit in den Jahren auf die Erträge ähnelt den Beobachtungen zum Grabenanstau D06. Für die trockenen Jahre 2019 und 2020 wurden niedrigere Erträge ermittelt, während besonders im nassen Jahr 2021 deutlich höhere Erträge gemessen wurden. Der Vergleich der Varianten zeigte in den ersten beiden Jahren höhere Erträge für die Unterflurbewässerung und in den letzten beiden Jahren höhere Erträge für die Referenz. Dieser Einbruch der Erträge ab 2020 ist auf einen Durchbruch der Grasnarbe bei der Unterflurbewässerung zurückzuführen, welcher die Ernte erschwerte (Abbildung 18).

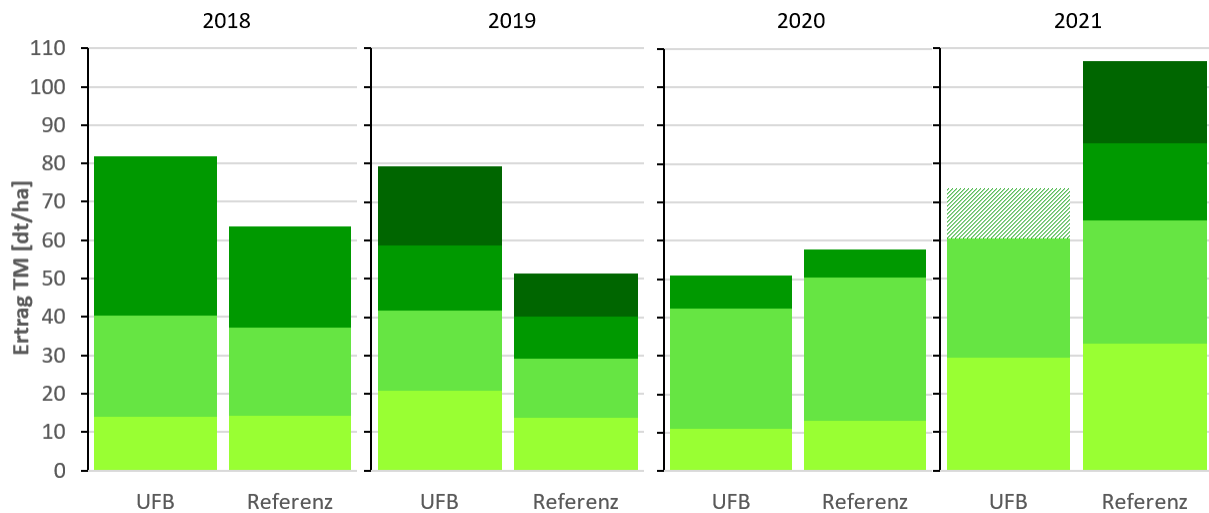


Abbildung 18: Trockenmasseerträge (TM) nach Schnitten auf D07. Werte UFB als Mittelwerte aus drei Teilflächen, Referenz als eine Fläche. Schnitttermine: 2018: 12.05., 29.06., 29.09.; 2019: 10.05., 18.06., 01.08., 20.10.; 2020: 25.05., 07.07., 27.08.; 2021: 27.05./09.06., 01.07./01.08., 26.08./15.10.; 22.09.

Eindringwiderstände

Der Versuch D07 zeigte auch für das Jahr 2021 einen merkbaren Unterschied zwischen den Eindringwiderständen der Referenz und denen der Unterflurbewässerung. Bei der Unterflurbewässerung wurden niedrigere Werte gemessen als auf der Referenzfläche. (Abbildung 19).

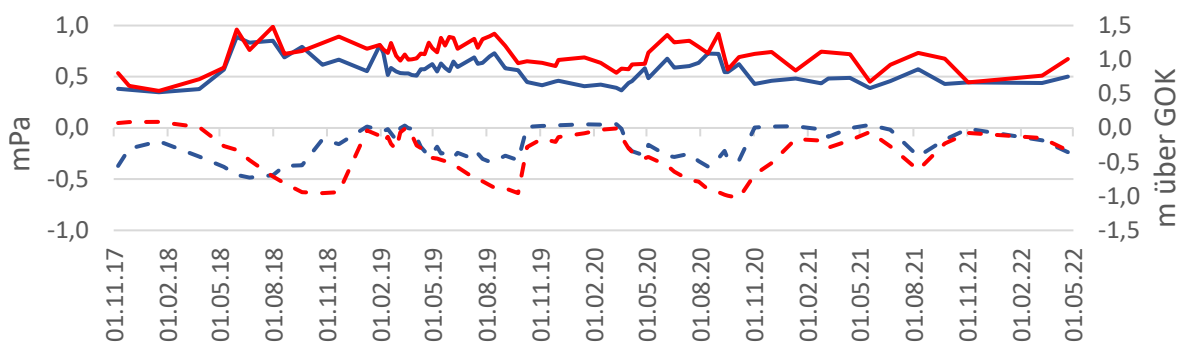


Abbildung 19: Moorwasserstände und Eindringwiderstände auf D07 Eindringwiderstände als Mittel über den Tiefenbereich 5 bis 20 cm Wasserstände im Boden, bezogen auf den Median der Geländehöhe. Eindringwiderstände: durchgezogene Linien, Wasserstände: gestrichelte Linien. Blau: Unterflurbewässerung, rot: entwässerte Referenzfläche. GOK – Geländeoberkante.

5.1.5 Ergebnisse der Demonstrationsversuche ohne wasserregulierende Maßnahmen

Graben- und Moorwasserstände

Auf den Versuchen zur angepassten Grünlandnutzung (D01, D02, D03 und D09) dienen die Gräben allein der Entwässerung und die Moorwasserstände werden nur von der klimatischen Wasserbilanz und den Torfeigenschaften bestimmt. Die Zeitpunkte, zu denen das Abfallen der Moorwasserstände im Frühling und der Anstieg im Herbst einsetzten, variierten zwischen den Jahren, wobei nicht nur die klimatische Wasserbilanz des aktuellen Monats, sondern auch die der vergangenen Monate wichtig waren. Nach dem niederschlagsreichen Jahr 2017 sanken die Moorwasserstände erst ab Mitte April 2018. Nach dem sehr trockenem Jahr 2018 hingegen sanken die Wasserstände bereits im März 2019. Der herbstliche Anstieg der Moorwasserstände erfolgte 2018 erst im Dezember, dem zweiten nassen Monat des Jahres nach dem Januar. Im Herbst 2019 dagegen stiegen die Moorwasserstände schon Ende September wieder an, als andauernde Niederschläge einsetzten und den Oktober über anhielten. Durch hohe Niederschläge vor allem im Februar 2020 stiegen die Moorwasserstände fast wieder auf das Niveau vom Winter 2017/2018. Die Wasserstände sanken auch im Jahr 2020 bereits im März und erreichten vergleichbare tiefe Wasserstände zum Jahr 2019. Im Winter 2020/2021 stiegen die Wasserstände nicht auf das Vorjahresniveau an und sanken auch bereits im Februar wieder. Im Sommer 2021 lagen die Wasserstände im Vergleich zu 2020 etwas höher. Im Winter 2021/2022 lagen die Werte ebenfalls über denen im Vorjahr, erreichten aber nicht das Niveau vom Winter 2019/2020. Im Jahr 2022 fielen die Wasserstände ab März wieder ab. Aus den gemessenen Werten lässt sich ablesen, dass sich die tiefsten Wasserstände gegen Sommerende bzw. Herbstanfang einstellten. Eine Übersicht der mittleren Wasserstände der Messjahre und -jahreszeiten ist in Tabelle 14 dargestellt.

Hervorzuheben ist die Ganglinie von D09, da die Messstelle ca. 30 cm neben einer Drainage liegt. Dies führt zu deutlich niedrigeren Winterwasserständen als an den Standorten D01, D02 und D03 in den Wintern 2018 bis 2022. Der Pegel auf dem Standort D03 wurde im Dezember 2020 abgebaut.

Die Ganglinien der Wasserstände sind im Anhang 2 in Abbildung 61 dargestellt.

Tabelle 12: Mittlere Moorwasserstände auf D01, D02, D03 und D09 in m über Geländeoberkante.n.e. – nicht ermittelt.

Zeitraum	Versuch D01	Versuch D02	Versuch D03	Versuch D09
Sommer 18	-1,04	-1,03	-0,64	-0,92
Winter 18/19	-0,74	-0,70	-0,54	-0,84
Sommer 19	-0,82	-0,91	-0,68	-0,94
Winter 19/20	-0,44	-0,30	-0,26	-0,70
Sommer 20	-0,91	-0,87	-0,84	-0,83
Winter 20/21	-0,50	-0,56	-0,71	-0,67
Sommer 21	-0,72	-0,71	n. e.	-0,78
Winter 21/22	-0,45	-0,43	n. e.	-0,60
Jahr 2018	-0,81	-0,83	-0,43	-0,79
Jahr 2019	-0,66	-0,66	-0,52	-0,84
Jahr 2020	-0,70	-0,64	-0,62	-0,77
Jahr 2021	-0,59	-0,59	n. e.	-0,71
Alle Jahre	-0,69	-0,68	-0,52	-0,78
Alle Winter	-0,53	-0,50	-0,50	-0,70
Alle Sommer	-0,87	-0,88	-0,72	-0,87

Gräserversuche

Eine Reihe von Saatgutmischungen (Tabelle 15) wurden darauf getestet, wie sie sich sowohl für entwässerte Hochmoorböden eignen, als auch auf jenen mit passivem und aktivem Wassermanagement. Die Gräsermischungen wurden in gleichmäßigen Abständen zu Gräben ausgebracht, um die Einflüsse der Feuchtigkeit und der Gräsermischungen voneinander zu entkoppeln. Die Düngung entsprach auf diesen Flächen dem Nährstoffbedarf des Aufwuchses und des Schnittregimes. Hierbei reichten die Schnittnutzungen von einem bis vier Schnitten, bei einigen Versuchen fand eine zusätzliche Weidenutzung statt. Bei den Versuchen D01 und D11 handelt es sich um die extensiven Versuche mit geringer Schnittnutzung und D02 und D09 beinhalteten Weidenutzung.

Tabelle 13: Gewichtsanteile der Arten in den Saatgutmischungen. (GI1: diploide Weidelgräser GI2: tetraploide Weidelgräser).

	Gestaffelter Rohrschwingelanteil						Intensiv					Extensiv		
	01	02	03	04	05	06	08	11	GI1	GI2	GI3/09	GE1/07	GE2/10	GE3
Rohrschwingel		20	40	60	80	100	40		30	50		50		
Wiesenschwingel							10				20		20	43
Knaulgras							5		15	15		40		
D. Weidelgras früh	100	80	60	40	20		35	90			13		5	
D. Weidelgras mittel									15	15	20	10	5	
D. Weidelgras spät									15	15	20		6	
Wiesenlieschgras							10	10	15	15	17		24	17
Wiesenschweidel									10	10				
Wiesenrispe											10		20	16
Rotschwingel													20	
Wiesenfuchsschwanz														7
Weißes Strausgras														3
Weißklee														7

Demonstrationsversuche 01 und 02

Während diese beiden Versuche noch zu Beginn einer ähnlichen Entwicklung folgten, beschrieb der Abschlussbericht 2021 bereits einen Wandel seit der Dürre und dem Mäusebefall 2018/2019. In den Jahren 2019 und 2020 gab es auf D01 ein schwaches Erstarken des Rohrschwingels in den Mischungen v1-v5 und ein deutlich signifikanteres Erstarken auf v6-v8, während v9-v11 vor allem vom wolligen Honiggras dominiert wurden. Im Jahr 2022 zeigte das wollige Honiggras auf allen Parzellen eine deutliche Dominanz. Die einzigen Gräser, die in der Artenbonitur teils noch ein oder zwei Prozente, oder zumindest vereinzelte Horste aufweisen konnten, waren der Rohrschwingel und das Knaulgras (Abbildung 22). Für das Jahr 2021 stehen keine Daten zu den Anteilen der Gräser zur Zeit des ersten Schnittes zur Verfügung.

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

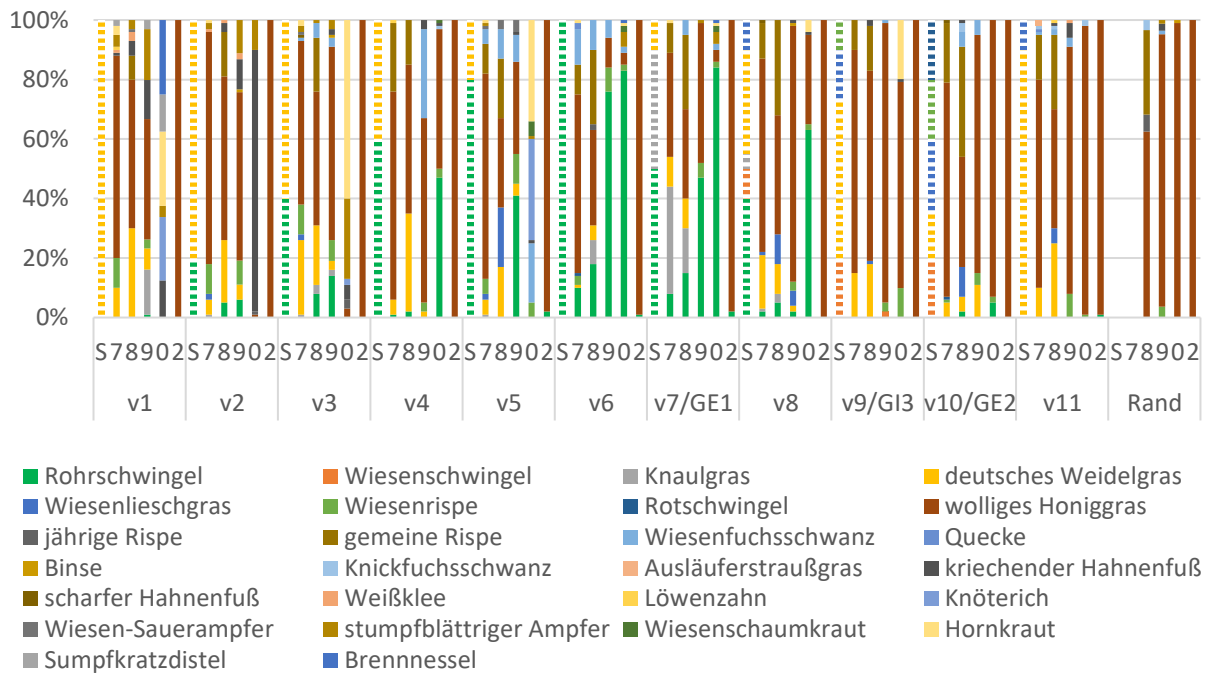


Abbildung 20: Anteil der Grasarten am Trockenmasseertrag auf D01 Dargestellt sind die Ergebnisse zum ersten Schnitt für die Mischungen v1 bis v11. Jahreszahlen sind abgekürzt (S = Saat, 7 = 2017 usw.). Der Anteil der Grasarten an der Saadmischung in Gew.-% ist jeweils gestrichelt dargestellt.

Auf der Fläche D02 mit mehr Schnitten und einer stärkeren Düngung war in 2021 auf einigen Parzellen (v8-v11) ein Erstarren des wolligen Honiggrases zu beobachten, jedoch ging dieser Trend im Jahr 2022 deutlich zurück. Der Rohrschwengel nahm auf den meisten Parzellen von v1-v8 zu, während die restlichen Parzellen überwiegend vom wolligem Honiggras und deutschem Weidelgras bewachsen waren. Auf v9 war der Anteil vom deutschen Weidelgras in 2022 geringer als das wollige Honiggras, während es auf v10 und v11 umgekehrt war (Abbildung 23).

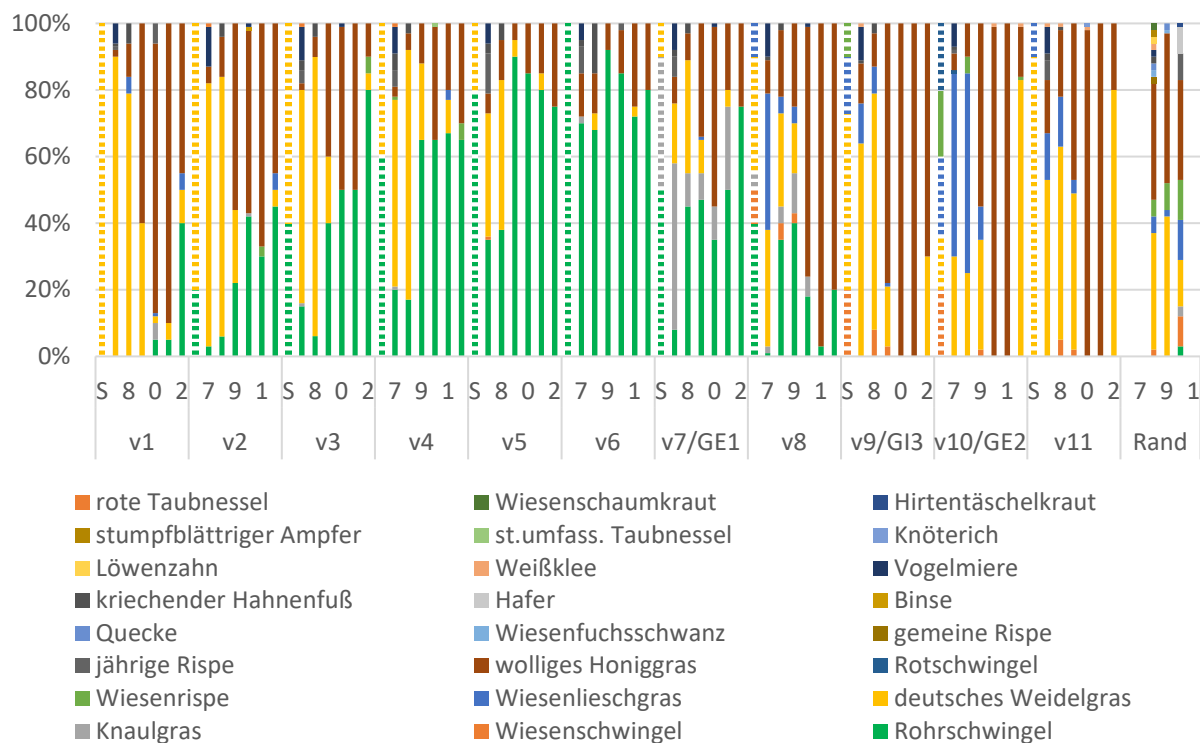


Abbildung 21: Anteil der Grasarten am Trockenmasseertrag auf D02. Dargestellt sind die Ergebnisse zum ersten Schnitt für die Mischungen v1 bis v11, sowie die Referenz (Rand). Jahreszahlen sind abgekürzt (S = Saat, 7 = 2017 usw.). Der Anteil der Grasarten an der Saadmischung in Gew.-% ist jeweils gestrichelt dargestellt.

Düngerexperiment 03

Der Versuch wurde mit drei bis fünf Schnitten und einer vorgeschriebenen Düngung bewirtschaftet. Bei den Düngungsvarianten handelt es sich um eine ungedüngte Parzelle (Parzelle (X)) und zwei Varianten, die nach Bedarf mit Stickstoff gedüngt wurden. Jedoch hat eine Variante dies mit reiner Gülldüngung (Parzelle (M)) erfüllt und die andere Variante allein mit mineralischer Düngung (Parzelle (M)).

Bei den gesamten Erträgen der Versuchsfläche D03 ist der Einfluss der trockenen Jahre erkennbar. Die trockenen Jahre 2019 und 2020, wiesen die niedrigsten Erträge auf, während 2022 trotz Trockenheit hohe Erträge aufwies. Ab Ende 2018 kam noch eine Mäusekatastrophe hinzu, welche in Kombination mit der Trockenheit zu dem Ertragseinbruch im Jahr 2019 führte. Durch die verschiedene Düngung sind jedoch nicht alle Flächen gleichmäßig von der Trockenheit beeinflusst worden. Bereits zum Abschlussbericht 2021 war ein Trend ersichtlich, dass die Erträge der gedüngten Versuchsflächen wieder steigen.

Dieser Trend setzte sich in den Jahren 2021 und 2022 weiter fort, wohingegen die ungedüngte Parzelle (X) nach wie vor die niedrigsten Erträge aufweist. Jedoch ist hier keine konstante Abnahme der Erträge zu sehen. In 2022 ist sogar ein deutlicher Anstieg zu sehen, welcher mit einem generell ertragsstarken Jahr einhergeht. Seit 2021 ist eine Veränderung in dem Verhältnis zwischen den Erträgen der mit Mineraldünger gedüngten Parzelle (M) und der mit Gülle gedüngten Parzelle (G) eingetreten. Während die Parzelle M bis einschließlich 2020 die höchsten Erträge unter den Versuchspartzellen verzeichnete, waren ihre Erträge in den ersten beiden Schnitten 2021 vergleichsweise niedrig, normalisierte sich aber dann wieder in 2022. Seitdem generiert Parzelle G die höchsten Erträge unter den Versuchspartzellen. Hierbei war der Abstand zur Parzelle M nur gering, da diese in 2022 wieder einen hohen Ertrag erreichte. Im Jahr 2022 überragte die Parzelle G sogar die Referenzparzelle GR in allen Schnitten mit +4 % bis +14 % (Abbildung 24).

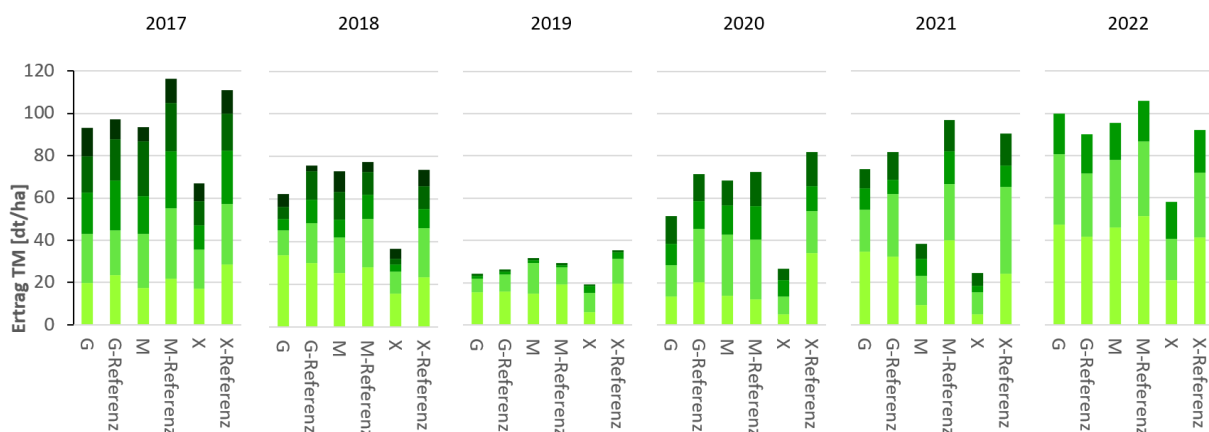


Abbildung 22: Trockenmasseerträge (TM) nach Düngung und Schnitt auf D03. 3-5-Schnittnutzung von 2017 bis 2022. Die Düngungsvarianten sind mit G (Gülledüngung), M (mineralische Düngung) und X (keine Düngung) bezeichnet. Schnitttermine: 2017: 21.05., 21.06., 31.07., 04.09., 01.11.; 2018: 22.05., 26.06., 07.08., 14.09., 02.11.; 2019: 17.05., 21.06., 22.08., 01.10.; 2020: 29.05., 10.07., 31.08., 15.10.; 2021: 25.05., 13.07., 30.08., 07.10.; 2022: 24.05., 02.07., 10.08., 05.10.

Weitere Gräserversuche (D06, D09 und D10)

Die weiteren Gräserversuche folgten in der Artenbonitur den bisherigen Entwicklungen, welche bereits im Abschlussbericht 2021 beschrieben wurden. Neben dem deutschen Weidelgras sind der Rohrschwengel, das Knaulgras und der Wiesenfuchsschwanz in diesen Mischungen weiterhin die bestandsbildenden Arten.

5.1.6 Fazit

Beim **Grabenanstau im Hochmoor** (D04 und D06) ist standortabhängig eine leichte Anhebung der mittleren Flächenwasserstände möglich, allerdings in einem Bereich, der sich nicht in einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bemerkbar machen dürfte (Kapitel 6). In trockenen Jahren kann eine Ertragsstabilisierung gegeben sein, d.h. die Trockenheit wirkt sich auf den Flächen mit Grabenanstau weniger in einer Ertragsdepression aus als ohne Grabenanstau. In nassen Jahren wurden, unabhängig von den Staumaßnahmen, die höchsten Trockenmasseerträge erwirtschaftet. Dies zeigt, dass Wasser in trockenen Jahren ertragsbegrenzend wirkt und ein effizientes Wassermanagement diesem entgegenwirken könnte.

Beim **Grabenanstau am Niedermoorstandort** ließen sich die mittleren Grabenwasserstände durch einfache Staueinrichtungen im Graben deutlich anheben. Die Moorwasserstände und der Grundwasserstände im Mineralischen wurden im Vergleich zu den nicht angestauten Nachbarflächen um wenige Zentimeter angehoben. Der mittlere jährliche Moorwasserstand nach Wasserstandsanhhebung lag bei 0,36 - 0,41 m unter Geländeoberkante und somit in einem Bereich, der nur geringe Auswirkung auf die THG-Emissionen erwarten lässt.

Durch die **Unterflurbewässerung** wurde eine starke Anhebung der Moorwasserstände, vor allem auch im Sommerhalbjahr, unter Einsatz von jährlich gut 300 mm Zusatzwasser erreicht. Im Hinblick auf eine großflächige Umsetzung kann angenommen werden, dass der Wasserbedarf infolge geringerer Randeffekte niedriger ist. Auch trat der hohe Wasserbedarf vor allem in den außergewöhnlich trockenen Jahren 2018 und 2019 auf, so dass auch hier für Normaljahre ein geringerer Wasserverbrauch angenommen werden kann. Die Anhebung der mittleren Flächenwasserstände auf höher als 0,3 m unter Geländeoberkante lässt rein rechnerisch eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 20 bis 40 % erwarten. Erste Ergebnisse von Messungen der Treibhausgasemissionen wurde im Projekt vorgenommen (Kap. 6). Mit der Anhebung der Moorwasserstände geht eine deutliche Ertragsstabilisierung einher. Die der Düngeplanung und damit der Düngung zugrundeliegenden Erträge werden auch tatsächlich erreicht, wie man v.a. in den Trockenjahren 2019 und 2020 erkennen kann. Auf einem von zwei Standorten gab es in einem nassen (2021)

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

von insgesamt vier betrachteten Untersuchungsjahren Probleme mit den späten Schnitten, so dass der vierte Schnitt, wegen eingeschränkter Befahrbarkeit mit herkömmlichen Maschinen, entfallen musste.

Die Düngeversuche haben gezeigt, dass im Hochmoorgrünland ohne Düngung deutliche Einbußen bei den Trockenmasseerträgen zu verzeichnen sind. Einflüsse auf die Futterqualität wurden nicht geprüft, sind aber auch zu erwarten.

5.2 Agrarstrukturelle Erhebung

Um die Teilgebiete mit dem höchsten Potential für Umsetzungskonzepte zu identifizieren, wurden die landwirtschaftlichen Betriebe innerhalb ausgewählter Teilgebiete befragt (Abschlussbericht 2021; AP8). Die Fragen zur Nutzung der Landwirtschaftsflächen, dem „Status Quo“ der Betriebe und der Bereitschaft zu neuen Maßnahmen geben Aufschluss darüber, wo die landwirtschaftlichen Strukturen einen nächsten Transformationsschritt am meisten begünstigen.

Durch die Fragen zur Erwerbsart, Größe und Flächennutzung wird die Agrarstruktur dargestellt. Darüber hinaus wird mit Fragen zu möglichen Wassermanagementmaßnahmen und alternativen Produkten, die auf den Flächen produziert werden könnten (neue Arten der Wertschöpfung durch eine nasse Bodennutzung), ein Fokus auf zukünftige Wirtschaftsweisen und den zukünftigen Umgang mit Wasser als Ressource gelegt.

5.2.1 Vorarbeit

Die Teilgebiete wurden aufgrund von Kriterien ausgewählt, die auf eine Eignung für betriebsübergreifende Wassermanagementmaßnahmen hindeuten. Hierbei waren sowohl der Zustand des Torfes relevant, als auch die Topographie und Hydrologie der Gebiete. Damit entstanden Teilgebiete von landwirtschaftlichen Flächen, welche sich beinahe über das gesamte Projektgebiet verteilen. Diese Teilgebiete umfassen 2.811 ha landwirtschaftlicher Fläche, in welcher die agrarstrukturelle Erhebung durchgeführt wurde. Im Südosten des Projektgebietes, südlich des Huvenhoopsmoores, hat sich nach diesen Kriterien kein geeignetes Teilgebiet ergeben.

5.2.2 Durchführung

Die Hofstellen der befragten Betriebe liegen nicht zwangsläufig im oder in den Teilgebieten des Projektgebietes. Dies ist vor allem bei den Landwirtschaftsflächen am Rande des Projektgebietes der Fall. Diese Flächen werden oft von Landwirtinnen und Landwirten der umliegenden Geest bewirtschaftet. Von schätzungsweise über 100 Betrieben mit mindestens einem Schlag in einem Teilgebiet wurden mit der Befragung die Daten von 25 Betrieben und 1453 ha (51,7 % der Landwirtschaftsfläche in Teilgebieten) erhoben (Abbildung 25). Die Erhebung deckt einen Großteil der Teilgebiete ab und bietet damit eine

Übersicht über Tendenzen und auch eine Vorlage, mit der Umsetzungskonzepte und Ansätze zur großflächigen Wasserstandanhebung erarbeitet werden können.

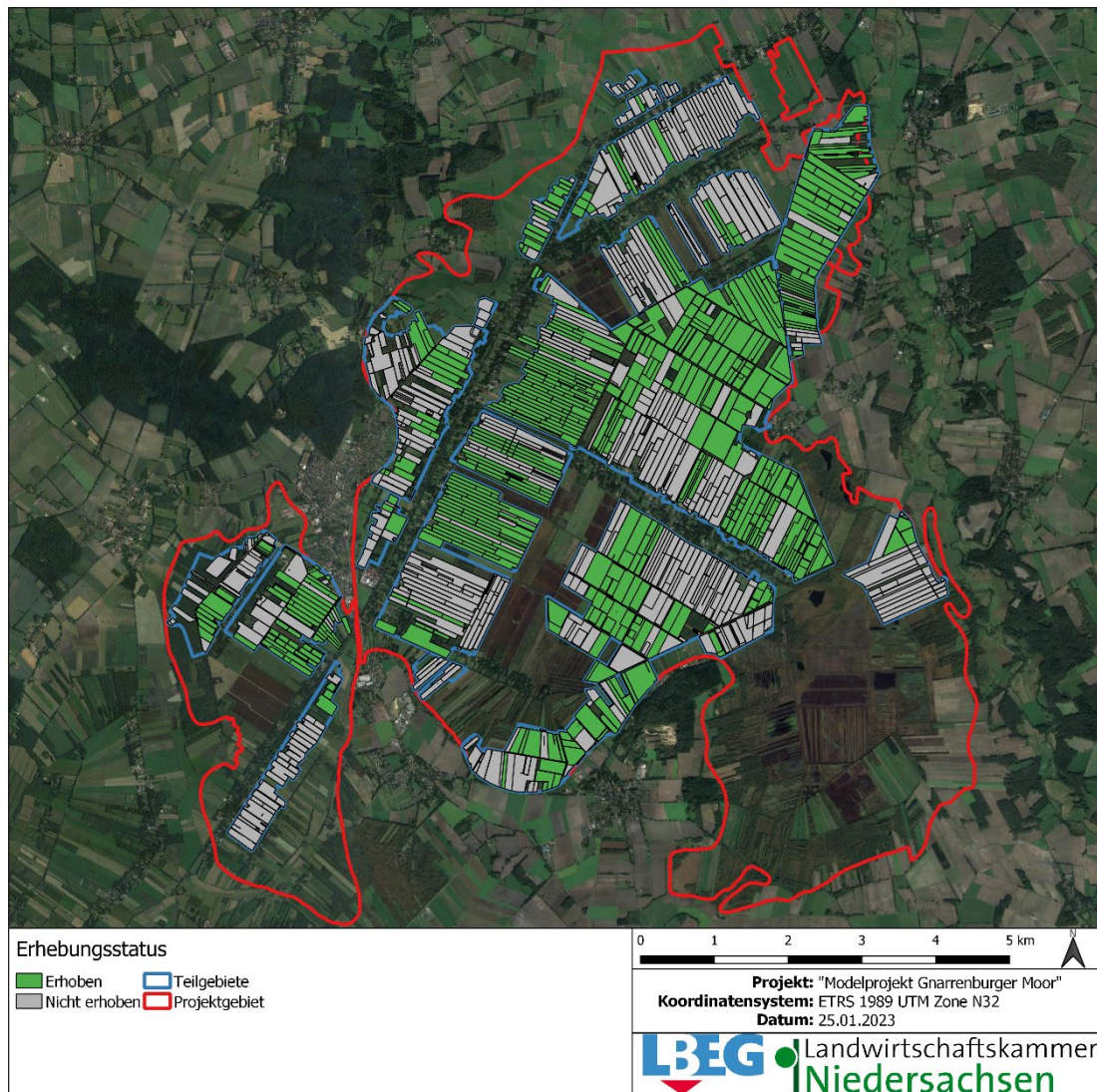


Abbildung 23: Schläge der befragten Betriebe.

Neben den Daten der agrarstrukturellen Erhebung, sind mit dem Einverständnis der Landwirtinnen und Landwirte auch die Daten aus der Agrarförderung für das Jahr 2021 genutzt worden. Außerdem wurden Daten der Landwirtschaftszählung des Landesamtes für Statistik Niedersachsen über den gesamten Landkreis Rotenburg (Wümme) und den Bezirk Lüneburg (2020) genutzt, um sowohl die Anzahl der Betriebe und ihre bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche, als auch die Daten zur Tierhaltung im Kontext der Region zu beleuchten.

Im Detail erfasst die Agrarstrukturelle Erhebung Daten über die Strukturen der Betriebe mit Betriebstypen, die Betriebsentwicklung und den Anteil an Moorböden. Darüber hinaus wurden die Flächen erfasst, mit den Größen des Zustandes, der Nutzung, der Intensität der Nutzung und dem Nährstoffhaushalt. Zuletzt wurde die Bereitschaft für wasserregulierende Maßnahmen und alternative, klimafreundliche Nutzungsmöglichkeiten der Flächen erfragt.

5.2.3 Strukturen der Landwirtschaftlichen Betriebe

Erwerbstyp und Betriebsgröße

Von den erhobenen Betrieben wirtschaften 84 % als Haupterwerbsbetriebe und 16 % als Nebenerwerbsbetriebe (Tabelle 16). Erwartungsgemäß bewirtschaften die Haupterwerbsbetriebe ein Mehrfaches der Fläche je Betrieb im Vergleich zu den Nebenerwerbsbetrieben mit 164,3 ha/Betrieb gegenüber 60,3 ha/Betrieb. Dieser Unterschied ist jedoch kleiner, wenn man die bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche pro Betrieb lediglich mit der bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche in den Teilgebieten vergleicht, mit 64,2 ha/Betrieb gegenüber 26,3 ha/Betrieb.

Insgesamt liegt die durchschnittliche bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche der erhobenen Haupt- und Nebenerwerbsbetriebe deutlich über den durchschnittlich bewirtschafteten Landwirtschaftsflächen pro Haupt- und Nebenerwerbsbetrieb im gesamten Bezirk Lüneburg.

Tabelle 14: Erwerbstyp und Landwirtschaftsfläche (LF) nach Befragung

	Haupterwerb		Nebenerwerb		Gesamt		Bezirk Lüneburg 2020²
	Gesamter Betrieb ¹ (1)	In Teilgebieten (2)	Gesamter Betrieb ¹ (1)	In Teilgebieten (2)	Gesamter Betrieb ¹ (1)	In Teilgebieten (2)	
Anzahl der Betriebe	21 (84%)		4 (16%)		25 (100%)		-
LF (ha)	3451,0	1348,0	241,0	-	3692,0	1453,2	125417,0
LF/Be-trieb (ha)	164,3	64,2	60,3	98,45	147,7	58,1	82,7
Anteil LF (2) an (1) (%)	39,1%		43,7%		39,4%		-

¹Enthält auch Flächen außerhalb des Projektgebietes

²Daten der Landwirtschaftszählung 2020 des Landesamtes für Statistik Niedersachsen (LSN)

Für Haupterwerbsbetriebe befindet sich durchschnittlich ein etwas geringerer Anteil ihrer bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche in den Teilgebieten (39,1 %), als für Nebenerwerbsbetriebe (43,7 %). Dies zeigt für Haupterwerbsbetriebe etwas stärker als für Nebenerwerbsbetriebe, dass diese mehr als die Hälfte ihrer bewirtschafteten Landwirtschaftsflächen außerhalb des Mooregebietes bewirtschaften. Dies ist daraus zurückzuführen, dass die umliegende Geestfläche besser als Ackerfläche geeignet ist und dementsprechend zum Anbau von Ackerkulturen, vor allem Silomais, genutzt wird. Nebenerwerbsbetriebe, welche weniger auf Silomais angewiesen sind, pachten oder kaufen außerhalb liegende Ackerflächen seltener dazu.

Tabelle 15: Anzahl und Anteil der Betriebe nach Landwirtschaftsfläche (LF). Einteilung nach Klassen der je Betrieb bewirtschafteten LF. Differenziert wird zwischen Haupt- und Nebenerwerbsbetrieb.

LF in Teilgebieten (ha)	Betriebe (Anzahl Haupterwerb/ Nebenerwerb)	Anteil der Betriebe (%)	LF (ha)	Anteil der LF (%)
0-10	0/0	0	0	0,0
>10-25	1/3	16	78,6	5,4
>25-50	9/1	40	366,5	25,2
>50-75	6/0	24	361,9	24,9
>75-100	2/0	8	176,8	12,2
>100-150	1/0	4	104,9	7,2
>150	2/0	8	364,5	25,1
Gesamt	21/4	100	1453,2	100

Keiner der erhobenen Nebenerwerbsbetriebe bewirtschaftet mehr als 50 ha in den Teilgebieten. Bei Haupterwerbsbetrieben hingegen liegen mehr als die Hälfte der Betriebe über dieser Schwelle. Diese Haupterwerbsbetriebe mit >50 ha bewirtschafteter Landwirtschaftsfläche in den Teilgebieten machen dabei 69,4 % der gesamten bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche der Erhebung aus (Tabelle 17). Dass zehn der Haupterwerbsbetriebe mit <50 ha in den Teilgebieten abgebildet sind, während die durchschnittliche Größe von Haupterwerbsbetrieben in der Region mehr als doppelt so groß ist, zeigt, dass nicht nur Betriebe mit einem Moorstandort betroffen sind, sondern auch landwirtschaftliche Betriebe in der Umgebung von Mooregebieten.

Tabelle 16: Zukunftsperspektive der Betriebe nach Betriebstypen.

	Haupt- erwerb (Anzahl)	Anteil der Be- triebe (%)	Neben- erwerb (Anzahl)	Anteil der Betriebe (%)
In jetziger Form fort- führen	15	71,4	3	75,0
In den Haupterwerb übergehen	-	-	0	0,0
In den Nebenerwerb übergehen	1	4,8	-	-
Aufgabe des Betriebes	2	9,5	0	0,0
Zukunft ungewiss	3	14,3	1	25,0
Gesamt	21	100	4	100

Während der Großteil der Haupterwerbsbetriebe auch in Zukunft ihre jetzige Erwerbsform fortführen wollen, gibt es einige Betriebe, für die das nicht zutrifft. Fast 30 % der Haupterwerbsbetriebe werden den Haupterwerb nicht zwangsläufig fortführen und zwei von diesen Betrieben gaben die Absicht an, aus der Landwirtschaft auszusteigen. Unter den Nebenerwerbsbetrieben gab nur einer der vier Betriebe an, dass seine Absichten für die Zukunft ungewiss sind, während drei weitere Betriebe angaben, dass sie auch weiterhin als Nebenerwerbsbetrieb wirtschaften werden (Tabelle 18).

Tabelle 17: Situation zur Leitung und Nachfolge des Betriebes nach Anzahl der Betriebe und Landwirtschaftsfläche (LF).

	Betriebe (-)	Betriebe (%)	LF Erhebung (ha)	LF Erhebung (%)	LF Teilge- biete (%)
Betriebsleiter <45 Jahre	8	32	505,5	34,8	18,0
Betriebsleiter >45 Jahre, Nachfolger vorhanden	9	36	622,5	42,8	22,1
Betriebsleiter >60 Jahre, Nachfolger nicht vorhanden	3	12	114,3	7,9	4,1
Betriebsleiter <60 Jahre, Nachfolger nicht vorhanden	3	12	133,2	9,2	4,7
Nachfolge unklar	2	8	77,7	5,3	2,8
Gesamt	25	100	1453,2	100	51,7

Für eine Weiterführung des Betriebes ist die Nachfolge wichtig. Ist sie gesichert, kann der Betrieb langfristig planen und wachsen. Bei knapp mehr als zwei Drittel der Betriebe (68 %) gilt die Weiterführung des Betriebs durch das junge Alter des Betriebsleiters (<45 Jahre) oder eine bereits vorhandene Nachfolge als gesichert. Diese Betriebe decken etwa 77,6 % der erhobenen Fläche ab. Unter den Betrieben, welche angegeben haben keinen Nachfolger zu besitzen, ist die Hälfte der Betriebsleiter bereits >60 Jahre, was die Weiterführung des Betriebes in Frage stellt (Tabelle 19).

Betriebsformen

Entsprechend des Standortes handelt es sich bei der Nutzung der Flächen überwiegend um Grünland. Daraus ergibt sich, dass die Landwirtschaftsflächen fast aller Betriebe zum Großteil dem Futterbau dienen. Zwei der Betriebe werden in ihrer Betriebsform als gemischt angesehen, da weitere Betriebszweige neben dem Futterbau einen erheblichen Beitrag zum Erwerb leisten (Tabelle 20).

Tabelle 18: Anzahl der Betriebe und Landwirtschaftsfläche (LF) nach Betriebsformen.

	Betriebe (Anzahl)	Betriebe (%)	LF Erhebung (ha)	LF Erhebung (%)
Futterbau	23	92	1377,5	94,8
Marktfrucht	0	0	0,0	0,0
Sonderkultur	0	0	0,0	0,0
Veredelung	0	0	0,0	0,0
Gemischte	2	8	75,7	5,2
Sonstige	25	100	1453,2	100

Tierhaltung

Passend zum Standort des Projektgebietes handelt es sich bei der Tierhaltung von 23 der 25 Betriebe um Rinderhalter. Davon 19 Betriebe betreiben Milchkuhhaltung mit Nachzucht (Tabelle 21). Darüber hinaus werden von den erhobenen Betrieben auch Mastschweine, Geflügel, Schafe/Ziegen und Pferde gehalten. Für viele von diesen Tierarten steht in den Teilgebieten die Hobby-Tierhaltung und der Eigenbedarf im Vordergrund.

Tabelle 19: Tierhaltung der erhobenen Betriebe.

	Stück (Anzahl)	Halter (Anzahl)	Anteil der Be- triebe (%)	Tiere je Halter (Anzahl)
Milchkühe	4683	19	76	246
Jungvieh (0-24 Monate)	3344	23	92	145
Rinder (über 24 Monate)	385	22	88	18
Mutterkühe	199	5	20	40
Mastschweine	*	1	4	*
Schafe/Ziegen	*	1	4	*
Pferde	20	6	24	3,3
Geflügel	*	4	16	*

*Aus Datenschutzgründen wird keine Angabe gemacht

Im Kontext des Landkreises haben die Milchviehbetriebe in der Erhebung mit 246 Milchkühen pro Betrieb eine überdurchschnittlich hohe Anzahl an Milchkühen. Aus der Landwirtschaftszählung des Landesamtes für Statistik Niedersachsen (2022) ergibt sich für den Landkreis Rotenburg (Wümme) eine durchschnittliche Anzahl von 129 Milchkühen pro Betrieb. Hiermit spiegelt die Erhebung die große Bedeutung der Milchviehhaltung

und des Futterbaus in der Region wider. Die Grünlandflächen sind für die Futtererwerbung von besonderer Bedeutung.

Besitz- und Nutzungsstruktur

Die Besitzstrukturen sind wichtig für zukünftige Maßnahmen des Wassermanagements. Über einen Eingriff in den Wasserhaushalt einer Fläche, kann ein Betrieb nur bei Eigentumsflächen selbst entscheiden. Da diese Maßnahmen langfristig vorgesehen sind, muss bei einer Pachtfläche neben dem Bewirtschafter auch der Eigentümer seine Bereitschaft zu möglichen Änderungen erklären.

Tabelle 20: Eigentumsverhältnisse nach Grünland und Acker. bezogen auf die Landwirtschaftsfläche (LF). Eine Fläche mit einer Nutzung, welche nicht unter Grünland oder Acker fällt, wird ignoriert, da es sich um weniger als 0,1% der Fläche in den Teilgebieten handelt.

	Eigentum (ha)	Pacht (ha)	Gesamt (ha)	Gesamt (%)
Grünland (ha)	486,2	677,9	1164,1	80,1
Acker (ha)	154,9	134,2	289,1	19,9
Gesamt (ha)	641,1	812,1	1453,2	100
Gesamt (%)	44,1	55,9	100	

Die Besitzstrukturen sind in der Erhebung stärker von der Pacht, als vom Eigentum geprägt. Mit 55,9 % der bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche der Erhebung ist die Pacht von großer Bedeutung (Tabelle 22). Die Pacht von Landwirtschaftsflächen ist heutzutage sehr wichtig für die Entwicklung von Betrieben, da sie die Hauptquelle von landwirtschaftlichem Wachstum darstellt.

Ein Teilziel der Erhebung ist es, Gebiete zu identifizieren, welche eine größere Ansammlung von Eigentumsflächen vorweisen, auf denen Landwirtinnen und Landwirte selbstständig über eine Anhebung des Grundwasserstandes entscheiden können. Durch den hohen Anteil an Pachtflächen ist zu berücksichtigen, dass zukünftige Konzeptionen vermutlich nicht ohne die Einbindung von Pachtflächen möglich ist.

Tabelle 21: Flächenanteil der befragten Betriebe am Gebiet nach Bodennutzung, bezogen auf die Landwirtschaftsfläche (LF)

	LF der Teilgebiete (1)		LF der Erhebung (2)		Anteil 2 an 1
	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)	LF (h%)
Grünland	2243,2	79,8	1164,1	80,1	51,9
Acker	550,4	19,6	289,1	19,9	52,5
Weitere	16,9	0,6	0,0	0,0	0,0
Gesamt	2810,5	100	1453,2	100	51,7

Die Nutzung der Landwirtschaftsfläche in der Erhebung erfolgt mit 80,1 % überwiegend als Grünland. Obwohl die bewirtschafteten Landwirtschaftsflächen der erhobenen Betriebe, die außerhalb der Teilgebiete liegen, außer Acht gelassen wurden, ergibt sich dennoch ein repräsentatives Bild der Erhebung, da die Anteile der Grünland- und Ackerflächen beinahe mit den gesamten Daten der Teilgebiete übereinstimmen. Im Projektgebiet gibt es neben der Grünlandbewirtschaftung weitere Nutzungsarten, wobei in den Teilgebieten Acker nahezu die einzige andere Nutzung darstellt. Die Erhebung deckt dabei 51,9 % der Grünlandflächen in den Teilgebieten ab und 52,5 % der Ackerflächen in den Teilgebieten (Tabelle 23). Die Abweichung vom gesamten Flächenanteil des Projektgebietes entsteht hierbei durch die weiteren Nutzungen im Projektgebiet.

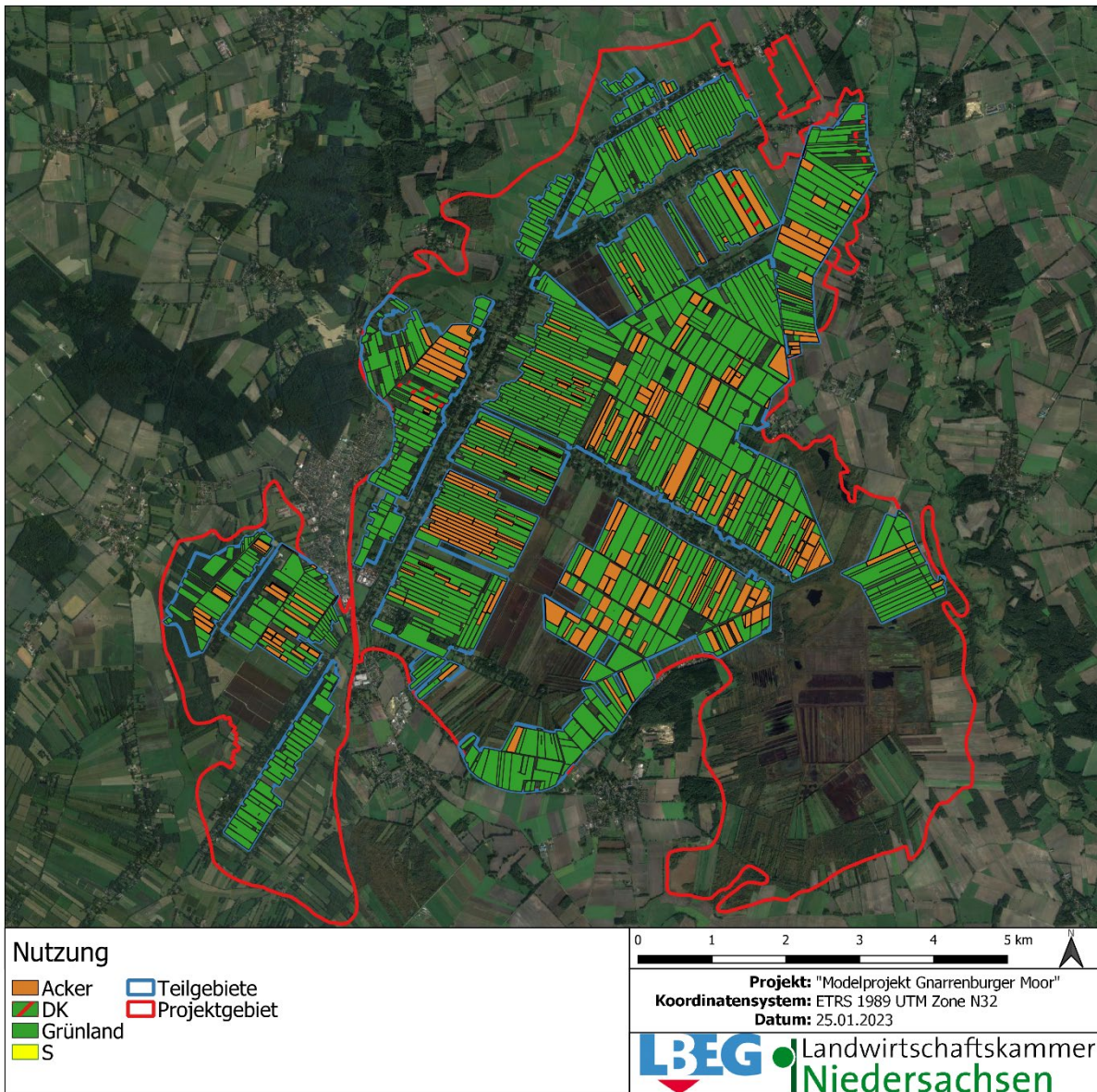


Abbildung 24: Nutzung der Landwirtschaftsfläche. DK = Dauerkultur, S = Sonderkultur

An den Randbereichen des Projektgebietes wird überwiegend Grünlandwirtschaft betrieben, während zentraler im Projektgebiet Ackerflächen eher eingestreut sind (Abbildung 26). Ein Grund könnte sein, dass die Randflächen oft von den Betrieben auf der anliegenden Geest bewirtschaftet werden. Die Geestböden werden bevorzugt als Ackerflächen genutzt, wodurch die Moorböden dann für die Grünlandwirtschaft genutzt werden. Die Betriebe, welche in der Mitte des Moores liegen, haben wenige bis keine Flächen auf Geestböden und sind darauf angewiesen, ihre Ackernutzung auf Moorböden auszuführen.

Tabelle 22: Betriebe und Landwirtschaftsfläche (LF) nach Nutzungsart und -intensität

		Anzahl der Betriebe	Anteil der Betriebe (%)	LF (ha)	LF (%)
Grünland	Intensiv	22	88	1026,9	70,7
	Extensiv	6	24	103,6	7,1
	Weide ¹	8	32	33,6	2,3
Acker	Silomais	11	44	122,2	8,4
	Ackergras	12	48	127,8	8,8
	Kartoffel	5	20	39,0	2,7

¹Weide bezieht sich hierbei auf ausschließliche Beweidung. Mähweiden werden hierbei entweder zu intensiver oder extensiver Bewirtschaftung gezählt.

Grünland wird in den Teilgebieten überwiegend intensiv bewirtschaftet. Dies spiegelt die Bedeutung der Milchwirtschaft im Gnarrenburger Moor wider. Bei den Ackerflächen dominiert der Silomaisbau als Ergänzung zur Milchviehfütterung. Ackergras ist ebenfalls eine verbreitete Nutzung, mit welcher Futtergras produziert werden kann, ohne den Ackerstatus der Fläche zu verlieren. Zuletzt sind Kartoffeln eine wichtige Kultur der Region, da sie als „Moorkartoffeln“ einen hohen Wert für den Betrieb erwirtschaften können (Tabelle 24).

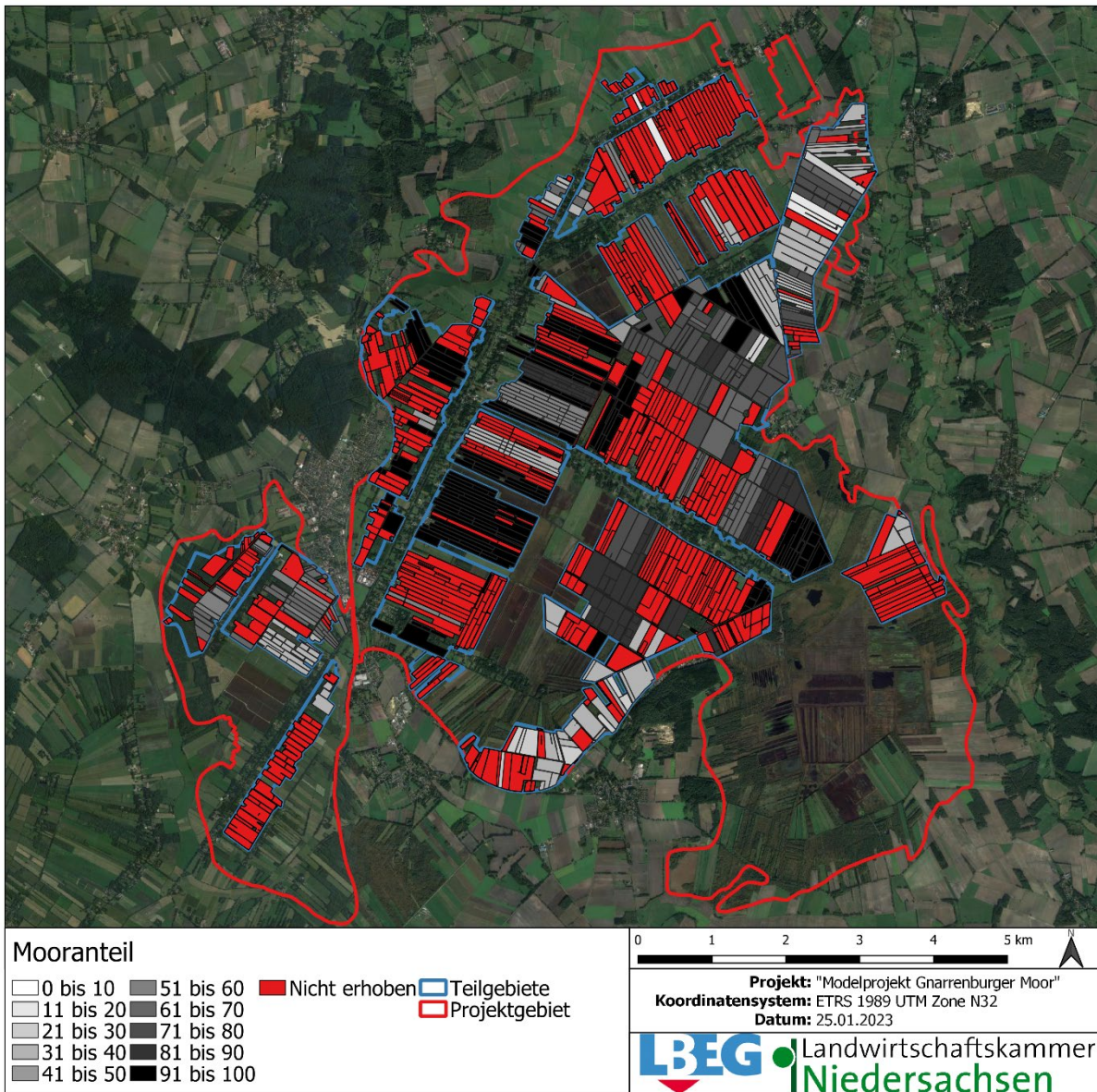


Abbildung 25: Anteil der Moorflächen an der Betriebsfläche.

Die Betriebe, welche zentraler im Projektgebiet liegen, haben einen deutlich höheren Mooranteil mit bis zu 100 %. Die Flächen im Randgebiet des Untersuchungsraumes weisen einen geringeren Mooranteil für den bewirtschafteten Betrieb auf (Abbildung 27). Die Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter dieser Flächen haben ihren Betriebsstandort meist auf den anliegenden Geestböden und nutzen die Moorböden als Grünland, um ihre Ackerflächen auf der Geest zu ergänzen. Dies zeigt, welche Betriebe von Veränderungen in der Nutzung von Mooren am meisten betroffen sind. Diese Betriebe sind diejenigen, deren Bereitschaft eine große Bedeutung für den Erfolg einer Transformation des Moores hat.

Tabelle 23: Betroffenheit nach Betriebstyp (Haupt- bzw. Nebenerwerb). Anzahl der befragten Haupt- oder Nebenerwerbsbetriebe, die einen bestimmten Anteil der Landwirtschaftsfläche (LF) im Gebiet an ihrer gesamten LF des Betriebes aufweisen.

Anteil der LF in Teilgebieten der gesamten LF der Betriebe (%)	Haupterwerbsbetriebe (Anzahl)	Nebenerwerbs- betriebe (Anzahl)
0-10	2	1
>10-20	1	0
>20-30	2	0
>30-40	4	0
>40-50	2	0
>50-60	1	0
>60-70	1	0
>70-80	4	1
>80-90	3	1
>90-100	1	1
Gesamt	21	4

Die meisten der erhobenen Betriebe (13) liegen mit mehr als der Hälfte ihrer landwirtschaftlichen Fläche innerhalb der Teilgebiete. Die Nebenerwerbsbetriebe sind besonders stark betroffen, da für drei der vier Nebenerwerbsbetriebe >70 % ihrer Landwirtschaftsfläche in den Teilgebieten liegt, während bei den Haupterwerbsbetrieben mehr Betriebe (11) in den Kategorien <50 % Anteil der Landwirtschaftsfläche in den Teilgebieten vertreten sind (Tabelle 25).

5.2.4 Zukünftige Nutzung

Für eine klimafreundliche Nutzung von Landwirtschaftsflächen ist die Anhebung der Wasserstände unumgänglich. Daher wurde in dieser Erhebung die Zustimmung der Betriebe zu Maßnahmen der Wasserstandsanhhebung erfragt. Darüber hinaus wurde auch die Zustimmung zu Bewirtschaftungsarten unter erhöhtem Wasserstand und unter Vollvernässung der Flächen erfragt. Bei den Maßnahmen der Wasserstandsanhhebung handelt es sich mit dem Grabenanstau und der Unterflurbewässerung um zwei Maßnahmen, welche bereits in der Praxis im Gnarrenburger Moor erforscht wurden (Kapitel 5.1). Die weiteren Maßnahmen, der Grabeneinstau und die Überrieselung wurden ebenfalls in die Er-

hebung mit einbezogen, da sie in der Theorie ebenfalls zu einer erfolgreichen Wasserstandhebung beitragen können. Bei den alternativen Produkten handelt es sich um neue Verwertungen von Aufwüchsen, die nicht mehr der Futterqualität entsprechen, welche ein Futterbaubetrieb benötigt. Die alternativen Bewirtschaftungsarten auf vollvernässten Flächen sind als das Ziel eines Transformationsprozesses gedacht (Kapitel 10). Sie sollten jetzt bereits in Demonstrationsvorhaben erforscht werden.

Wassermanagement

Tabelle 24: Interesse an Unterflurbewässerung oder Grabenanstau Interessensbekundung der Landwirtinnen und Landwirte zum Zeitpunkt der Befragung, zusammengefasst nach absoluter oder anteiliger Landwirtschaftsfläche (LF).

	Unterflurbewässerung		Grabenanstau	
	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)
Kein Interesse	284,2	19,6	441,8	30,4
In geringem Umfang	419,2	28,8	457,8	31,5
Theoretisch denkbar	710,3	48,9	373,2	25,7
Konkretes Interesse	9,8	0,7	99,5	6,8
Keine Aussage	29,7	2,0	80,9	5,6
Gesamt	1453,2	100	1453,2	100

Tabelle 25: Interesse an weiteren Maßnahmen des Wassermanagements. Interessensbekundung der Landwirtinnen und Landwirte zum Zeitpunkt der Befragung, zusammengefasst nach absoluter (ha) oder anteiliger (%) Landwirtschaftsfläche (LF).

	Grabeneinstau		Überrieselung		Mindestens eine Maßnahme des Wassermanagements	
	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)
Kein Interesse	429,6	29,6	747,1	51,4	85,3	5,9
In geringem Umfang	293,4	20,2	330,8	22,8	417,7	28,7
Theoretisch denkbar	373,1	25,7	47,9	3,3	809,3	55,7
Konkretes Interesse	50,4	3,4	21,3	1,4	130,5	9,0
Keine Aussage	306,7	21,1	306,1	21,1	10,4	0,7
Gesamt	1453,2	100	1453,2	100	1453,2	100

Die Erfragung der Bereitschaft zu Wassermanagementmaßnahmen zeigte eine große Offenheit der Landwirtinnen und Landwirte. Nur auf 5,9 % der erhobenen Fläche gab es keinerlei Bereitschaft zu einer der vier vorgeschlagenen Maßnahmen. Mit einem kleinen Anteil der Fläche, zu dem keine Aussage getätigt wurde, ergeben sich somit 1357,5 ha auf denen die Bereitschaft zum Wassermanagement von „In geringem Umfang“ bis hin zu „Konkretes Interesse“ reicht. Die Unterflurbewässerung hat zwar einen geringen Anteil an „konkretem Interesse“, jedoch wurde auf beinahe der Hälfte der erhobenen landwirtschaftlichen Fläche angegeben, dass diese Maßnahme theoretisch denkbar sei. Die hohe Bereitschaft zu dieser Maßnahme deckt sich damit, dass die intensive Milchviehwirtschaft in der Region vorherrscht und diese Maßnahme für die intensive Grünlandwirtschaft am geeignetsten gesehen wird. Für die Maßnahmen des Gabenanstaus und -einstaus gibt es eine vergleichsweise größere Fläche auf der „konkretes Interesse“ besteht. Dafür ist die Zustimmung für beide Maßnahmen über ihre gesamte Spannbreite geringer, als für die Unterflurbewässerung. Dies könnte auch damit einhergehen, dass sie besser für die extensive Grünlandwirtschaft geeignet sind und diese Nutzungsintensität weitaus weniger im Projektgebiet vertreten ist (Tabelle 26 und Tabelle 27).

Neue Produkte und Wirtschaftsweisen

Es wurden drei verschiedene alternative Produkte abgefragt, welche auch unter erhöhten Wasserständen auf den Flächen der Landwirtinnen und Landwirte produziert werden können. Bei diesen Produkten kann es sich auch um eine alternative Verwertung von Aufwuchs handeln, der eine minderwertige Qualität für den Futterbau aufweist. Bei den alternativen Produkten handelt es sich um Biomasse für die Fasergewinnung, die Verbrennung und für die Vergärung.

Tabelle 26: Interesse an Bewirtschaftungsverfahren auf nasseren Moorböden Interessensbekundung der Landwirtinnen und Landwirte zum Zeitpunkt der Befragung, zusammengefasst nach absoluter (ha) oder anteiliger (%) Landwirtschaftsfläche (LF).

	Faser		Verbrennung		Vergärung		Mindestens eine der Maßnahmen	
	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)
Kein Interesse	366,4	25,2	206,6	14,2	176,4	12,1	62,3	4,3
In geringem Umfang	469,2	32,3	313,5	21,6	1049,8	72,2	825,9	56,8
Theoretisch denkbar	488,6	33,6	159,0	10,9	141,6	9,8	488,6	33,6
Konkretes Interesse	76,4	5,3	45,8	3,2	45,8	3,2	76,4	5,3
Keine Aussage	52,6	3,6	728,3	50,1	39,4	2,7	0,0	0,0
Gesamt	1453,2	100	1453,2	100	1453,2	100	1453,2	100

Während einige Landwirtinnen und Landwirte die Bereitschaft für den Anbau aller drei Produkte angaben, gab es oft auch Bereitschaft für zwei der Produkte oder nur eins. Während die Zustimmung sich auch qualitativ unterschied, erhielt die Produktion von Biomasse für die Vergärung die breiteste Zustimmung (Tabelle 28).

In der Erhebung wurde ebenfalls zu möglichen Nutzungsformen bei einer Vollvernässung gefragt. Zum einen wurde nach der Kultivierung von Torfmoosen (*Sphagnum*) gefragt und zum anderen nach der Installation von Nass-Fotovoltaik. Des Weiteren wurde die Zustimmung zu einer Renaturierung von Flächen abgefragt, verbunden mit einem Tausch dieser Landwirtschaftsflächen gegen andere Landwirtschaftsflächen außerhalb des Moores. Jedoch würde die Landwirtin/der Landwirt bei einer Renaturierung kein Einkommen mehr generieren können. Mögliche Renaturierungsmaßnahmen sind trotzdem relevant, da eine Vollvernässung auf einzelnen Schlägen nicht effektiv umgesetzt werden kann. Renaturierungsmaßnahmen können Bausteine in einem Gebietskonzept sein. Hier ist zu sehen, dass es nur wenige Flächen in der Erhebung gibt, in denen es eine absolute Absage von Vernässungsmaßnahmen gibt. Das Gnarrenburger Moor zeigt ein deutliches Potential zur Umsetzung von Maßnahmen (Tabelle 29).

Tabelle 27: Interesse an Verfahren mit Vollernässung, bzw. an Flächentausch mit dem Ziel der Renaturierung. Interessensbekundung der Landwirtinnen und Landwirte zum Zeitpunkt der Befragung, zusammengefasst nach absoluter (ha) oder anteiliger (%) Landwirtschaftsfläche (LF). Nass-PV: Nass-Fotovoltaik.

	Nass-PV		Sphagnum		Renaturierung		Mindestens eine der Maßnahmen	
	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)	LF (ha)	LF (%)
Kein Interesse	300,6	20,7	673,8	46,4	731,9	50,4	136,6	9,4
In geringem Umfang	81,8	5,6	246,7	17,0	527,4	36,3	104,9	7,2
Theoretisch denkbar	810,6	55,8	171,7	11,8	103,2	7,1	932,1	64,1
Konkretes Interesse	260,2	17,9	0,0	0,0	27,7	1,9	279,6	19,2
Keine Aussage	0,0	0,0	361,0	24,8	63,0	4,3	0,0	0,0
Gesamt	1453,2	100	1453,2	100	1453,2	100	1453,2	100

Flächentausch

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bereitschaft für einen Flächentausch bei Landwirtinnen und Landwirten mit einem geringen Mooranteil höher ist, als bei denen mit einem hohen Mooranteil. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass Landwirtinnen und Landwirte, welche ihren Betriebssitz außerhalb des Moorgebietes haben, sich beim Tausch erhoffen, statt der Moorfläche weitere Geestflächen zu erhalten. Die Tauschbereitschaft wird relevant, wenn ein Gebiet zwar überwiegend durch die betrieblichen Gegebenheiten interessant ist, jedoch schlecht arrondiert ist, um Maßnahmen umzusetzen.

Tabelle 28: Die Bereitschaft zum Tausch von Landwirtschaftsflächen (LF) und Mooranteil an der LF der Betriebe.

Tauschbereitschaft	LF (ha)	LF (%)	Durchschnittlicher Mooranteil (%)
Kein Interesse	347,8	23,9	74,6
Theoretisch Vorstellbar, aber nicht notwendig	691,8	47,6	76,9
Flächen wären für Tausch geeignet, aber nicht notwendig	343,0	23,6	60,9
Konkretes Interesse an Tausch	70,6	4,9	51,5
Gesamt	1453,2	100	-

5.2.5 Gebiete mit besonderem Potenzial für die Umsetzung von Maßnahmen

In der Auswertung der Agrarstrukturerhebung zeigen zwei Bereiche eines Teilgebietes besonderes Potential für die Entwicklung von Gebietskonzepten. Beide Bereiche liegen im Teilgebiet „Moor Zentrum“, welches mit 980,2 ha das größte im Projektgebiet ist. Als größtes zusammenhängendes Teilgebiet bietet „Moor Zentrum“ viel Potential, nicht nur für die Entwicklung erster Gebietskonzepte, sondern auch für eine stetige Erweiterung dieser. Darüber hinaus sind die identifizierten Bereiche sowohl durch die betrieblichen Gegebenheiten und Bereitschaften der meisten Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter, als auch durch die Struktur der Schläge in diesen Bereichen von erhöhtem Interesse für die Erstellung von einem gebietsbezogenen Wassermanagement.

Langenhausen Nord

In diesem Teilgebiet befinden sich überwiegend Haupterwerbsbetriebe mit hohen Mooranteilen von bis zu 100 %. Für Betriebe mit einer Betriebsleitung im Alter von über 45 Jahren, welche noch keine Nachfolge finden konnten, kann ein Angebot neuer, gewinnbringender Flächenbewirtschaftungen das Finden einer Nachfolge erleichtern. Hier gibt es einen hohen Handlungsbedarf, um zukunftsfähige Bewirtschaftungssysteme für das Moor zu finden und eine generationenübergreifende Weiterführung von Betrieben zu sichern.

Eine Bereitschaft zur nassen Bewirtschaftung ist bei einzelnen Betrieben sehr hoch und bei umliegenden Betrieben zwar verhaltener, aber dennoch präsent. Besonders Nass-Fo-

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

tovoltaik findet hohe Zustimmung und unter den Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung erfuhr die Unterflurbewässerung den höchsten Zuspruch. Auch die Zustimmung zum Anbau von Gräsern für die Nutzung in der Verbrennung, Vergärung oder Fasergewinnung zeigt eine vergleichsweise hohe Aufgeschlossenheit für Veränderung, um den Wirtschaftsstandort zu erhalten.

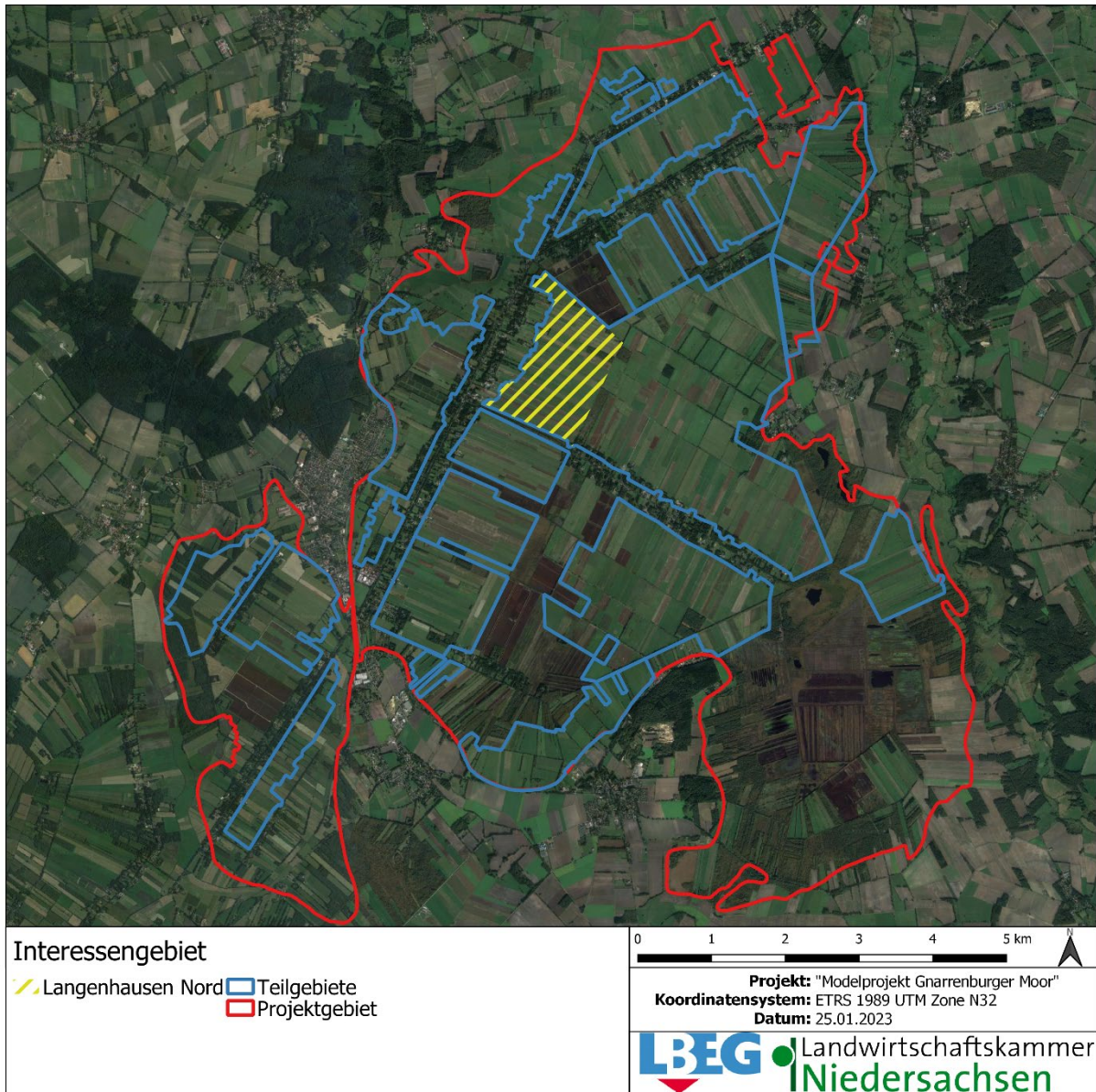


Abbildung 26: Das Teilgebiet Langenhausen Nord

Darüber hinaus bietet die Flächenstruktur der Betriebe in diesem Gebiet ein großes Potential für eine graduelle Anhebung der Wasserstände von West nach Ost, durch die langgezogene Form der bewirtschafteten Fläche, von der Hofstelle am Oste-Hamme-Kanal im Westen hin zu den hoffernen Flächen im Osten des Teilgebietes. Darüber hinaus bietet die

Form der langgezogenen, aneinandergereihten Schläge in der Theorie das Potential ein bestehendes Gebietskonzept seitwärts zu erweitern, falls sich anliegenden Landwirtinnen und Landwirte von den Vorteilen des Wirtschaftens mit erhöhten Wasserständen überzeugen ließen (Abbildung 28).

Oberklenkendorf

Für das Teilgebiet Oberklenkendorf fällt auf, dass nahezu alle dort wirtschaftenden Betriebe ihre derzeitige Erwerbsform auch zukünftig weiterführen wollen. Dementsprechend ist bei fast allen Betrieben die Nachfolge gesichert. Dadurch ist es wichtig, diesen Betrieben eine funktionierende Bewirtschaftungsform für die Zukunft zu ermöglichen.

Zukünftige Bewirtschaftungsarten finden beinahe durchweg in der Theorie Zustimmung. Dabei ist die Zustimmung vor allem gegenüber Nass-Fotovoltaik hoch, aber auch Sphagnumkultivierung findet teils Zustimmung, wenn es zunächst in einem kleineren Umfang umgesetzt wird. Darüber hinaus gibt es in diesem Teilgebiet auch Betriebe, die zwar weder Nass-Fotovoltaik noch Sphagnumkultivierung befürworten, jedoch in verschiedenem Umfang einem Flächentausch zustimmen würden. Ein Flächentausch, welcher die Landwirtinnen und Landwirte in einem zufriedenstellenden Umfang entschädigt, könnte in solchen Fällen dabei helfen auch dort Gebietskonzepte zu etablieren, wo kein zusammenhängendes Gebiet mit genügend Zustimmung existiert.

Um die Wasserstandsanehebungen mit möglichst wenig Randeffekten umsetzen zu können und möglichst Synergien zwischen den zukünftigen Möglichkeiten der Vollvernäsung entstehen zu lassen, wird eine ausreichende Arrondierung nötig sein. Hierfür ist es vorteilhaft, dass in Oberklenkendorf die meisten Landwirtinnen und Landwirte zumindest im kleinen Umfang zu einem Flächentausch bereit sind. Mit attraktiven Konzepten könnte diese Bereitschaft noch gesteigert werden (Abbildung 29).

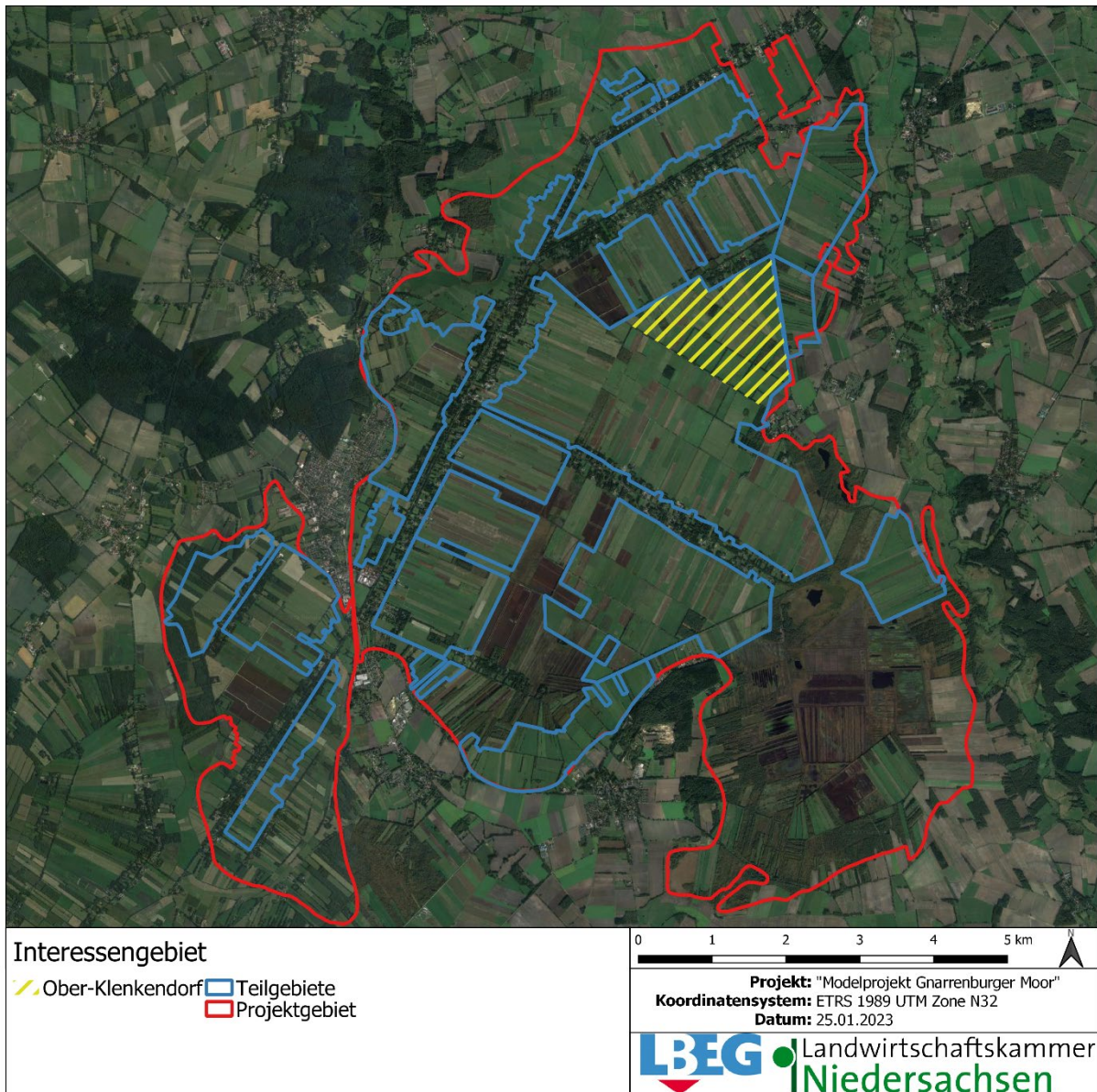


Abbildung 27: Das Teilgebiet Oberklenkendorf

5.3 Gebietsbezogenes Wassermanagement

Landwirtschaftsflächen in Mooregebieten sind in der Regel mit einem dichten Netz von Entwässerungsgräben durchzogen, um die Flächen zu entwässern. Die Flächen selbst können zusätzlich noch mit Drainagerohren versehen sein. Die Entwässerungsgräben (Gewässer 3. Ordnung, siehe Abbildung 30) leiten das Wasser von den Flächen in zentrale Gräben, wie zum Beispiel den Augustendorfer Kanal, oder den Oberklenkendorfer Kanal. Die Hauptentwässerung erfolgt über den Oste-Hamme-Kanal, der in nördlicher Richtung in die Oste einleitet (Elbe Einzugsgebiet) und in südlicher Richtung in die Hamme einleitet (Weser Einzugsgebiet). Die Wasserscheide des Oste-Hamme-Kanals befindet sich auf Höhe der Einleitung des Augustendorfer Kanals. Das Gnarrenburger Moor ist ein durch Niederschlagswasser gespeistes Hochmoor, ohne weitere Wasserzuflüsse aus Oberflächengewässern oder aus dem Grundwasser.

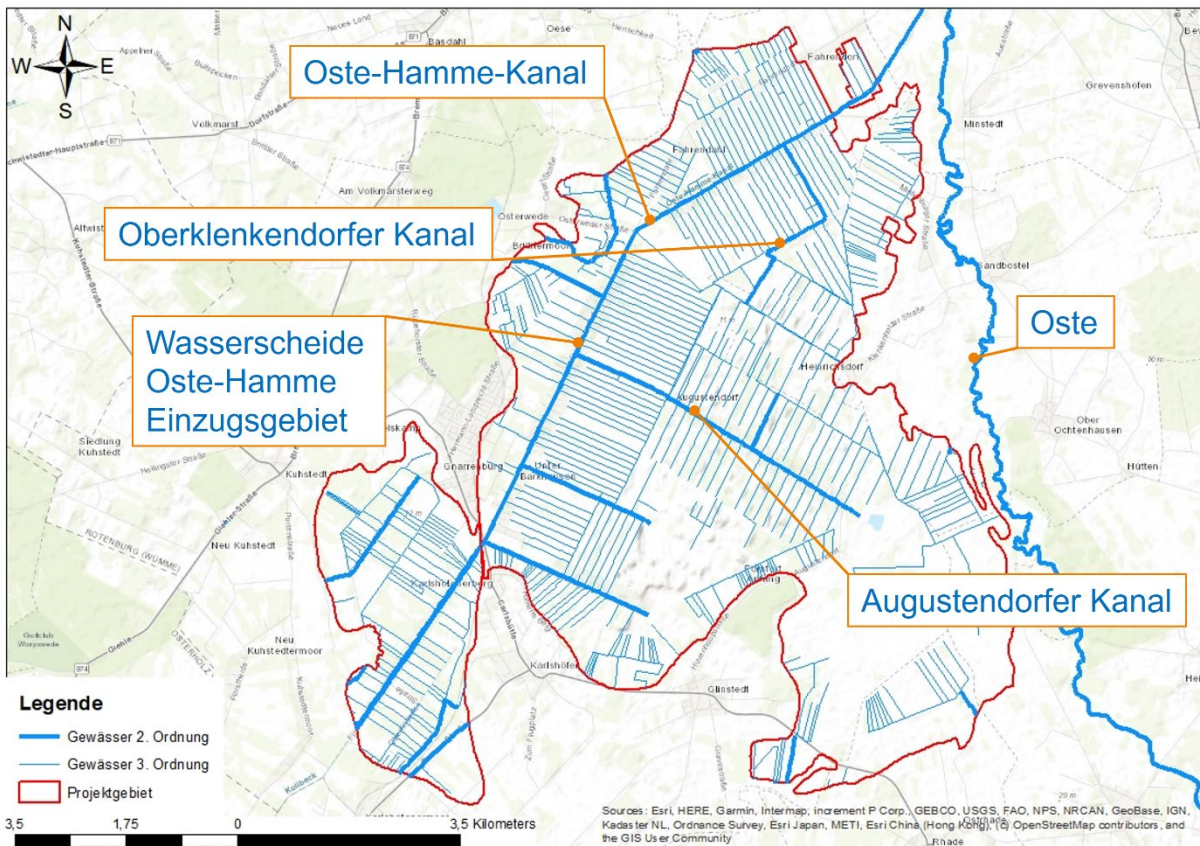


Abbildung 28: Übersichtskarte des Gewässersystems im Gnarrenburger Moor

5.3.1 Klimatische Wasserbilanz

Um Aussagen zu den Möglichkeiten einer Moorvernässung, bzw. zum Anheben des Moorwasserstandes in der Fläche zu machen, muss zunächst der Wasserbedarf und die verfügbare Wassermenge ermittelt werden. Die Wasserhaushaltsgleichung

$$N = E + A + \Delta S$$

Formel 1: Wasserhaushaltsgleichung

sagt aus, dass der Niederschlag (N) der Evapotranspiration (E) zuzüglich des Abflusses (A) entspricht. Bei einer kurzfristigen Betrachtung kommt ΔS hinzu und beschreibt die Speicheränderungen durch Grundwasseranreicherung, laterale Grundwasserbewegung (Zu- und Abfluss) sowie Zwischenabfluss und Kapillarwasser. Um den Moorwasserstand durchgehend anheben zu können, dürfen die Wasserverluste die Niederschlagsmenge nicht überschreiten. In den Sommermonaten (Mai – Oktober) herrscht durch eine hohe Evapotranspiration ein Wasserdefizit in der betrachteten Region und ein Wasserüberschuss durch eine geringe Verdunstung in den Wintermonaten (November – April). In den Zeiträumen, in denen die Wasserverluste das verfügbare Wasserdargebot übersteigen, muss zusätzliches Wasser bereitgestellt werden. Dabei kann in Hochmooren für Naturflächen nur Niederschlagswasser eingesetzt werden, da ansonsten der empfindliche Nährstoffhaushalt gestört wird.

Für die wasserwirtschaftlichen Betrachtungen wurden die Daten der meteorologischen Station des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Bremervörde (Stations ID: 704) für Niederschlag und die potentielle Evapotranspiration über Gras nach Penman Monteith (FAO) herangezogen. Für die Speicheränderung wird bei den Berechnungen die Grundwasserneubildung betrachtet und basiert auf den Daten des NIBIS Kartenserver (2021)

Die folgende Tabelle 31 zeigt die Wasserbilanz basierend auf den Niederschlagsdaten, der Verdunstung, der Grundwasserneubildung und dem sich daraus ergebenden Abfluss sowie das monatliche Wasserdefizit als gemittelte Werte aus dem Zeitraum der Jahre 1999-2020. Der Zeitraum wurde gewählt, da die Aufzeichnung der Niederschlagsdaten der Station des DWD in Bremervörde erst ab Ende 1998 verfügbar sind. Die Daten für die Verdunstung (potentielle Evapotranspiration über Gras nach Penman Monteith (FAO)) bilden ebenfalls den Zeitraum 1999-2020 ab. Für Niederschlag und Verdunstung wurden die Monatsmittelwerte gebildet. Nach Eggelsmann (1990) wurde für die Verdunstung aus niedersächsischen Hochmooren unter Grünlandbewirtschaftung 85 % der potentiellen

Verdunstung angenommen. Die Daten zur Grundwasserneubildung beziehen sich auf den Zeitraum 1991-2020. Im Winterhalbjahr (November-April) wird eine Grundwasserneubildung von >100 – 150 mm und im Sommerhalbjahr (Mai-Oktober) eine Grundwasserneubildung von 0 – 50 mm angegeben. Der Mittelwert im Winterhalbjahr beträgt 125 mm, im Sommerhalbjahr wird eine Grundwasserneubildung von 25 mm ermittelt. In der Summe ergibt sich eine Grundwasserneubildung von 150 mm im Jahr, was mit der angegebenen Grundwasserneubildung von >150 – 200 mm/a übereinstimmt (dto.). Mit Bezug auf die Niederschlagssumme wird das prozentuale Verhältnis der Menge des Wassers für die Grundwasserneubildung ermittelt. Im Sommerhalbjahr wird demnach ein Anteil von 6,08 % des Niederschlags der Grundwasserneubildung zugeführt, im Winterhalbjahr beträgt der Anteil 34,52 % (Abbildung 33).

Tabelle 29: Klimatische Wasserbilanz im Gnarrenburger Moor auf Basis der Daten des Deutschen Wetterdienstes und des NIBIS Kartenserver in mm/a (langjähriges Mittel, 1999-2020).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
Niederschlag	76,92	53,97	54,83	37,18	49,67	69,75	92,88	74,71	55,21	68,56	66,78	71,83	772
Verdunstung	10,34	13,32	27,47	51,58	75,12	82,03	85,71	70,63	42,59	21,60	10,48	9,39	500
GW-Neubildung	26,55	18,63	18,93	12,83	3,02	4,24	5,65	4,54	3,36	4,17	23,05	24,79	150
Gebietsabfluss	40,03	22,02	8,43	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	9,26	42,79	33,25	37,64	195
Wasserdefizit	0,00	0,00	0,00	27,23	28,47	16,52	0,00	-0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	-73

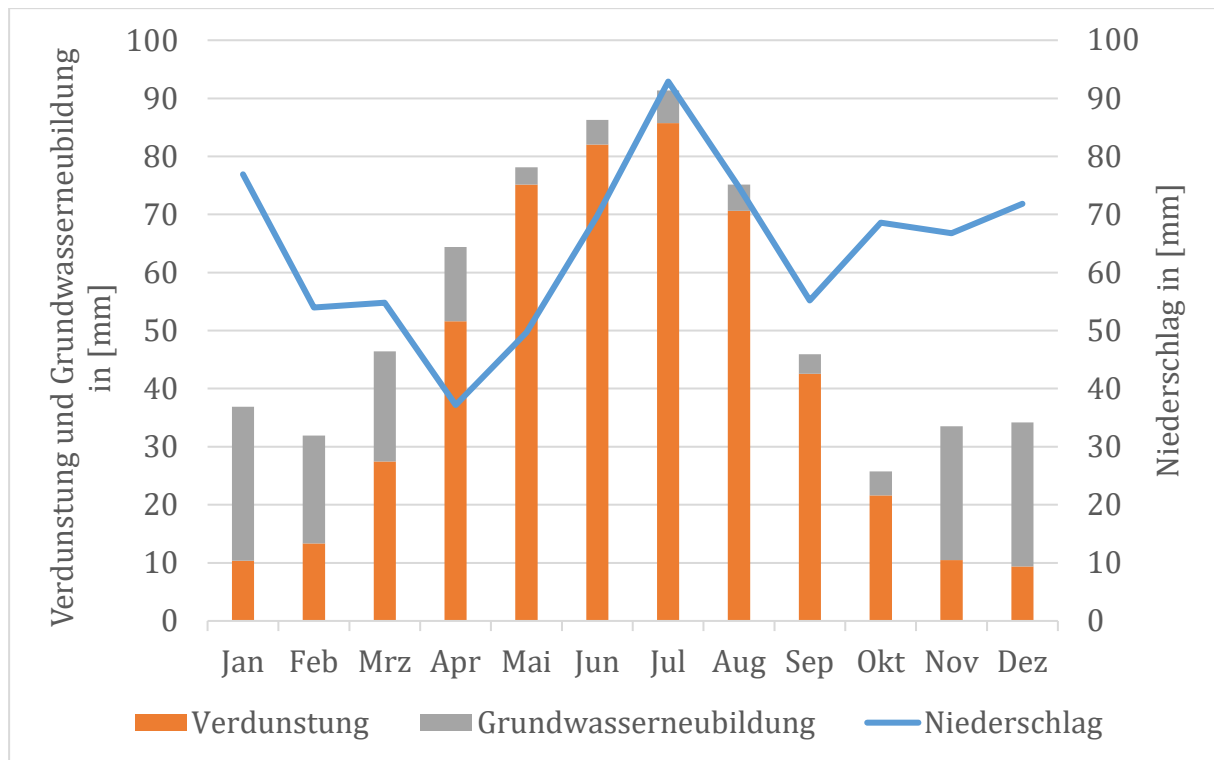


Abbildung 29: Niederschläge, Verdunstung und Grundwasserneubildung monatliche Werte im langjährigen Mittel, Gnarrenburger Moor.

Das ermittelte Wasserdefizit ist die Wassermenge, die benötigt würde, um die Verluste durch Verdunstung und Grundwasserneubildung auszugleichen. Um eine dauerhafte Anhebung der Moorwasserstände gewährleisten zu können, muss das Wasserdefizit ausgeglichen werden. Hierfür können Wasserspeicher errichtet werden, in denen ein Teil des Gebietsabflusses zurückgehalten wird. Eine weitere Möglichkeit zum Ausgleich des Wasserdefizites wäre die Zuleitung aus Oberflächengewässern, wie z.B. der Oste. Hier ist aber mit hohen Nährstofffrachten und in den Bedarfszeiten mit niedrigen Wasserständen im Gewässer zu rechnen, die einer Wasserentnahme entgegenstehen. Die Wasserentnahme aus dem Grundwasser zum Ausgleich des Wasserdefizits ist nicht nachhaltig und wird daher nicht als Dauermaßnahme empfohlen.

Das in Tabelle 31 dargestellte Wasserdefizit von 73 mm/a bezieht sich auf die Auswertung der Monatsmittelwerte in den Jahren 1999-2020. Die größten Wasserverluste treten durch die Verdunstung auf, die in der Auswertung dem 3,3-fachen der Grundwasserneubildung entspricht. Die Verdunstungswerte und die Niederschlagsmengen unterliegen großen Schwankungen. Insbesondere in den letzten Jahren gab es deutliche Abweichun-

gen der Niederschlagsmengen in den Sommermonaten. Während das Jahr 2017 ein nasses Jahr war, weisen die Jahre 2018, 2019, 2020 und 2022 (siehe Abbildung 32) unterdurchschnittliche Niederschläge und eine überdurchschnittlich hohe Verdunstung in den Sommermonaten auf. Daher würde der ermittelte mittlere Wasserbedarf von 73 mm in ähnlich trockenen Jahren nicht ausreichen. Bei der Dimensionierung von Speichern muss entschieden werden, ob der Speicher für mittlere bzw. für trockene Jahre ausgelegt wird. Eine Auslegung auf extreme Trockenjahre ist dabei nicht empfehlenswert, da der Speicher dann sehr groß wird. Über eine Langzeitsimulation kann ermittelt werden, in wie vielen Jahren der gewählte Speicher nicht ausreicht. Durch die prognostizierten klimatischen Veränderungen ist zu erwarten, dass solche Situationen immer häufiger auftreten.

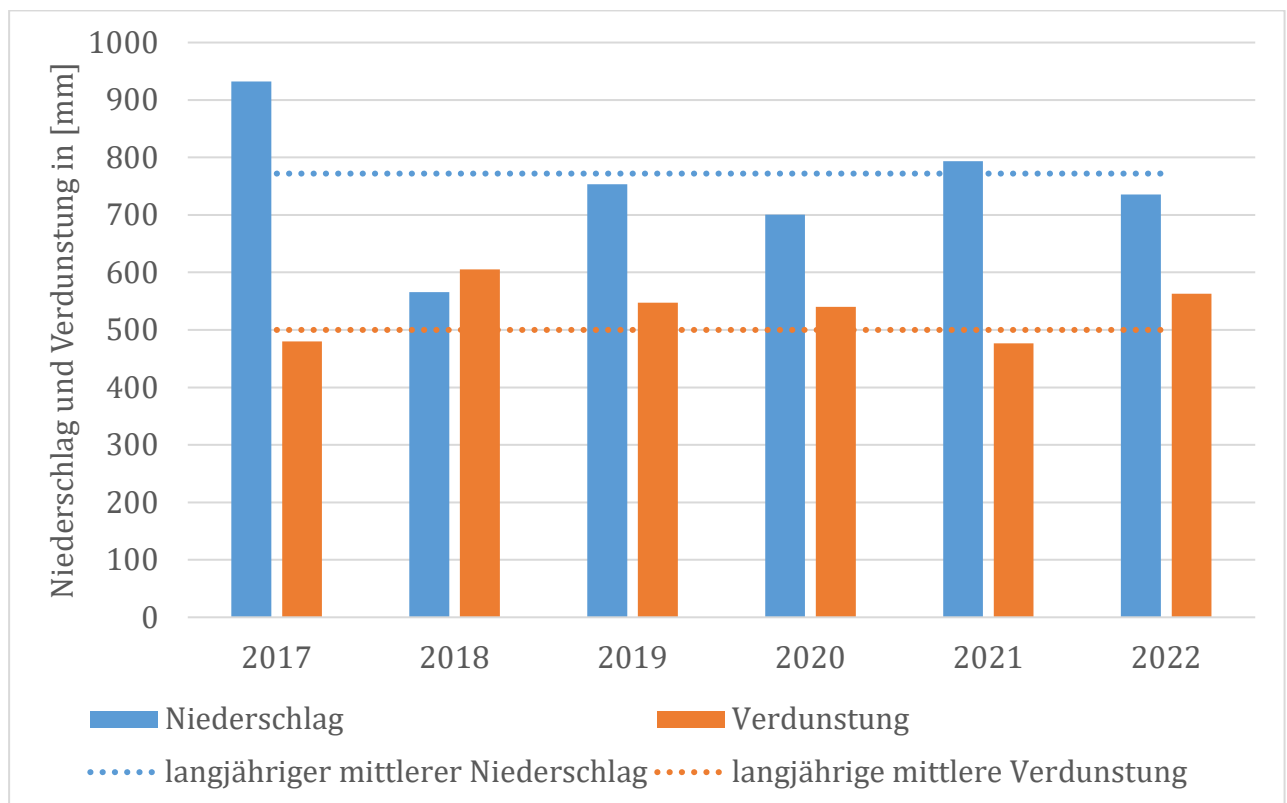


Abbildung 30: Niederschlag und Verdunstung 2017-2022 und im langjährigen Mittel.

Die Betrachtungen des Wasserhaushalts beziehen sich auf die ausgewerteten Zeitreihen. Zukünftige Klimaveränderungen werden bei den Auswertungen nicht berücksichtigt.

5.3.2 Hydrologisches Gebietskonzept

Um ein hydrologisches Gebietskonzept zu entwickeln, muss das Gebiet hydrologisch sinnvoll abgegrenzt werden. Hier bieten sich die oberirdischen Wasserscheiden als Grenzen an, verbunden mit der Annahme, dass auch die Grundwasserscheiden im Wesentlichen den oberirdischen Wasserscheiden entsprechen. Hierzu werden zunächst die vorhandenen Flächen analysiert und kategorisiert. Es gibt zwei unterschiedliche Typen von landwirtschaftlichen Flächen im Gnarrenburger Moor. Das sind zum einen lange, schmale Schläge, die in der Regel mit einer kurzen Seite an einer Straße liegen. Hier befindet sich die Hofstelle mit den Gebäuden und der Infrastruktur am tiefsten Punkt an der Straße und die landwirtschaftliche Nutzfläche befindet sich höher gelegen hinter der Hofstelle. Dies beruht auf der Entstehungsgeschichte des Gnarrenburger Moores, wo zunächst unmittelbar an den Gräben der Torf gestochen wurde und auf diesen Flächen im späteren Verlauf die Höfe gebaut wurden. Die jetzt vorhandenen Gräben zwischen den Schlägen wurden in der späteren Entwicklung zur Entwässerung der Moorflächen angelegt, um Landwirtschaft zu betreiben. In Abbildung 33 sind die Flächen am Beispiel der Ortslage Augustendorf dargestellt. Die langen, schmalen Schläge werden hier als Findorff-Flächen bezeichnet, da sie im Rahmen der Moorentwicklung nach Findorff entstanden sind. Zum anderen gibt es freie Flächen, die mit einem geringeren Seiten- und Längenverhältnis eine größere Nutzfläche aufweisen. Diese Flächen sind i.d.R. nicht erschlossene, rein landwirtschaftliche Nutzflächen ohne Bebauung oder Anschluss an die Verkehrsinfrastruktur (siehe Abbildung 34).

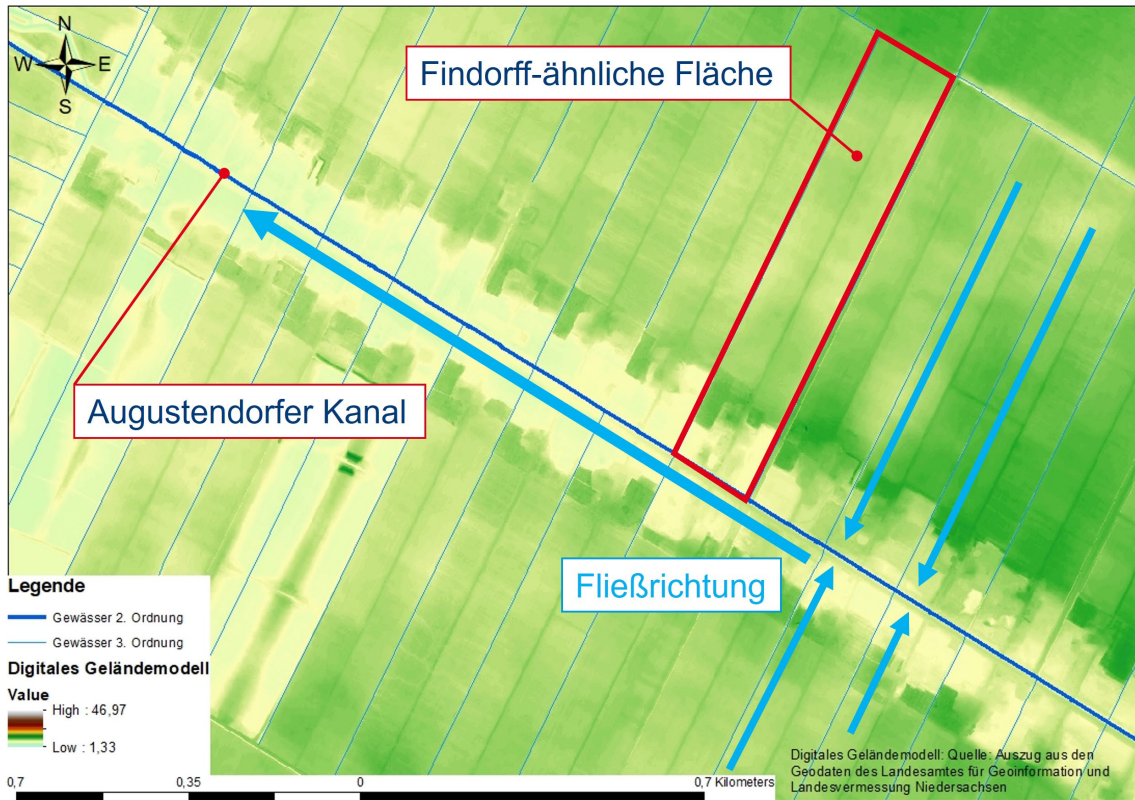


Abbildung 31: Wasserabfluss von Findorff-Flächen in der Ortslage Augustendorf Beispielhafte Darstellung zum Flächenzuschnitt und zur Fließrichtungen der Gräben.

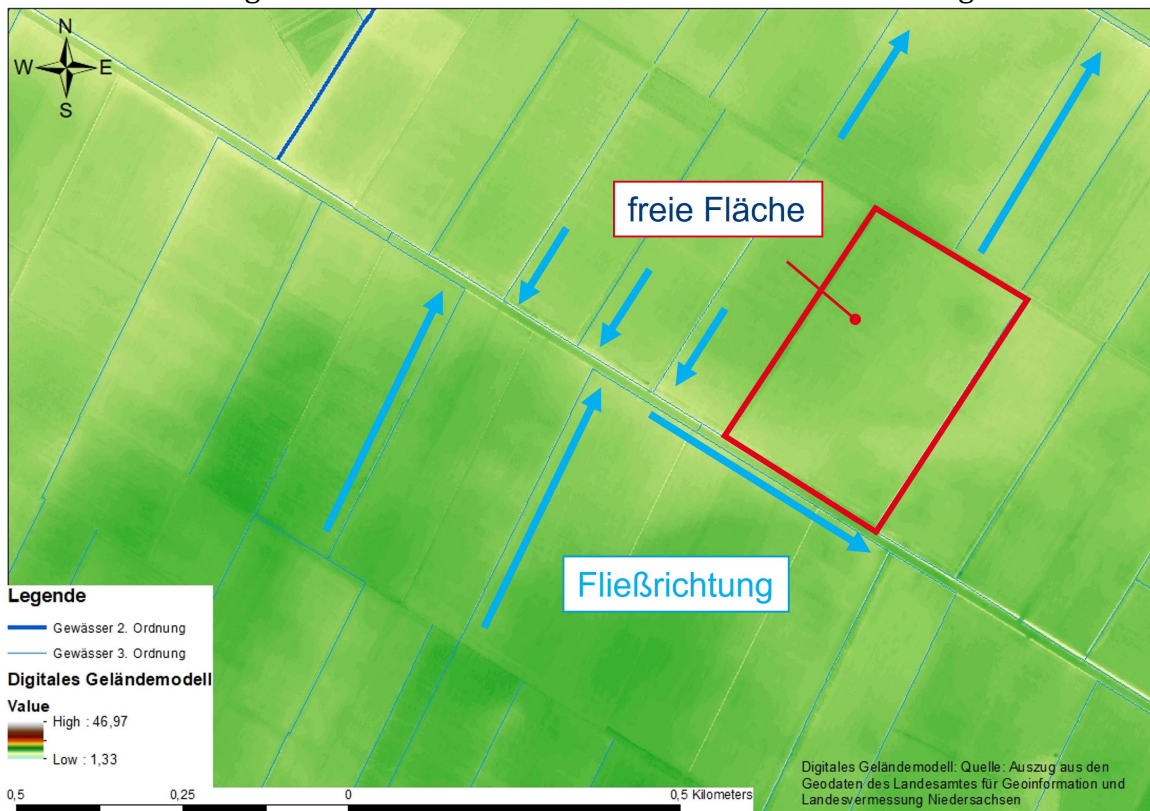


Abbildung 32: Wasserabfluss von freien Fläche ohne Anbindung an eine Hofstelle. Beispielhafte Darstellung zum Flächenzuschnitt und zur Fließrichtungen der Gräben.

Nach den entwickelten Transformationspfaden werden bis zum Jahr 2045 drei verschiedene Nutzungsformen für Moorflächen angestrebt. Dies umfasst eine Nutzung der Flächen als Paludikultur, als Aufstellungsort für eine Freiflächen-Fotovoltaikanlage, oder die Überführung der Flächen in den Naturschutz. Allen drei Nutzungsformen liegt eine Vernässung zugrunde. Im Falle einer Nutzung als Paludikultur, ist eine Steuerung des Wasserstandes auf der Fläche erforderlich. Im Rahmen der anderen Nutzungsformen ist es erforderlich für einen ausreichenden Wasserstand in der Fläche zu sorgen. Das kann entweder alleine durch den Rückhalt der Winterniederschläge in der Fläche durch temporären Überstau geschehen, oder durch eine zusätzliche Wasserversorgung in den Sommermonaten mit gespeichertem Niederschlagswasser.

Die Umstellung der Flächen auf einen der oben beschriebenen Nutzungszustände kann aber nur in den seltensten Fällen kurzfristig erfolgen. Die Flächen sind momentan unter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung, meist als Grünlandnutzung zur Futtererzeugung in der Milchviehhaltung. Die bewirtschaftenden Betriebe können daher die Nutzung der Flächen nur mit zeitlichem Vorlauf umstellen. Der Zeitrahmen kann hier bis zu 30 Jahre betragen, da teilweise Höfe gerade von Junglandwirten übernommen, oder große Investitionen mit langen Abschreibungsdauern getätigt wurden. Um dieser Situationen gerecht zu werden, wurde im Rahmen des Gnarrenburger Moor Projektes geprüft, wie eine Grünlandbewirtschaftung der Flächen mit hohen Moorwasserständen umgesetzt werden kann. Dafür wurden in den entwickelten Gebietskonzepten die Flächen ermittelt, die für eine kurzfristige Vollvernässung geeignet sind und die Flächen, auf denen zunächst weiter Grünlandbewirtschaftung erfolgen kann. Die Kategorisierung der freien Flächen erfolgte rein unter hydrologischen Gesichtspunkten. Betriebswirtschaftliche Aspekte oder Besitzverhältnisse wurden hier nicht berücksichtigt.

Auf den freien landwirtschaftlichen Nutzflächen wird bei der Anhebung der Moorwasserstände von einem einheitlichen Wasserstand unter Geländeoberkante (GOK) für den gesamten Schlag ausgegangen. Auf den Findorff-ähnlichen Flächen wurde in den hinteren, höher gelegenen Flächen immer eine Vollvernässung vorgesehen, mit einer zur Hofstelle hin immer trockener werdenden Bewirtschaftung (Abbildung 35 und Abbildung 36).

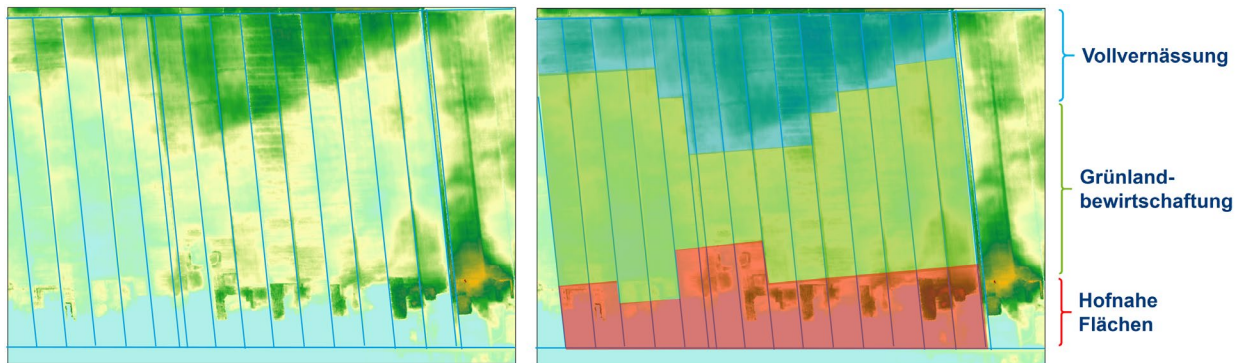


Abbildung 33: Geländehöhen und Maßnahmen für Gebiet mit Findorff-Flächen Links: Geländehöhen auf Findorff-Flächen im Gnarrenburger Moor (von unten nach oben ansteigendes Gelände), Rechts: dieselben Flächen mit einer Einteilung der verschiedenen Nutzungsformen nach Umsetzung des Gebietskonzeptes.

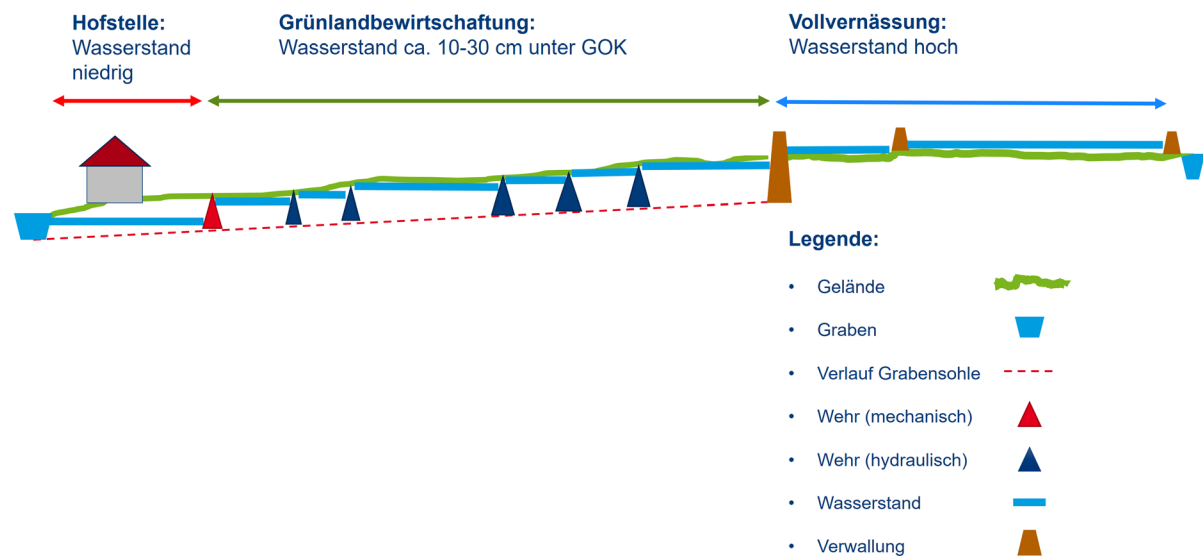


Abbildung 34: Querschnitt mit Maßnahmen durch eine Findorff-Fläche mit der Hofstelle links, der Fläche für Grünlandbewirtschaftung in der Mitte und der Fläche für Vollvernässung mit einer horizontal planierten Fläche und Verwallungen für einen Überstau.

5.3.3 Wasserrückhalt

Die Flächen im Gnarrenburger Moor sind mit einem Netz aus Entwässerungsgräben durchzogen, die dafür sorgen sollen, den Wasserstand in der Fläche möglichst niedrig zu halten. Die Entwässerung der Moore ist ein Prozess, der über viele Dekaden andauerte, um das Moor landwirtschaftlich bewirtschaften zu können. Die Trockenlegung des Moores führt aber zur Mineralisation der organischen Torfböden und sorgt für hohe CO₂ Emissionen. Nach den heutigen Erkenntnissen und den Anforderungen des Klimaschutzes,

muss der Ausstoß der Treibhausgase minimiert, bzw. verhindert werden, um das Erreichen der Klimaziele zu gewährleisten. Dafür ist es erforderlich den Moorwasserstand möglichst hoch zu halten, um die Torfmineralisation zu verhindern, bzw. zu reduzieren. Um eine Bewirtschaftung der Moorflächen zu erlauben, ist es notwendig den Wasserstand in der Fläche bei Bedarf absenken und nach Abschluss der Bearbeitungsmaßnahmen wieder anheben zu können. Das erfordert ein Wassermanagement, mit dem zum einen die Entwässerung aus der Fläche gesteuert werden kann und zum anderen, durch eine Speicherung in der Landschaft, die Verdunstungsverluste und die für Bewirtschaftungsmaßnahmen abgesenkten Wasserstände wieder anzuheben.

Wehrkonzept

Zur Umsetzung der Anforderungen, wurde an der Ostfalia Hochschule ein Wehrkonzept entwickelt, das aus zwei verschiedenen Wehrtypen besteht und mit geringem Aufwand die Steuerung der Grabenwasserstände ermöglicht. Durch die Steuerung der Grabenwasserstände wird der Wasserstand in der Fläche beeinflusst. Am Ende von entsprechenden Gräben wird ein mechanisch-einstellbares Wehr installiert. Hier lässt sich der Wasserstand mittels eines Antriebs einstellen. Die Steuerung kann per Hand, aber auch mit Motor oder ggf. auch ferngesteuert erfolgen. Nachfolgend sind grabenaufwärts hydraulisch gesteuerte Wehre installiert, die sich mittels einer hydraulischen Schwimmersteuerung an dem eingestellten Wasserstandsunterschied entsprechend legen oder aufstellen. Wenn am mechanischen Wehr der Wasserstand gesenkt wird (Abstau), legen (öffnen) sich die nachgeschalteten Stauklappen und erlauben das Abfließen des Wassers. Wird die mechanische Stauklappe aufgestellt (Anstau), steigt der Wasserstand und die nachfolgenden Wehre schließen sich mittels der auftreibenden Stauklappen. Das Schließen der hydraulischen Wehre ist abhängig vom eingestellten Wasserstandsunterschied der mechanischen Stauklappe unterhalb sowie vom Wasserstand oberhalb der Wehre. Daher ist eine gleichmäßige Entleerung und Füllung der Gräben und somit ein einheitlicher Moorwasserstand gewährleistet. Auch wenn der Wasserspiegel oberhalb des Wehres ansteigt, z.B. durch Niederschläge oder Zuflüsse, legt sich die Klappe und gibt das zusätzliche Wasser nach unten ab. In Abbildung 38 ist das mechanische Wehr dargestellt. Beide Wehrtypen sind in einem Graben auf einer landwirtschaftlichen Fläche in Langenhausen installiert.



Abbildung 35: Mechanisches Wehr. Bild links: Mechanisch einstellbares Wehr vollständig eingestaut. Bild rechts: Mechanisches Wehr zum Abstau des Grabens geöffnet. Fotos: Dominic Meinardi.



Abbildung 36: Hydraulisch gesteuertes Wehr. Bild links: Hydraulisch gesteuertes Wehr öffnet sich durch den absinkenden Unterwasserspiegel. Bild rechts: Hydraulisch gesteuertes Wehr vollständig geöffnet. Fotos: Dominic Meinardi.



Abbildung 37: Grabeneinstau und Abstau. Bild links: Graben vollständig eingestaut. Bild rechts: Abgesenkter Grabenwasserstand nach Abstau. Fotos: Dominic Meinardi.

Die Anzahl der benötigten Wehre ist abhängig vom Längsgefälle in den Gräben und dem einzustellenden Wasserstandsunterschied. Je geringer der Wasserspiegelunterschied an den Wehren sein soll, umso höher ist die Anzahl der benötigten Wehre. In Abbildung 40 und Abbildung 41 ist schematisch die Anzahl der Wehre dargestellt, die für den Wasserspiegelunterschied von 10 cm und 20 cm benötigt werden. Eine Halbierung des Wasserspiegelunterschieds bedeutet demnach eine Verdopplung der benötigten Wehre.

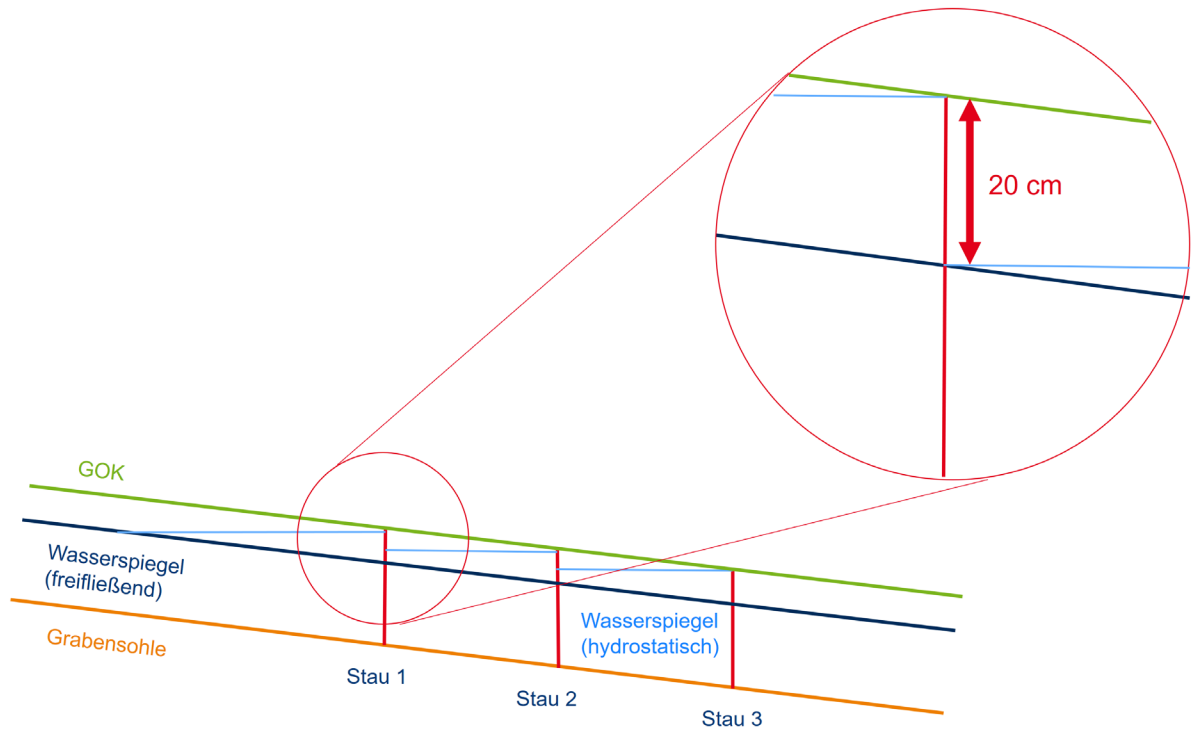


Abbildung 38: Wasserspiegelunterschied an den Wehren, Staustufen alle 20 cm (Drei Wehre benötigt)

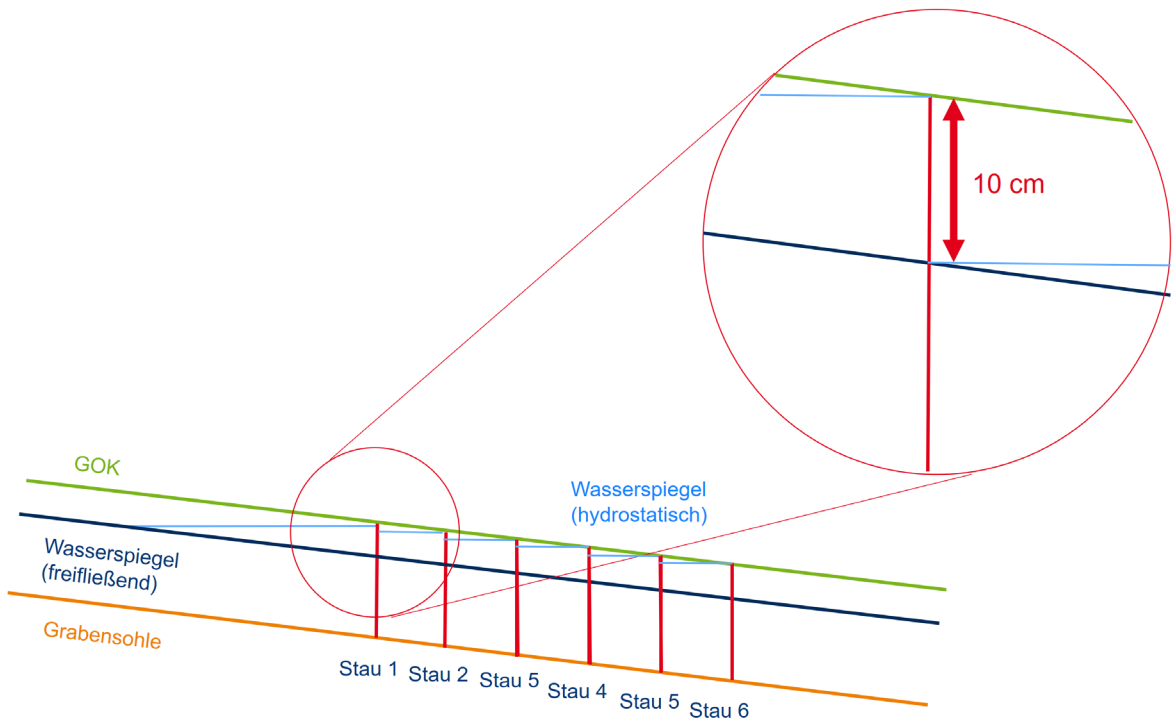


Abbildung 39: Wasserspiegelunterschied an den Wehren, Staustufen alle 10 cm (Sechs Wehre benötigt)

Wasserspeicher

Verdunstungsverluste, Wasser für die Grundwasserneubildung, oder für die Bewirtschaftung abgelassenes Wasser, können in Hochmoren, wie dem Gnarrenburger Moor, nur durch Niederschläge bzw. dem Rückhalt von Niederschlägen ausgeglichen werden. Um den Moorwasserstand niederschlagsunabhängig anheben zu können, ist Zusatzwasser erforderlich. Eine Entnahme aus Oberflächengewässern (zum Beispiel aus der Oste) ist aufgrund von Nährstoffbelastungen und geringen Abflüssen in den Sommermonaten nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Wie auch die Wasserentnahme aus den Grundwasserkörpern, wird diese Möglichkeit nicht in Betracht gezogen. Daher ist die Speicherung von Niederschlägen, insbesondere in den Wintermonaten, erforderlich. Nach den Berechnungen zum Wasserhaushalt (Kapitel 5.1.2), gibt es im Winter einen Wasserüberschuss von 195 mm, der aktuell als Abfluss aus dem Gnarrenburger Moor abgeleitet wird. Ein Teil dieses Abflusses kann in Speicherbecken zurückgehalten werden. Das Speichervolumen muss so dimensioniert werden, dass das Wasserdefizit im Sommer ausgeglichen werden kann. Dabei ist zu entscheiden, ob dieser Speicher für ein mittleres oder für ein trockenes Jahr dimensioniert werden soll. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass der Rückhalt von Starkregen durch die Vernässung und den Grabeneinstau auf den Moorflächen erheblich verringert wird und damit die Hochwassergefährdung erhöht wird. Um das zu vermeiden, ist ein entsprechender zusätzlicher Speicherraum für den Hochwasserschutz bereitzustellen. Für die Dimensionierung der Speicherlamellen müssen die zu bewässernde Fläche, das Einzugsgebiet und die unterhalb liegenden, evtl. zu schützenden, Flächen betrachtet werden. Wenn der speicherbare Gebietsabfluss einer Fläche nicht für die Maßnahmen ausreicht, kann ggf. auf den Abfluss weiterer Flächen zugegriffen werden, auf der keine Umsetzungsmaßnahmen geplant werden. Zusätzlich zu den ermittelten Abflüssen aus der klimatischen Wasserbilanz können, je nach Position des Speicherbeckens, Abflüsse aus den geplanten Absenkungen des Moorwasserstands für die Flächenbewirtschaftung gespeichert werden.

Je nach Größe und Position der möglichen Speicherstandorte und in Abhängigkeit der Flächen, auf denen die Gebietskonzepte umgesetzt werden, ist es erforderlich mehrere Speicher für einzelne Teilgebiete einzurichten. In den meisten Fällen muss das Wasser entweder zur Befüllung des Speichers oder zur Bewässerung gepumpt werden. Daher ist es aus

energetischen Gründen effizienter möglichst kurze Leitungstrecken zu wählen. Auch reduziert sich bei der Nutzung mehrerer Speicherbecken im Gnarrenburger Moor das erforderliche Volumen der einzelnen Speicherbecken.

6 Unterflurbewässerung im Praxisversuch

6.1 Standort und Versuchsaufbau

6.1.1 Standorte

Die Versuchsfläche zur Unterflurbewässerung im Praxisversuch, Demonstrationsversuch D12, befindet sich ca. 1 km nordwestlich der Ortschaft Forstort-Anfang, Gnarrenburg, (Abbildung 40) und hat eine Gesamtfläche von 5,05 ha. Das Hochmoorgrünland wird intensiv als Wiese (4-5 Schnitte, $>200 \text{ kg N-Düngung ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) genutzt. Die Torfmächtigkeit beträgt hier etwa 3,70 m. Das Hochmoor ist unterlagert von Fein- und Mittelsanden, tlw. auch feinsandigem Geschiebemergel (Bohrung der Firma Harms Brunnenbau GmbH). Das Normerdmochmoor weist einen 0,2 m mächtigen vererdeten Oberboden auf, der durch die Grünlanderneuerung mit ehemaligem Wurzelfilz sowie Weißtorfbrocken vermischt ist. Aufgrund der Planierungsarbeiten zur Standorteinrichtung (s.u.) ist diese Einmischung von Weißtorf räumlich sehr heterogen. Unter dem vererdeten Oberboden finden sich bis in 1,05 m Tiefe schwach zersetzte Weißtorfe der Sektion *Acutifolia* und *Cymbifolia* mit Zersetzungsgraden nach v. Post von 2 bis 3 sowie der Sektion *Cuspidata* mit einem Zersetzungsgrade von 5 (0,92-1,05 m tief). Bis zur Moorbasis wurden Schwarztorfe mit Zersetzungsgraden von 6 bzw. 8 angetroffen (Anhang 3, Tabelle 45). Die mächtige Weißtorfschicht stellt aufgrund der relativ hohen Wasserleitfähigkeit der gering zersetzten Sphagnetorfe eine gute Voraussetzung für die Unterflurbewässerung dar.

Zum Vergleich steht der vom Thünen-Institut im Rahmen von ICOS („Integrated Carbon Observation Project“, <http://www.icos-infrastruktur.de/>) betriebene Standort im Gnarrenburger Moor bei Oberklenkendorf zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um ein ebenfalls intensiv als Wiese (4 bis 5 Schnitte, $> 300 \text{ kg N-Düngung ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) genutztes Hochmoorgrünland mit mehr als 3 m Torfmächtigkeit. Die Torfeigenschaften (Anhang 3, Tabelle 46) ähneln dem Standort D12: Auf einen vererdeten Oberboden (teilweise mit leichten Sandbeimengungen) folgen bis in eine Tiefe von 0,68 m gering zersetzte (H2 bis H3) *Sphagnum*-Torfe. Darunter befinden sich Schwarztorfe (H6 bis H7), die teilweise von geringer zersetzten Torfhorizonten unterbrochen werden.

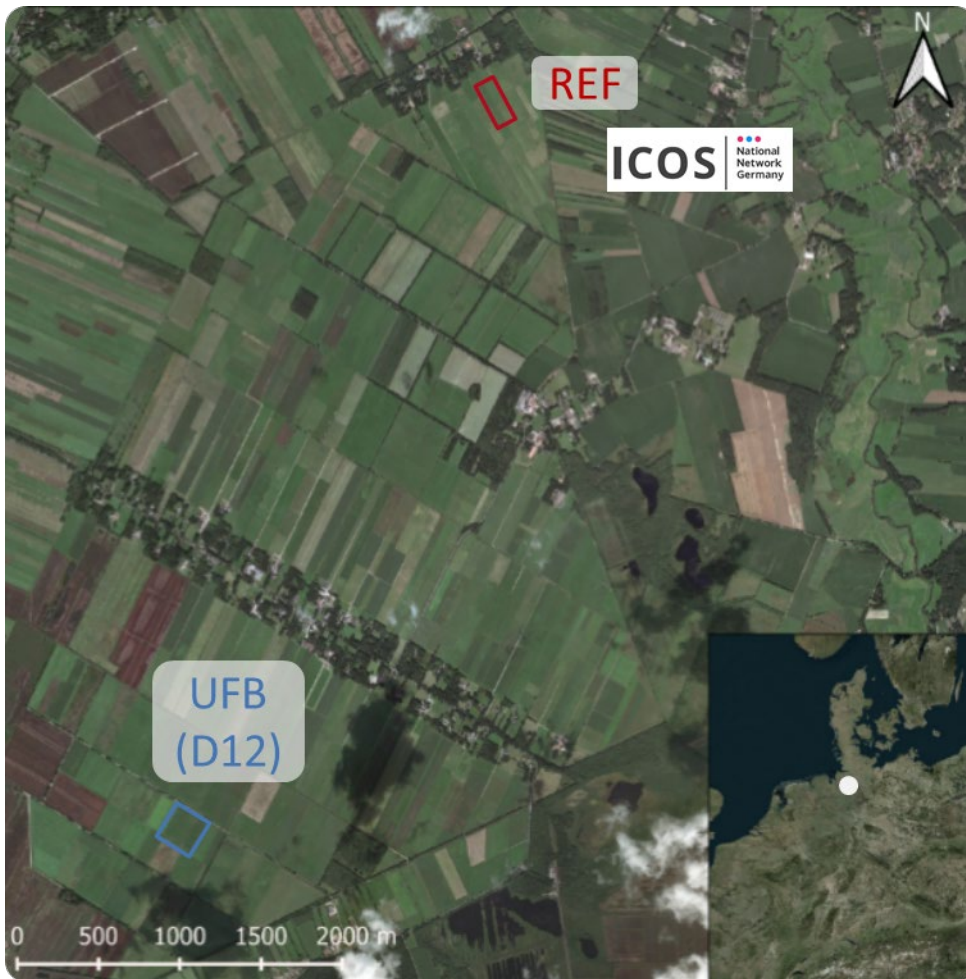


Abbildung 40: Lage der Versuchsfläche D12 (Unterflurbewässerung, UFB) sowie der Referenzfläche (REF).

6.1.2 Versuchsaufbau

Die Unterflurbewässerung wurde auf 3 Teilflächen („Ebenen“) mit unterschiedlichen Geländehöhen eingerichtet: Fläche 1 lag im Median 10,72 m über NN, Fläche 2 10,60 m und Fläche 3 10,32 m. Das Dränsystem wird über einen Schacht mit Grundwasser versorgt, das aus einem zentral gelegenen Brunnen mit einer Solarpumpe gefördert wird (Abbildung 41). Es besteht aus drei Sammlern (DN125 und DN160), mit denen zugeführtes Wasser über perforierte Sauger (DN65; Abstand 4 m, ca. 90 cm tief) in die Flächen eingeleitet, bzw. Überschusswasser aus den Saugern abgeführt wird. Am Rande der Versuchsfläche befinden sich auf beiden Seiten Fangdrainagen (DN65), die die Vernässung angrenzender Flächen verhindern. Die Wasserzufuhr erfolgt in einem Kaskadensystem: Die Solarpumpe füllt Schacht 1, dieser versorgt Fläche 1 und anschließend über einen Überlauf Schacht 2, der wiederum Fläche 2 und anschließend, bei Überlauf, Fläche 3 mit Wasser versorgt. Die

Steuerung der Wasserstände erfolgt für die Flächen 1 und 2 durch Überlaufrohre in den Schächten 1 und 2, während Fläche 3 durch Änderung der Auslasshöhe vor dem Vorfluter III. Ordnung reguliert wird. Die Pumpe wird über den Wasserstand auf Fläche 3 gesteuert, wobei ein Überlaufen und damit eine unnötige Wasserzufuhr in Zeiten des Pumpbetriebs verhindert wird. Niederschlagsbedingtes Überschusswasser fließt bei Erreichen der Zielhöhen über ein Venturi-Gerinne am Auslass von Fläche 3 ab.

Die Moorwasserstände werden jeweils etwa auf der Mitte der jeweiligen Teilflächen einmal in Dränbeetmitte (Pegel F) und einmal auf halber Distanz zwischen Beetmitte und Dränrohr (Pegel FT) mit Grundwasserstandsloggern (Absolutdrucksensoren Rugged Troll 100 Data Logger der Firma In Situ) stündlich aufgezeichnet. Ein zur Berechnung der Moorwasserstände notwendiger Logger zur Erfassung des Luftdrucks wurde ebenfalls im Gebiet installiert. In den Schächten und vor dem Auslass von Fläche 3 wurden GSM-Module mit Fernübertragung verwendet, um die Wasserstände vom LBEG aus kontrollieren zu können.

Für die manuelle Messung der N_2O - und CH_4 -Emissionen mit Hauben wurden permanente Messplots eingerichtet. Jeweils eine aus drei Messplots bestehende „Site“ befindet sich in Dränbeetmitte, die andere auf einem Dränrohr. Aufgrund der Heterogenität der Versuchsfäche mit Unterflurbewässerung wurde das im Februar 2019 eingerichtete Site-Paar (UFB_1, Fläche 3) im Juni 2020 um ein weiteres Paar (UFB_2, Fläche 2a) ergänzt. An den THG-Messplots wurden ebenfalls Grundwassermessstellen mit Datenloggern sowie weiterer bodenhydrologischer Messtechnik (Anhang 3 und Abbildung 41) installiert. Dies dient dazu, den Einfluss der Wasserstände und Bodenfeuchten auf die N_2O - und CH_4 -Emissionen direkt zu untersuchen.

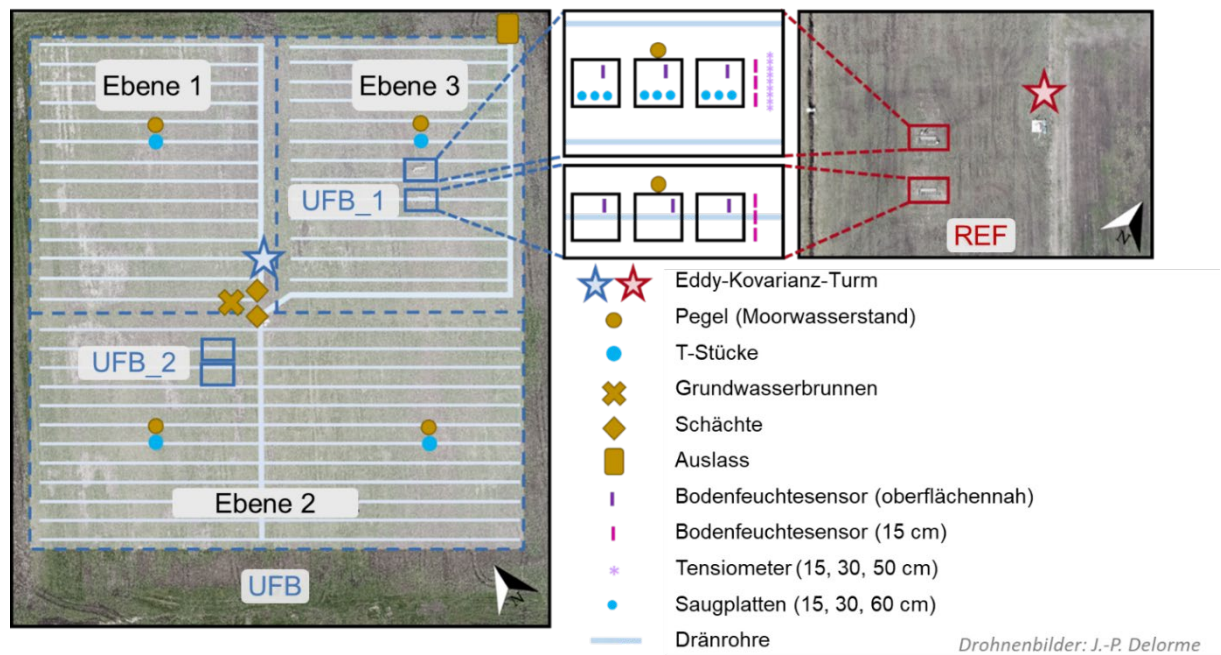


Abbildung 41: Aufbau des Feldversuchs und der Messeinrichtungen. am Standort mit Unterflurbewässerung (UFB) und am Referenzstandort (REF). Verändert nach Offermanns *et al.*, 2023. Details zur Messtechnik (Treibhausgase und Bodenhydrologie) sind in Anhang 3 zu finden.

Die Installation der Unterflurbewässerung und die weitere Einrichtung der Fläche erfolgten in folgendem zeitlichen Verlauf:

- Dezember 2018: Verlegung der Dränagen im Schlitzverfahren und Einbau der Schächte
- Februar/März 2019: Installation der THG-Messtechnik (Anhang 3)
- März 2019: Bohrung des Förderbrunnens
- April 2019: Fräsen und Planierungsarbeiten, Fertigstellung des Pumpsystems
- Juni 2019: Fertigstellung Auslassbauwerk Fläche 3 und Beginn der Wasserzufuhr
- September 2019: Fertigstellung des Venturi-Gerinnes mit automatischem Probenehmer

In 2019 wurde zudem nach Genehmigung eine Grünlanderneuerung vorgenommen, um die Störungen des Grasbestands durch Drän- und Planierungsarbeiten sowie Mäusebefall zu beheben und eine für den Milchviehbetrieb erforderlich wertvolle Grasnarbe zu schaffen. Infolge der Trockenheit im Sommer 2019 und der Störung des Bodengefüges durch die Planierungsarbeiten musste eine mehrmalige Neuansaat vorgenommen werden:

- 25.04.2019: Saat von Hafer (60 kg/ha), Walzen, Saat der Grünlandmischung Standard GIlo (42 kg/ha, BAT Agrar GmbH & CoKG), empfohlen zur Nach- und Neuansaat auf trockenen, normalen, feuchten und moorigen Böden, Walzen.
- 13.05.2019: erneutes Walzen
- 11.07.2019: Mähen und Abfuhr des Pflanzenbestandes, Saat von Grünlandmischung Standard GIlo (40 kg/ha) + einjähriges Weidelgras (5 kg/ha), jedoch erfolglos
- 14.08.2019: Saat von Grünlandmischung Standard GIlo (40 kg/ha).

6.2 Hydrologie

6.2.1 Klimatische Bedingungen und Pumpraten

Der extrem trockene Sommer 2018 wirkte sich auch noch auf das Jahr 2019 aus, so dass die Moorwasserstände sowohl am Referenzstandort als auch auf D12 zu Jahresbeginn niedriger als an Moorstandorten üblich waren. Auch in den Sommern 2019 und 2020 waren die Wasserbilanzen leicht negativ, während der Sommer 2021 recht feucht war und eine deutlich positive Wasserbilanz aufwies. Alle Winterhalbjahre zeichnete sich durch ähnliche Wasserbilanzüberschüsse (196 bis 253 mm, Tabelle 38) aus. Insgesamt lagen die Niederschläge in den Jahren 2019 (754 mm) und 2021 (794 mm) nahe dem langjährigen Mittel von 772 mm, 2020 (698 mm) und 2022 (736 mm) darunter.

Mit dem Zuführen von Grundwasser wurde Mitte des Jahres 2019 begonnen. Die Fördermenge lag in diesem Jahr bei 268 mm bis zum Ausbau der Pumpe Ende September. 2020 wurden 249 mm Zusatzwasser benötigt, wobei zum Anheben der nach dem trockenen Sommer 2019 niedrigen Wasserstände von April bis zum Ausbau der Pumpe Anfang November fast durchgehend Wasser gefördert werden musste. Lediglich in Zeiträumen mit stärkeren Niederschlägen im August und September wurde weniger Zusatzwasser benötigt. Im nasseren Jahr 2021 war die Fördermenge mit 55 mm von Anfang Mai bis zum Ausbau Mitte November deutlich niedriger als in den trockeneren, vorangegangenen Jahren. In diesem Jahr wurde nur zwischen Anfang Juli und Mitte August Wasser zugeführt. Der Sommer 2022 war wieder deutlich trockener als im Vorjahr und entsprechend wurden 372 mm von Mitte Mai bis zum Ausbau Mitte Oktober benötigt. Vor allem von Mitte August bis Mitte September waren die Raten, aufgrund ausbleibender Niederschläge, mit bis zu 7 mm pro Tag besonders hoch.

6.2.2 Moorwasserstände

Moorwasserstände auf den Teilflächen der Unterflurbewässerung

Die mittleren Jahreswasserstände wurden in den Jahren 2020 und 2021 auf die gewünschten 0,30 m unter Geländeoberkante angehoben werden, wobei die Werte auf Fläche 3 etwas unter denen der Teilflächen 1 und 2 liegen (Abbildung 42). Die mittleren Wasserstände im Sommerhalbjahr lagen zwischen 0,27 und 0,38 m unter Geländeoberkante (Anhang 2 Tabelle 44). Im Jahr des Versuchsbeginns 2019 wurden Wasserstände von 0,30 m unter Geländeoberkante im Oktober erreicht, 2020 erst einen Monat später und im nasserem Jahr 2021 teilweise bereits im September. Ein Abfallen der Wasserstände nach dem Winter erfolgte zumeist ab März, in manchen Fällen bereits im Februar (Anhang 2 Abbildung 83).

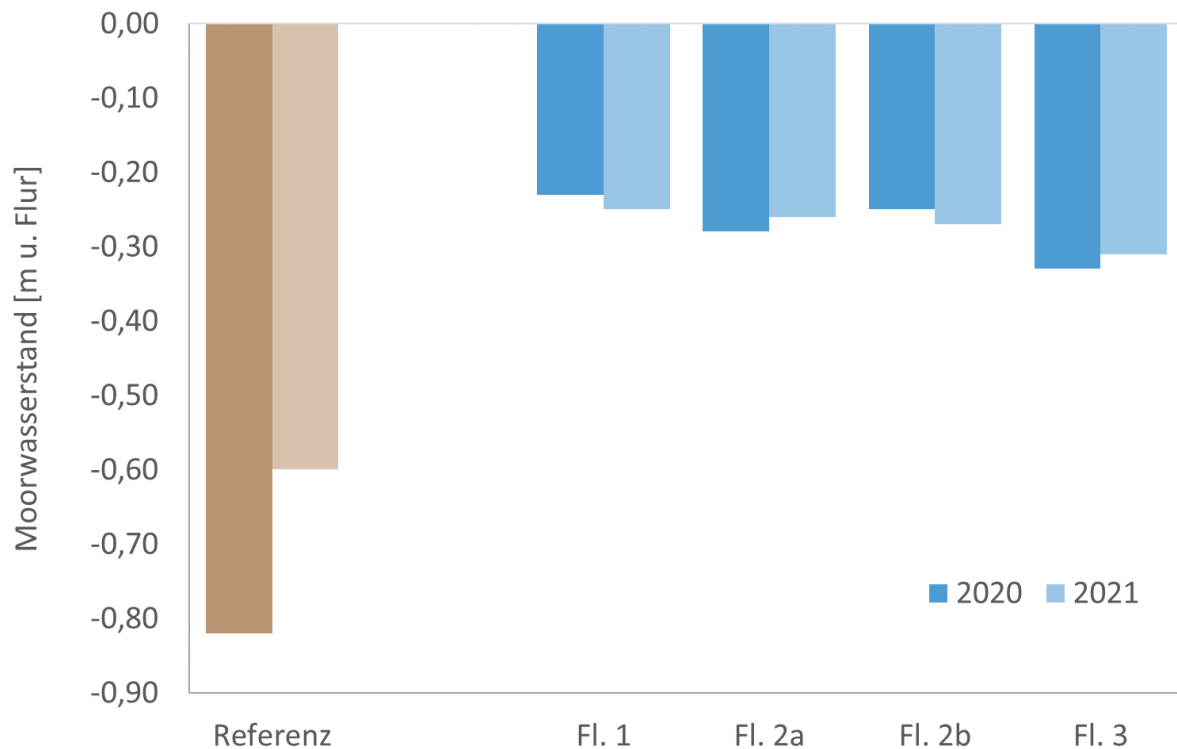


Abbildung 42: Moorwasserstände der Teilflächen auf D12 und der unvernässten Referenzfläche. Jährliche Mittelwerte.

Die Differenz zwischen den Messstellen in Dränbeetmitte (F) und auf halber Strecke zwischen Dränrohr und Dränbeetmitte (FT) betrug wenige Zentimeter, wobei Werte an der Messstelle mitten zwischen den Dränen im Sommer gleich hoch und im Winter ca. 5 cm höher ausfielen als an der Messstelle, die dichter am Dränrohr liegt.

Schwankungen im Wasserstand entstanden nach Absenkung für die bevorstehende Mahd. Insgesamt waren die Wasserstände auf Fläche 3 insbesondere im ersten Untersuchungsjahr niedriger als auf den anderen Flächen. Auf dieser hatte sich außerdem ab dem Winter 2020/21 im Bereich nahe der Schächte über einen längeren Zeitraum eine Pfütze mit einer Fläche von ca. 680 m² und einem Volumen von ca. 30 m³ gebildet, die im Sommer zeitweise abtrocknete. Da es zu keiner Versickerung gekommen ist und die Fläche wieder befahrbar werden sollte, wurde die Pfütze Mitte März 2022 abgepumpt. Die Ursache für die Pfütze wird in dem Zusammenfließen von Oberflächenwasser in der lokalen Senke in Verbindung mit mangelnder Versickerung infolge Staunässe gesehen. Durch gezieltes Öffnen und Schließen des Auslasses sowie durch Pumpen von Wasser in einzelne Saugel wurde ausgeschlossen, dass Verstopfungen im Dränsystem vorliegen. Die Flächenwasserstände lagen deutlich unter der Wasseroberfläche der Pfütze.

Moorwasserstände an den Messplots der THG-Messungen sowie im Footprint der Eddy-Kovarianz-Messsysteme

Zur Interpretation der gemessenen THG-Emissionen sind die Moorwasserstände an den THG-Messplots sowie im Footprint der Eddy-Kovarianz-Messsysteme entscheidend. Diese sind in Tabelle 30 dargestellt. Die Werte für die Gesamtflächen ermitteln sich aus den Moorwasserständen im Footprint, der je nach Windrichtung und -geschwindigkeit räumlich variabel ist (Details in Anhang 3). Im ersten Bilanzjahr waren die Moorwasserstände von UFB_1 deutlich niedriger als im Flächenmittel, während sich die Situation in den Folgejahren annähert.

Insbesondere im Sommer waren die Moorwasserstände in Dränbeetmitte bei UFB_1 niedriger als auf dem Drän, während sich bei UFB_2 ein geringerer Gradient eingestellt hat. Erwartungsgemäß ist die Situation auf der Referenzfläche umgekehrt, d.h. die Wasserstände am Dränrohr sind tiefer als in Dränbeetmitte, und es herrscht nahezu durchgängig eine Entwässerungssituation.

Tabelle 30: Moorwasserstände der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der tief entwässerten Referenzfläche (REF) sowie der Messvarianten für Methan und Lachgas (UFB_1, UFB_2, REF) auf den Dränrohren und in Dränbeetmitte (DBM). Mittelwerte und deren Standardabweichung für Jahr und Sommerhalbjahr

	UFB	UFB_1 (Fläche 3) (m)		UFB_2 (Fläche 2a) (m)		REF	REF (m)	
	Fläche (m)	auf Drän	DBM	auf Drän	DBM	Fläche (m)	auf Drän	DBM
2019								
Jahr	-0,25 ± 0,16	-0,46 ± 0,22	-0,59 ± 0,25	-	-	-0,82 ± 0,27	-0,93 ± 0,23	-0,72 ± 0,32
Sommer	-0,31 ± 0,17	-0,44 ± 0,20	-0,66 ± 0,29	-	-	-1,05 ± 0,13	-1,11 ± 0,10	-0,99 ± 0,18
2020								
Jahr	-0,28 ± 0,10	-0,38 ± 0,15	-0,49 ± 0,12	-0,29 ± 0,10	-0,21 ± 0,13	-0,82 ± 0,22	-0,93 ± 0,19	-0,72 ± 0,25
Sommer	-0,30 ± 0,07	-0,44 ± 0,11	-0,53 ± 0,07	-0,28 ± 0,11	-0,29 ± 0,09	-0,99 ± 0,07	-1,06 ± 0,06	-0,93 ± 0,08
2021								
Jahr	-0,25 ± 0,17	-0,28 ± 0,24	-0,44 ± 0,21	-0,25 ± 0,13	-0,22 ± 0,16	-0,60 ± 0,16	-0,73 ± 0,15	-0,48 ± 0,18
Sommer	-0,33 ± 0,13	-0,38 ± 0,18	-0,54 ± 0,15	-0,29 ± 0,10	-0,29 ± 0,13	-0,71 ± 0,11	-0,82 ± 0,10	-0,61 ± 0,12

6.3 Bewirtschaftung und Grünlanderträge

Wie oben dargestellt, wurde die Versuchsfläche mit Unterflurbewässerung nach der Planung neu angesät, es gab jedoch Probleme mit dem Auflaufen der Gräser infolge trockener Verhältnisse im Frühsommer. Entsprechend wurde im Jahr 2019 nur eine geringe Menge an Biomasse (größtenteils Knöterich) vom Versuchsstandort abgefahren (Abbildung 43). Auch die Referenzfläche war noch vom Trockensommer 2018 beeinflusst und daneben (im Vergleich zu anderen Grünlandstandorten in Niedersachsen allerdings eher moderat) von Mäusen befallen. Entsprechen waren die Erträge auch hier gering.

Die Bewirtschaftung der Versuchsfläche erfolgte ab 2020 mit einer Nutzung von vier bis fünf Schnitten und einer bedarfsgerechten Düngung, so dass 2020 dann reguläre Erträge aus 4 Schnitten geerntet werden konnten. Trotz eines fünften Schnittes lagen die Erträge der Referenzfläche leicht unter der UFB.

Der Versuch zur Unterflurbewässerung weist höhere Erträge im feuchten Jahr 2021 als in den trockeneren Jahren 2020 und 2022 auf. Diese positive Entwicklung ist vermutlich auch durch den endgültigen Narbenschluss zu erklären. Auch die Referenzfläche profitierte von den höheren Niederschlägen 2021, die in höheren Erträgen als in den Vorjahren und als auf der UFB-Fläche resultierten.

Im Jahr 2022 gab es einen fünften Schnitt, da die Wachstumsphase noch lange in den Herbst ging und die Aufwüchse zur Überwinterung keine zu hohe Wuchshöhe aufweisen dürfen (Daten nicht gezeigt).

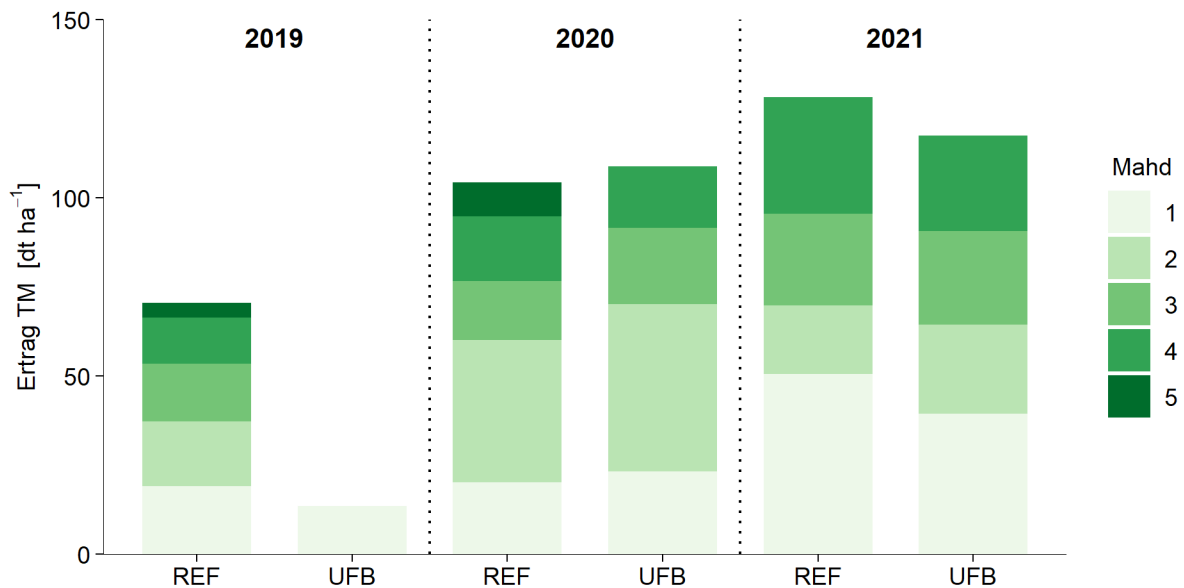


Abbildung 43: Trockenmasseerträge von Referenzstandort (REF) und Unterflurbewässerung D12 (UFB).

Der Anteil der Gräser in der eingesäten Gräsermischung findet sich im Bestand relativ konstant wieder. Aus der ursprünglichen Mischung von deutschem Weidelgras, Wiesenlieschgras, Wiesenrispe und Wiesenschwingel haben sich vor allem das deutsche Weidelgras und das Wiesenlieschgras als dominante Gräser etabliert. Im Jahr 2022 ist besonders das deutsche Weidelgras noch mehr erstarkt. Allerdings breitet sich von der nassen Senke (Kapitel 6.2.2) ausgehend zunehmend *Juncus effusus* aus. Ende 2022 war es auch in Ebene 2 anzutreffen, so dass die Bestandsentwicklung zu beobachten ist. Entsprechend gehen die dargestellten ähnlichen oder höheren Trockenmasseerträge im Vergleich zum Referenzstandort nicht zwangsläufig mit einer gleichwertigen Futterqualität einher.

6.4 Entwicklung der Geländehöhen

Bei den Geländehöhen auf D12 hat zwischen 2019 und 2022 eine leichte Höhenzunahme stattgefunden, wobei der Wert auf Fläche 2b am höchsten ist (Tabelle 31). Änderungen

der Geländehöhen sind sowohl auf physikalische als auch auf biologische Prozesse zurückzuführen, wobei nur letztere klimawirksam sind. Aufgrund des Vorhandenseins quellfähiger Weißtorfe und der starken Anhebung der Wasserstände ist davon auszugehen, dass eine Rückquellung bzw. Schwellung der Torfe stattgefunden hat, die im Nettsignal der Geländehöhen die nach wie vor stattfindenden Kohlenstoffverluste (Kapitel 6.6.1.2) überlagert.

Tabelle 31: Höhenänderung auf D12 von Mai 2019 bis September 2022 (in m). Positive Werte zeigen Höhenzunahme, negative Höhenabnahme. MW – Mittelwert; N – Anzahl der Messungen.

Versuch	Variante	MW	5% Quantil	95% Quantil	N
D12	Fläche 1	0,01	0,10	-0,06	29
D12	Fläche 2a	0,05	0,20	-0,30	23
D12	Fläche 2b	0,08	0,21	-0,05	27
D12	Fläche 3	0,03	0,18	-0,13	34

Am Referenzstandort (und seit 2022 auch auf D12) werden regelmäßige flächige sowie punktuell zeitlich hoch aufgelöste Messungen der Geländehöhen im Rahmen des Projekts „Aufbau eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz (MoMoK)“¹ durchgeführt. Ergebnisse liegen jedoch noch nicht vor.

6.5 Eindringwiderstände

Nachdem es zu Beginn in 2019 bei einer nicht oder nur teilweise etablierten Grasnarbe noch Probleme bei der Befahrbarkeit gab, zeigen die Messungen der Eindringwiderstände ab 2020, dass D12 zunehmend auch in der nassen Jahreszeit tragfähiger wurde. Der trockene Sommer 2022 hat, wie auch auf anderen Flächen, zu besonders hohen Eindringwiderständen geführt. Das Gebiet um die Wasserschächte sowie die oben beschriebene Senke wiesen dabei merkbare Probleme mit der Nässe auf. (Abbildung 44). Vergleichsdaten für die Referenzfläche liegen nicht vor.

¹ <http://www.moorbodenmonitoring.de>

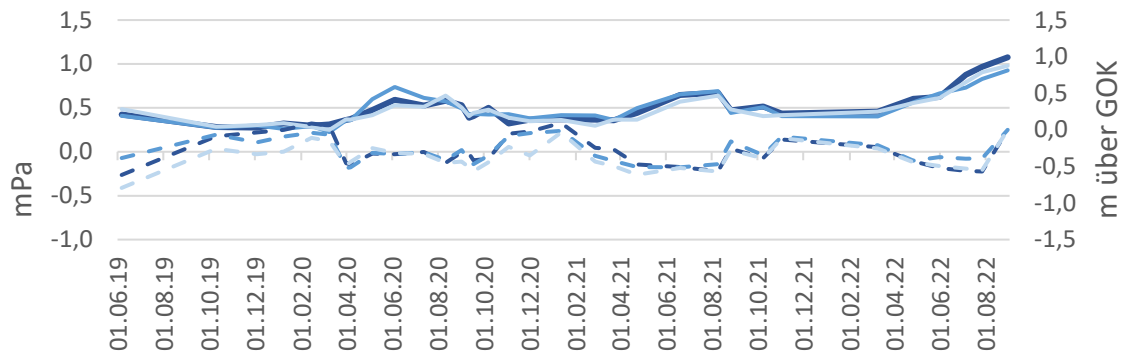


Abbildung 44: Wasserstände und Eindringwiderstände auf D12 Eindringwiderstand als Mittelwert über die Tiefe 5 bis 20 cm, Wasserstände bezogen auf den Median der Geländehöhe. Eindringwiderstände: durchgezogene Linien, Wasserstände: gestrichelte Linien. Dunkelblau: Ebene 1, Blau: Ebene 2, Hellblau: Ebene 3. GOK – Geländeoberkante.

6.6 Treibhausgasemissionen

Im Rahmen dieses Berichtes werden Ergebnisse für drei Jahre dargestellt. Für das erste Bilanzjahr („Bilanzjahr 2019“) wurde der Zeitraum 21.03.2019 bis 20.03.2020 festgesetzt und umfasst somit die Grünlanderneuerung auf D12. Ergebnisse des ersten Bilanzjahres sind in Offermanns *et al.* (2023) zu finden und werden dort ausführlich diskutiert sowie in die deutsche und internationale Literatur eingeordnet. Das zweite und dritte Bilanzjahr („Bilanzjahr 2020“ und „Bilanzjahr 2021“) basiert auf den Perioden vom 21.03.2020 bis 20.03.2021 und 21.03.2021 bis 20.03.2022. Informationen zur Methodik finden sich in Anhang 3 sowie in Offermanns *et al.* (2023). Wichtig zu erwähnen ist, dass die nasse Senke in den dargestellten CO₂-Bilanzen nicht enthalten ist (siehe Anhang 3), d.h. die dargestellten Bilanzen beziehen sich nur auf den regulär als Grünland nutzbaren Teil der Versuchsfäche. Da die Ergebnisse des zweiten und dritten Versuchsjahres noch nicht begutachtet veröffentlicht sind, sind sie im Detail als vorläufig zu betrachten.

6.6.1 Austausch von Kohlendioxid (CO₂)

Netto-Ökosystemaustausch (NEE)

Mit der Eddy-Kovarianz-Methode wurde der Netto-Ökosystemaustausch („*net ecosystem exchange*“ = NEE) von CO₂ direkt gemessen. Die Aufteilung („Partitionierung“) in Bruttoprimärproduktion (*gross primary production* = GPP) und Ökosystematmung (*ecosystem respiration* = R_{eco}) erfolgt über Modellansätze (siehe Anhang 3). Die Ökosystematmung

setzt sich wiederum aus Pflanzenatmung und Bodenatmung (Mineralisierung von Torf und anderen Biomasse) zusammen. Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen den Jahresgang des CO₂-C-Flusses differenziert in GPP, R_{eco} und NEE auf Fläche D12 (Unterflurbewässerung) und dem Referenzstandort. Typischerweise steigen GPP und R_{eco} mit aufwachsender Vegetation bzw. mit höheren Bodentemperaturen. Durch die Ernten sinkt aufgrund der entnommenen Biomasse schlagartig die Photosynthese, was sich in erhöhten Werten des NEE widerspiegelt.

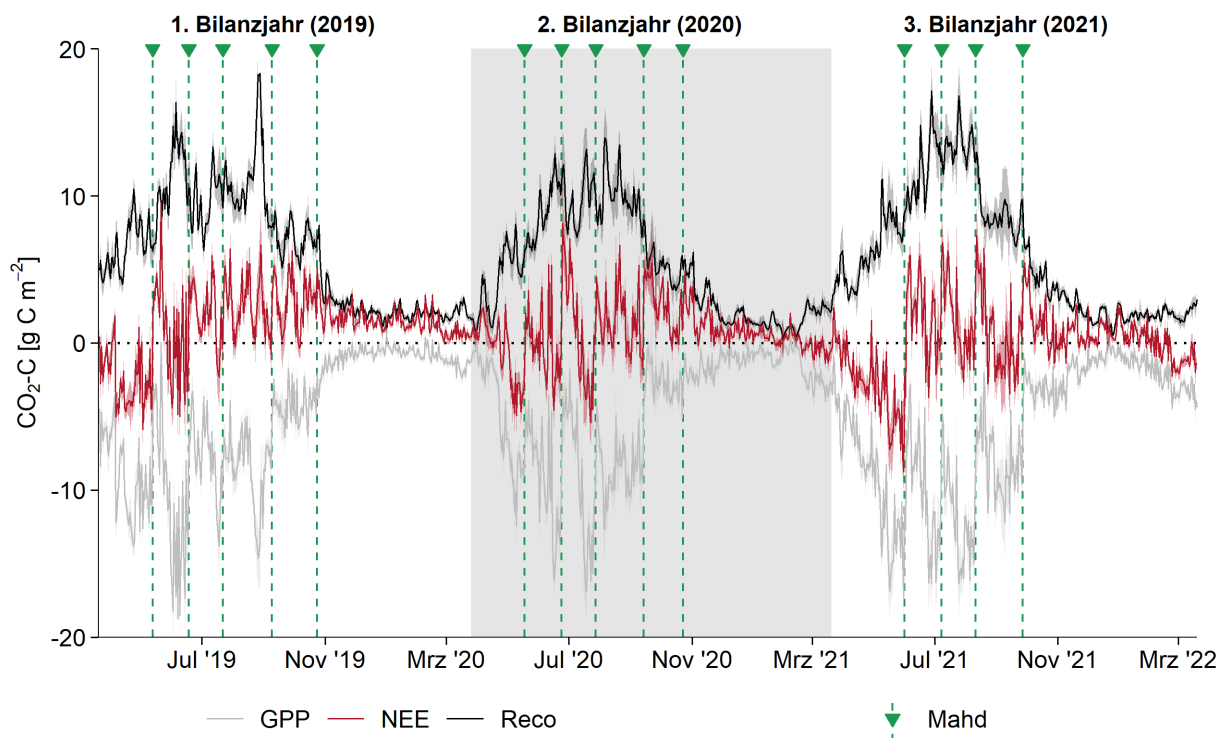


Abbildung 45: Tageswerte der Bruttoprimärproduktion (GPP), des Netto-Ökosystemaustausches (NEE), und der Ökosystematmung (R_{eco}) auf der Referenzfläche. Emissionen von CO₂ sind mit positivem Vorzeichen und Aufnahmen von CO₂ durch das Ökosystem sind mit negativen Vorzeichen dargestellt.

Während dieser typische Jahresverlauf bei der Referenzfläche in allen drei Jahren ähnlich ausgeprägt war (Abbildung 45), unterschieden sich die Bilanzjahre bei der Unterflurbewässerung (D12) deutlich (Abbildung 46): Nach der ersten intensiven Bearbeitung der Fläche (Fräsen und Planieren) im April 2019 wurde eine erhöhte Ökosystematmung festgestellt, die im Anschluss mit der Verbreitung von Unkräutern wie Knöterich und Vogelmiere durch eine erhöhte Photosynthese ausgeglichen wurde. Aufgrund des geringen Grünlandaufwuchses und der zunächst noch recht niedrigen Grundwasserflurabstände

dominierte R_{eco} den Netto- CO_2 -Austausch. Zwischen den Vegetationsperioden, also etwa von Anfang November bis Ende Februar bewegen sich die CO_2 -C-Emissionen von D12 mit sehr hohen Wasserständen vor allem aufgrund der niedrigeren Respiration in der Summe im nahezu neutralen Bereich ($9 \text{ g } CO_2\text{-C m}^{-2}$), was auch deutlich an der kaum noch ansteigenden kumulativen CO_2 -Kurve in Abbildung 47 zu sehen ist (Kapitel 6.6.1). Dagegen wurden auf der Referenzfläche bei etwas niedrigeren Wasserständen im gleichen Zeitraum Netto- CO_2 -C-Emissionen von $151 \text{ g } CO_2\text{-C m}^{-2}$ gemessen.

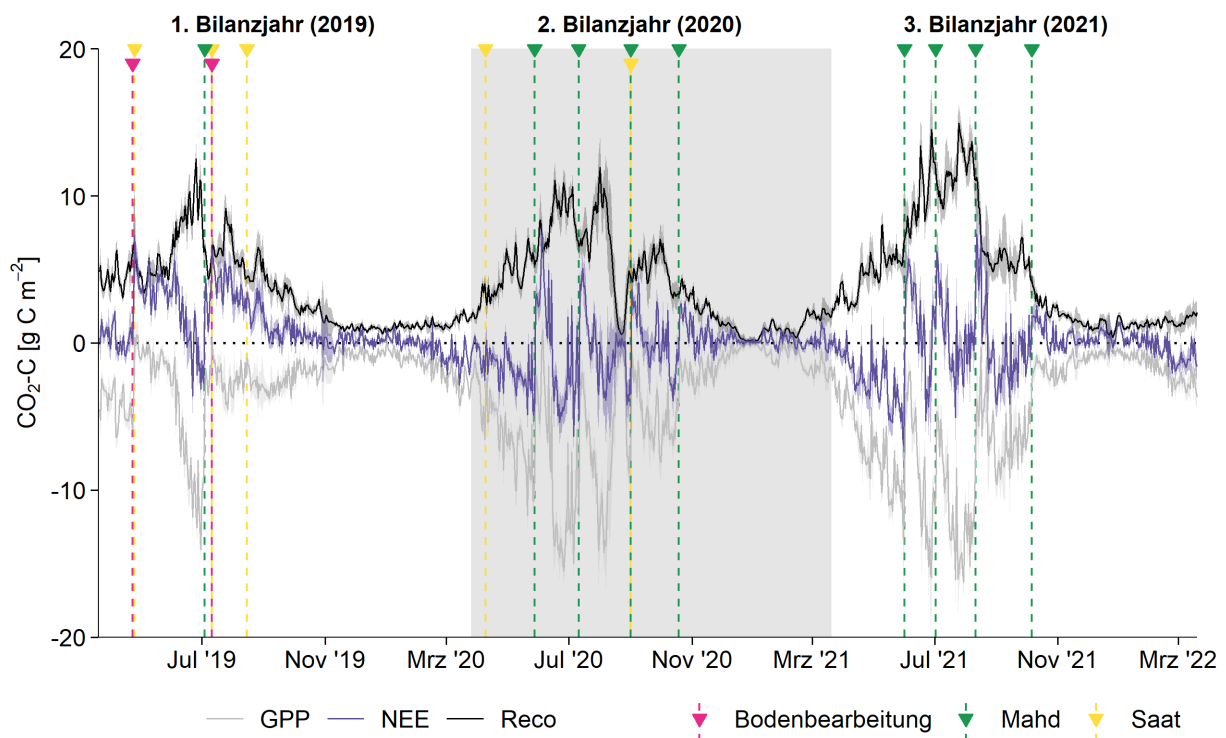


Abbildung 46: Tageswerte der Bruttoprimärproduktion (GPP), des Netto-Ökosystemaustausches (NEE) und der Ökosystematmung (R_{eco}) auf D12. Emissionen von CO_2 sind mit positivem Vorzeichen und Aufnahmen von CO_2 durch das Ökosystem sind mit negativen Vorzeichen dargestellt.

Im zweiten und dritten Bilanzjahr zeigten sich auf dem Standort mit Unterflurbewässerung typische Jahressgänge von GPP und R_{eco} , wobei R_{eco} auf einem niedrigeren und GPP auf einem leicht höheren Niveau als die Werte der Referenzfläche lag. Dies lässt sich mit den erhöhten Wasserständen und im zweiten Bilanzjahr mit dem noch andauernden Schließen der Grasnarbe erklären.

Kohlenstoffbilanz

Entscheidend für Kohlenstoffverluste oder -gewinne des Bodens ist die **Gesamt-Kohlenstoff-Bilanz**. Dazu werden zum NEE noch der Kohlenstoff im abgefahrenen Mahdgut addiert und der Kohlenstoffinput durch ausgebrachten Wirtschaftsdünger subtrahiert. Auch die Methan-Emissionen (als Kohlenstoff) und der Austrag von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) sind Teile der Kohlenstoffbilanz, werden hier jedoch nicht mit dargestellt, da die CH₄-Emissionen vernachlässigbar gering sind und die DOC-Daten noch nicht vollständig vorliegen. Abbildung 47 stellt den kumulativen Netto-Ökosystemaustausch für CO₂ (NEE) sowie die Exporte und Importe von Kohlenstoff über Ernte und organische Düngung sowie die Flächenwasserstände für die drei Bilanzjahre 2019, 2020 und 2021 dar. Bei den dargestellten Moorwasserständen ist zu beachten, dass für D12 für jeden Tag der mittlere Wasserstand im Footprint dargestellt ist. Da der Footprint je nach Windrichtung und -geschwindigkeit variiert, entspricht dies nicht dem Mittelwert aller Pegeldatenlogger, sondern kann direkt dem CO₂-Austausch zugeordnet werden (siehe Anhang 3).

Die kumulative Kurve von D12 (Unterflurbewässerung) unterscheidet sich im Bilanzjahr 2019 von der relativ gleichmäßig ansteigenden Kurve der Referenzfläche darin, dass sie bis September steiler ansteigt, danach aber fast nicht mehr. Die hohen CO₂-C Emissionen im Sommer 2019 sind vermutlich vor allem durch die intensiven Eingriffe bei der Versuchseinrichtung (verstärkte Torfmineralisierung, Zersetzung von Wurzelbiomasse) bedingt. Die beinahe neutrale CO₂-C Bilanz im Winterhalbjahr ist dadurch zu erklären, dass ab Mitte August die Zielwasserstände erreicht wurden, die Produktivität der Ansaat zunahm und kein Entzug der neu aufgewachsenen Biomasse durch Ernte vorgenommen wurde. Bei der Referenzfläche fällt auf, dass die CO₂-Emissionen im Winter 2019/20 höher als in den darauffolgenden Jahren sind, was vor allem auf geringe GPP-Raten im (kalten) Februar und März 2020 zurück zu führen ist (Abbildung 45). Insgesamt belief sich die C-Bilanz – die dem Endpunkt der Summenkurven in Abbildung 47 entspricht – im ersten Bilanzjahr auf der Referenzfläche auf 608 g CO₂-C m⁻² und auf Fläche D12 auf 464 g CO₂-C m⁻², d.h. es CO₂-Emissionen der UFB-Fläche waren geringer als die der Referenz. Erstaunlicherweise waren die Unterschiede im Winterhalbjahr am stärksten ausgeprägt.

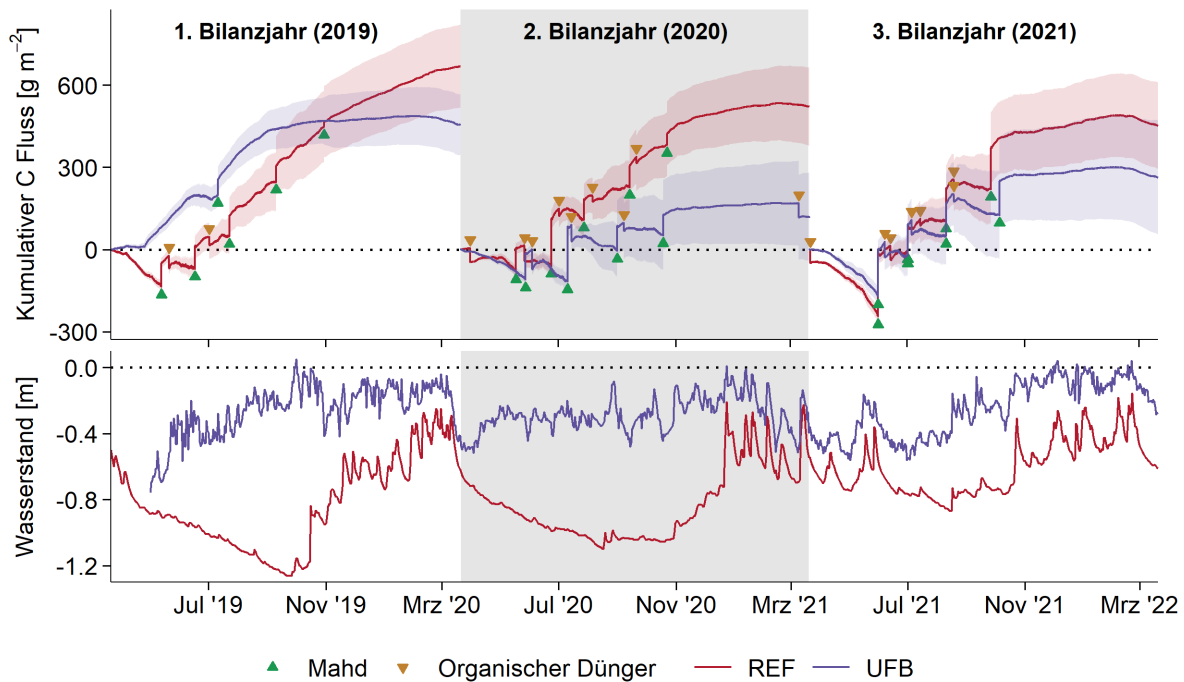


Abbildung 47: Oben: Kumulativer Kohlenstoff-Fluss als Summe des Netto-Ökosystemaustausches (NEE) sowie Import und Export von Kohlenstoff durch organischen Dünger und Ernte auf D12 (UFB) und der Referenzfläche (REF). Emissionen sind mit positivem Vorzeichen und Aufnahmen durch das Ökosystem sind mit negativem Vorzeichen dargestellt. Unten: Mittelwert des Moorwasserstandes auf D12 und der Referenzfläche.

Im zweiten Bilanzjahr wurden auf der Fläche D12 sowohl im Vergleich mit dem Einrichtungsjahr als auch im Vergleich mit der Referenzfläche ($519 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2}$) trotz leicht tieferer Wasserstände als im Vorjahr (Tabelle 30) deutlich niedrigere CO_2 -Emissionen in Höhe von $125 \text{ g CO}_2\text{-C m}^{-2}$ gemessen. Auch die CO_2 -Emissionen des Referenzstandorts waren im zweiten Bilanzjahr somit etwas niedriger als im ersten Jahr. Die Unterschiede manifestieren sich vor allem im Winter: Zum Ende des zweiten Bilanzjahres flacht die kumulative Kurve der C-Emissionen deutlicher ab als im ersten Bilanzjahr.

Ein naheliegender Grund für die niedrigeren C-Emissionen der UFB-Fläche sind die deutlich höheren Wasserstände als auf der Referenzfläche. Zudem spielt der Neuaufwuchs des Grünlandes vermutlich eine große Rolle, denn es wurde noch zwei Mal bis zum Sommer neues Saatgut ausgebracht, um die letzten vegetationsfreien Bereiche zu füllen. Entsprechend befand sich die Wurzelbiomasse vermutlich noch in der Neubildungsphase, was zu einer Aufnahme von Kohlenstoff ins Ökosystem führt. Zur Quantifizierung der Wurzelbiomasse wurden an beiden Standorten jeweils Ende April 2021 und 2022, also zwei und

drei Jahre nach der Grünlanderneuerung, eine Wurzelbeprobung durchgeführt (siehe Anhang 3). Ende April 2021 waren demnach am Referenzstandort 137 g C m^{-2} und am Standort mit Unterflurbewässerung 243 g C m^{-2} in der Wurzelbiomasse gespeichert (0-30 cm). Wenn man von einer vollständigen Zerstörung lebender Wurzeln durch die Grünlanderneuerung und einer schnellen Mineralisierung der entsprechenden Biomasse ausgeht, trägt dies zur Erklärung der sehr niedrigen CO_2 -Emissionen der Unterflurbewässerung im zweiten Versuchsjahr insbesondere im Vergleich zum dritten Versuchsjahr bei.

Im dritten Bilanzjahr stiegen die auf der Fläche D12 gemessenen CO_2 -Emissionen im Vergleich zum zweiten Bilanzjahr wieder an, lagen jedoch mit 269 g C m^{-2} weiterhin unter denen der Referenzfläche (425 g C m^{-2}). Entsprechend verringerte sich die Differenz zur Referenzfläche. Während die Wurzelbiomasse auf der Referenzfläche im dritten Bilanzjahr konstant blieb (136 g C m^{-2}), war die Neubildung der Wurzelbiomasse auf der UFB-Fläche vermutlich abgeschlossen bzw. es kam sogar zu einer Verringerung der Wurzelbiomasse (163 g C m^{-2}), was möglicherweise zur Erhöhung der Netto- CO_2 -Emissionen führte. Allerdings sind die Ergebnisse zur Wurzelbiomasse für das dritte Bilanzjahr aufgrund von Problemen bei der Probenaufbereitung mit Vorsicht zu betrachten. Da die Aufnahme von CO_2 in Wurzelbiomasse von Gräsern keine langfristige CO_2 -Senke (also keine Torfbildung) darstellt, ist nach drei Jahren noch nicht abschließend geklärt, wann sich das Gesamtsystem nach dem starken Eingriff 2019 in einem neuen „Gleichgewicht“ befindet.

Einordnung der Ergebnisse

Bisher liegen von Intensivgrünlandstandorten auf Hochmoor in Deutschland nur Daten aus dem Ahlenmoor (Tiemeyer *et al.*, 2020) und dem Ipweger Moor (Projekt „SWAMPS“, Pagenkemper *et al.* 2022) vor. Dazu kommen Daten aus den Niederlanden (Weideveld *et al.* 2021). Das Emissionsniveau der Standorte im Ipweger Moor und in den Niederlanden liegt dabei generell über dem des Ahlenmoor und des Gnarrenburger Moor (Abbildung 48). CO_2 -Emissionen von sehr extensiv genutzten Hochmoorgrünlandern in Deutschland und Irland sind dagegen unter feuchten bis nassen Bedingungen niedrig (Renou-Wilson *et al.*, 2014, 2016; Tiemeyer *et al.*, 2016, Abbildung 48).

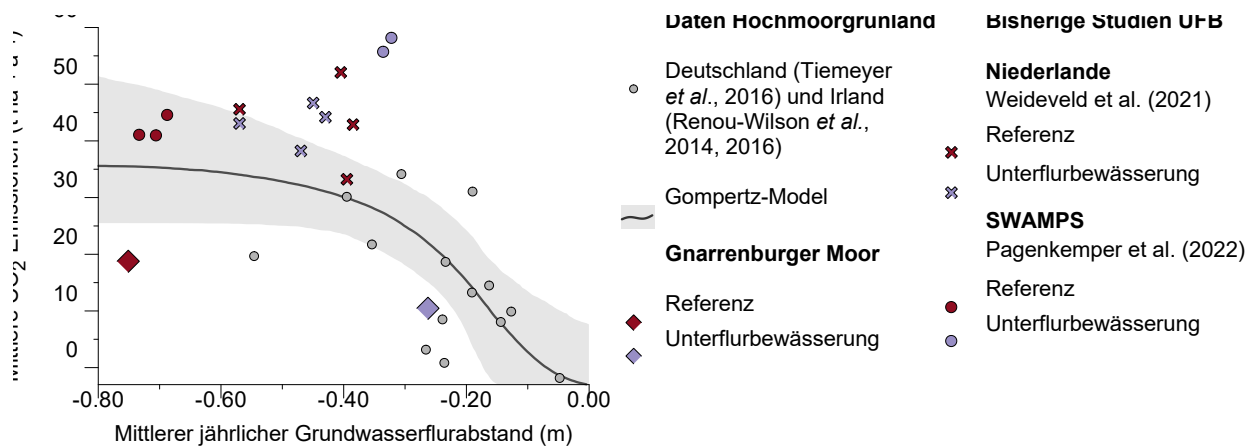


Abbildung 48: Emissionen von Kohlendioxid (CO₂) von Hochmoorgrünlandstandorten in Deutschland, Irland und den Niederlanden sowie Ergebnisse bisheriger Studien zur Unterflurbewässerung. Gompertz-Modell: Anpassung an bisherige Daten zu Hochmoorgrünland und Referenzflächen von Weideveld *et al.* (2021), Methodik siehe Tiemeyer *et al.* (2020).

Im Projekt SWAMPS wurden am Hochmoorstandort im Ipweger Moor im Mittel über 4 Jahre 38 % höhere CO₂-Emissionen an den Parzellen mit Unterflurbewässerung im Vergleich zu den Referenzflächen gemessen. Bei den Versuchen in den Niederlanden wurden generell ähnliche hohe CO₂-Emissionen wie im Ipweger Moor gemessen, allerdings zeigten sich kaum Effekte durch die Unterflurbewässerung (Weideveld *et al.* 2021). Dies ist jedoch wenig überraschend, da die Moorwasserstände nur geringfügig angehoben wurden (Abbildung 48).

Entsprechend unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden Projekte „SWAMPS“ und „Gnarrenburger Moor“ deutlich sowohl in der Höhe der CO₂-Emissionen als auch in der Wirkung der Unterflurbewässerung. Im Hinblick auf das unterschiedliche Emissionsniveau der Referenzstandorte ist festzuhalten, dass auch bei Niedermoorgrünländern bei ähnlicher Nutzung und ähnlichen Wasserständen Unterschiede gleicher Größenordnung wie hier zwischen dem Ipweger und dem Gnarrenburger Moor festgestellt wurden (Tiemeyer *et al.* 2016). Für die Unterschiede zwischen den Standorten Ipweger Moor und Gnarrenburger Moor können derzeit folgende Erklärungsansätze in Betracht gezogen werden:

- Der Standort im Gnarrenburger Moor ist im Jahresmittel noch etwas nasser als die Messvarianten im Ipweger Moor (Abbildung 48). Da es sich aber nur um geringfügige Unterschiede handelt und zudem die CO₂-Emissionen in den nasser Jahren

im Ipweger Moor besonders hoch waren, ist der Unterschied vermutlich nicht „einfach“ mit Unterschieden im Moorwasserstand zu erklären.

- Der Standort im Ipweger Moor wurde mit Grabenwasser (Ipweger Moorkanal) bewässert, der Versuch im Gnarrenburger Moor mit nährstoffarmen Grundwasser. Allerdings trat im Gnarrenburger Moor nach Grünlanderneuerung ein Überschuss an Nährstoffen auf (Kapitel 6.7), so dass die Mineralisierung nicht durch Nährstoffmangel limitiert sein sollte.
- Bei beiden Standorten handelt es sich um tiefgründige Hochmoorstandorte mit Weißtorfauflage. Allerdings wurden bisher keine detaillierten Untersuchungen zu Bodeneigenschaften (z.B. Qualität der organischen Substanz) durchgeführt, die ggf. zu Unterschieden in der Abbaubarkeit führen könnten. Vom Ipweger Moor ist aus Laborversuchen bekannt, dass der Torf im Vergleich zu anderen Hoch- und auch Niedermoortorfen eine hohe Abbaubarkeit aufweist, was mit der sehr guten Nährstoffversorgung erklärt wurde (Säurich *et al.* 2019). Möglicherweise gibt es Unterschiede in der Vornutzung in den letzten Dekaden (insbesondere in den Düngemengen), die im Rahmen der bisherigen Projekte nicht erfasst werden konnten, und die die Torfeigenschaften beeinflusst haben könnten. Auch wurde der UFB-Standort im Gnarrenburger Moor insbesondere aufgrund der Schwierigkeiten mit der Neuansaat zunächst weniger intensiv bewirtschaftet als der Referenzstandort und als alle Messvarianten im Ipweger Moor.
- Unterschiede in Bodeneigenschaften und Nährstoffversorgung könnten dazu führen, dass sich der optimale Wasserstand für mikrobielle Respiration und somit auch die Wirkung der UFB zwischen den Standorten unterscheidet. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass die Messungen auf unterschiedlichen Skalen stattfinden, d.h. bei Nutzung von Hauben sind CO₂-Flüsse und Wasserstände eindeutig einem „Punkt“ zugeordnet, während bei der Eddy-Kovarianzmethode der sogenannte „Footprint“, also der Bereich, aus dem die vom Messsystem erfassten CO₂-Flüsse stammen, zeitlich variabel ist. Diese methodischen Unterschiede könnten ebenfalls einen Erklärungsansatz bieten. Allerdings konnte bisher nicht gezeigt werden, dass mittels Haubenmethode ermittelte CO₂-Emissionen systematisch höher als die durch die EC-Methode erfassten Werte sind. Auch liegen die ebenfalls mit der Haubenmethode gemessenen CO₂-Emissionen des Intensivgrünlands im Ahlenmoor ($19,7 \pm 8,0 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) näher an den Ergebnissen des Gnarrenburger Moors als an denen des Ipweger Moors.

- Die Grünlanderneuerung im Projekt SWAMPS erfolgte vor dem Start der CO₂-Messungen, war schneller erfolgreich und generell weniger intensiv (keine Planierung etc.). Daher war vermutlich ein Teil der im Gnarrenburger Moor beobachteten Phänomene (Mineralisierung von Wurzelbiomasse, Etablierung der neuen Grasnarbe) zu Messbeginn schon abgeschlossen.
- Bei der Planierung und Grünlanderneuerung im Gnarrenburger Moor wurde stellenweise Weißtorf an die Oberfläche befördert, was u.a. negative Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum hatte. Aus Laborversuchen ist bekannt, dass eine Absenkung des Wassergehalts in Weißtorfen allein noch nicht zu ähnliche hohen Respirationraten wie bei degradierten (vererdeten) Oberböden von Hochmoorständen führt (Säurich *et al.* 2019). Möglicherweise dauert es eine Weile und bedarf nicht nur Sauerstoff, sondern auch Zufuhr von Dünger und ggf. eine Erhöhung der pH-Werte bis der Vererdungsprozess einsetzt. Sollte diese Hypothese zutreffen, ist in den folgenden Jahren auch bei gleichbleibenden Moorwasserständen mit einer Erhöhung der CO₂-Emissionen zu rechnen.

6.6.2 Methan- und Lachgasemissionen

Abbildung 49 und Abbildung 50 zeigen die Jahresverläufe der N₂O-N-Flüsse der Referenzfläche und des Standorts mit Unterflurbewässerung jeweils in Dränbeetmitte und auf Dränrohren sowie die dazugehörigen Moorwasserstände direkt an den Messplots. Erwartungsgemäß lag der Wasserstand in der Referenzfläche zwischen zwei Dränrohren durchgängig höher als direkt am Dränrohr (Abbildung 49). Dies bestätigt, dass das Entwässerungssystem voll funktionsfähig ist und ganzjährig entwässernd wirkt. Wie oben dargestellt, waren die Moorwasserstände 2020 und 2021 auch an der Referenzfläche höher als 2019 (Tabelle 30).

Im Falle der Unterflurbewässerung waren die Wasserstände seit Beginn der Pumpphase 2019 in Ebenen 3 (UFB_1) direkt am Dränrohr meist höher als in Dränbeetmitte (Abbildung 50, siehe auch Tabelle 30). Die Wasserstände an den 2020 neu eingerichteten Messvarianten in Ebene 2a (UFB_2) lagen sowohl am Dränrohr als auch in Dränbeetmitte über denen der Messvarianten in Ebene 3. Hier war der Unterschied zwischen Dränrohr und Dränbeetmitte geringer, was auf eine bessere Infiltration hindeutet. Anfang 2021 waren an allen Messvarianten mit Unterflurbewässerung starke Schwankungen im Moorwasser-

stand zu beobachten, was auf eine Kombination von starken Niederschlägen und dem Bestreben, die Fläche für die erste Düngegabe befahrbar zu machen, zurückzuführen ist. Auch auf dem Referenzstandort traten in dieser Zeit starke Wasserstandsschwankungen auf, die auf Grund der tiefen Entwässerung allerdings mit einer niedrigeren Amplitude stattfanden.

Die **N₂O-N-Emissionen am Referenzstandort** (Abbildung 49) lagen im ersten Bilanzjahr auf einem niedrigen Niveau. Auch nach Düngegaben waren keine erhöhten Emissionen zu verzeichnen. Im Herbst 2019 kam es zu einem leichten Anstieg der N₂O-N-Flüsse an der feuchteren Messvariante in Dränbeetmitte. Aufgrund der Nachwirkungen des Extrem-sommers 2018 auf die Moorwasserstände im Winter 2018/19 ist zu vermuten, dass die Referenzfläche während des gesamten Kalenderjahres 2019 zu trocken für hohe Denitri-fikationsraten, also für den Hauptprozess zur Lachgasbildung an Moorstandorten war. Im Winter 2019/20 stiegen die N₂O-N-Emissionen entsprechend bei feuchteren Verhältnissen deutlich an, und im Folgenden wurden nach Düngegaben teilweise erhöhte N₂O-Emissionen gemessen. Da diese Peaks vor allem nach den ersten beiden Düngegaben auftreten, ist dies vermutlich auf höhere Grundwasserstände bzw. Bodenfeuchten zurückzuführen. Ein ähnliches Muster wiederholte sich in den Wintern 2021/21 und 2021/22. Auch im feuchteren Sommer 2021 kam es nach Düngeereignissen wiederholt zu erhöhten N₂O-N-Emissionen, die durchgängig am feuchteren Standort in Dränbeetmitte höher ausfielen.

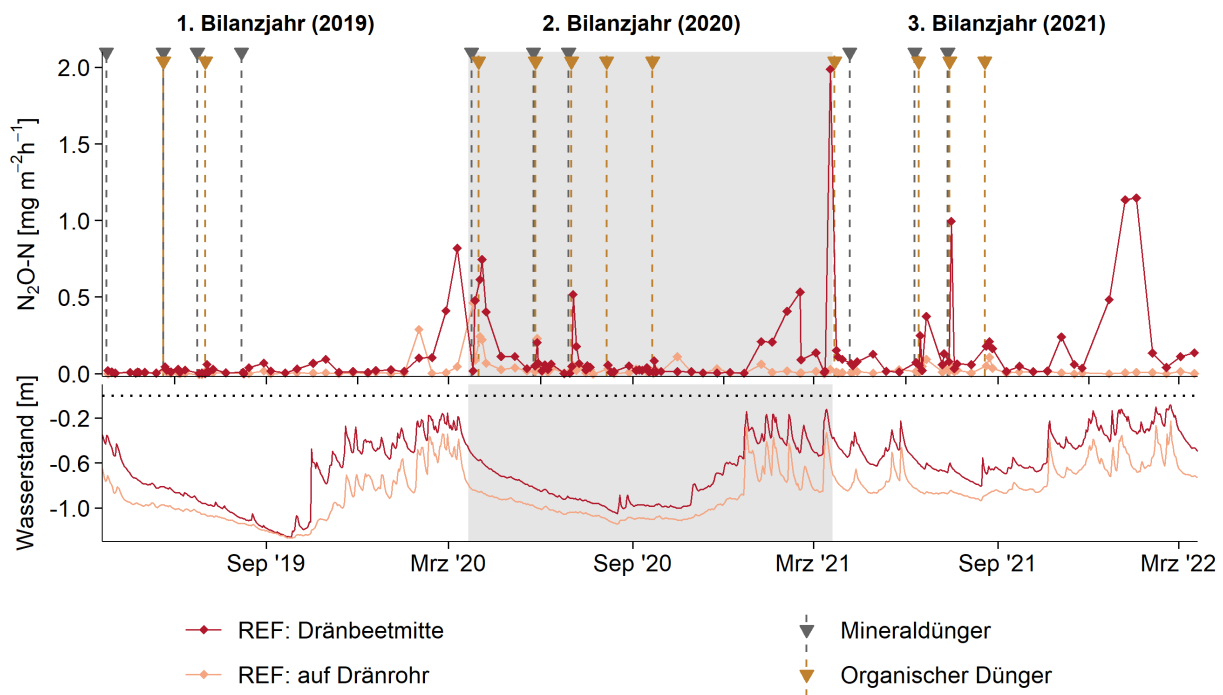


Abbildung 49: $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse in Dränbeetmitte und auf einem Dränrohr am Referenzstandort: Mittelwerte aus jeweils drei Messplots mit dazugehörigen Moorwasserständen.

Vor der Grünlanderneuerung lagen die **$\text{N}_2\text{O-N}$ -Emissionen des Standorts mit Unterflurbewässerung** in einer ähnlichen Größenordnung wie am Referenzstandort. Danach zeigte sich jedoch ein völlig anderes Bild (Abbildung 50). Nach den bodenbearbeitenden Maßnahmen im April 2019 begannen die $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse zunächst leicht anzusteigen, was Anfang Juni 2019 nach einer Düngegabe noch verstärkt wurde. Als die Moorwasserstände dann im Juli 2019 durch die Unterflurbewässerung deutlich stiegen, traten mit bis zu $12,4 \text{ mg } \text{N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ extrem hohe $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse auf. Dies entspricht einer fast zwanzigfachen Erhöhung der $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse gegenüber der Referenzfläche. Während dieser Phase waren daneben deutliche Unterschiede zwischen den beiden Messvarianten in Ebene 3 zu verzeichnen, wobei die nassere Messvariante auf einem Dränrohr die höheren $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse aufwies. Diese extrem hohen $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse lassen sich aus einer Kombination von Faktoren erklären: Nach der Grünlanderneuerung kam es zu einer verstärkten Mineralisierung von Torf und untergefrästen Pflanzenresten (siehe Kapitel 6.6.1). Dabei wurde nicht nur CO_2 , sondern auch Stickstoff frei, was sich in teilweise extrem hohen Nitratkonzentrationen (Maximalwert: $292 \text{ mg } \text{NO}_3\text{-N L}^{-1}$) im Bodenwasser in 15 cm Tiefe widerspiegelt. Da der Aufwuchs neuer Biomasse nur sehr schleppend verlief, wurde das Nitrat (bzw. dessen Vorläuferprodukt Ammonium) weder aufgenommen noch – aufgrund des verschlossenen Auslasses – ausgetragen. Nitrat ist Ausgangssubstanz der Denitrifikation,

die unter nassen, aber nicht komplett wassergesättigten Bedingungen nicht vollständig bis zum N_2 abläuft. Die höheren N_2O -N-Flüsse an der nasseren Messvariante auf dem Dränrohr könnten sowohl durch die höheren Grundwasserstände als auch durch die noch stärkere Störung des Bodens durch die Installation der Dränrohre bedingt sein. All diese Bedingungen traten ab Ende Juli auf und könnten somit schließlich die hohen N_2O -N-Flüsse ausgelöst haben. Hinzu kommt, dass der Versuchsstandort sehr niedrige pH-Werte aufweist (Tabelle 45), und dass niedrige pH-Werte den letzten Schritt der Denitrifikation von N_2O zum N_2 hemmen können. Die Dynamik und Höhe der N_2O -N-Emissionen im ersten Versuchsjahr werden in Offermanns *et al.* (2023) ausführlich dargestellt und diskutiert.

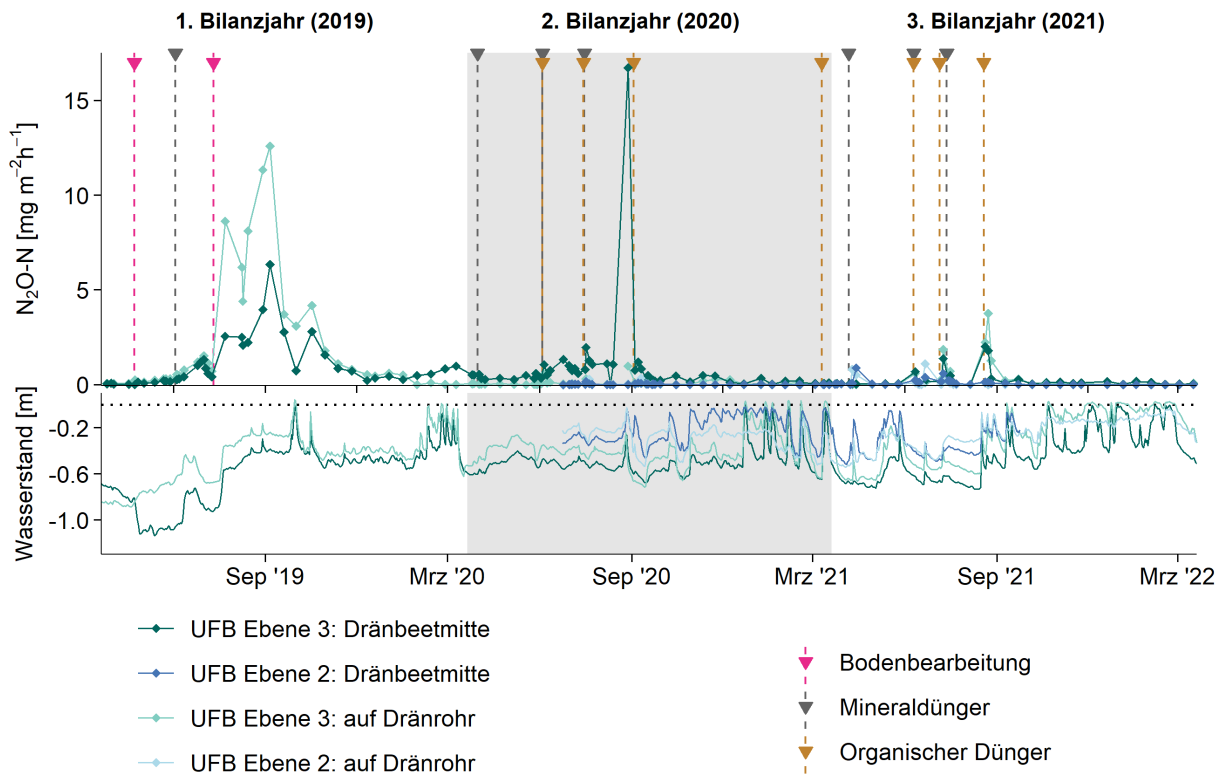


Abbildung 50: N_2O -N-Flüsse in Dränbeetmitte und auf einem Dränrohr auf D12 (Unterflurbewässerung): Mittelwerte aus jeweils drei Messplots mit dazugehörigen Moorwasserständen.

Im zweiten Bilanzjahr gestaltete sich der Jahresverlauf der N_2O -N-Flüsse anders und zeigte deutliche Unterschiede zwischen den ursprünglichen Messvarianten (UFB_1 in Ebene 3) und den neu dazu gekommenen (UFB_2 in Ebene 2a). Ein Großteil der Flüsse war niedriger als im Vorjahr, aber dennoch waren die Emissionen der Messvariante in

Dränbeetmitte immer noch erhöht. Anders als im Vorjahr wies demnach die Messvariante mit den etwas niedrigeren Wasserständen die höheren N_2O -Emissionen auf. Erklärbar ist der Unterschied in diesem Fall mit einer besseren Etablierung des Grünlands in den feuchteren Plots auf dem Dränrohr und somit einer vermutlich höheren Nährstoffaufnahme durch die Gräser. Teilweise wurden erhöhte N_2O -Flüsse nach der Ausbringung von Dünger gemessen. Herausstechend ist im zweiten Bilanzjahr ein Messtermin, an dem die Messvariante auf dem Dränrohr (UFB_1) mit $16,7 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ alle bisher auf der Fläche gemessenen $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse übersteigt. Dieser Peak, der in allen drei Wiederholungen eindeutig festgestellt wurde, könnte auf starke Wasserstandsänderungen zurückzuführen sein: Zu diesem Zeitpunkt stieg der Moorwasserstand zunächst deutlich auf Grund von Niederschlag an und wurde direkt im Anschluss stark abgesenkt, um die Befahrbarkeit der Fläche für die anstehende Düngung herzustellen. Die $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse der neu eingerichteten Messvarianten (UFB_2) waren durchgehend deutlich geringer als die der ursprünglichen Messvariante (UFB_1). Dies könnte ebenfalls an dem besser aufgewachsenen Grünlandbestand liegen. Durch die bessere Wasserversorgung konnte die Grasnarbe bereits früher geschlossen werden, wodurch auch hier der aus Düngegaben und Torfmineralisierung verfügbare Stickstoff von den Gräsern besser genutzt werden konnte.

Im dritten Messjahr (2021) setzte sich der Trend zu niedrigeren N_2O -Emissionen an der ursprünglichen Messvariante fort, während die Emissionen von UFB_2 im Vergleich zum Vorjahr deutlich anstiegen. Die Verringerung der $\text{N}_2\text{O-N}$ -Flüsse kann zum einen durch den nun vollständigen Narbenschluss erklären werden, der sich auf Ebene der Gesamtfläche in einer höheren Biomasse und somit auch einer höheren N-Aufnahme niederschlägt (Abbildung 43). Zum anderen waren die Wasserstände phasenweise niedriger als im Vorjahr. Auffällig ist, dass nach jeder Düngung ein $\text{N}_2\text{O-N}$ -Peak auftrat, was darauf hindeutet, dass die feuchten UFB-Flächen generell und nicht nur im ersten Jahr nach Grünlanderneuerung anfällig für hohen $\text{N}_2\text{O-N}$ -Emissionen sind.

Die **$\text{CH}_4\text{-C}$ -Emissionen** bewegten sich trotz Anhebung der Wasserstände durch Unterflurbewässerung größtenteils auf einem sehr niedrigen Niveau. Im ersten Bilanzjahr bestand kein Unterschied zu den CH_4 -Flüssen der Referenzfläche, beide befanden sich im nahezu neutralen Bereich. Im zweiten Jahr änderte sich das Bild für die ursprünglichen Messvarianten leicht, d.h. es traten auf dem Dränrohr erhöhte Emissionen auf. Die neuen Messvarianten auf der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB 2) zeigten vermutlich aufgrund der höheren Moorwasserstände etwa doppelt bis dreifach so hohe mittlere

Flüsse wie UFB_1 und die Referenzfläche. An allen Standorten (jeweils an der Messvariante auf einem Dränrohr) trat im zweiten Jahr ein CH₄-C Peak auf, der jeweils auf eine kurz zuvor erfolgte organische Düngegabe zurückgeführt werden kann. Auch im dritten Messjahr blieben die Emissionen aller Messvarianten mit Ausnahme der Variante auf dem Dränrohr bei UFB_2 niedrig.

In Tabelle 32 sind die **jährlichen Emissionen von N₂O-N und CH₄-C** aller Messvarianten dargestellt. Die N₂O-N-Emissionen der Referenzfläche waren in allen drei Bilanzjahren auf dem Dränrohr niedriger als zwischen den Dränrohren, wobei der Unterschied insbesondere in den feuchteren Jahren 2020 und 2021 auffiel. Die Werte lagen im Mittel (0,68 g N₂O-N m⁻² a⁻¹) auf ähnlichem Niveau wie der Standardemissionsfaktor für Grünland auf organischen Böden (0,46 g N₂O-N m⁻² a⁻¹, Tiemeyer *et al.*, 2020). Trotz vergleichbarer Bewirtschaftung sind die N₂O-N-Emissionen bisher deutlich niedriger als die im Projekt SWAMPS am Hochmoorstandort (freie Entwässerung, keine Grünlanderneuerung) im Mittel über 4 Jahre gemessenen Werte von $1.67 \pm 1,3$ g N₂O-N m⁻² a⁻¹. Ein Grund dafür könnte insbesondere der trockene Winter 2018/19 sein, denn 2019 und 2020 entsprachen die im Ipweger Moor gemessenen Emissionen (0,44 bzw. 0,79 g N₂O-N m⁻² a⁻¹) denen am Referenzstandort im Gnarrenburger Moor.

Im Mittel (0,28 g CH₄-C m⁻²) liegen die CH₄-C-Emissionen am Referenzstandort unter dem Standardemissionsfaktor für Grünland auf organischen Böden von 1,12 g CH₄-C m⁻² a⁻¹ (Tiemeyer *et al.*, 2020). Leicht erhöhte Werte traten nur an der Messvariante auf dem Dränrohr auf.

Tabelle 32: Jahresbilanzen von Lachgas und Methan für die Bilanzjahre 2019-2021 Bilanzjahre 2019 (21.03.2019-20.3.2020), 2020 (21.03.2020-20.3.2021) und 2021 (21.03.2021-20.03.2022), Mittelwert und Standardfehler (\pm). UFB 2: Daten erst ab Juni 2020 vorhanden.

		Lachgas [g N ₂ O-N m ⁻² a ⁻¹]			Methan [g CH ₄ -C m ⁻² a ⁻¹]		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021
REF	Zwischen Dränrohren	0,64 (\pm 0,29)	1,18 (\pm 0,38)	1,72 (\pm 0,47)	-0,05 (\pm 0,02)	-0,05 (\pm 0,03)	-0,05 (\pm 0,02)
	Auf Dränrohr	0,14 (\pm 0,13)	0,29 (\pm 0,12)	0,12 (\pm 0,04)	0,20 (\pm 0,16)	1,34 (\pm 2,57)	0,34 (\pm 0,42)
UFB 1	Zwischen Dränrohren	10,14 (\pm 1,96)	9,57 (\pm 6,37)	1,49 (\pm 0,78)	0,05 (\pm 0,09)	0,06 (\pm 0,07)	0,11 (\pm 0,71)
	Auf Dränrohr	18,77 (\pm 4,1)	0,91 (\pm 0,45)	1,78 (\pm 0,92)	0,18 (\pm 0,18)	0,30 (\pm 0,45)	0,16 (\pm 0,16)
UFB 2	Zwischen Dränrohren		0,08 (\pm 0,04)	0,63 (\pm 0,33)		0,08 (\pm 0,07)	0,14 (\pm 0,06)
	Auf Dränrohr		0,11 (\pm 0,10)	0,51 (\pm 0,30)		4,39 (\pm 2,65)	6,53 (\pm 2,66)

Im ersten Bilanzjahr waren die N₂O-N Emissionen von D12 mit 18,77 g N₂O-N m⁻² a⁻¹ auf dem Dränrohr und 10,14 g N₂O-N m⁻² a⁻¹ in Dränbeetmitte extrem hoch. Auch im zweiten Bilanzjahr wurden in Dränbeetmitte noch überaus hohe Emissionen von 9,57 g N₂O-N m⁻² a⁻¹ gemessen, wohingegen die Emissionen auf dem Dränrohr niedrig waren. Die neue hinzu gekommen Messvarianten verzeichneten deutlich geringere Emissionen auch als die Referenzfläche, wobei jedoch einschränkend hinzu zu fügen ist, dass Messdaten erst ab Juni 2020 vorliegen und möglicherweise Peaks nach den ersten beiden Ernten verpasst wurden. Im dritten Bilanzjahr waren die Emissionen mit im Mittel über alle vier Messvarianten 1,11 g N₂O-N m⁻² a⁻¹ deutlich verringert und lagen nur noch knapp über dem Mittelwert der Referenzfläche (0,92 g N₂O-N m⁻² a⁻¹). Allerdings ließen sich die sehr niedrigen Emissionen der neuen Messvariante (UFB_2) im dritten Messjahr nicht bestätigen.

Bei fast allen Messvarianten auf der Fläche D12 lagen die CH₄-C-Emissionen (Mittel über alle Messvarianten) trotz angehobener Wasserstände in allen drei Bilanzjahren unter dem deutschen Standardemissionsfaktor für Grünland auf organischen Böden (1,12 g CH₄-C m⁻² a⁻¹; Tiemeyer *et al.*, 2020) und auch unter den im Projekt SWAMPS gemessenen CH₄-C-Emissionen (Mittel aller Jahre und Varianten mit UFB am Hochmoorstandort: 2,88 g CH₄-C m⁻² a⁻¹;). Nur an der Messvariante auf dem Dränrohr in Feld 2a traten sowohl

2020 als auch 2021 erhöhte Methanemissionen auf. Insgesamt lässt sich feststellen, dass von einer Unterflurbewässerung kein Risiko erhöhter Methanemissionen ausgeht.

Anders dagegen stellt sich die Situation beim Lachgas dar, insbesondere in Kombination mit einer wendenden Grünlanderneuerung. Die bisher höchsten für deutsche Moorstandorte publizierten Werte liegen bei 1,98 (Grünland) bzw. 5,64 g N₂O-N m⁻² a⁻¹ (Acker, Flessa *et al.*, 1998). Auch in der internationalen Literatur lassen sich keine ähnlich hohen Werte bei vergleichbaren Düngegaben und ähnlich niedrigen pH-Werte finden (Abbildung 51, vgl. auch Offermanns *et al.*, 2023), was sich zum einen mit der generell geringen Anzahl von Studien zu intensiv genutzt Moorgrünlandstandorten, möglicherweise aber auch in einer niedrigen Messfrequenz nach Düngeereignissen und somit dem Verpassen von Peaks erklären lässt. Auch wenn im Projekt „SWAMPS“ am Hochmoorstandort Ipweiger Moor teilweise deutlich höhere Werte als das bisherige „Grünlandmaximum“ gemessen wurden (3,04 g N₂O-N m⁻² a⁻¹ im ersten Jahr nach Grünlandumbruch am tief entwässerten Referenzstandort bzw. 1,59 g N₂O-N m⁻² a⁻¹ bei der Unterflurbewässerung) reichen auch diese sehr hohen Emissionen vermutlich u.a. aufgrund des dort besser gelungenen Grünlandaufwuchses nicht an die Werte von D12 heran.

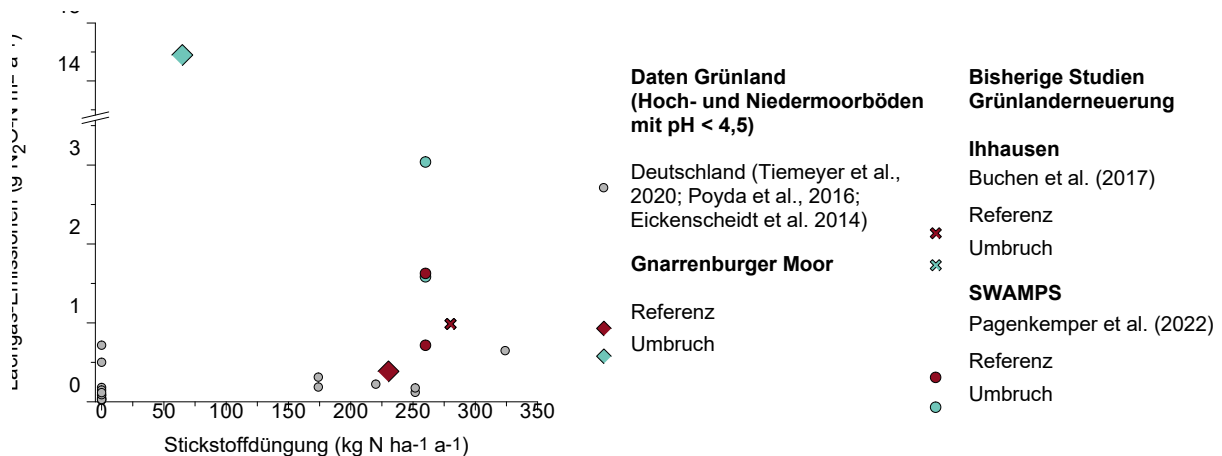


Abbildung 51: Bisherige Messdaten zu Emissionen von Lachgas (N₂O) von Moorgrünlandstandorten mit niedrigen pH-Werten in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung sowie aus Studien zu Auswirkungen von Grünlandumbruch.

Generell ist die Datenlage zur Auswirkung der Grünlanderneuerung auf die N₂O-N-Emissionen von Moorstandorten sehr dünn (Abbildung 51). Buchen *et al.* (2017) stellten an einem anmoorigen Standort nur eine recht kurzfristige Erhöhung der N₂O-N-Flüsse nach mechanischer Grünlanderneuerung, aber keine langanhaltenden Effekte fest. Gründe

könnten in generell trockeneren Verhältnissen bei Buchen *et al.* (2007) sowie ebenfalls in einem schnelleren Auflaufen des neu angesäten Grünlands liegen. Im Ipweiger Moor wurden sowohl bei der tief entwässerten Referenz als auch bei der Unterflurbewässerung im ersten Jahr nach Grünlanderneuerung (Umbruch) auf 187 bzw. 221 % erhöhte N₂O-Emissionen gemessen. Es bleibt festzuhalten, dass eine wendende Grünlanderneuerung an Hochmoorstandorten sehr riskant sowohl im Hinblick auf den Ansaaterfolg als auch auf N₂O-Emissionen ist. Zwar kamen bei der Versuchsanlage alle ungünstigen Faktoren zusammen, und die Wasserstandsanhhebung war durch den Versuchsaufbau bedingt, aber es ist nicht auszuschließen, dass eine ähnliche Konstellation unter nassen Bedingungen auch ohne Unterflurbewässerung auftreten kann. Ein Anheben der Wasserstände ohne Vegetation begünstigt jedoch generell hohe N₂O-Emissionen und sollte nach Möglichkeit vermieden werden.

6.6.3 Treibhausgasbilanzen

Zusammenfassend sind in Abbildung 52 die gesamten THG-Bilanzen der Bilanzjahre 2019, 2020 und 2021 dargestellt. Für die Bilanz wurden C-Input durch Applikation von Wirtschaftsdünger und C-Export durch Mahd in CO₂ umgerechnet. Ebenso wurden N₂O- und CH₄-Emissionen nach ihren jeweiligen Erwärmungspotentialen (265 für N₂O und 28 für CH₄) in CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq.) umgerechnet. Üblicherweise stellen bei Moorstandorten unter Grünlandnutzung CO₂ aus Nettoökosystemaustausch (NEE) und Ernteexport wie beim Referenzstandort die wichtigsten Bilanzgrößen dar. Im Falle des Standorts mit Unterflurbewässerung war N₂O im ersten Bilanzjahr jedoch aufgrund des aus wiederholten Bodenbearbeitungsmaßnahmen, Düngung und fehlendem Grünlandaufwuchses resultierenden Stickstoffüberschusses bei gleichzeitig steigenden Wasserständen die wichtigste Bilanzgröße. Insgesamt ergab sich für erste Bilanzjahr für D12 eine THG-Bilanz von 77,2 t CO₂-Äq. ha⁻¹ und für die Referenzfläche von 26,5 t CO₂-Äq. ha⁻¹, also fast eine Verdreifachung der Emissionen durch die Kombination von Grünlanderneuerung und Wasserstandsanhhebung. Im zweiten Jahr spielten die N₂O-Emissionen bei der Unterflurbewässerung immer noch eine bedeutende Rolle und bildeten nach dem C-Export durch Mahd die zweitgrößte Bilanzgröße. Zwar verringerte sich die THG-Bilanz der Referenzfläche auf 22,2 t CO₂-Äq. ha⁻¹ etwas, die Bilanz für D12 reduzierte sich aber deutlich auf 16,1 t CO₂-Äq. ha⁻¹ und lag somit deutlich unter der Referenzfläche. In der Summe zeigte sich im dritten Bilanzjahr ein ähnliches Bild (Referenzfläche: 19,5 t CO₂-Äq. ha⁻¹, UFB: 15,1 t CO₂-Äq. ha⁻¹). Allerdings waren die CO₂-Emissionen der UFB wieder höher als 2020, während die N₂O-Emissionen weiter sanken.

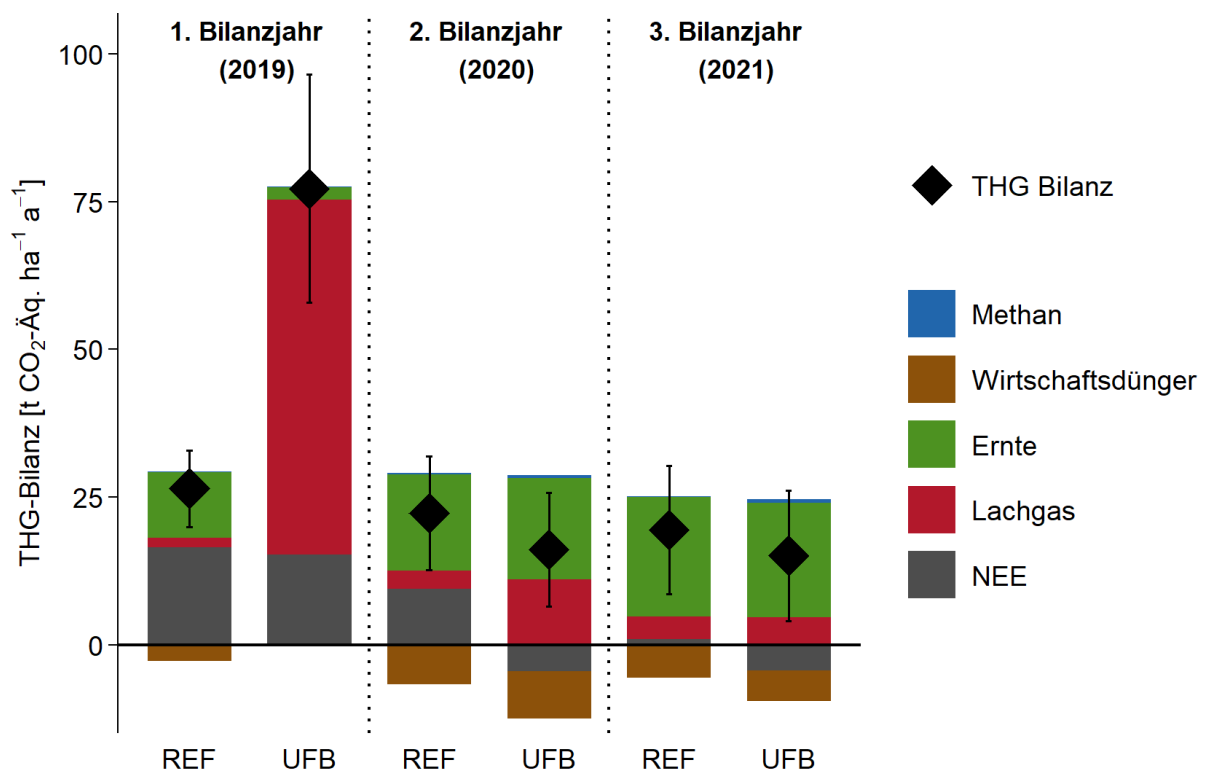


Abbildung 52: Treibhausgasbilanzen der Referenzfläche (REF) und der Unterflurbewässerung (UFB), Bilanzjahre 2019, 2020 und 2021. NEE: Nettoökosystemaustausch von CO₂. Die sehr niedrigen Methan-Flüsse sind in dieser Darstellung kaum sichtbar. Die Lachgas- und Methanflüsse wurden jeweils über alle Messvarianten gemittelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei der Unterflurbewässerung nach dem Übergangsstadium in dem Bilanzjahr 2019 langsam ein stabileres System zu etablieren scheint. Im Vergleich zum ersten Bilanzjahr 2019 stellte sich die Situation 2020 und 2021 insbesondere im Hinblick auf CO₂ sehr viel günstiger dar. Dies liegt vermutlich nicht nur an der Erhöhung der Wasserstände, sondern auch an der Etablierung des Grünlands: Während ein Teil der CO₂-Emissionen 2019 aus der ehemaligen Grünlandnarbe stammte, wuchs diese 2020 wieder auf, was zu einer Bildung neuer Wurzelbiomasse führte (243 g C m⁻², entspricht 8,9 t CO₂ ha⁻¹). 2021 war dieser Prozess vermutlich größtenteils abgeschlossen, d.h. die Differenz der Wurzelbiomassen zwischen UFB und Referenz verringerte sich wieder (Kapitel 6.6.1.2). Entsprechend bleibt abzuwarten, ob die sehr starke Verringerung der CO₂-Emissionen in 2020 nur ein temporärer Effekt aufgrund von Bildung von Wurzelbiomasse war. Die mögliche „Stabilisierung“ des Systems wird im Projekt „Effekte einer etablierten Unterflurbewässerung auf Treibhausgasemissionen und Wasserqualität“ (2023-2025) untersucht.

Tabelle 33: Änderung der CO₂- und THG-Emissionen durch Unterflurbewässerung im Vergleich zur Referenzfläche. Bei Unterflurbewässerung 2019 Planierungsarbeiten und Grünlandumbruch mit verzögertem Aufwuchs der Neuansaat infolge starker Sommertrockenheit.

Jahr	Änderung CO₂-Emissionen	Änderung THG-Emissionen
2019	-24 %	+192 %
2020	- 76 %	- 27 %
2021	- 37 %	- 22 %
Summe alle Jahre	- 45 %	+ 59 %

Wie in Kapitel 6.6.2 ausführlich diskutiert, stellte sich die Situation in 2019 aufgrund der hohen N₂O-Emissionen sehr negativ dar. Es lässt sich ableiten, dass die Kombination von Bodenbearbeitung (und dadurch verstärkter Mineralisierung), fehlendem Grünlandaufwuchs und nachfolgend stark angehobenen Moorwasserständen unbedingt zu vermeiden ist. Unter der Annahme, dass die THG-Emissionen der Referenzfläche konstant bleiben und dass die Emissionen der UFB dem Mittelwert von 2020 und 2021 entsprechen, würden es etwa 9 Jahre dauern, die erhöhten Emissionen vom Installationsjahr wieder auszugleichen.

Die Erfahrungen aus der Versuchseinrichtung von D12 sollten genutzt werden, ähnliche Effekte zukünftig zu vermeiden. Vor allem müssen die Maßnahmen der Flächennivellierung und des damit verbundenen starken Eingriffs in den Boden hinterfragt werden, auch da trotz dieses intensiven Eingriffs eine deutliche Senke in der Feldmitte entstand, durch welche sowohl die Einstellung der Zielwasserstände als auch die Bewirtschaftung erschwert wurde. Außerdem sollte die Etablierung neuer Grünlandbestände (oder auch anderer Pflanzenbestände) wenn möglich zeitlich getrennt von einer starken Anhebung der Moorwasserstände erfolgen. Angesichts der hohen Stickstofffreisetzung durch Torfmineralisation nach dem Umbruch ist eine Stickstoffdüngung nicht erforderlich. Da ein starker Anstieg der Wasserstände jedoch auch durch eine entsprechende Witterung hervorgerufen werden kann, ist eine Grünlanderneuerung durch Umbruch grundsätzlich kritisch zu sehen.

6.7 Wasserqualität

Die Ergebnisse zur Wasserqualität beschränken sich im Wesentlichen auf die Stoffkonzentrationen und weiterer Eigenschaften von aus Gräben, T-Stücken und Saugplatten gewonnenen Wasserproben. Aufgrund der Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie, insbesondere in Bezug auf die Personenanzahl in Gebäuden und Laborräumen, ist es 2020 (und 2021) zu erheblichen Verzögerungen in der Analyse von Wasserproben gekommen, so dass Daten aus dem Jahr 2022 teilweise zu spät bzw. noch nicht vollständig vorlagen, um für diesen Bericht verwendet zu werden.

Auch traten in den Wintern 2020/21 und 2021/22 erhebliche technische Probleme mit der Abflussmessung auf, so dass Stoffausträge nur für das erste Untersuchungsjahr vorläufig abgeschätzt werden können. In Kombination mit akutem Personalmangel können vollständige Ergebnisse zur Wasserqualität erst im Rahmen des Projektes „Effekte einer etablierten Unterflurbewässerung auf Treibhausgasemissionen und Wasserqualität“ vorgelegt werden. Entsprechend sind alle hier dargestellten Ergebnisse als vorläufig zu betrachten, wobei generelle Trends und Unterschiede als belastbar eingeschätzt werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Beprobungsstartpunkte wurde für den Vergleich zwischen Unterflurbewässerung und Referenzfläche ausschließlich der überlappende Zeitraum betrachtet. An den neuen Messvarianten auf D12 (UFB 2) konnte zusätzlich ab dem 02.07.2020 gesammeltes Bodenwasser entnommen werden. Je nach Bodenfeuchte und Saugspannung liefern Saugplatten teilweise gar kein oder zu wenig Probenmaterial für alle Analysen, was bei den dargestellten Ergebnissen zu berücksichtigen ist. Weitere Informationen zur Methodik finden sich in Anhang 3.

In den folgenden Abbildungen werden die Daten in „Pumpperioden“, in denen Grundwasser zur Unterflurbewässerung in die Fläche gepumpt wurde, und Entwässerungsphasen, in denen die Pumpe ausgeschaltet war, eingeteilt. Im Allgemeinen war der Auslass während der Pumpperioden geschlossen, kurze Phasen der Entwässerung zum Zweck der Flächenbearbeitung wurden hierbei nicht gesondert berücksichtigt, so dass auch Wasserproben für den Gebietsauslass während der Pumpperioden vorliegen. Diese zeitliche Einteilung wurde auch für die Referenzfläche übernommen, damit die gleichen Zeiträume verglichen werden können.

Zusammengefasst ist festzustellen, dass die Kombination des Einbaus von Dränen mit Grünlandumbruch, verzögertem Auflaufen des neu angesäten Grünlands, Düngung und Wasserstandsanhhebung einen erheblichen Einfluss auf die Stoffkonzentrationen im Bodenwasser, d.h. insbesondere Nitrat und Phosphat, hatte. Diese Effekte sind auch drei

Jahre nach dem Eingriff noch nicht vollständig abgeklungen. Die Zuführung von Grundwasser mit höheren pH-Werten und niedrigen DOC-Konzentrationen wirkte sich zwar auf das Wasser im Dränsystem selbst, nicht aber auf das Bodenwasser aus. Während die anfangs stark erhöhten Nitratkonzentrationen vor allem relevant für die Umsetzungen im Boden selbst waren (Denitrifikation und sehr hohe Lachgasemissionen, Kapitel 6.6.2), besteht im Falle vom Phosphor ein erhebliches Austragsrisiko. Hier ist ein möglichst umfassender Wasserrückhalt nicht nur aus Gründen des generell möglichst sparsamen Umgangs mit Grundwasser entscheidend. Daneben zeigte sich, dass die Erfassung der Abflüsse – die für die Quantifizierung der Stoffausträge notwendig ist – aufgrund der standörtlichen Gegebenheiten äußerst komplex ist und bei zukünftigen Projekten (noch) mehr Aufmerksamkeit bedarf.

6.7.1 pH-Werte und elektrische Leitfähigkeit

In Abbildung 53 ist für das Drainagesystem auf D12 ein deutlicher Einfluss der Bewässerung mit Grundwasser auf die pH-Werte in den T-Stücken, also in den Dränrohren selbst, zu sehen. Während der Pumpperioden im Sommer 2019 und 2020 stieg der pH-Wert vor allem in den Teilflächen 1 und 2 auf pH-Werte über 6 an, was den deutlichen Grundwassereinfluss (Median der pH-Werte des Grundwassers: 6.1) zeigt. Die pH-Werte in Teilfläche 3, in die das Wasser während der Bewässerung als letztes eingeleitet wird, und am Auslass waren zur gleichen Zeit etwas niedriger und sehr variabel. Die niedrigen Messwerte für Pumpperiode 2019 im Abfluss könnten durch die Art der Probenentnahme erklärt werden: Da zu dieser Zeit noch kein Gerinne installiert war, wurde das Wasser direkt am Hauptsammler am Auslass entnommen. Da dieser nicht direkt zugänglich war, wurde so wahrscheinlich auch Wasser mit beprobt wurde, welches seitlich entlang des Dränrohres im Torfkörper geflossen ist und damit einen stärkeren Kontakt mit dem Torfkörper und somit niedrigere pH-Werte hatte. Dies ist auch bei der Interpretation weiterer Stoffdaten zu beachten.

Auch in den Winterperioden, also wenn die Pumpe ausgeschaltet war, wurden deutlich höhere pH-Werte als vor Beginn der Bewässerung gemessen. Vor Beginn der Bewässerung lag der Median des pH-Wertes hochmoortypisch bei 4,2; allerdings sind nur Werte von drei Probenahmetermine verfügbar. Im Verlauf des Untersuchungszeitraums stieg der pH-Wert in den T-Stücken auch im Winter an. Allerdings war das gleiche Phänomen in den Gräben der Referenzfläche (G1 und G2) zu beobachten, so dass der Grund vermutlich nicht in der Zuleitung von Grundwasser mit relativ hohen pH-Werten liegt. Allerdings

könnten die pH-Werte in den Gräben G1 und G2 durch eine Kalkung Ende 2018 beeinflusst worden sein, so dass zwei verschiedene Gründe zum gleichen Phänomen geführt haben könnten.

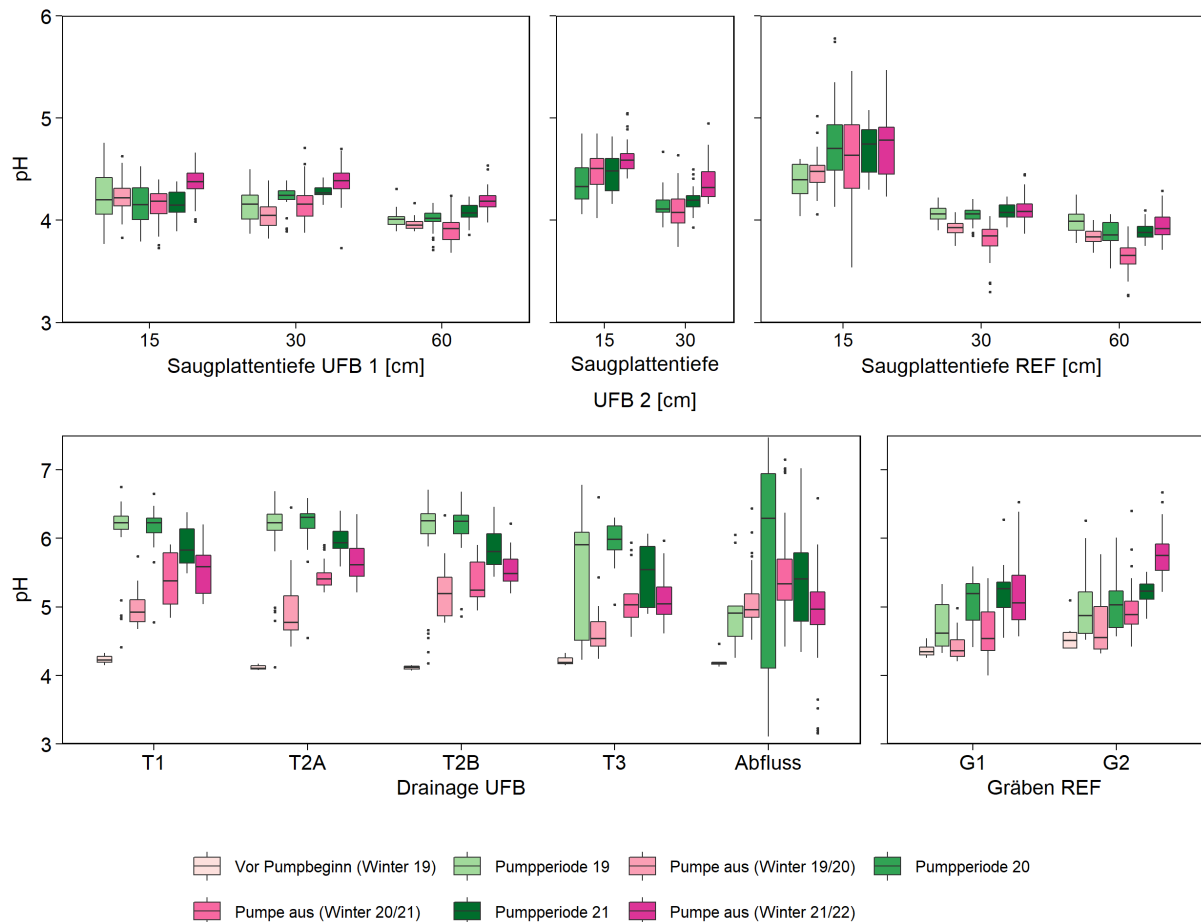


Abbildung 53: pH-Werte der Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF) unterteilt in Bewässerungs- und Entwässerungsphasen („Pumpperiode“ bzw. „vor Pumpbeginn“ und „Pumpe aus“). T1 bis T3: Probenahme über T-Stücke aus Dränrohren. Box: Interquartil-Bereich vom 25. bis zum 75. Perzentil, Strich innerhalb der Box: Median, Enden der beiden Linien (Whisker): höchster bzw. niedrigster Wert innerhalb des 1,5-fachen Interquartil-Bereichs, Punkte: Werte außerhalb des 1,5-fachen Interquartil-Bereichs (Ausreißer).

Die pH-Werte des mittels Saugplatten entnommenen Porenwassers scheinen bisher kaum durch die Grundwassereinleitung beeinflusst zu sein: Sie lagen in 15 cm Tiefe unter denen der Referenzfläche und entsprachen etwa dem Wert des Entwässerungssystems vor Beginn der Grundwassereinleitung. Auch an den Saugplatten scheint es im Winter einen leichten Trend hin zu höheren pH-Werten zu geben.

Abbildung 54 zeigt, dass die elektrische Leitfähigkeit im Drainagesystem auf D12 deutlich vom Grundwasser mit einer mittleren elektrischen Leitfähigkeit von $210 \mu\text{S cm}^{-1}$ beeinflusst ist und im Versuchsverlauf tendenziell abnimmt. Auffällig ist, dass die Leitfähigkeiten im Dränsystem vor Pumpbeginn am höchsten waren, was sich vermutlich durch die Störung des Bodens durch den Einbau der Dränrohre erklären lässt. Bei den Gräben auf der Referenzfläche ist ein deutlicher Trend zur Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit zu sehen. Dies lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass nach ersten Niederschlägen nach dem Trockensommer besonders hohe Leitfähigkeiten aufgetreten sind (häufig im Herbst beobachteter „flush“-Effekt).

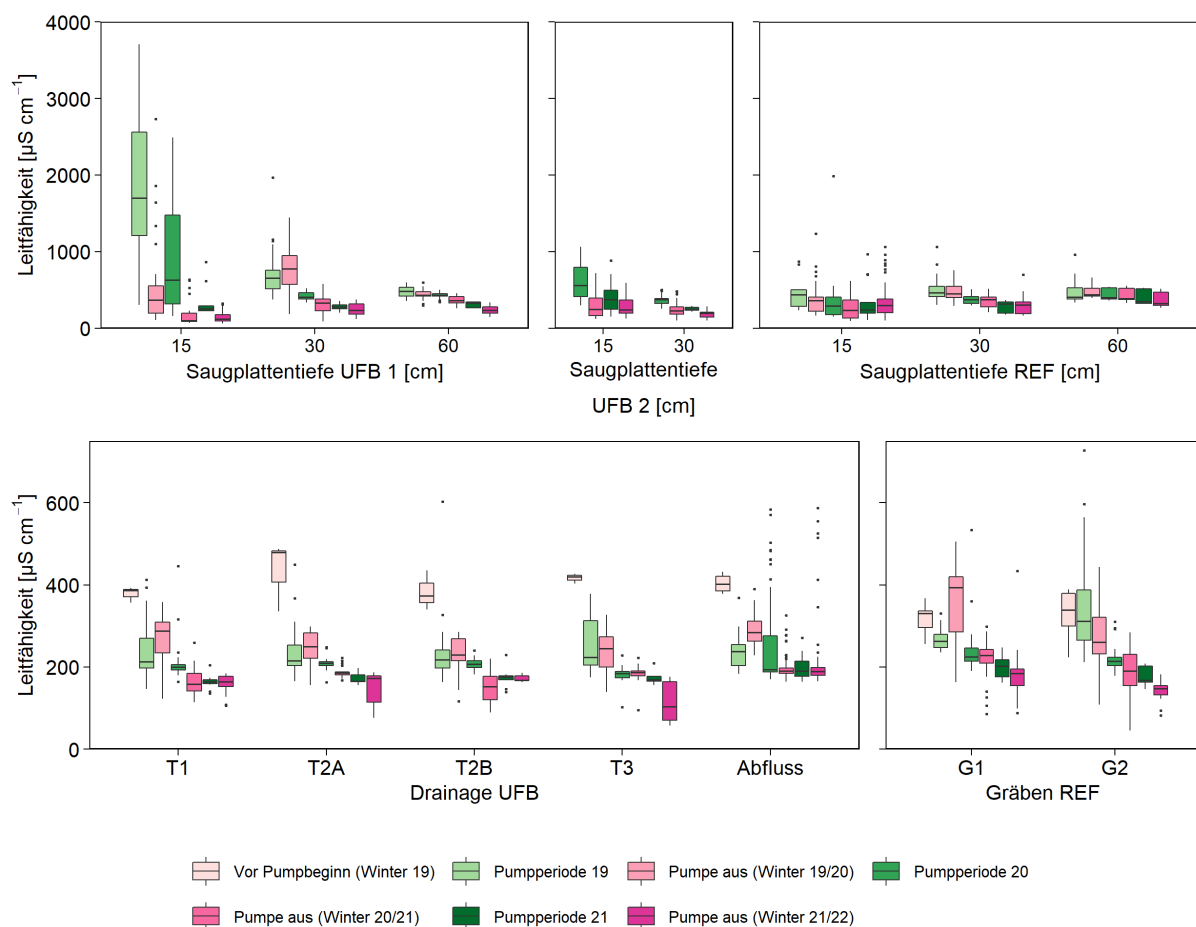


Abbildung 54: Elektrische Leitfähigkeit der Wasserproben aus der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF) unterteilt in Bewässerungs- und Entwässerungsphasen („Pumpperiode“ bzw. „vor Pumpbeginn“ und „Pumpe aus“). T1 bis T3: Probenahme über T-Stücke aus Dränrohren.

Außer im Winter 2020/2021 ist die elektrische Leitfähigkeit in allen Proben aus den Saugplatten auf D12 sehr viel höher als im Drainagesystem, hier wurden vor allem in Bodenwasser aus 15 cm Tiefe mit Medianwerten von $1701 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Pumpperiode 2019) und

626 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Pumpperiode 2020) für Hochmoorstandorte extrem hohe Leitfähigkeiten gemessen, was sich durch erhöhte Ionen- und DOC-Konzentrationen erklären lässt (s.u.). In der letzten Pumpperiode (2021) waren die Leitfähigkeiten kaum noch erhöht. Auch an der neuen Messvariante auf D12 (UFB_2) wurden in der Pumpperiode 2020 mit im Mittel 581 $\mu\text{S cm}^{-1}$ noch recht hohe Leitfähigkeiten gemessen. Die Leitfähigkeiten in 15 cm Tiefe lagen auf der Referenzfläche im Mittel bei 343 $\mu\text{S cm}^{-1}$ und nahmen – wie in den Gräben G1 und G2 – in allen Tiefen tendenziell über den Untersuchungszeitraum ab.

6.7.2 Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)

Während die DOC-Konzentrationen im Bodenwasser in 15 cm Tiefe der ursprünglichen Messvariante (UFB_1) auf der Fläche mit Unterflurbewässerung niedriger als die der Referenzfläche waren (Abbildung 55), zeigte die neu eingerichtete Messvariante auf der Fläche (UFB 2) höhere, aber sehr variable DOC-Konzentrationen (Mittelwerte 15 und 30 cm: 637 mg L^{-1} und 308 mg L^{-1}). Während die niedrigeren DOC-Konzentrationen im Vergleich zur Referenzfläche durch die höhere Bodenfeuchte zu erklären ist, ist der Grund für die stark erhöhten Werte an UFB_2 noch unklar. Ein starker Verdünnungseffekt durch ein Einleiten DOC-armen Grundwassers ist nicht zu verzeichnen; Rücklösungs- oder Austauschprozesse scheinen zu einem Beibehalten des hohen Konzentrationsniveaus zu führen. Die DOC-Konzentrationen in 30 und 60 cm Tiefe waren sogar in der Fläche mit Unterflurbewässerung tendenziell höher als in der Referenzfläche, wobei nur in 60 cm Tiefe ein leicht abnehmender Trend zu verzeichnen ist. Im Gegensatz dazu scheinen die Konzentrationen in 60 cm Tiefe am Referenzstandort leicht anzusteigen, was konsistent mit ansteigenden pH-Werten ist (Abbildung 53). Generell liegen die DOC-Konzentrationen bisher in einem für Intensivgrünlandstandorte auf Hochmoor typischen bis hohen Wertebereich (Frank *et al.*, 2014).

Wie im Falle der pH-Werte war im Dränsystem bei Fläche D12 ein deutlicher Einfluss der Bewässerungen mit DOC-armem (Median: 5,2 mg L^{-1}) Grundwasser zu erkennen, wobei sich der Effekt Richtung T3 und Auslass verringerte. Im Gegensatz zu den pH-Werten stiegen die DOC-Konzentrationen nach jeder Pumpperiode wieder auf ähnliche Werte wie vor der initialen Bewässerung an, die jedoch etwas unter den DOC-Konzentrationen im Bodenwasser in 30 und 60 cm Tiefe lagen und viel variabler als diese waren. In den bewässerungsfreien Perioden lagen die DOC-Konzentrationen am Auslass etwas über denen in den T-Stücken und somit leicht unter den Werten des Bodenwassers in 60 cm Tiefe.

Die DOC-Konzentrationen in den Gräben G1 und G2 (Referenzfläche) waren den in den bewässerungsfreien Perioden gemessenen Werten im Abfluss von D12 ähnlich und entsprachen den Konzentrationen im Bodenwasser in 60 cm Tiefe. Allerdings zeigte sich ein zu den Konzentrationen in 60 cm Tiefe gegenläufiger Trend, d.h. ein Ansteigen über den Untersuchungszeitraum. Möglicherweise lässt sich auch dies auf eine „Erholung“ nach dem Trockensommer 2018 erklären.

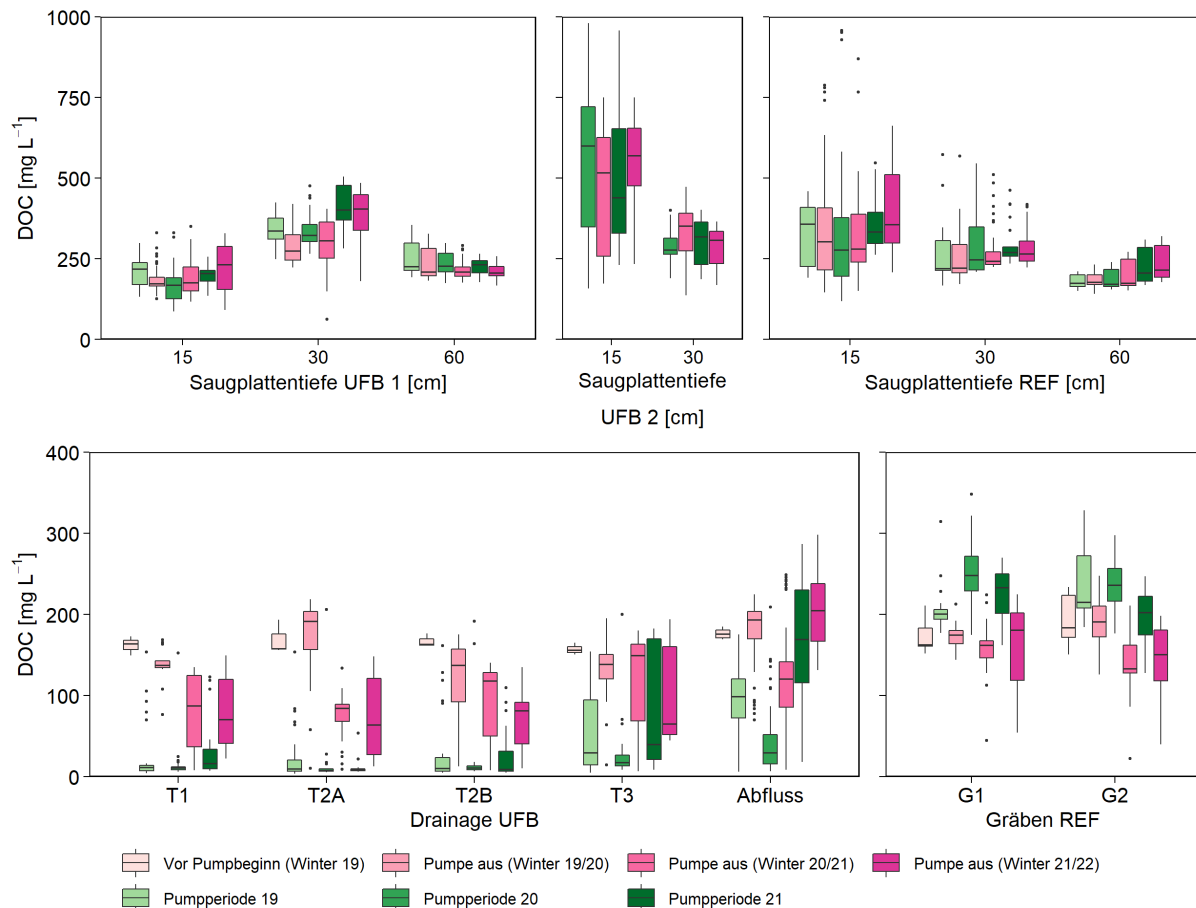


Abbildung 55: Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) in Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF) unterteilt in Bewässerungs- und Entwässerungsphasen („Pumpperiode“ bzw. „vor Pumpbeginn“ und „Pumpe aus“). T1 bis T3: Probenahme über T-Stücke aus Dränrohren.

Im Bilanzjahr 2019 ergaben sich DOC-Austräge aus der Fläche mit Unterflurbewässerung von 711 kg ha⁻¹ a⁻¹ (vorläufige Werte, entspricht 2,6 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹), während für die weiteren Messjahre sowie für die Referenzfläche noch keine Zahlen vorliegen. Dieser Wert übersteigt die für ein Intensivgrünland im Ahlenmoor gemessenen Werte von im Mittel 430 kg ha⁻¹ a⁻¹ (Frank, 2016) deutlich, was vermutlich u. a. auf die Störung durch Bodenbearbeitung zurück zu führen ist. Wenn DOC in die C-Bilanz der Unterflurbewässerung

mit einbezogen wird, machte dies 2019 13% der C-Bilanz aus und stellt damit eine relevante Komponente dar. Da die Konzentrationen im Abfluss 2020/21 zwar abgenommen haben, 2021/22 aber wieder auf dem Niveau des ersten Winters waren (Abbildung 55), ist in Anbetracht der niedrigeren gasförmigen C-Flüsse von einer höheren relativen Bedeutung der DOC-Austräge für die gesamte Kohlenstoffbilanz auszugehen.

6.7.3 Stickstoff

Im Allgemeinen sind Nitrat-N-Konzentrationen im Bodenwasser und Abfluss von Hochmoorgrünländern meist niedrig (z.B. Frank *et al.*, 2014). Dies wird generell auch durch die Ergebnisse des Referenzstandorts bestätigt, wobei die Skala darüber hinwegtäuscht, dass die Konzentrationen in 15 cm Tiefe mit im Mittel $8,7 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ für ein Hochmoorgrünland recht hoch und auch sehr variabel (Standardabweichung $13,2 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$) waren (Abbildung 56). Frank *et al.* (2014) haben beispielsweise nur $0,5 \pm 1,0 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ mit vereinzelt höheren Werten nach Düngung gemessen.

Insbesondere im Oberboden (15 cm Tiefe) traten am Standort mit Unterflurbewässerung während der ersten Pumpperiode extrem hohe Nitratkonzentrationen auf. Auch im darauffolgenden Winter und in der nächsten Pumpperiode waren die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen noch sehr hoch. Auch in 30 cm Tiefe sind im Sommer 2019 und Winter 2019/20 erhöhte Werte vorgefunden worden. Die höheren Werte im Winter 2019/20 in 30 cm Tiefe und erstmals erhöhte Konzentrationen in 60 cm Tiefe in der Pumpperiode 2020 könnte auf eine Verlagerung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Front bei gleichzeitiger starker Denitrifikation hindeuten. Für den Winter 2021/22 und für die neue Messvariante UFB_2 liegen noch nicht ausreichend Daten vor.

Die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im Dränsystem und am Auslass lagen jedoch deutlich unter denen im Bodenwasser, wobei vermutlich aufgrund der starken Störung des Bodens durch die Installation der Dränrohre die höchsten Konzentrationen vor Start der Bewässerung auftraten. Im Bilanzjahr 2019 waren die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Austräge ($6 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, vorläufige Ergebnisse) im Vergleich zum Intensivgrünland im Ahlenmoor hoch ($2,7 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Frank 2016). Die Gesamt-N-Austräge ($43,4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, vorläufige Ergebnisse), als Summe aus $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ (im ersten Jahr von geringer Bedeutung, daher nicht dargestellt) und DON (Abbildung 57), lagen für Hochmoorgrünländer ebenfalls deutlich außerhalb des aus der Literatur bekannten Wertebereichs (Blankenburg & Scheffer, 2008: 2 bis $30 \text{ kg Gesamt-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; Frank 2016: $29 \text{ kg Gesamt-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

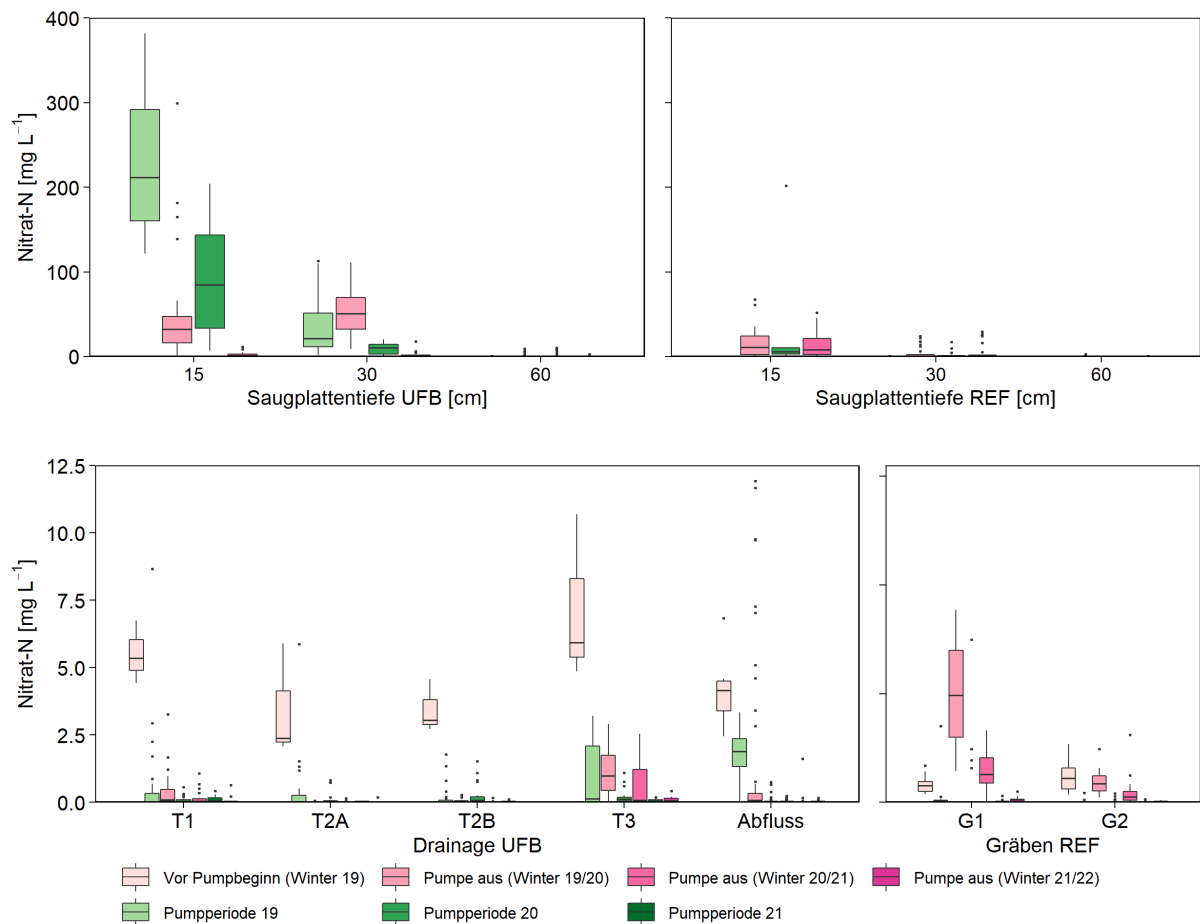


Abbildung 56: Nitrat-Stickstoff (Nitrat-N) in Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF) unterteilt in Bewässerungs- und Entwässerungsphasen („Pumpperiode“ bzw. „vor Pumpbeginn“ und „Pumpe aus“). T1 bis T3: Probenahme über T-Stücke aus Dränrohren.

Gelöster organischer Stickstoff (DON) kann ebenfalls eine bedeutende Rolle für die Stickstoffkonzentrationen in und Austragen aus entwässerte Hochmoorstandorte spielen (Frank *et al.*, 2014). An beiden Untersuchungsstandorten (Abbildung 57) war ein ähnliches Muster wie beim DOC (Abbildung 55) zu beobachten, d.h. Konzentrationen im Bodenwasser waren an beiden Standorten ähnlich und in 15 cm (UFB) bzw. in 60 cm Tiefe (Referenz) am niedrigsten. Insgesamt liegen die Werte etwas höher als an einem Intensivgrünlandstandort im Ahlenmoor ($9,2 \pm 3,2$ mg DON L⁻¹, Frank *et al.*, 2014). Am Referenzstandort stellt DON außer an vereinzelten Messterminen die wichtigste Stickstoffkomponente dar.

Im Dränsystem vom Standort mit Unterflurbewässerung zeigte sich der Einfluss des Grundwassers auf die DON-Konzentrationen, d.h. diese waren in den Pumpperioden niedrig und stiegen im Verlauf des Dränsystems an. In den Winterperioden waren die DON-Konzentrationen jedoch ähnlich hoch wie in den Gräben am Referenzstandort.

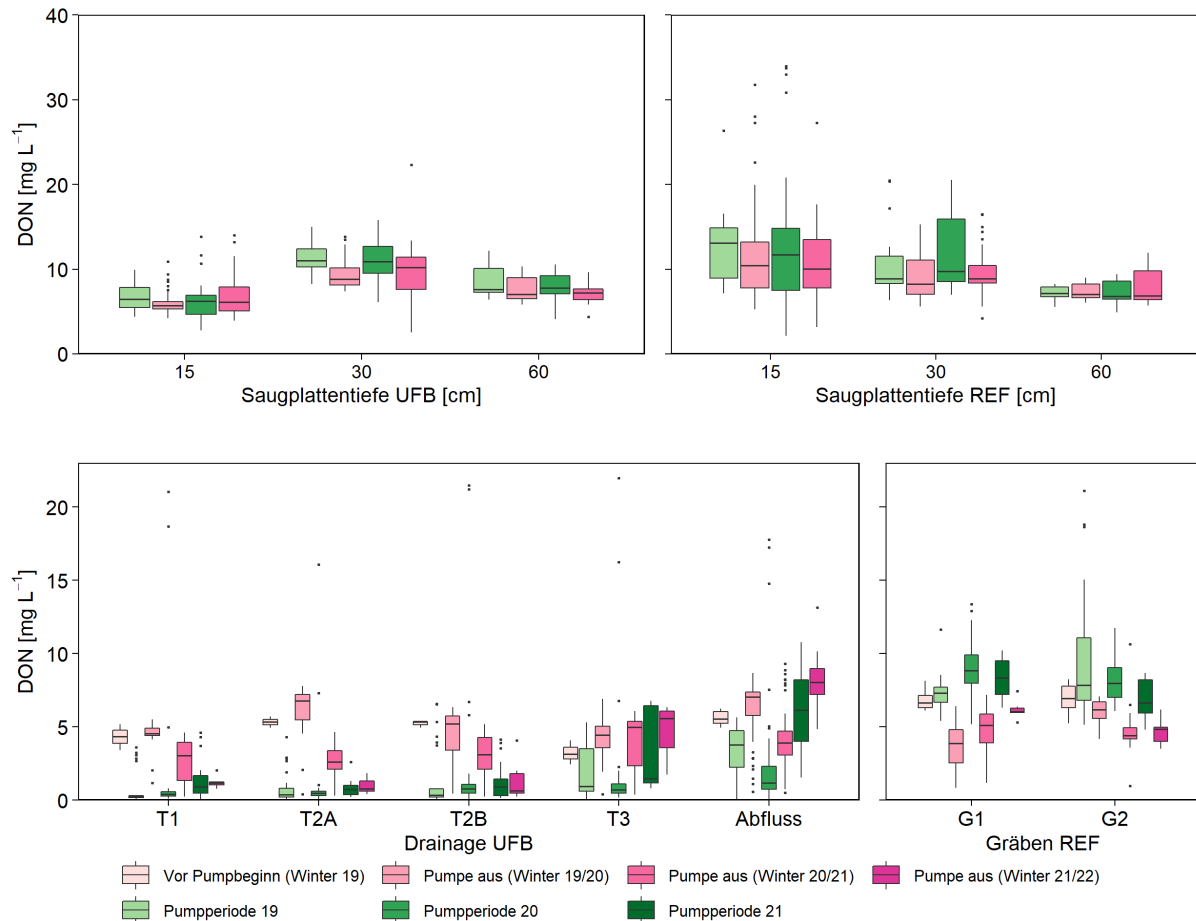


Abbildung 57: Gelöster organischer Stickstoff (DON) in Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF) unterteilt in Bewässerungs- und Entwässerungsphasen („Pumpperiode“ bzw. „vor Pumpbeginn“ und „Pumpe aus“). T1 bis T3: Probenahme über T-Stücke aus Dränrohren.

6.7.4 Phosphor

Mit einem mittleren Anteil von 80% am Gesamt-P war $\text{PO}_4\text{-P}$ die wichtigste P-Form. Wie die Nitrat-Konzentrationen waren auch die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen im Bodenwasser im ersten Bilanzjahr im Vergleich zur Referenzfläche stark erhöht und generell sehr hoch (Abbildung 58). In 15 cm Tiefe lag der Median zunächst bei 18,8 mg Phosphat-P L^{-1} (Pumpperiode 2019), im Winter 2019/2020 noch bei 11,1 mg Phosphat-P L^{-1} und in der Pumpperiode 2020 war die Konzentration mit 3,4 mg Phosphat-P L^{-1} im Vergleich zum

Referenzstandort immer noch um ein 10-faches erhöht. Allerdings liegen die Messwerte für diesen Zeitraum sowie 2021/22 noch nicht vollständig vor. In 30 cm Tiefe zeigten die $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen im Winter 2019/20 ihr bisheriges Maximum, während Werte in 60 cm Tiefe bis in den Winter 2020/21 ansteigen. Danach liegen noch nicht ausreichend Messwerte für eine endgültige Beurteilung vor.

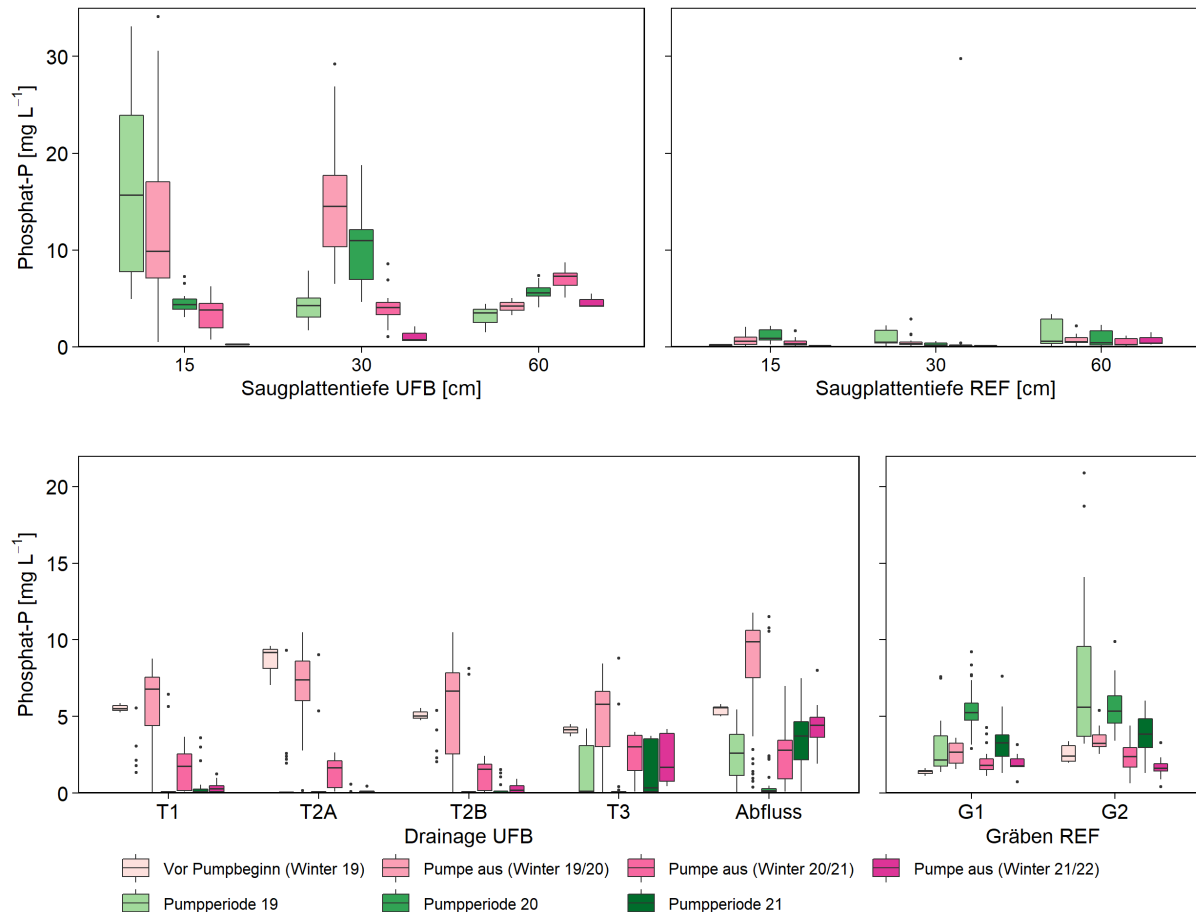


Abbildung 58: Phosphat-P ($\text{PO}_4\text{-P}$) in Wasserproben der Fläche mit Unterflurbewässerung (UFB) und der Referenzfläche (REF) unterteilt in Bewässerungs- und Entwässerungsphasen („Pumpperiode“ bzw. „vor Pumpbeginn“ und „Pumpe aus“). T1 bis T3: Probenahme über T-Stücke aus Dränrohren.

Diese Verlagerung der P-Front scheint sich auch in den Proben im Dränsystem und am Auslass wider zu spiegeln, denn insbesondere am Auslass waren die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentration im Winter 2019/20 höher als in der vorangegangenen Pumpperiode. Somit unterscheidet sich die jahreszeitliche Dynamik der Fläche mit Unterflurbewässerung deutlich von der Referenzfläche: Hier traten die höchsten $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen sowohl im Bodenwasser als auch in den Gräben im Sommer auf, was typisch für Gräben in Hochmoorgrünländern ist.

Die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Austräge aus der Fläche mit Unterflurwässerung beliefen sich im Bilanzjahr 2019 auf 34 kg ha^{-1} (vorläufige Werte). Insbesondere da noch die Austräge an gelöstem organischem Phosphor hinzukommen, sind diese Werte als sehr hoch einzuschätzen: Blankenburg & Scheffer (2008) geben für Hochmoorgrünlander in Niedersachsen Werte von 3 bis 10 kg ha^{-1} an, während die hier gemessenen P-Austräge sogar die bisherigen Werte für Hochmooräcker ($8 \text{ bis } 20 \text{ kg ha}^{-1}$) übersteigen. Derzeit liegen noch nicht ausreichend Messwerte für die weiteren Messjahre vor, um einschätzen zu können, wie lange dieser vermutlich auf die Kombination von Einrichtung, Freisetzung aus mineralisierter Wurzelbiomasse und Wasserstandsanhhebung zurück zu führende Effekt anhalten wird.

7 Kooperation

Die Kooperation des Modellprojektes Gnarrenburger Moor (April 2016 – Juni 2021) und seines Folgeprojektes (Juli 2021 – März 2023) hat zur Aufgabe, zusammen mit den Landnutzerinnen und Landnutzern, Maßnahmen für eine klimaschutzorientierte, torfschonende und dabei wirtschaftlich tragfähige landwirtschaftliche Moornutzung zu entwickeln und zu erproben, sowie die Akzeptanz und die Teilnahmebereitschaft der Landwirtinnen und Landwirte dafür zu fördern. Dabei sind Maßnahmen zur Anhebung der Moorwasserstände von zentraler Bedeutung für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen und zur Erhaltung der Produktionsfunktion der Moorböden. In der Kooperation beraten und beschließen das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), die Landwirtschaftskammer (LWK), die Ostfalia Hochschule und ein Sprecher der kooperierenden Landwirtinnen und Landwirte gemeinsam mit lokalen Akteuren aus Gemeinde, Verwaltungsbehörden und berufsständischen Organisationen über Maßnahmen und deren Umsetzungskonzepte in Teilgebieten der Modellregion.

7.1 Tätigkeit und Entwicklungsperspektiven der Kooperation

Mit einem einstimmigen Beschluss stimmten die Kooperationsmitglieder (Abbildung 59) am 02.10.2020 der Fortführung der Kooperation im Folgeprojekt zu, deren praxis- und lösungsorientierte Zusammenarbeit über eine Geschäftsordnung geregelt ist. Im Arbeitskreis der Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirte als Gremium der Kooperation sind 39 Betriebe vertreten, die mit ca. 1.200 ha knapp 30 % der landwirtschaftlich genutzten Moorfläche im Gnarrenburger Moor bewirtschaften. Im Rahmen von insgesamt sieben Kooperationssitzungen und acht Arbeitskreisen der Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirte wurde ein Spektrum denkbarer praxistauglicher klima- und torfschonender Maßnahmen zur Anhebung von Moorwasserständen auf Grünlandstandorten erarbeitet, die zumeist an die bisherigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen der Flächen mit weitgehend unveränderten Absatzwegen anknüpfen. Dabei überzeugten verbesserter Moorschutz durch höhere Wasserstände und die Sicherstellung der landwirtschaftlichen Produktion die Landwirtinnen und Landwirte und führten zu einem großen Interesse an der Unterflurbewässerung.



Abbildung 59: Mitglieder der Kooperation. Foto: Mareike Kerouche

Auf den Demonstrationsversuchen zum passiven Grabenanstau fielen die Graben- und Moorwasserstände mit Einsatz der Verdunstungsperiode zu tief, als dass eine relevante Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erwarten wäre. Daraus wurde deutlich, dass eine klimawirksame Anhebung der Moorwasserstände im Hochmoor nur durch ausreichend Zusatzwasser möglich ist. Für die Konzeption eines entsprechenden Wassermanagements, das Überschusswasser zurückhält, um es dadurch den Landnutzern zu ermöglichen, die Moorwasserstände in ihren Flächen hoch zu halten und die Torfmineralisation zu verringern, wurden in der Modellregion Teilgebiete identifiziert, in denen eine Grünlandbewirtschaftung mit Grabeneinstau und Unterflurbewässerung unter Praxisbedingungen erprobt und wissenschaftlich begleitet werden könnte.

Die Suche und Auswahl geeigneter Teilgebiete erfolgte über die Untersuchung wasserwirtschaftlicher und wasserbaulicher Möglichkeiten in der Modellregion durch die Ostfalia Hochschule und über die Beteiligung dort wirtschaftenden Landwirtinnen und Land-

wirte an einer Agrarstrukturellen Erhebung. Um mehr über die grundsätzliche Teilnahmebereitschaft seitens der Landwirtschaft der Modellregion zu erfahren wurden von der Landwirtschaftskammer Agrarstrukturelle Daten von 14,8 % der landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Größe von mindestens 1453,2 ha erhoben. Die Erhebungen wurden von der Geschäftsführung mit dem Ziel begleitet, die Ergebnisse mit den Erkenntnissen aus der hydrologischen Studie der Ostfalia Hochschule für die Auswahl eines geeigneten Teilgebiets abzugleichen und diese mit dem Projektteam auszuwerten bzw. weiterzuentwickeln. Im Teilgebiet Oberklenkendorf überzeugten die hydrologischen Untersuchungen bei einer jedoch relativ großen heterogenen Gruppe von potenziell zu beteiligenden Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern und Eigentümerinnen und Eigentümern. Im Folgenden ist hier eine in Flurneuerungsprozessen erfahrene Unterstützung erforderlich, um zu den gewünschten Ergebnissen zu kommen. Wegen der guten Voraussetzungen für die Konzeptionierung eines vollumfänglichen, umsetzungsreifen Teilgebietskonzepts, fiel die Wahl auf das Teilgebiet Langenhausen.

Im Teilgebiet Langenhausen führte die Geschäftsführerin zusammen mit der Ostfalia Hochschule Einzelgespräche mit Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern und Eigentümerinnen und Eigentümern in Vorbereitung auf Workshops zur Entwicklung eines Umsetzungskonzepts mit betriebsübergreifendem Wassermanagement und abgestimmten Bewirtschaftungsmaßnahmen durch. Zwischenergebnisse von Treibhausgasmessungen legten für ein Umsetzungskonzept Wasserstände von im Jahresmittel 0,20 m unter Geländeoberkante für eine hinreichende Klimawirkung nahe (Tiemeyer et al. 2016 und Tiemeyer et al. 2020). In der 7. Kooperationssitzung am 30.06.2022 wurde durch das LBEG, die Ostfalia Hochschule und die LWK über den Ansatz zur Umsetzung eines Wassermanagements im Teilgebiet Langenhausen in einem weiteren Folgeprojekt informiert und Einvernehmen über die Auswahl des Teilgebiets hergestellt. Zuvor hatte der Arbeitskreis der Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirte Gelegenheit, die Idee des Umsetzungskonzeptes zu diskutieren. Hier fand der Vorschlag die grundsätzliche Zustimmung der Landwirtinnen und Landwirte. Den Bewirtschaftergesprächen folgten weitere individuelle Vorgespräche mit den im Teilgebiet Langenhausen verorteten Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern und Eigentümerinnen und Eigentümern in Vorbereitung auf die gemeinsamen Arbeitstreffen. Corona-bedingt konnten die Vorbereitungsgespräche nur eingeschränkt und mit Verzögerungen – häufig nur vor Ort auf den Grünlandflächen – stattfinden. Anhand des im Modellprojektes erarbeiteten Maßnahmenspektrums, wurden

individuelle Flächennutzungsideen der Landwirtinnen und Landwirte aufgegriffen und vertieft. Ziel der Gespräche war, dass sich die Flächennutzungsideen der einzelnen Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter und Eigentümerinnen und Eigentümer in Workshops zu einem teilgebietsbezogenen Umsetzungskonzept für ein Wassermanagement zusammenführen lassen. So gab es im Teilgebiet Langenhausen bereits erste Vorstellungen der Landwirtinnen und Landwirte zur Flächenarrondierung durch Flächentausch. Vertretungen des Gewässer- und Landschaftspflegeverbands Teufelsmoor als Wasser- und Bodenverband beteiligten sich an den Feldbegehungen, um die Auswirkungen von Wasserstandsanhörungen auf den Hochwasserschutz und denkbare Möglichkeiten zur Speicherung von Zusatzwasser im Sommer zu bewerten.

In den anschließenden Workshops wurde das Konzept eines teilgebietsbezogenen Wassermanagements in Langenhausen auf einer arrondierten Fläche von 70 ha mit den im Gebiet wirtschaftenden Landwirtinnen und Landwirten bzw. Flächeneigentümerinnen und Flächeneigentümern und den Projektbeteiligten zur Umsetzungsreife entwickelt. Es umfasst ein detailliertes Wassermanagement und einen Plan der zukünftigen Landnutzung (s. Kapitel 9.4). Die Konzeption des teilgebietsbezogenen Wassermanagements im Teilgebiet Langenhausen knüpft an das Findorffsiedlungskonzept an, das im Modellprojekt zusammen mit den Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirten erarbeitet wurde (Kalinski et al. 2021). Hier werden über ein Wassertransekt hinter der Hofstelle die anschließenden Flächen durch einen abgestuften Grabeneinstau zunehmend nasser und in den Sommermonaten mit Zusatzwasser gespeist. Bei hohen Grabenwasserständen soll eine maximal mögliche Anhebung der Moorwasserstände unter Beibehaltung der Nutzung erreicht werden. Aufgrund der nasseren Bewirtschaftungsbedingungen werden hier verringerte Phosphor-Düngung, angepasste Agrartechniken und Gräsersorten im Rahmen agronomischer Untersuchungen besonders in den Blick genommen. Darüber hinaus ist eine innovative Landnutzung über die Vollvernässung eines Abschnitts der Flächen in Kombination mit Fotovoltaikanlagen als Teil des Konzepts vorgesehen. Sie verbindet als Win-win-Ansatz eine maximale Minderung von Treibhausgasemissionen mit Ansätzen zur Einkommensdiversifizierung in der Landwirtschaft und leistet einen Beitrag zur Energiewende. Das Umsetzungskonzept konzentriert sich demzufolge auf Flächen mit wirtschaftlichem Interesse in Privathand. Da zukünftig auch mögliche nasse Moornutzungen, etwa der Anbau von Torfmooskulturen, Geschäftsmodelle für die Land-

wirtschaft sein können, wurde mit den Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirten und den Mitgliedern der Kooperation im Rahmen der Arbeitskreis- und Kooperationsitzungen über Zwischenergebnisse entsprechender Modell- und Demonstrationsvorhaben auf Landes- und Bundesebene diskutiert. Eigene Schritte zur Einführung von Paludikulturen wurden im Projekt aufgrund ihrer Komplexität (vor allem Verarbeitung und Vermarktung der Produkte, Wirtschaftlichkeit der Verfahren) nicht unternommen. Dennoch wurde bei den Überlegungen zum Wassermanagement berücksichtigt, dass die Wasserbereitstellung auch der Etablierung von Torfmooskulturen dienen kann.

Gebietsinitiativen zur Stärkung klimaschonender Bewirtschaftungsverfahren wurden von der Geschäftsführung verfolgt und konstruktiv begleitet. So sollen im Randbereich des Teilgebietes Langenhausen Auswirkungen von Freiflächen-Fotovoltaik-Anlagen in Verbindung mit einer Vollvernässung untersucht werden (s. Kapitel 9.4). Ein ständiger Wissensaustausch mit Forschungs- & Entwicklungsprojekten zu Paludikulturen trägt dazu bei, dass diese auch in der Modellregion Berücksichtigung finden können, wenn sie sich aus landwirtschaftlicher Sicht als wirtschaftlich erweisen. Maßnahmen zur Flächenneuordnung mussten in der Modellregion bisher nicht ergriffen werden. Hier konnten in den Workshops mit Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern und Eigentümerinnen und Eigentümern Lösungen herbeigeführt werden, indem diese sich dort über ihre Tauschabsichten verständigt haben. In einem zweiten Untersuchungsgebiet in Oberklenkendorf, mit einer Größe von ca. 270 ha (Kapitel 9.3), fanden sich aus hydrologischer Sicht attraktive Voraussetzungen für ein großflächiges Wassermanagement. Hier bedarf es aufgrund der großen Zahl von Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern und Eigentümerinnen und Eigentümern zunächst einer Prüfung von denkbaren Flurneuordnungsansätzen. Dabei sollte auch geprüft und mit den Beteiligten abgestimmt werden, wie eine Neuordnung der Flächen zur Optimierung von Synergien zwischen Naturschutz und Landwirtschaft beitragen könnte.

Auf der Grundlage der Erkenntnisse aus der Kooperationsarbeit war die Geschäftsführung an der Entwicklung von Förderinstrumenten und -projekten für eine torf- und klimaschonende landwirtschaftliche Bewirtschaftung beteiligt. Dazu zählt zum einen eine vom niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, vom LBEG und der LWK konzipierte Agrar- und Klimamaßnahme (AUKM) für moorschonende Stauhaltung, die mittlerweile umgesetzt wird (Webcode 01040450).

Zum anderen liegt ein vollumfängliches Umsetzungskonzept für ein betriebsübergreifendes Wassermanagement im Rahmen eines weiteren Folgeantrags zum Modellprojekt Gnarrenburger Moor (GaMo3) aus EFRE-Mitteln des niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz vor. Um innovative Maßnahmenansätze, die die Überführung von Grünlandbewirtschaftung in Paludikulturanbau zum Inhalt haben, zu unterstützen und zu verbreiten, wird eine Projektantragskizze zu klimaschonender Nasswiesennutzung und innovativer Aufwuchsverwertung bei der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) eingereicht. Der im Gnarrenburger Moor verfolgte Kooperationsansatz dient hier als Vorbild für die Umsetzung eines Living Labs.

Die integrierenden und interdisziplinären Aufgabenstellungen der Kooperation und damit deren Bedeutung als Diskussions-, Entwicklungs- und Umsetzungsplattform der Landwirtinnen und Landwirte, der Stakeholder und Verbundpartner werden angesichts der flächenbezogenen Hochskalierung der Untersuchungen in Richtung einer nassen Flächennutzung auf der Zeitschiene bis 2045 immer komplexer. Möglichst schnell Akzeptanz und Beteiligungsbereitschaft bei Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern und Eigentümerinnen und Eigentümern angesichts zukünftig nasser(er) Flächennutzung großflächig zu schaffen und aufrechtzuerhalten, bleibt von zentraler Bedeutung. Vorrangig erfolgt dies über die Bewertung der gewonnenen interdisziplinären Erkenntnisse anhand betriebswirtschaftlich relevanter Aspekte. Naturschutzfachliche Vorstellungen und Bewertungen können hier zu anderen Einschätzungen führen.

7.2 Umsetzbarkeit von praxistauglichen Maßnahmen

Die Untersuchungen in der Modellregion erfolgten bislang über Demonstrationsvorhaben im Maßstab von 0,5 ha bis 4,5 ha mit dem Fokus auf die technische Machbarkeit. Diese zielt insbesondere auf regulierte Wasserstandsanehebungen ab, schließt aber auch Land- und Verfahrenstechniken der landwirtschaftlichen Flächennutzung bei angehobenen Wasserständen ein. Für die Untersuchung der Umsetzbarkeit von praxistauglichen Maßnahmen ist jedoch eine flächen- und betriebsübergreifende Perspektive erforderlich. Fortgesetzte flächenbezogene Höherskalierungen der Untersuchungen in der Modellregion sind dabei ebenso mit neuen Herausforderungen verbunden, wie die Entwicklung

von Transformationsprozessen in Richtung einer nassen Flächennutzung auf der Zeitschiene bis 2045. Die Herausforderungen liegen hier auch in der gleichzeitigen Betrachtung der Zeit- und der Flächendimension.

7.2.1 Klimaneutralität bis 2045

Im Arbeitskreis der Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirte und in der 7. Kooperations Sitzung am 30.06.2022 wurden vom LBEG drei denkbare Transformationspfade zur Diskussion gestellt, um eine Klimaneutralität der Moore bis 2045 zu erreichen (abgeleitet von Grethe et al. 2022). Diese berücksichtigen auch die denkbaren torf- und klimaschonenden Maßnahmen aus dem Modellprojekt angesichts der zeitlich anspruchsvollen klimapolitischen Zielsetzungen: (1) Aus Extensivgrünland können sich über passives Wassermanagement (d.h. Wasserrückhalt auf der Fläche, keine Wasserzufuhr), Nutzungsaufgabe und Flächenerwerb durch die öffentliche Hand im Zuge einer Vollvernässung Naturschutzflächen entwickeln. (2) Der landwirtschaftlichen Nutzungsaufgabe kann eine Flächennutzung durch Freiflächen-Fotovoltaik bei Vollvernässung mit Überstau im Winter folgen. (3) Die Grünlandnutzung über Milchviehhaltung, im Rahmen eines aktiven Wassermanagements (Zufuhr von Zusatzwasser vor allem im Sommerhalbjahr) über Grabeneinstau und Unterflurbewässerung, kann zu einem späteren Zeitpunkt, wenn sich insbesondere über Paludikulturen neue Geschäftsmodelle abzeichnen, über eine Vollvernässung, zum Beispiel auf Torfmooskulturen, umgestellt werden. Für die Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter hat Letzteres den Vorteil, dass zwei Schritte hintereinander folgen, indem erst ein geeignetes Wassermanagement eingerichtet wird und zu einem späteren Zeitpunkt die Umstellung auf Paludikulturen erfolgen kann.

Zumindest in einer Übergangsphase könnte Grünland auf Moorstandorten zur Lebensmittelproduktion und als Landschaftsbestandteil Teil eines Mosaiks unterschiedlicher Flächennutzungen im regionalen und überregionalen Interesse sein. Die Mitglieder der Kooperation waren sich einig, dass das Überdenken notwendiger planungs- und genehmigungsrechtlicher Verfahren (zum Beispiel über Flurbereinigungen) erforderlich ist. Weiterhin stimmten sie überein, dass es einer Herangehensweise über gebietsbezogenes Wasser- und Bodenmanagement bedarf, welches die individuellen Torfkörper mit ihren Wassereinzugsbereichen in den Blick nimmt. Dies gilt umso mehr, als dass einzelne Be-

wirtschafterinnen und Bewirtschafter, aufgrund der Einschränkungen bei der Wasserverfügbarkeit im Hochmoor, üblicherweise nur aus einem hydrologisch zusammenhängenden Teilgebiet heraus im Sinne der Klimaschutzziele handeln können.

Die Grenzen der Bewirtschaftung von Grünland werden insbesondere von der Verfügbarkeit angepasster leichter Landtechnik, von geeigneten Grassorten und neuen Wegen der Verfahrenstechnik bestimmt. Für die Umsetzung klimaschonender Maßnahmen sind hier aus Sicht der Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirte entsprechende politische Entscheidungen und durchfinanzierte Maßnahmen einschließlich Flächenankäufe für Vernässungsziele erforderlich. Dabei wird eine Differenzierung nach Betrieben eingefordert, die vollständig auf Moorstandorten wirtschaften und solchen, die dies nur zu einem kleinen Anteil tun. Von der Politik wird erwartet, dass bei den ambitionierten Zielen des Klimaschutzes im Moor auf gesetzlicher Ebene klare verbindliche Aussagen formuliert werden und eine ganzheitliche Betrachtung von Anwohnerinteressen, Hochwasser-, Natur- und Klimaschutz erfolgt.

7.2.2 Entwicklung von Teilgebieten

Mit der Entwicklung eines gebietsbezogenen Wassermanagements soll den Landwirtinnen und Landwirten der Modellregion die Gelegenheit gegeben werden, sich einen Eindruck zu verschaffen, wie nassere Bewirtschaftung flächen- und betriebsübergreifend funktionieren kann und wo die Herausforderungen liegen. Dazu wurde mit den Projektbeteiligten das Teilgebiet in der Modellregion identifiziert, in dem die Voraussetzungen für die Umsetzbarkeit denkbarer praxistauglicher Maßnahmen insgesamt am besten erfüllt ist. Neben geeigneten hydrologischen Bedingungen zählen hierzu insbesondere die Flächenverfügbarkeit über die Teilnahmebereitschaft der Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter und der Eigentümerinnen und Eigentümer einschließlich der Vorbereitung auf eventuell erforderlichen Flächentausch. Bei der Identifizierung des Teilgebietes Langenhausen war von Vorteil, dass der Sprecher der Landwirtinnen und Landwirte, der in einem Demonstrationsversuch bereits seit 2017 über Erfahrungen mit angehobenen Wasserständen verfügt, Interesse an einer Beteiligung zeigte. Zwischen den benachbarten Landwirten besteht ein guter Kontakt und beide sind Flächeneigentümer. Generell zeigte sich bei den Bewirtschaftergesprächen aber auch, dass eine nachhaltige Teilnahmebereit-

schaft der Landwirtinnen und Landwirte bei der Entwicklung von Teilgebieten mit betriebsübergreifendem Wassermanagement von den wirtschaftlichen Perspektiven und der Planungssicherheit abhängig ist. Damit es gelingt, die Beteiligung der potenziell interessierten Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter und/oder Eigentümerinnen und Eigentümern zu erwirken, sind wirtschaftliche Anreize eine wichtige Voraussetzung.

Wirtschaftliche Anreizinstrumente für eine erfolgreiche Akquise von Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirten, die in den für Teilgebetskonzepte in Frage kommenden Flächen der Modellregion verortet sind, können Ausgleichszahlungen für die Mindererträge und verringerte Futterqualitäten sowie betriebliche Mehrkosten sein. Als Ergebnis des Modellprojektes wurden bereits entsprechende Bewertungen für die Kompensation nasserer Bewirtschaftung durch den Fachberater Grünland der Landwirtschaftskammer vorgenommen. Diese Kostenansätze können über Ausgleichbeträge für individuelle Erschwernisse durch spezielle Versuchsanordnungen ergänzt werden. Dazu zählen auch Flächenwertverluste bei dauerhafter Vollvernässung, wenn nach Projektende keine wirtschaftliche Nutzung, zum Beispiel über Fotovoltaik und Paludikulturen, erfolgen kann. Als unverzichtbar betrachten die Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirte, dass zukünftig sowohl der Untersuchung und finanziellen Förderung von angepasster Verfahrens- und Landtechnik als auch von nassetoleranten Gräsern zentrale Bedeutung eingeräumt wird. Die Agrarstrukturelle Erhebung in der Modellregion hatte zum Ergebnis, dass für viele Landwirtinnen und Landwirte die Chancen, als Geschäftsmodell auf eigenen Flächen über Verpachtung oder Beteiligung an einer Betreibergesellschaft Einkommen aus Freiflächen-Fotovoltaik zu erzielen, einen starken Anreiz ausüben. Der hier zur Diskussion stehende Vollvernässungsansatz ist mit einer Win-win-Situation für Klimaschutz, Flächeneigentümerinnen und Flächeneigentümern und Energiewende verbunden, wenn der sektorübergreifende Beitrag zur Energiewende einbezogen wird. Aus Sicht des NABU können bei durchdachten Konzepten wenig artenreiche Flächen sogar ökologisch aufgewertet werden und neue Lebensräume auf zuvor intensiv genutzten Flächen entstehen (NABU Positionspapier 2022). Allerdings besteht hier im Zusammenhang mit der Vollvernässung noch umfangreicher Forschungsbedarf (KNE 2022). Die Steuerung von Freiflächen-Fotovoltaik auf ertragsarme Hochmoorstandorte bedeutet aber auch, dass ertragsstarke Standorte der Nahrungsmittelproduktion nicht entzogen werden (müssen). Wenn die beabsichtigten Steuerungsimpulse aus dem Erneuer-

erbare-Energien-Gesetz (EEG) nicht ausreichen, weil am freien Energiemarkt höhere Vergütungen erzielt werden, kann hier die Bauleitplanung der Kommunen greifen. Ein gesamträumliches Standortgutachten der Gemeinde Gnarrenburg für Freiflächen-Fotovoltaik bildet die Grundlage für ein Standortkonzept, das die Ausweisung von Gebieten für Freiflächen-Fotovoltaik mit einer Vollvernässung verbindet. Bei der Eingrenzung geeigneter Bereiche des Gnarrenburger Moores konnten die Ergebnisse des Folgeprojektes einen Beitrag leisten. Ein entsprechender Kriterienkatalog der Gemeinde Gnarrenburg zu Freiflächen-Fotovoltaik definiert den Rahmen und dient der Orientierung von Flächeneigentümerinnen und Flächeneigentümern sowie Projektiererinnen und Projektierern (s. Homepage der Gemeinde Gnarrenburg). Als harte Auswahlkriterien werden hier explizit „Sichtbarkeit und Landschaftsbild“ in den Vordergrund gestellt. Unter dem Aspekt der Umsetzbarkeit von Maßnahmen wären hier bei knappen Wasserressourcen nur Lösungsansätze mit passivem Wassermanagement vorstellbar.

Forschung und Entwicklung im Bereich der Torfmooskulturen werden von den Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirten zwar mit Interesse verfolgt, aber derzeit nicht als Anreiz zur Betriebsumstellung gewertet. Angesichts der Zwischenergebnisse erkennen sie die noch bestehenden vielfältigen Hemmnisse bei Anbau und Verwertung. Wie bei der Grünlandbewirtschaftung muss die Wasserverfügbarkeit gesichert sein. Für einen Paradigmenwechsel zur nassen Bewirtschaftung müssen Wirtschaftlichkeit und Planungssicherheit für die landwirtschaftlichen Unternehmerinnen und Unternehmer absehbar sein. Für eine bessere Akzeptanz durch die Landwirtschaft ließe sich schon im Vorfeld über die Möglichkeiten eines Joint Venture-Ansatzes, z.B. als genossenschaftliches Modell, nachdenken. Dieses schließt Flächeneigentümerinnen und Flächeneigentümer, Bewirtschaftnerinnen und Bewirtschaftner, lokale Torfwerke mit Interesse an neuen Geschäftsmodellen und überregionale Torfwerke als Know-how-Träger für Torfmooskulturanbau und -vermarktung ein.

Derzeit wird davon ausgegangen, dass für Naturschutzflächen ein deutlich weniger aufwändiges Wassermanagement erforderlich ist (Höper 2022). Naturschutzflächen können häufig so angelegt werden, dass sie durch oberflächliche Speicherung des winterlichen Niederschlagsüberschusses nicht auf sommerliches Zusatzwasser angewiesen sind. Denkbar sind eine Reihe von Synergien zwischen Moornutzung und Naturschutz, indem zum Beispiel nassere genutzte Moorflächen einen hydrologischen Puffer zu vernässen

Naturschutzflächen darstellen können, volle Gräben den Zielen eines linearen Biotopverbundes dienen können und zudem der Naturschutz, z.B. in besonders trockenen Jahren, auch auf das für die genutzten Flächen bereitgestellte Wasser zugreifen könnte.

7.3 Wissensaustausch, -transfer und Öffentlichkeitsarbeit

Die Geschäftsführung steht im Dialog mit Akteuren anderer Projekte zum Klima- und Naturschutz, um Synergien für ein Wassermanagement in der Modellregion Gnarrenburger Moor zu nutzen bzw. Konfliktpotentiale frühzeitig zu erkennen und Lösungen zu finden. Über zahlreiche Online-Veranstaltungen konnte der Wissensaustausch vor allem mit Modell- und Demonstrationsvorhaben auch unter Pandemiebedingungen auf einem guten Niveau weitergeführt werden. Insbesondere als Beiratsmitglied der Projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PAG) des Verbundprojektes Moor- und Klimaschutz (MoKli) vom Greifswald Moorzentrum (GMC) und dem Deutschen Verband für Landschaftspflege (DVL) gewann die Geschäftsführung der Kooperation bei regelmäßigen Online-Treffen wertvolle Erkenntnisse zu besonderen Herausforderungen und denkbaren praxistauglichen Lösungsansätzen beim Moor- und Klimaschutz, die mit den Landnutzern realisiert werden. Ende Juli 2021 konnte sich die Geschäftsführerin beim Treffen mit dem Geschäftsführer des Deich- und Hauptzielverbandes Dithmarschen im Projektgebiet Mieleniederung einen Eindruck von der Umsetzung eines MoKli-Projektes verschaffen. Darüber hinaus bot der wiederholte Austausch mit einem Pilotvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Ostallgäu angesichts ähnlicher Rahmenbedingungen wie in der Modellregion zahlreiche Anknüpfungspunkte. Zuletzt fand im Oktober 2022 ein Austausch auf den Versuchsflächen in der Modellregion statt (Abbildung 60). Eine Exkursion mit den Gremien der Stiftung Naturschutz des Landkreises Rotenburg (Wümme) zu den Versuchsflächen der Modellregion war der Auftakt für Sondierungsgespräche mit den Naturschutzverbänden des Landkreises im Januar 2023, um mögliche Schnittstellen und Synergien mit dem Ziel der Abstimmung gemeinsamer Vorgehensweisen zu finden.



Abbildung 60: Besuch aus dem BMUV-Pilotprojekt Ostallgäu, von links: Dr. Heinrich Höper (LBEG) und Thomas Süß (Landratsamt Ostallgäu), Foto: Dr. Heike Kruse-Dörgeloh.

Zielgruppenspezifischer Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit fanden im Verlauf des Jahres coronabedingt über zahlreiche direkte Telefonkontakte vor allem mit besorgten Landwirtinnen und Landwirten statt, die über die Medien von den hohen Klimaschutz-erwartungen der Bundesregierung an die Moorlandwirtinnen und Moorlandwirte über weitgehende Vernässungsmaßnahmen erfahren hatten. Vor diesem Hintergrund wurden die Ergebnisse des Modellprojektes und dessen Fortsetzung im Folgeprojekt beispielsweise im Rahmen von Gastvorträgen an der Fakultät der Agrarwissenschaften der Universität Göttingen diskutiert. Das Instrument der Kooperation im Moor- und Klimaschutz auf landwirtschaftlich genutzten Mooren wurde auch über das Modellgebiet hinaus kommuniziert. Im Fokus des Vortrages auf der 8. CampusKonferenz Landschaftsentwicklung der Hochschule Osnabrück standen Aufgaben, Ziele und insbesondere Struktur und Arbeitsweise der Kooperation als Vorbild für transdisziplinäre Vorhaben mit hohem integrativen Anspruch. Nachfragen erreichten die Geschäftsführerin auch aus der Kommunal-

und Landespolitik sowie von lokalen Naturschutzverbänden. Um an dieser Stelle die gesellschaftspolitische Debatte zusammen mit der lokalen Politik, Vertretern der Landwirtinnen und Landwirte und Naturschutzverbänden unter Beteiligung des Folgeprojektes voranzubringen, lud die Gemeinde zu einem ersten „Runden Tisch“ zur Entwicklung eines regionalen Zukunftskonzepts für attraktive Lebensverhältnisse in einer zukunftsfähigen Moorregion ein. Mitglied des Landtages Dr. Marco Mohrmann und Landrat Marco Prietz ließen sich im Beisein von Bürgermeister Marc Breitenfeld von Dr. Heinrich Höper und der Geschäftsführerin das Umsetzungskonzept des Teilgebiets Langenhausen vorstellen und begrüßten seinen lösungsorientierten, innovativen Ansatz. Im Sommer 2021 informierte sich Ministerpräsident Weil und im Herbst 2022 Umweltminister Christian Meyer vor Ort über die Versuche im Gnarrenburger Moor und die Erwartungen der Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter der Modellregion. Auch Landwirtschaftsministerin Barbara Otte-Kinast setzte beim Besuch der LWK auf der Tarmstedter Ausstellung einen Fokus auf die Informationen über die Modellregion Gnarrenburger Moor. Im Gespräch mit dem Sprecher der Landwirtinnen und Landwirte und der Geschäftsführerin recherchierte DER SPIEGEL für einen umfassenden Bericht (DER SPIEGEL, Treibhausgras, 02/2022, S. 124-126) zu der Historie der Landwirtschaft im Moor und den Herausforderungen einer klimaschonenden landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Dem schloss sich ein Bericht im ZDF Mittagmagazin zur gleichen Thematik an.

8 Landesweite Grundlagen

8.1 Agrarumwelt- und Klimaschutzmaßnahmen

Aufbauend aus den Erfahrungen und Erkenntnissen des Modellprojektes werden ab 2023 zwei Agrarumwelt- und Klimaschutzmaßnahmen auf Moorstandorten bzw. kohlenstoffreichen Böden für die Bundesländer Niedersachsen, Hamburg und Bremen angeboten (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2022):

AN3: Dauerhafte Umwandlung von Acker zu Grünland, in Niedersachsen nur auf kohlenstoffreichen Böden.

Nach einem Verpflichtungszeitraum von 7 Jahren zur dauerhaften Umwandlung von Ackerflächen in Dauergrünland, für das ein relativ hoher Fördersatz gewährt wird, besteht ein Verbot der Rückumwandlung. Weitere Regelungen betreffen die Bewirtschaftung des Grünlandes, u.a. Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und Verbot einer wendenden oder lockernden Bodenbearbeitung zur Grünlanderneuerung.

BK1: Moorschonender Einstau auf Nieder- oder Hochmoor.

Bei dieser Maßnahme wird ganzjährig ein Einstau mittels eines Wehres eingerichtet, dessen Stauhöhe auf 20 cm unterhalb des mittleren Geländeniveaus eingestellt wird. Staumöglichkeiten müssen vorhanden sein und angrenzende Gräben müssen ganzjährig Wasser führen, so dass auch ganzjährig ein Wasserzufluss gewährleistet werden kann. Zur Bewirtschaftung kann der Grabenwasserstand am Stauwehr zeitweise auf 40 cm unter Geländeoberfläche abgesenkt werden. Neben Verzicht auf Pflanzenschutzmittel wird eine narbenschonende Bewirtschaftung gefordert. Der Verpflichtungszeitraum beträgt 5 Jahre.

Zur Unterstützung der niedersächsischen Landwirtinnen und Landwirte bei der Durchführung des moorschonenden Einstaus, wurde eine Gebietsmanagerin bei der Bezirksstelle Bremervörde der Landwirtschaftskammer Niedersachsen eingestellt (Webcode: 01040450). Diese hilft bei der Planung und Beantragung der wasserregulierenden Maßnahmen sowie im Hinblick auf benötigte Genehmigungen und Einverständniserklärungen.

8.2 Projekt MoWa – Moornutzung im Wandel

Unterstützung der Transformation der landwirtschaftlichen Moornutzung in Niedersachsen im Sinne des Klimaschutzes durch systemische Untersuchungen und Prozessbegleitung

Die Projekte SWAMPS und Modellprojekt Gnarrenburger Moor 2 haben den Bedarf an weitergehenden Untersuchungen zu den Möglichkeiten und Risiken der klimaschonenden Moorbewirtschaftung deutlich gemacht. Die begrenzten Treibhausgaseinsparmöglichkeiten durch Vernässung bei weiterhin intensiver Landwirtschaft und die erwartbar hohen Aufwendungen für ein Wassermanagement, vor allem in Hochmooren, stellen die Weiterführung der landwirtschaftlichen Nutzung in Frage. Neben den Projektergebnissen führt die politische Diskussion, im Rahmen der Moorschutzstrategie, dem Aktionsprogramm natürlicher Klimaschutz und der daraus zu erwartenden resultierenden Transformation der Moorbewirtschaftung in Richtung Vernässung, Paludikultur und Renaturierung, schon jetzt zu einem Wertverlust der Agrarflächen im Moor. Einzige wirtschaftliche Alternative scheint derzeit die Nutzung landwirtschaftlicher Moorflächen durch Vernässung und Fotovoltaik zu sein. Zusätzlich wird vermutlich über Subventionen eine Moornutzung im Rahmen einer Paludikultur möglich sein, solange Wasser verfügbar ist.

Vor diesem Hintergrund hat sich das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML) entschlossen für das Land Niedersachsen eine Folgenabschätzung und eine Analyse zur Umsetzbarkeit von Moorschutzmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen durchzuführen.

Das Projekt trägt den Titel „Unterstützung der Transformation der landwirtschaftlichen Moornutzung in Niedersachsen im Sinne des Klimaschutzes durch systemische Untersuchungen und Prozessbegleitung“ (MoWa) und wird durch die Landwirtschaftskammer Niedersachsen bearbeitet.

Insgesamt rückt somit die regionale Bedeutung der landwirtschaftlichen Moorbewirtschaftung in den Fokus. Im Rahmen des Projektes MoWa möchte die Landwirtschaftskammer Daten erheben in welchem Umfang die Transformation der landwirtschaftlichen Moornutzung zur Veränderung der Beschäftigungsstruktur in Moorregionen beiträgt. Was bedeutet es für die der Agrarwirtschaft vor- und nachgelagerten Bereiche? Wie betroffen sind beispielsweise der Agrarhandel oder die Milchwirtschaft.

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

Zur Untersuchung der regional unterschiedlichen landwirtschaftlichen Betroffenheit wurden stellvertretend vier Untersuchungsregionen identifiziert (Abb. 1). Hierzu gehören das Bourtanger Moor im Emsland, das Ipweger Moor/ Jader Kreuzmoor östlich von Oldenburg, das Gnarrenburger Moor/ nördliches Teufelsmoor sowie die Geesteniederung im Landkreis Cuxhaven (Abbildung 61). Die vier Gebiete entsprechen insgesamt ca. 331 km² landwirtschaftlich bewirtschafteter Fläche, davon ca. 206 km² Grünland und ca. 125 km² Ackerland. Die Regionen Ipweger Moor, Geesteniederung und Gnarrenburger Moor werden überwiegend als Grünland genutzt und erwirtschaften entsprechend ihr Einkommen in der Hauptsache über Milchwirtschaft. Im Gebiet Bourtanger Moor werden die Einnahmen über Ackerbau, vor allem über Hackfrüchte, generiert.

In den Regionen soll im Rahmen des Projektes MoWa, in Zusammenarbeit mit regionalen Kooperationen, die wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung der regionalen Landwirtschaft identifiziert werden. Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Projekt sollen Beratungsgrundlagen und Nutzungsperspektiven für die zukünftige, torfschonende Moorbewirtschaftung schaffen.

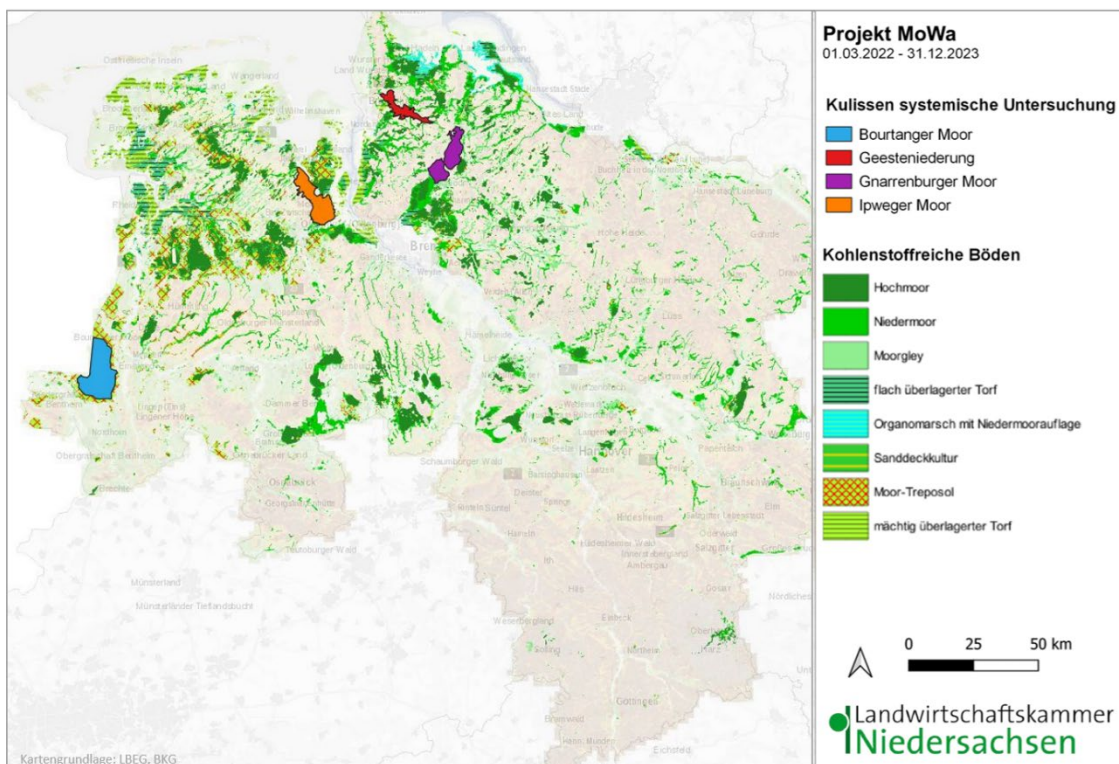


Abbildung 61: Untersuchungsgebiete im Projekt MoWa und Verbreitung der kohlenstoffreichen Böden in Niedersachsen.

Ziel der systemischen Analyse ist die Einschätzung der Folgen einer Transformation der landwirtschaftlichen Moornutzung und Abbildung der Veränderungen im vor- und nachgelagerten sowie direkt mit der Landwirtschaft verbundenen Wirtschaftsbereichen und deren betroffenen Kommunen. Die systemische Analyse ermittelt dabei die standort- und marktbezogene Betroffenheit der regionalen Wirtschaft durch die Anpassung oder den Wegfall bisheriger landwirtschaftlicher Moornutzung. Die Leitfragen sind:

- „Wieviel regionale Wertschöpfung geht durch die Transformation der landwirtschaftlichen Moorflächenbewirtschaftung verloren?
- Wieviel Wertschöpfung kann durch die Erschließung neuer Nutzungsmöglichkeiten gewonnen werden (Produktionswege, Absatzwege, Vermarktungswege)?
- Welche Auswirkungen hat es auf den regionalen Arbeitsmarkt?
- Was bedeutet es für die regionale Infrastruktur?“

Dazu sollen auch mögliche alternative Nutzungsszenarien erarbeitet werden. Grundlage dafür können erste verfügbare Arbeiten zur wirtschaftlichen Einschätzung von Paludikultur als alternative Nutzung, aber auch die Auswirkungen durch die Überführung der landwirtschaftlichen Nutzung in den Naturschutz und der damit möglichen touristischen Nutzung sein. Daneben kann auch die Kombination der Vernässung mit Freiflächen-Fotovoltaik und naturschutzfachlichen Belangen eine alternative Nutzung darstellen.

Säule 3: Untersuchungen und Maßnahmenprobung

Durch flankierende Projekte, wie die Weiterführung der THG-Messung auf der Versuchsfläche D12 im Gnarrenburger Moor, oder die hydrologische Untersuchung zu den Möglichkeiten und Grenzen der Vernässung im Untersuchungsgebiet Ipweger Moor/ Jader Kreuzmoor, leistet das Projekt darüber hinaus einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Beratungsgrundlagen. Zudem werden weitere Modellvorhaben entwickelt und finanziert, in denen Anpassungsstrategien demonstriert und untersucht werden.

Säule 4: Beteiligungsprozess

Zentral für das Projekt ist außerdem ein Beteiligungsprozess mit der Einbindung betroffener Akteure auf Gebiets-, Regions- und Landesebene. Das Projekt möchte den Kommunikationsprozess in den Moorregionen stärken und als Bindeglied zwischen den verschiedenen landwirtschaftlichen Interessen, den Interessen der Gemeinden, Landkreise, der Landesregierung und den Behörden wie dem LBEG und dem NLWKN auftreten.

9 Umsetzungskonzepte

9.1 Identifizierung von Teilgebieten

Aus der Verschneidung der Ergebnisse der hydrologischen Studien durch die Ostfalia Hochschule und der Agrarstrukturellen Erhebung der Landwirtschaftskammer resultierten das Teilgebiet Oberklenkendorf (270 ha) und das Teilgebiet Langenhausen (80 ha), die den Voraussetzungen für eine mögliche Umsetzung wasserregulierender Maßnahmen in besonderem Maße entsprachen. Auswahlkriterien waren dabei die Umsetzbarkeit des im Modellprojekt entwickelten Maßnahmenspektrums (siehe Kapitel 5.1), das Vorliegen entsprechender wasserwirtschaftlich- und wasserbaulicher Möglichkeiten für ein teilgebietsbezogenes Wassermanagement (siehe Kapitel 5.3) sowie die Vorstellungen der Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter und Eigentümerinnen und Eigentümer zur zukünftigen Flächennutzung und deren Teilnahmebereitschaft bei der Umsetzung eines flächen- und betriebsübergreifenden Wassermanagements (siehe Kapitel 5.2).

In beiden Teilgebieten führte die Geschäftsführerin der Kooperation erste Einzelgespräche mit Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern in Verbindung mit Vorort-Begehungen durch, um mit ihnen individuelle Nutzungsideen zu entwickeln, die anschließend in Workshops zusammengeführt werden sollten. Im Verlauf des Projektes gab es coronabedingte Verzögerungen, weswegen die Agrarstrukturelle Erhebung (mit Betriebsbegehungen) und die daran anschließenden Workshops zeitlich nicht wie geplant umgesetzt werden konnten. Auch die Flächeneigentümerinnen und Flächeneigentümer waren noch nicht alle bekannt. Für eine erfolgreiche Durchführung sollten die Workshops zudem grundsätzlich als Präsenzveranstaltungen stattfinden. In einem zweiten Schritt der hydrologischen Untersuchungen der Ostfalia Hochschule wurde das Teilgebiet in Oberklenkendorf mit ca. 270 ha weiter gefasst als ursprünglich vorgesehen. Weitere Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter und Flächeneigentümerinnen und Flächeneigentümer kamen somit hinzu. Aus der Erkenntnis heraus, dass bei der hohen Zahl von Beteiligten eine in Flurneuerungsverfahren erfahrene Unterstützung erforderlich ist, entschied das Projektteam zunächst die Entwicklung eines Umsetzungskonzepts im Teilgebiet Langenhausen weiter zu verfolgen, in dem zwei Bewirtschafter und drei Eigentümer auf einer Fläche von ca. 80 ha verortet sind.

Im Teilgebiet Langenhausen konnte an die in der Modellregion weitgehend prägende Findorffsiedlungen als Breitstreifen-Reihendorf mit Hofanschluss (Hufendorf) (Ellenberg

1990) angeknüpft werden, für die im Modellprojekt Gnarrenburger Moor zusammen mit Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirten ein Nutzungskonzept bei angehobenen Wasserständen entwickelt wurde (Kalinski et al. 2021). Kern der Überlegungen war ein Wassertransekt, in dem die langgezogenen Schläge hinter der Hofstelle über einen abgestuften Grabeneinstau mit zunehmender Hofferne nasser werden und demzufolge unterschiedliche Nutzungsintensitäten des Grünlands sowie Vollvernässungsansätze denkbar sind.

Einer der Bewirtschafter im Teilgebiet Langenhausen und gleichzeitig Flächeneigentümer ist seit 2016 als Kooperationslandwirt und Sprecher der Landwirtinnen und Landwirte am Modellprojekt beteiligt und interessiert an einer weiteren Zusammenarbeit. Er möchte seine Milchviehwirtschaft aufrechterhalten und diese durch den Tausch seiner hofferne gelegenen Flächen mit den hofnah gelegenen Flächen seines Nachbarn optimieren. Auch sein Flächennachbar hatte bereits frühzeitig Interesse an einer Teilnahme bei der Umsetzung eines flächenübergreifenden Wassermanagements signalisiert. Er plant 2023 die Milchviehhaltung aufzugeben und kann sich die Beteiligung an der Untersuchung der Auswirkungen von Freiflächen-Fotovoltaikanlagen auf vollvernässten Flächen vorstellen. Auch die an das Teilgebiet unmittelbar und mittelbar angrenzenden Flächen weisen die ortstypischen Findorffsiedlungsstrukturen auf. Das Cluster in Langenhausen birgt deshalb grundsätzlich das Potenzial einer weiteren Ausdehnung Richtung Norden. Nach den Ergebnissen der Agrarstrukturellen Erhebung stehen in diesem Bereich die Betriebsleiter mehrerer Betriebe vor der Altersgrenze und stellen generelle Überlegungen zur Zukunft ihrer Betriebe an. Die schmalen, langgestreckten Schläge der Findorffsiedlungsstruktur liefern zudem gute Voraussetzungen für hohe anteilige Flächenbevorteilung bei einem Grabeneinstau. Die Tatsache, dass es sich um Gräben 3. Ordnung handelt, erleichtert zudem die Einrichtung von Wehren für Abflussmessungen, die keiner behördlichen Genehmigung bedürfen. Die Workshop-Treffen des Projektteams mit den beteiligten Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern und Eigentümerinnen und Eigentümern fanden, auch coronabedingt, zunächst auf den Flächen in Langenhausen und online statt. Vor Ort mit dabei waren Vertreter des Gewässer- und Landschaftspflegeverbands Teufelsmoor als regional zuständiger Wasser- und Bodenverband, um Hochwasserrelevanz und Machbarkeit von denkbaren Speicherkonzepten zu bewerten. Zu erwarten ist, dass sich die gesammelten Erkenntnisse einer späteren Umsetzungsphase grundsätzlich auf

weitere Flächen im Cluster Langenhausen sowie regional und überregional auf Regionen mit Findorffsiedlungsstrukturen anwenden lassen.

Das Teilgebiet Oberklenkendorf empfiehlt sich aus heutiger Sicht wegen seiner guten hydrologischen Voraussetzungen und weit fortgeschrittener Vorprüfungen durch die Ostfalia Hochschule im besonderen Maße für die Entwicklung eines großflächigen Gebietskonzeptes mit einer Flächenneuordnung im Sinne eines gebietsbezogenen Wasser- und Bodenmanagements. Insbesondere bietet eine Senke (ehemaliger Moorsee) hinreichend Potenzial zur Wasserspeicherung für das Teilgebiet.

9.2 Schaffung von Teilnahmebereitschaft

In Bewirtschaftergesprächen, die die Geschäftsführerin der Kooperation in den Teilgebieten Oberklenkendorf und Langenhausen führte, wurde deutlich, dass die nachhaltige Teilnahmebereitschaft der Landwirtinnen und Landwirte, bei der Entwicklung von Teilgebieten mit flächen- und betriebsübergreifendem Wassermanagement, von wirtschaftlichen Anreizen bzw. der ausführlichen Beschreibung entsprechender Perspektiven abhängig ist. Dazu zählen grundsätzlich Ausgleichszahlungen für verminderte Erträge und Futterqualitäten sowie betriebliche Mehraufwendungen. Solche Ausgleichszahlungen liegen als Ergebnis des Modellprojektes bereits einer neuen Agrar- und Klimamaßnahme zur moorschonenden Stauhaltung zugrunde, die allerdings eine entsprechende Wasserverfügbarkeit voraussetzt. Im Arbeitskreis der Kooperationslandwirtinnen und Kooperationslandwirte wurden die der Agrar- und Klimamaßnahme zugrundeliegenden Bewertungsansätze zur Diskussion gestellt und fanden im Grundsatz die Zustimmung der Landwirtinnen und Landwirten unter der Voraussetzung, dass die Herstellung der Wasserverfügbarkeit durch die öffentliche Hand erfolgt. Darüber hinaus ist die Intensivierung von Beratung und Förderung angepasster Verfahrens- und Landtechnik sowie nassetoleranter Gräserarten aus Sicht der Landwirtinnen und Landwirte unverzichtbar. Insbesondere hier werden Anreizinstrumente erwartet. Im Weiteren bilden die Chancen darauf, auf eigenen (vollvernässten) Flächen Einkommen aus Freiflächen-Fotovoltaikanlagen zu erzielen, einen starken Anreiz für viele Landwirtinnen und Landwirte. Dabei sollten Freiflächen-Fotovoltaikanlagen, die auf bisher intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen errichtet werden, so ausgestaltet werden, dass sie naturschutzrechtlich keine weiteren Ausgleichsmaßnahmen bedürfen. Durch die Erzeugung regenerativer Energie und durch die Voll-

vernässung verbleibenden Flächen ergeben sich Aufwertungspotenziale, die unter Umständen über die eigentliche Anlage hinaus für andere Eingriffe des Vorhabenträgers als Kompensation angerechnet werden können (LWK Positionspapier 2021). Die Gemeinde Gnarrenburg verfügt bereits über einen Kriterienkatalog und ein gesamtträumliches Standortgutachten für Freiflächen-Fotovoltaikanlagen (siehe Website der Gemeinde Gnarrenburg, Bürgerservice-Bauleitplanung). Zuvor konnte die Gemeinde Gnarrenburg das Flächenpotenzial mit projektseitigen Kriterien für vollvernässte Flächen mit Freiflächen-Fotovoltaikanlagen abgleichen. Auf diese Weise erhielt die Gemeinde wertvolle Hinweise von Seiten des Projekts für ihre gesamtträumliche Planung. Projektseitig konnte abgeleitet werden, dass das Untersuchungsgebiet Langenhausen voraussichtlich im Standortkonzept der Gemeinde verortet sein wird.

Der Perspektive einer Torfmooskultivierung als innovativen Flächennutzungsansatz auf Hochmoorstandorten, fehlen aus Sicht der Landwirtinnen und Landwirte der Modellregion bislang die betriebswirtschaftlichen Anreize. Sie erkennen zudem, dass dafür wie bei einer angepassten Grünlandbewirtschaftung zunächst Lösungen für eine nachhaltige Wasserverfügbarkeit erforderlich sind. In einem eintägigen Workshop-Treffen im Dorfgemeinschaftshaus Langenhausen wurden die Flächennutzungsideen der Landwirtinnen und Landwirte aus den Bewirtschaftergesprächen zunächst so zusammengeführt, dass ein betriebsübergreifendes Wassermanagement für die Landwirtinnen und Landwirte grundsätzlich vorstellbar war. Es folgte die Weiterentwicklung zu einem Umsetzungskonzept, indem die projektseitigen, fachlichen Anforderungen durch LBEG, Ostfalia Hochschule und LWK mit den Vorstellungen der Landwirtinnen und Landwirte abgeglichen wurden. Das betraf die zukünftige Bewirtschaftung ebenso wie die sozioökonomischen Abwägungen der Landwirtinnen und Landwirte. Auch standortbedingte Chancen und Restriktionen einer nasserer Nutzung der Flächen flossen in die Abstimmungen über das Teilgebetskonzept mit ein. Da die teilnehmenden Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter auch Flächeneigentümerinnen und Flächeneigentümer sind, gibt es hier keine Interessenkonflikte hinsichtlich der Auswirkungen veränderter Flächennutzungen. In einer zweiten Workshop-Runde mit allen Beteiligten in Präsenz konnten auf den Versuchsflächen und im Dorfgemeinschaftshaus abschließend Einzelheiten zum Versuchsdesign und zu den Ausgleichszahlungen mit den beteiligten Landwirtinnen und Landwirten abgestimmt werden. Dazu gehörten optionale Regelungen zur finanziellen Kompensation der

Flächeneigentümerin/des Flächeneigentümers, für den Fall, dass auf der dauerhaft vollvernässten Fläche keine langfristige Einkommenserzielung über Freiflächen-Fotovoltaikanlagen erfolgen kann.

Die Workshop-Treffen wurden von der Geschäftsführerin der Kooperation vorbereitet und moderiert. Die im Projekt veranschlagten Kosten für eine externe Moderation konnten demzufolge eingespart werden. Ergebnisse der Workshop Treffen sind in Kapitel 9.4.5 aufgeführt.

9.3 Dreieck Oberklenkendorf

9.3.1 Gebietsbeschreibung

Die im Gnarrenburger Moor nördlich gelegene Fläche Dreieck Oberklenkendorf besitzt eine Größe von 212 ha. Hier liegen die Torfmächtigkeiten zwischen 300 und 350 cm und fallen am östlichen Rand auf bis zu 50 cm Mächtigkeit ab. Die Weißtorfschicht lässt sich in der Mitte des Gebietes auf 100 bis 150 cm und am westlichen und östlichen Rand auf 50 bis 100 cm beziffern (Kalinski et al. 2021).

In der Agrarstrukturellen Analyse wurde das Dreieck Oberklenkendorf beinahe vollständig erhoben und dabei als besonders vorteilhaft identifiziert. Es handelt sich dabei beinahe ausschließlich um Flächen von Haupterwerbsbetrieben, von denen alle in der Befragung teilnehmenden Betriebe entweder noch junge Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter (unter 45 Jahre) aufweisen oder bereits die Nachfolge der Betriebsleitung geklärt haben. Damit weisen die Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter eine hohe Entschlossenheit auf, weiter eine Gewinnschöpfung aus den Flächen zu beziehen.

Die derzeitigen Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter haben diverse Anteile an Moorböden in ihrer Bewirtschaftung, jedoch ist die Nutzung sehr einheitlich überwiegend als Dauergrünland. Als Futterbaubetriebe halten sie dabei vor allem Milchvieh mit einem Anteil Bullenmast in vielen Betrieben. Darüber hinaus macht das Wirtschaften durch Mutterkühe ebenfalls einen kleinen Teil der Tierhaltung aus.

Unter den Möglichkeiten einer klimaschonenderen Bewirtschaftung findet die Unterflurbewässerungen die flächendeckendste Zustimmung, gefolgt vom Grabenanstau. Von den Optionen einer Bewirtschaftung mit voller Vernässung der Flächen findet die Möglichkeit von Fotovoltaik auf vollvernässten Moorböden eine verbreitete Zustimmung (Kapitel 5.2.4).

1. Hydrologisches Konzept in Oberklenkendorf

Bestandsaufnahme

Das Untersuchungsgebiet „Oberklenkendorf“ umfasst die landwirtschaftlichen Flächen zwischen Heinrichsdorf und Oberklenkendorf (Abbildung 63). Die Grenze des Einzugsgebietes bildet der Oberklenkendorfer Kanal oberhalb der Ortslage Oberklenkendorf. Das Gebiet umfasst ca. 300 ha. Neben den Gebietsabflüssen kann bei stärkeren Niederschlagsereignissen ein unbestimmter Zufluss aus der Ortslage Heinrichsdorf erfolgen. Im Frühjahr 2021 wurden alle Gräben im Untersuchungsgebiet vermessen und Grabenprofile erstellt. Anhand der Felddaten konnte das Volumen der Gräben und die Fließrichtung bestimmt werden. Weiterhin kann anhand der Höhendaten der Grabensohle das Gefälle der Gräben ermittelt werden. Durchflussmessungen im Oberklenkendorfer Kanal mit Ultraschall-Doppler Sensoren waren ergebnislos. Die Grabensohle war nicht für einen Einbau der Sensoren geeignet, da die Sensoren in der weichen Grabensohle stetig eingesunken sind. Keine der drei errichteten Messstationen konnte Daten liefern.

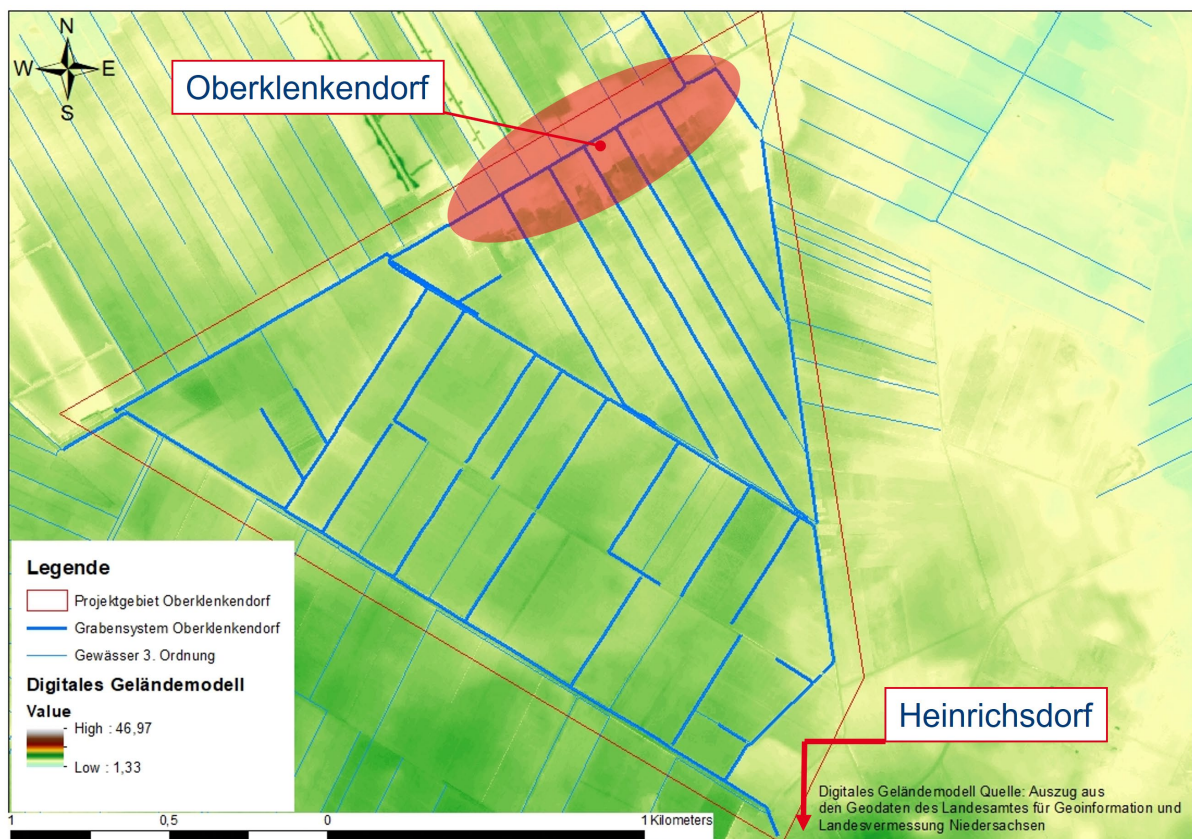


Abbildung 63: Untersuchungsgebiet Oberklenkendorf mit den Ortslagen Oberklenkendorf und Heinrichsdorf (außerhalb des dargestellten Kartenausschnittes).

Das gesamte Gebiet entwässert durch den Oberklenkendorfer Kanal, wobei der gesamte Abfluss durch die Ortslage geführt wird. Das hat in der Vergangenheit zu Hochwasserereignissen geführt, weshalb die Möglichkeit einer Hochwasserentlastung in dem hydrologischen Konzept mit betrachtet wird.

Wasserwirtschaftliches Konzept

Die Einteilung der Flächen für die Vollvernässung und die Grünlandbewirtschaftung erfolgt in zusammenhängende, voneinander getrennte Gebiete, damit die Nutzungsformen nicht vermischt werden. Die Trennung der Nutzungsformen vereinfacht das Wassermanagement und reduziert die Anzahl der erforderlichen Wehre (Abbildung 64).

Die Flächen für Grünlandbewirtschaftung müssen in zwei Kategorien eingeteilt werden. Zum einen sind im südlichen Bereich freie Flächen auf denen ein einheitlicher, hoher Wasserstand angestrebt wird (Zone C). Die Flächen für Grünlandbewirtschaftung im nördlichen Bereich entsprechen den Findorff-Flächen (Zone A). Hier ist eine, zur Hofstelle hin, immer trockener werdende Bewirtschaftung vorgesehen. Die hinteren Bereiche der Schläge können somit sehr hoch eingestaut werden, während der Moorwasserstand im vorderen Bereich niedriger eingestellt wird. Das kann aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvoll sein, z.B. zur Weidetierhaltung. Der gesamte Schlagbereich kann aber auch durchgehend hoch eingestaut werden. Die Absenkung des Wasserspiegels ist erst im Übergang zur Hofstelle erforderlich um Schäden der Infrastruktur zu vermeiden.

Die obere Fläche zur Grünlandbewirtschaftung (Zone A) ist nur zum Teil in der Maßnahme vorgesehen, da im nördlichen Bereich eine Messstation des Thünen-Instituts eingerichtet ist.

Die Flächen für die Vollvernässung befinden sich im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes (Zone B). Der Abfluss erfolgt durch den Oberklenkendorfer Kanal in Richtung Oberklenkendorf. Ein Abfluss in die westliche Richtung existiert nicht mehr. Die Flächen sind innerhalb des Untersuchungsgebiets am höchsten gelegen, dadurch ist es rein regengwassergespeist und besitzt keine weiteren Zuflüsse von höher gelegenen Flächen. Die Vernässung soll durch einen Überstau erfolgen. Dabei werden die Niederschläge der Wintermonate im Überstauverfahren durch eine Einpolderung auf der Fläche zurückgehalten.

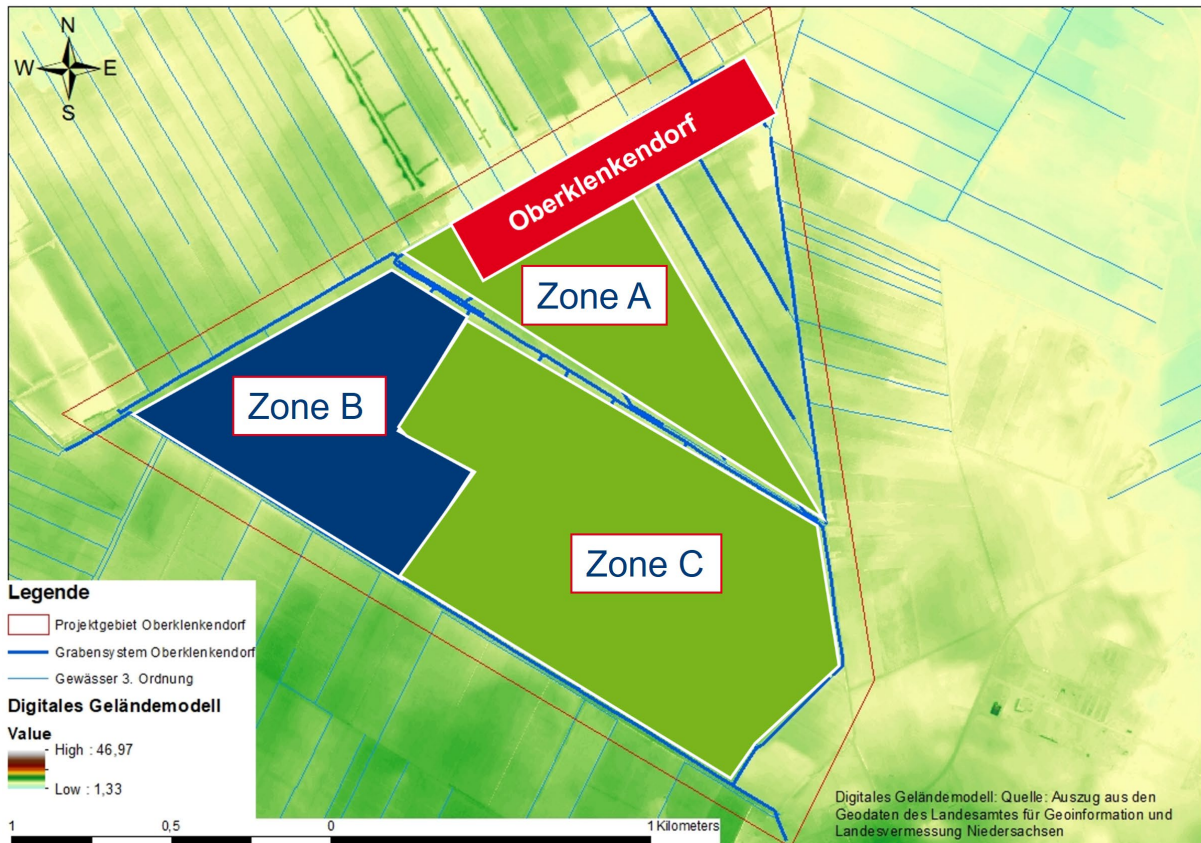


Abbildung 64: Die Ortslage Oberklenkendorf – Zonen A-C Zone A: Flächen für die Grünlandbewirtschaftung, angrenzend die Findorff-Flächen; Zone B: freie Flächen für Vollvernässung; Zone C: freie Flächen mit angestrebtem einheitlich hohem Wasserstand

Für die Umsetzung des wasserwirtschaftlichen Konzeptes müssen die nachfolgend genannten Maßnahmen umgesetzt werden.

1. Planieren und einrichten der Flächen für eine Vollvernässung mit Überstau (Verwallungen um die Flächen)
2. Anpassen der Grabensohle des Hauptentwässerungsgrabens (Oberklenkendorfer Kanal)
3. Setzen der mechanisch und der hydraulisch gesteuerten Wehre
4. Errichtung eines Speicherbeckens und Leitungssystem für die Wasserzufuhr auf den Flächen für Grünlandbewirtschaftung

Bei der Umsetzung des Wehrkonzeptes in Oberklenkendorf müssen die einzeln einzustellenden Teilbereiche identifiziert werden. Auf Grundlage der Einteilung ist die Position der mechanischen Wehre festzulegen. An den mechanischen Wehren kann der Wasserstand

der dahinterliegenden Bereiche eingestellt werden. Eine Auswertung der Grabenvermessungen in Oberklenkendorf hat ergeben, dass bei einem einzustellenden Wasserstand von 0,30 m unter Geländeoberkante 29 hydraulische Wehre benötigt werden. Soll der Wasserstand auf 0,20 m unter Geländeoberkante eingestellt werden, dann erhöht sich die Anzahl der benötigten hydraulischen Wehre auf 43. Dies ist beispielhaft in Abbildung 65 und Abbildung 66 dargestellt. Zusätzlich werden die entsprechenden mechanischen Wehre benötigt.

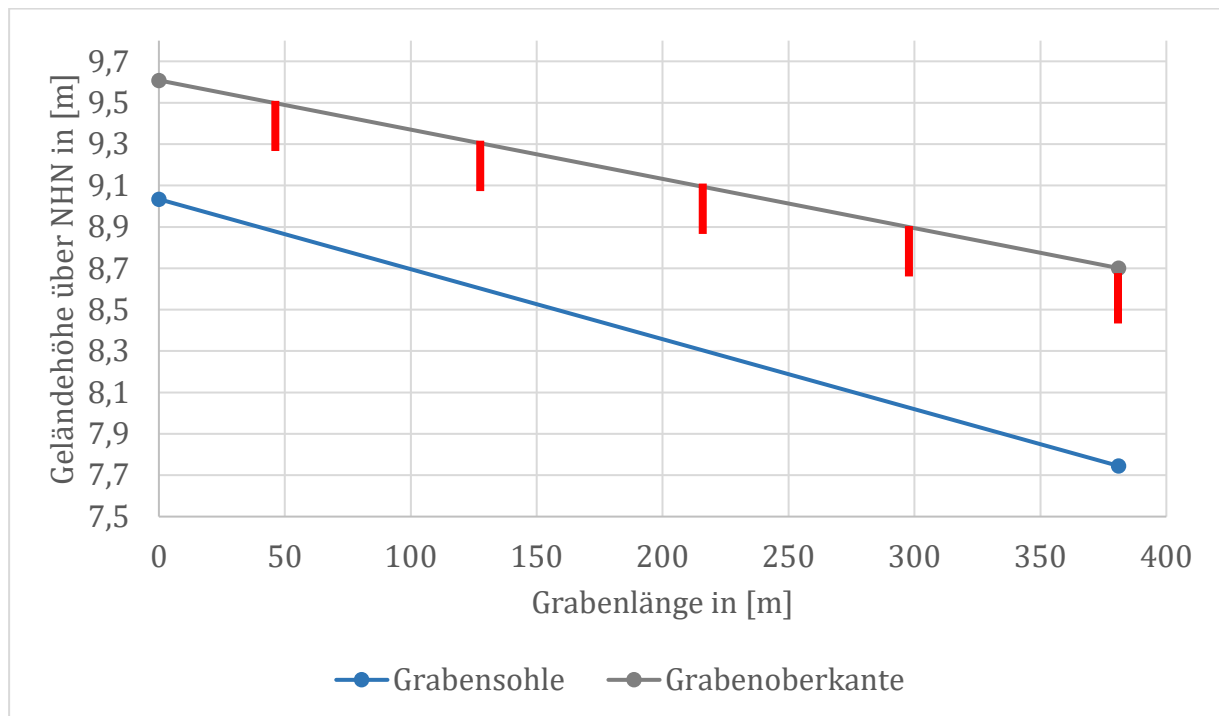


Abbildung 65: Querschnitt eines Entwässerungsgrabens in Oberklenkendorf und Position der Wehre bei 20 cm Höhenabstufung. Am Grabenende (rechts bei ca. 380 m) leitet der Graben in den Oberklenkendorfer Kanal ein. Die Positionen der erforderlichen hydraulischen Wehre bei einem Wasserstand von 0,20 m unter GOK sind rot markiert.

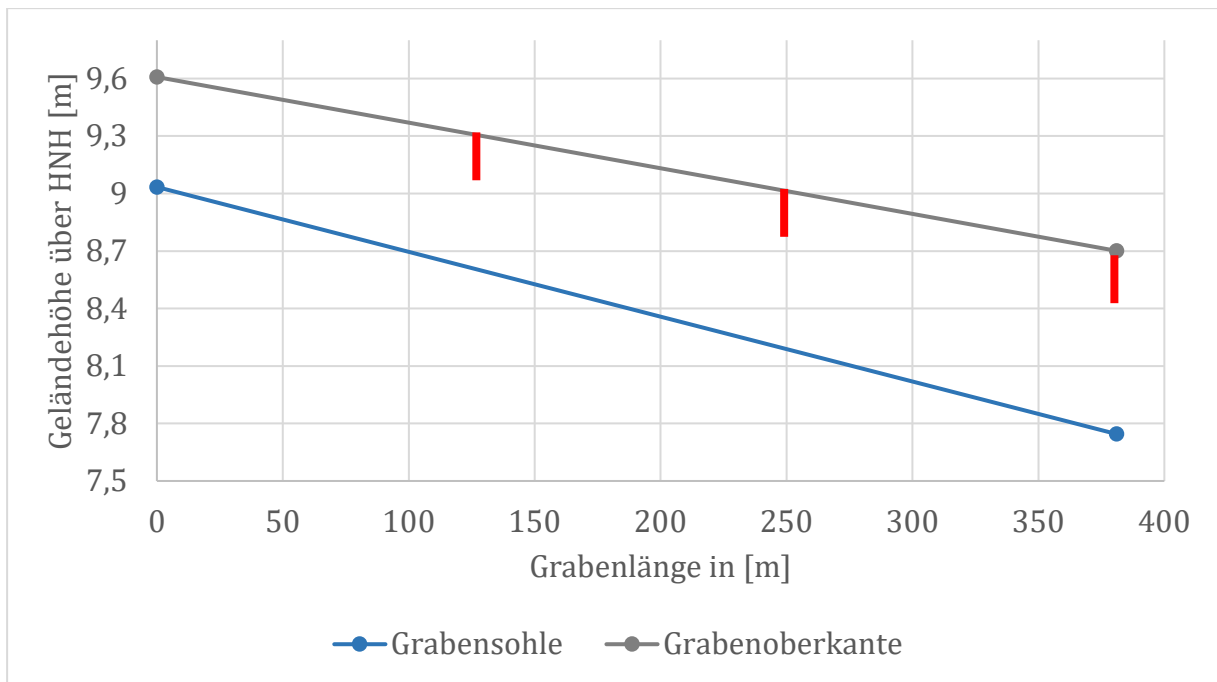


Abbildung 66: Querschnitt eines Entwässerungsgrabens in Oberklenkendorf und Position der Wehre bei 30 cm Höhenabstufung. Am Grabenende (rechts bei ca. 380 m) leitet der Graben in den Oberklenkendorfer Kanal ein. Die Positionen der erforderlichen hydraulischen Wehre bei einem Wasserstand von 0,30 m unter GOK und Geländeoberkante sind rot markiert.

Ohne umfangreiche Bodenbearbeitungen kann ein einheitlicher Moorwasserstand nicht erreicht werden. Alle Unebenheiten auf den Flächen führen zu abweichenden Wasserständen. In Senken kann der Wasserstand bis an die Oberfläche reichen, oder auch ein Überstau entstehen. Bei Erhebungen auf den Flächen kann der benötigte Moorwasserstand nicht erreicht werden. Daher ist bei der Umsetzung das Planieren der Flächen empfehlenswert, um einen einheitlichen Wasserstand einstellen zu können und damit ein Optimum für den Klimaschutz zu erreichen. Aus Sicht des Naturschutzes kann eine größere Vielfalt bei den Wasserständen wünschenswert sein.

Eine Auswertung von Oberflächenprofilen zeigt, dass bei einem Einstau der Gräben, der Wasserstand in der Mitte einer Fläche nicht bis an die Geländeoberkante reichen kann. Die Fläche ist circa 0,30 m höher als die Grabenoberkante. Ein weiteres Profil zeigt, dass ein Grabeneinstau zur Geländeoberkante große Bereiche der Teilfläche überstauen würden. Die Fläche ist zum Teil ca. 0,20 m tiefer als die Grabenoberkante (Abbildung 67).

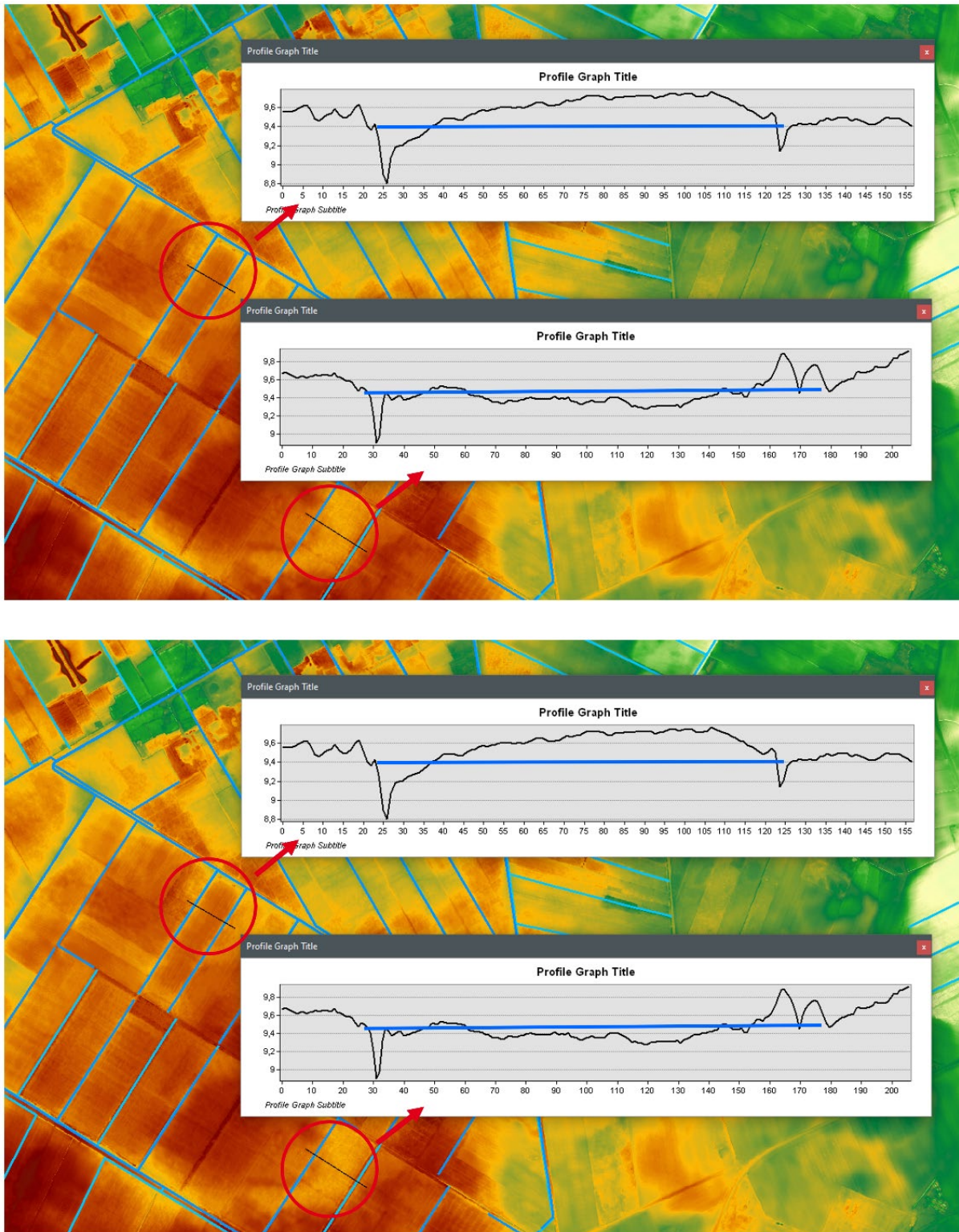


Abbildung 67: Zwei Querschnitte von typischen Flächen in Oberklenkendorf. Im oberen Profil kann nicht zur Geländeoberkante eingestaut werden, im unteren Profil führt der Einstau zu einem Überstau.

Um eine ausreichende Wasserversorgung in den Monaten mit negativer Wasserbilanz zu gewährleisten muss ein Teil des Gebietsabflusses in Speichern zurückgehalten werden. Für den Ausgleich des mittleren Wasserdefizites von 73 mm auf den Flächen zur Grünlandbewirtschaftung (157 ha) ist eine Wassermenge von 114.610 m³ erforderlich. Dies beinhaltet lediglich das Wasserdefizit der klimatischen Wasserbilanz eines durchschnittlichen Jahres. Im Jahr 2018 wäre z.B. eine Wassermenge von 471.000 m³ für den Ausgleich notwendig gewesen. Ausgenommen bei dieser Kalkulation sind zusätzliche Bedarfe für die Wiederauffüllung von abgelassenem Wasser für Bewirtschaftung. Zusätzlich müssen Speicherbecken über einem Hochwasserschutzraum verfügen, der bei Starkregenereignissen eine Hochwasserwelle zurückhalten oder dämpfen kann. Für das Konzept in Oberklenkendorf kommen aus wasserwirtschaftlicher Sicht zwei mögliche Speicherstandorte in Frage. Rechtliche Fragen und Besitzverhältnisse wurden bei den Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Ein möglicher Speicherstandort befindet sich am nördlichen Bereich des Untersuchungsbereichs Oberklenkendorf (Abbildung 68). Auf einer Fläche von ca. 7,5 ha kann ein 2 m tiefer Speicher eingerichtet werden. Dafür wird eine natürliche Senke im Massenausgleich zu einem Ringbecken umgewandelt. Das bedeutet, dass im Beckenbereich auf einer bestimmten Höhe eine einheitliche Sohle geschaffen wird und der Aushub für die Erstellung des Ringdamms genutzt wird. Das Speicherbecken hätte ein gesamtes Betriebsvolumen von 150.000 m³. Wenn ein Hochwasserschutzraum von 15 % (22.500 m³) eingerichtet wird, bleiben 127.500 m³ Nutzungsraum für Zusatzwasser. Das Wasservolumen würde demnach für den Ausgleich des Wasserdefizits in einem durchschnittlichen Jahr ausreichen. In Jahren mit einem höheren Wasserdefizit in den Sommermonaten kann keine durchgehende Wasserversorgung der Flächen gewährleistet werden.

Eine weitere Speichermöglichkeit befindet sich am Oberklenkendorfer Kanal vor der Ortslage Oberklenkendorf. Hier könnte ein gesamtes Betriebsvolumen von ca. 750.000 m³ eingerichtet werden. Der Hochwasserschutzraum beträgt in diesem Fall 112.500 m³ und der Nutzungsraum 637.500 m³. Diese Speicherlösung wäre in der Lage das benötigte Zusatzwasser in einem Jahr wie 2018 bereitzustellen, wäre aber für die meisten Jahre überdimensioniert.

In diesem vereinfachten Ansatz zur Speicherermittlung ergeben sich eine Reihe von Fragestellungen zu den benötigten Volumina für den Hochwasserschutz und für das Zusatzwasser. Weiterhin müssen im Gnarrenburger Moor insbesondere die Nutzungsrechte und Besitzverhältnisse betrachtet werden. Hier können Konzepte zu einer geteilten Nutzung von Speichern (Mehrzweckspeicher), zum Beispiel mit den Belangen des Naturschutzes zielführend sein, um eine Errichtung von Speicherbecken über das Gebiet des Gnarrenburger Moores verteilt zu ermöglichen. Abbildung 69 und Abbildung 70 zeigen die Fließrichtungen in den Gräben vor und nach der Umsetzung des wasserwirtschaftlichen Konzeptes.

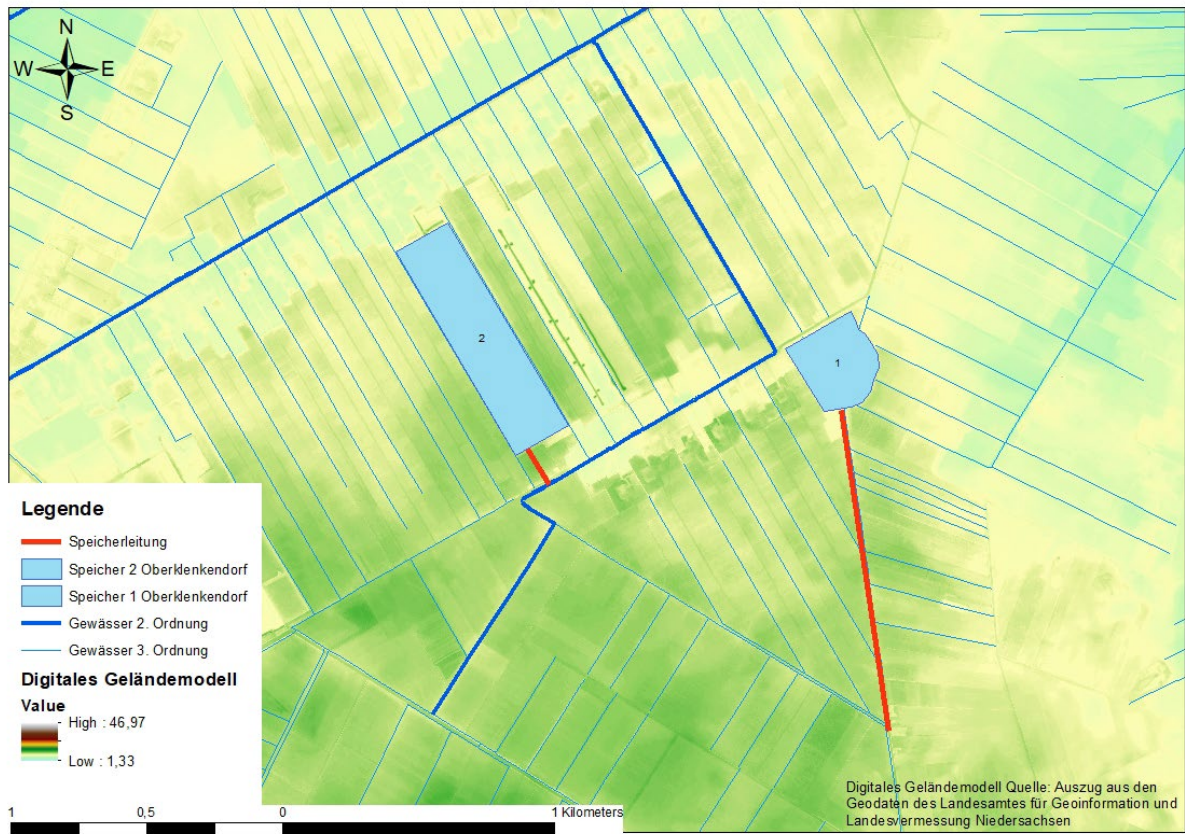


Abbildung 68: Mögliche Position von Speicherbecken im Konzeptgebiet Oberklenkendorf.

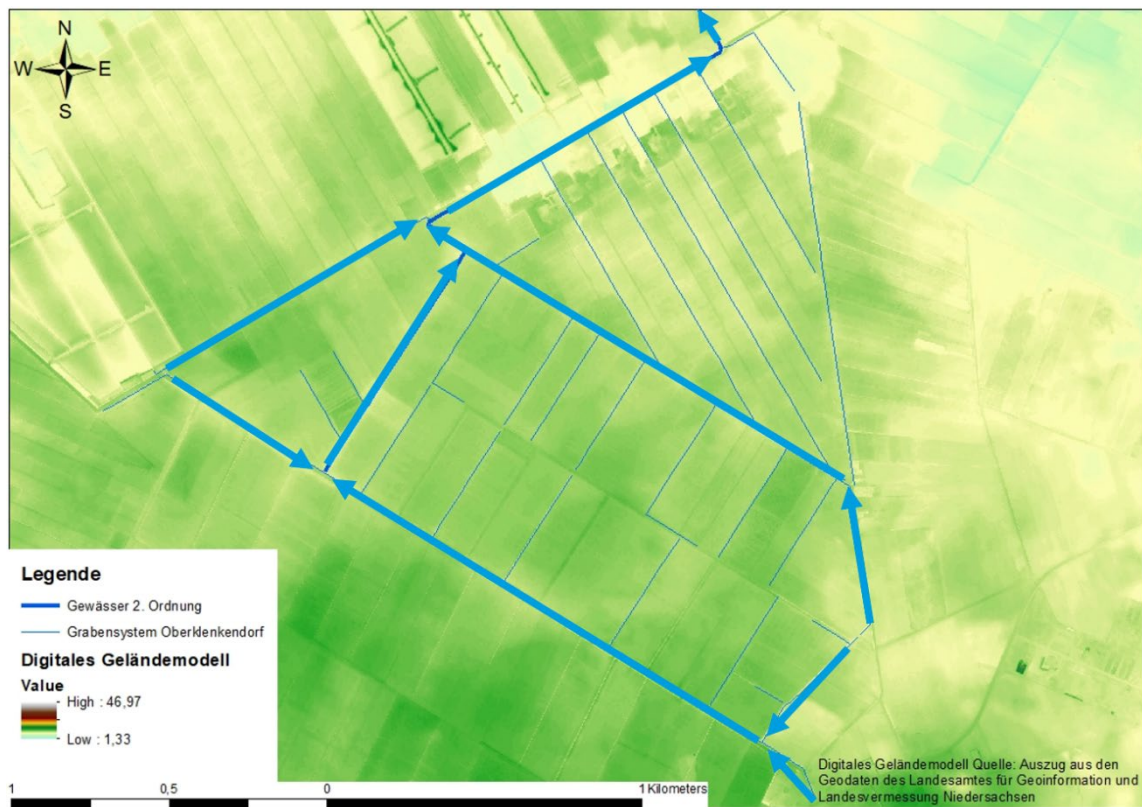


Abbildung 69: Übersicht der aktuellen Fließwege in Oberklenkendorf.

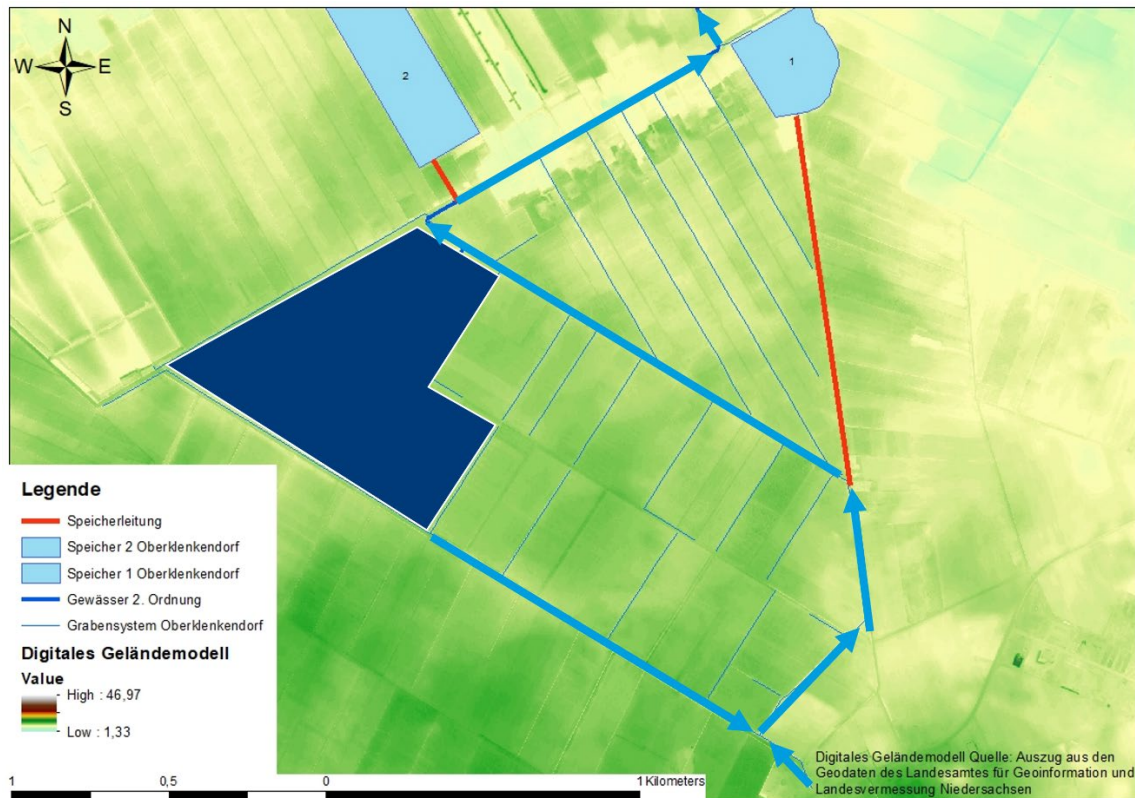


Abbildung 70: Nach Umsetzung des hydrologischen Konzeptes ändern sich auch die Fließwege. Hier dargestellt mit beiden Speicheroptionen. (Blau markiert die Flächen für die Vollvernässung).

9.3.2 Potenzielle Auswirkungen auf Wasserstände, Treibhausgasemissionen und Bewirtschaftung

In Tabelle 34 sind die für Maßnahmen infrage kommenden Areale im Teilgebiet Oberklenkendorf mit aktuellen Wasserständen und Treibhausgasemissionen zusammengestellt. Die Treibhausgasemissionen ergeben sich nach Tiemeyer et al. (2020) und Höper (2022) (siehe Kasten Methodik in Kapitel 9.4.2). Die aktuellen Emissionen auf der 212 ha großen Fläche werden mit 8.268 t CO₂-Äq./ha/a, bei einem mittleren Emissionsfaktor von 39 t CO₂-Äq./ha/a beziffert.

Tabelle 34: Treibhausgasemissionen im Istzustand - Teilgebiet Oberklenkendorf Areale, Flächen, Wasserstände, Emissionsfaktoren (EF) und Treibhausgasemissionen (THG).

Areal	Fläche	Wasserstand	EF	THG
	ha	m ü. GOK	t CO ₂ -Äq./ha/a	t CO ₂ -Äq./ha/a
Fläche A Keine Maßnahme	42,0	-0,67	39	1.638
Fläche B Vollvernässung Verwallungen	55,0	-0,67	39	2.145
Fläche C Unterflurbewässerung Grabeneinstau	115,0	-0,67	39	4.485
Summe	212,0		39	8.268

Für Teilfläche A wird keine effiziente Wasserstandsanhhebung angenommen, da hier Beweidung stattfinden soll und ein Puffer gegen Hochwassersituationen in Oberklenkendorf einzuplanen ist. Gegebenenfalls könnte aber im südlichen bzw. südöstlichen Teil, ein Teil des aus Teilfläche C ablaufenden Wassers zurückgehalten, zeitweise eine „Grabeneinstau-Situation“ etabliert und dann eine Emissionsminderung erzielt werden.

Kasten 1:

Methodik zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen in den Teilgebieten

Zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen ist eine Prognose im Hinblick auf mittlere Jahreswasserstände zu treffen. Anhand der Wasserstände werden dann die hektarbezogenen Emissionsfaktoren abgeleitet.

1. Ableitung der Wasserstände:

Die Wasserstände als Jahresmittelwerte ergeben sich aus den Ergebnissen der Demonstrationsversuche. Für die Beschreibung des Ausgangszustands auf den höher gelegenen, nicht abgetorften Flächen, werden die Wasserstände der Demonstrationsversuche D01, D02, D03 und D09 im Mittel der Versuchsjahre 2018-2021 (0,67 m u. GOK) herangezogen. Im westlichen Teilgebiet Langenhausen, östlich des Oste-Hamme-Kanals, hat historisch eine Abtorfung stattgefunden. Die Flächen sind tiefer gelegt und teilweise mit gestörtem Weißtorf aufgefüllt. Für diesen Bereich werden etwas höhere Wasserstände angenommen. In der Regel ist aber eine Befahr- und Beweidbarkeit gegeben, so dass die mittleren Wasserstände mit 0,5 m unter Geländeoberkante geschätzt werden.

Die Wasserstände der Unterflurbewässerung ergeben sich aus den Jahresmittelwerten der Demonstrationsversuche D05 (0,32 m u. GOK) und D07 (0,23 m u. GOK). Bei Vollvernässung wird für die vernässte Fläche ein Zielwasserstand von 0,05 m angenommen. Daneben sind Verwallungen erforderlich. Hier wurden für 28 ha eine Länge von 3200 m und eine Breite von 2,5 m, aufgerundet 0,8 ha, ermittelt.

2. Emissionsfaktoren (EF):

Für Flächen ohne Maßnahmen und für die Unterflurbewässerung wurden die Regressionen und Verfahren zur Ermittlung der CO₂, CH₄ und N₂O-Emissionen nach Tie Meyer et al. (2020), Vorgehensweise beschrieben bei Höper (2022), verwendet. Für die Verwallungen und Vollvernässung wurden die Emissionsfaktoren für Extensivgrünland (trocken oder feucht), retrospektiv Initialstadien vernässter Hochmoorflächen (Biotoptyp MI), nach Höper (2022) angesetzt.

Durch die Maßnahmen Vollvernässung auf 55 ha incl. Verwallungen (5 % der Maßnahmenfläche) und Maßnahmen zur Wasserstandsanehebung auf insgesamt 115 ha, jeweils zur Hälfte als Unterflurbewässerung oder als Grabeneinstau, können die Emissionen auf 5.533 t CO₂-Äq./ha/a und damit um 2.735 t CO₂-Äq./ha/a reduziert werden (Tabelle 33). Der mittlere Emissionsfaktor reduziert sich für das Teilgebiet auf 26 t CO₂-Äq./ha/a. Die Minderung entspricht 33 % der Emissionen vor Umsetzung der Maßnahmen.

Tabelle 35: Treibhausgasemissionen im Zielzustand - Teilgebiet Oberklenkendorf Areale, Flächen, Maßnahmen, Wasserstände, Emissionsfaktoren (EF) und Treibhausgasemissionen (THG) nach Umsetzung der Maßnahmen, Minderung der Treibhausgasemissionen. Erläuterung siehe Kasten 1.

Areal	Fläche ha	Wasserstand m ü. GOK	EF t CO ₂ -Äq./ha/a	THG t CO ₂ -Äq./ha/a	THG-Minderung t CO ₂ -Äq./ha/a
Fläche A					
keine Maßnahme	42	-0,67	39	1.638	0
Fläche B					
Vollvernässung	52,25	-0,05	5	261	-1.777
Verwallungen	2,75	-0,50	25	69	-39
Fläche C					
Unterflurbewässerung	57,5	-0,25	22	1.668	-575
Grabeneinstau	57,5	-0,30	33	1.898	-345
Summe	212,0		26	5.533	-2.735

Die Zone A würde weiter bewirtschaftet werden können, wie es bisher von den Bewirtschaftern gewünscht wird. Der niedrige Wasserstand kann eine Intensität von einer extensiven Beweidung bis hin zu einer Mähweide mit mehreren Schnitten zulassen. Dabei könnten Erträge erwartet werden, wie es auch sonst unter den gegebenen Wachstumsbedingungen gegeben war. Darüber hinaus würde auch keine Änderung oder Anpassung der Landtechnik benötigt, um die Bewirtschaftung fortzusetzen.

Der Einfluss auf die Bewirtschaftung der Zone B würde beachtlich sein. Durch die Vollvernässung würde keine herkömmliche Bewirtschaftung mehr möglich sein. Nach derzeitigen Erkenntnissen wird eine Wertschöpfung auf diesen Flächen primär auf zwei Weisen möglich sein. Zum einen könnten Fotovoltaikanlagen auf den vernässten Flächen installiert werden, welche daraufhin eine Pflege der Vernässungseinrichtung und Wartung der PV-Anlagen benötigen. Diese Pflege und Wartung kann mit Spezialtechnik durchgeführt

werden, welche einen geringen Bodendruck erzeugt und an die Größe der Anlagen angepasst ist. Zum anderen bleibt die Paludikultur als Bewirtschaftungsmöglichkeit. Hierbei werden Pflanzen angebaut, welche an die nassen Bedingungen des Moors angepasst sind. Hierbei würde ebenfalls Spezialtechnik benötigt werden, welche dank eines geringen Bodendrucks auf der vollvernässten Fläche eingesetzt werden kann. Im Fall von Torfmoosen wird bisher auch oft auf schmale Flächen gesetzt, welche mit schwerer Technik von einer Verwallung aus geerntet werden. Da hierbei durch die trockene Verwallung noch stets Treibhausgase emittiert werden, wird in Zukunft vermutlich vermehrt auf Spezialtechnik gesetzt werden, welche die Ernte auf der Fläche durchführen kann.

Für die Zone C könnte weiter eine Bewirtschaftung für den Futterbau stattfinden. Die erhöhten Wasserstände würden dabei in den meisten Jahren die Intensität der Bewirtschaftung als Mähweide reduzieren und für eine mögliche Beweidung voraussetzen, dass es sich um eine Robustrasse handelt. Während dies einen niedrigeren Ertrag für Fläche C im Vergleich mit Fläche A bedeuten würde, kann eine Wasserzufuhr auch zu einer Ertragsstabilisierung führen, wenn es sich beispielsweise um ein besonders trockenes Jahr handelt. Für die Nutzung als Mähweide wird eine Optimierung der vorhandenen Landtechnik nötig sein, um ihren Bodendruck zu verringern. Dies bezieht sich vor allem auf die Reifen. Zum einen können die Konstruktion des Reifens und seine Maße den Bodendruck beeinflussen und zum anderen ist der Luftdruck relevant. Dieser kann kostengünstigerer Technik im Stand angepasst werden oder mit einer Reifendruckanlage sogar flexibel während der Fahrt angepasst werden. Größere Schlepper können auch von Reifen auf Raupenlaufwerke umgerüstet werden, welche einen noch geringeren Bodendruck verursachen, als optimierte Reifen. Die erfordert jedoch auch mehr finanzielle Mittel, als die Optimierung der Reifen. Darüber hinaus kann in besonders nassen Jahren oder bei Problemen mit der Grasnarbe Spezialtechnik mit besonders niedrigem Bodendruck nötig werden. Bei dieser Spezialtechnik gibt es verschiedene Ansätze. Meist handelt es sich entweder um Konstruktionen, die durch ein geringes Gesamtgewicht einen geringen Bodendruck erzeugen, oder um Konstruktionen, die durch ein Fahrwerk, welches das Gesamtgewicht der Maschine so verteilt, dass der Bodendruck gering ausfällt. Bei Robustrassen sollte darauf geachtet werden, dass diese ebenfalls einen niedrigeren Bodendruck haben, weniger anfällig für Klauenfäule sind und sich auf Fläche A zurückziehen können, wenn Fläche C für sie zu nass werden sollte.

9.4 Langenhausen Nord

9.4.1 Gebietsbeschreibung

Das Projektgebiet Langenhausen umfasst knapp 80 ha mit 2 Bewirtschaftern, die auch Eigentümer der Flächen sind. Die Hofstellen liegen im Projektgebiet. Beide Betriebe betreiben derzeit Milchwirtschaft und nutzen das Moorgrünland als Wiese zur Futtergewinnung. Ein Betrieb beabsichtigt in naher Zukunft aus der Milchproduktion auszusteigen. Die Betriebe sind bereit, im Hinblick auf eine bessere Umsetzung von Maßnahmen, einen Landtausch vorzunehmen.

Die Landwirte in Langenhausen Nord sind in der Agrarstrukturellen Erhebung voll erfasst worden. Zur Zeit der Erhebung handelt es sich dabei um Haupterwerbsbetriebe, wobei es teilweise Überlegungen gibt mit der Hofabgabe an einen Nachfolger in den Nebenerwerb zu wechseln. Die Flächen des Teilgebietskonzeptes sind dabei komplett im Eigentum der Bewirtschafter.

Die Mooranteile der Betriebe reichen von leicht über 50 % bis 100 % und sorgt so für eine hohe Betroffenheit und damit einen dringenden Bedarf an Zukunftsoptionen. Die Flächen werden ausschließlich als Grünland genutzt in mittlerer Intensität. Mit diesem Grünland wird Futter für die Betriebe produziert, welche ausschließlich Milchvieh halten. Die Nährstoffbilanzen der Betriebe reichen von negativ bis positiv.

Für die Etablierung von Wassermanagement reicht die Zustimmung von hoch, für die Optionen Grabenanstau und Grabeneinstau, bis zu einer mittleren Zustimmung für sowohl die Unterflurbewässerung, als auch die bereits erwähnten Optionen. Bei den Wertschöpfungsformen für vollvernässte Flächen findet die Option Nass-Fotovoltaik teilweise sehr hohe Zustimmung.

Die Flächenanordnung geht auf das Findorff-Konzept zurück. Danach liegen die Hofstellen in der Nähe des Oste-Hamme-Kanals. In diesem Bereich ist historisch die Gewinnung und der Abtransport von Brenntorf nach Bremen erfolgt, so dass die Flächen tiefer liegen. Die Hofstellen sind allerdings bei der Anlage erhöht worden, um Überflutungen zu vermeiden. Vom Kanal aus wurde das Hochmoor erschlossen. Östlich der abgetorften Bereiche befindet sich der höhergelegene, nicht abgetorfte Hochmoorkörper. Es wurden 50 m breite und 7,5 ha große, sehr langgezogene Streifen angelegt, die im Wechsel durch Entwässerungsgräben oder aufgehöhte Wege voneinander abgegrenzt sind.

Südlich des Projektgebietes findet sich ein Überlaufbecken des Augustendorfer Kanals, das potenziell als Wasserspeicher genutzt werden könnte.

Das Gebiet entwässert größtenteils (ca. 80 %) in den westlich gelegenen Oste-Hamme-Kanal und dann in Richtung Norden, in die Oste. Der östlich gelegene Teil entwässert über den Grenzgraben, den Augustendorfer Kanal und den Oste-Hamme-Kanal in Richtung Süden (Hamme). Auf dieser Fläche liegen die Torfmächtigkeiten zwischen 150 und 350 cm mit einer Weißtorfschicht zwischen 50 und 150 cm Mächtigkeit (Kalinski et al. 2021).

9.4.2 Hydrologisches Konzept in Langenhausen Nord

9.4.3 Wasserwirtschaftliches Konzept in Langenhausen Nord

Bestandsaufnahme

Das Untersuchungsgebiet „Langenhausen“ wurde in Absprache mit der Landwirtschaftskammer im laufenden Projekt in die engere Betrachtung mit aufgenommen und umfasst Flächen zwischen Augustendorf und dem Oste-Hamme-Kanal. Das Untersuchungsgebiet bietet sich für nähere Betrachtungen aufgrund der klaren Besitzverhältnisse und der zusammenhängenden Struktur an. Hydrologisch weisen die Flächen die Besonderheit auf, dass sie von einer Wasserscheide gequert werden. Während die westlich gelegenen Bereiche direkt in den Oste-Hamme-Kanal in das Oste Einzugsgebiet entwässern, fließt das Wasser der östlichen Bereiche in einen Grenzgraben, der in den Augustendorfer Kanal einleitet und letztendlich ebenfalls in dem Oste-Hamme-Kanal mündet, allerdings unterhalb der Oste-Hamme- Wasserscheide im Hamme Einzugsgebiet. Auf den Flächen befindet sich eine Wasserscheide, die zum einen aufgrund der Geländetopografie besteht und zum anderen durch geteilte Entwässerungsgräben unterstützt wird. Alle Abflüsse aus dem Gebiet entstehen nur durch Niederschläge im Gebiet, es erfolgen keine Zuflüsse aus anderen Bereichen. Detaillierte Ansichten des Untersuchungsgebietes und eine Beschreibung der hydraulischen Rahmenbedingungen sind in Abbildung 71 und Abbildung 72 dargestellt.

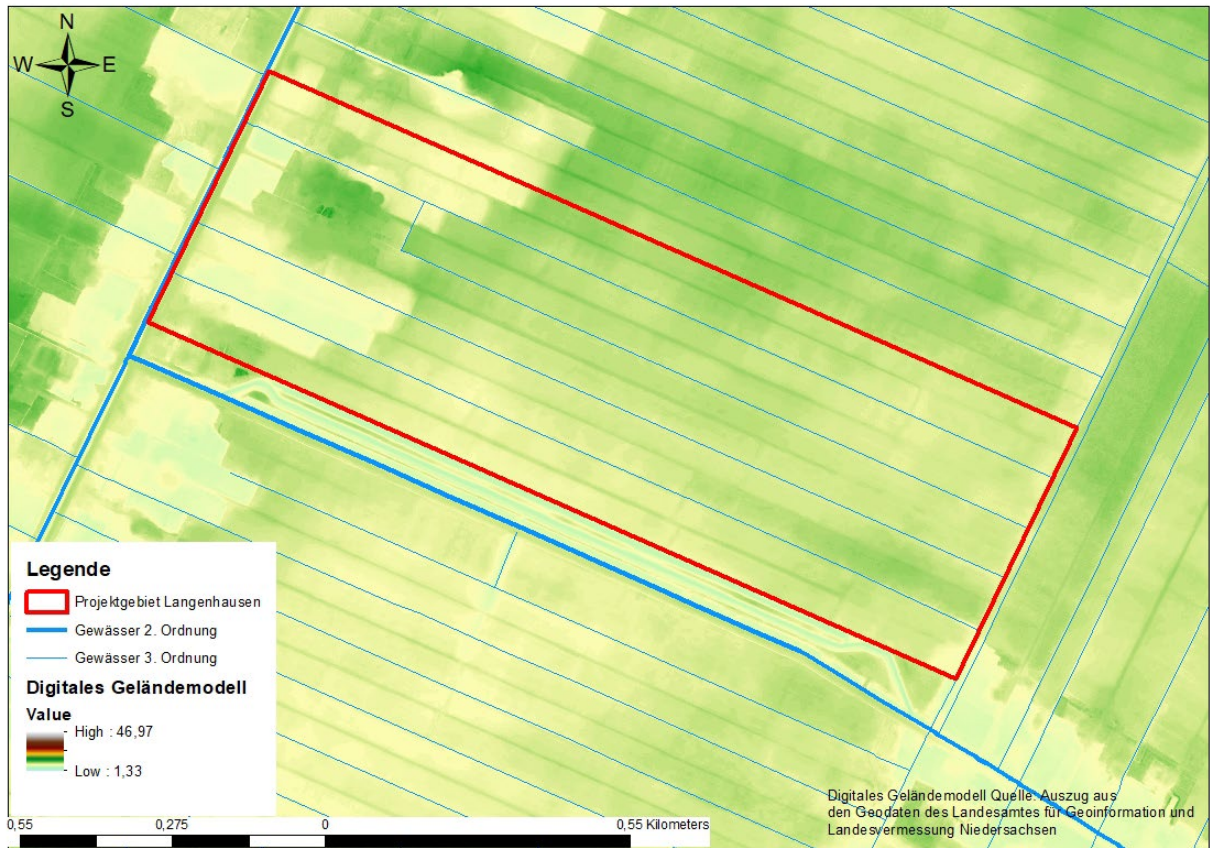


Abbildung 71: Untersuchungsgebiet Langenhausen.

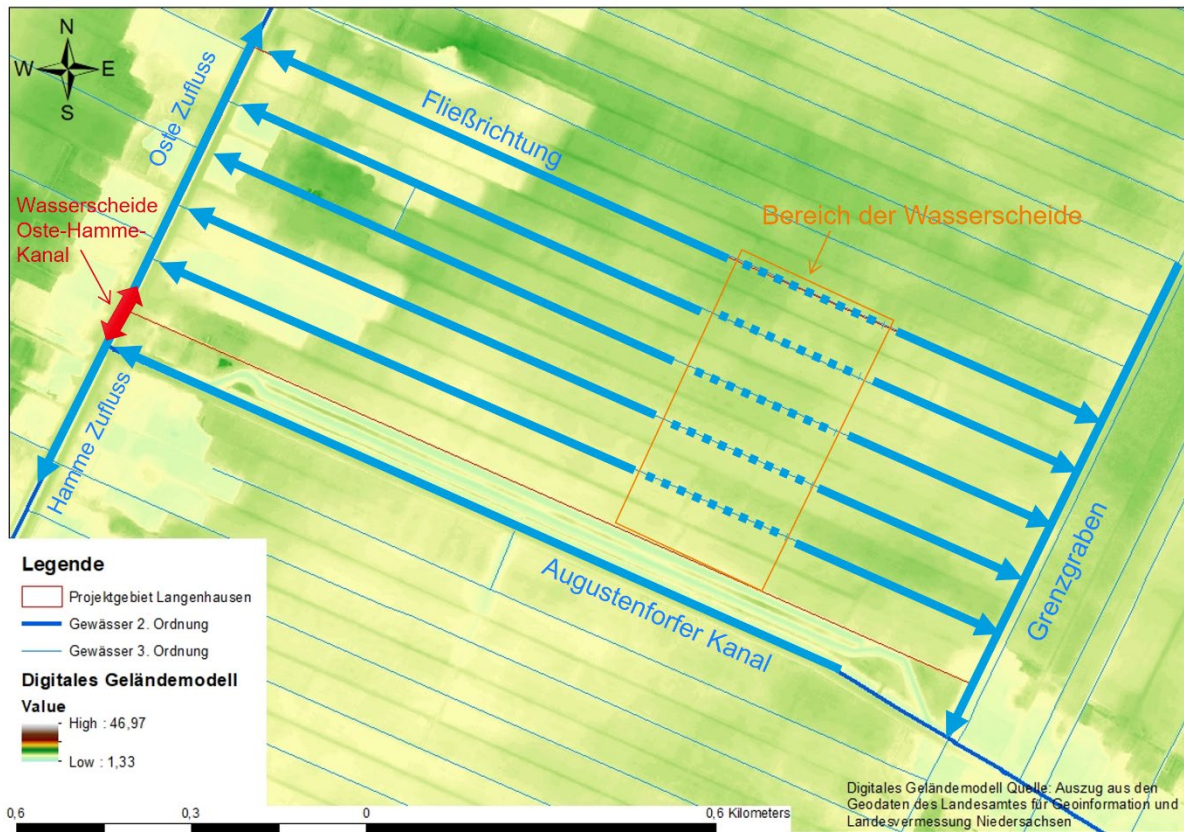


Abbildung 72: Fließrichtungen im Untersuchungsgebiet Langenhausen.

Wasserwirtschaftliches Konzept

Aufgrund der Schlagformen wird auf den Flächen eine Bewirtschaftung nach dem Findorff-Konzept vorgesehen (siehe Abbildung 34). Dabei soll der Bereich der Vollvernässung auf den östlichen Flächenteilen eingerichtet werden, die in das Hamme-Einzugsgebiet entwässern. Auf den Flächen im Einzugsgebiet der Oste befinden sich zum einen die hofnahen Flächen und die Flächen zur Grünlandbewirtschaftung (Abbildung 73). Die genaue Position des Übergangs von der Grünlandbewirtschaftung zur Vollvernässung kann bei der Einrichtung der Flächen definiert werden. Aufgrund der baulichen Maßnahmen zur Einrichtung ist ein gewisser Spielraum vorhanden. Je nach Entwicklung der Bewirtschaftung kann der Bereich der Vollvernässung weiter nach Westen ausgeweitet werden. Die Ausweitung ist zeitlich unabhängig und kann z.B. im Rahmen einer Nutzungsumstellung erfolgen.

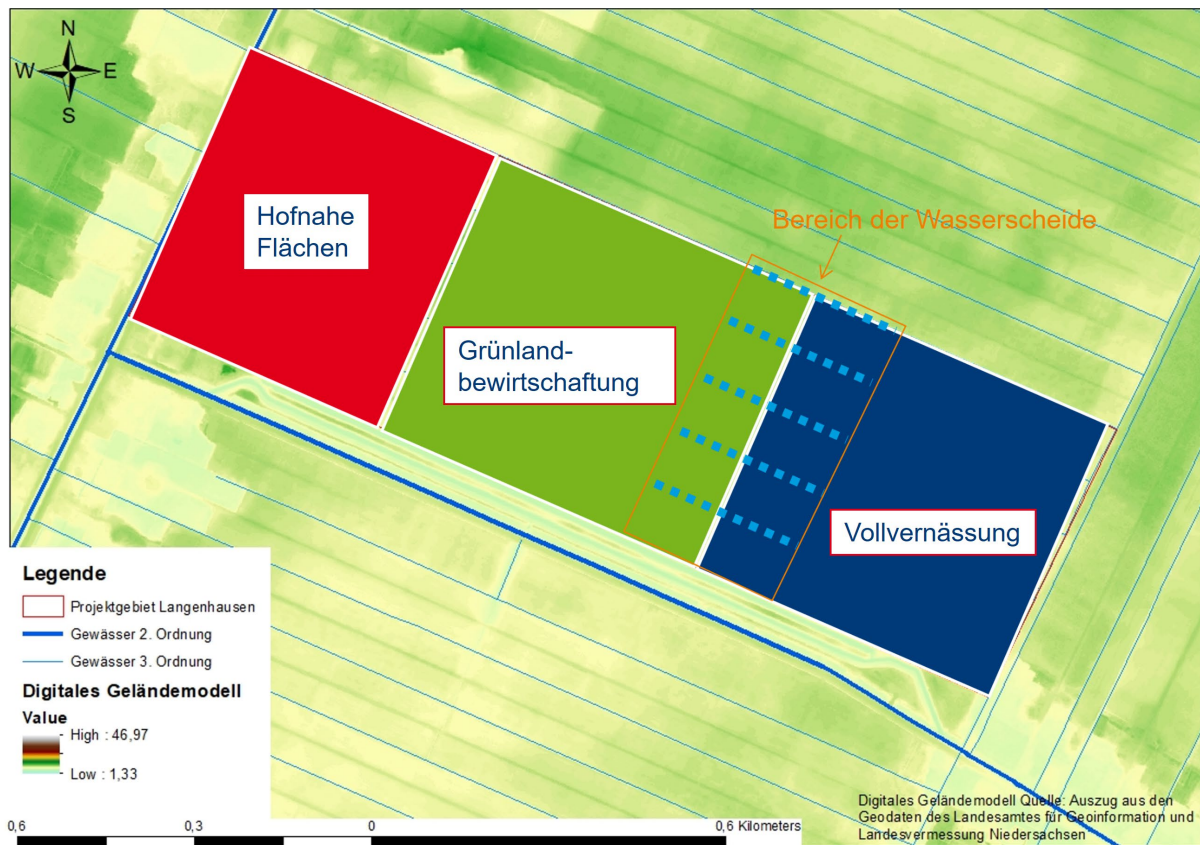


Abbildung 73: Einteilung der Flächen in Langenhäusen.

Die Vernässung der Flächen soll durch Überstau erzielt werden. Hierzu ist die Planierung der Flächen erforderlich, um das Niveau der Unebenheiten auf den Flächen anzupassen. Je nach Gefälle des Gebietes werden verschiedene, mit Verwallungen voneinander getrennte, Polder (Teilflächen) angelegt. Alle Gräben in dem Bereich werden mit stark zersetzten Torfen verfüllt und bei Bedarf werden die Querschnitte mit Stautafeln, oder Dammbalken zusätzlich abgedichtet. Der Überstau erfolgt durch die Niederschläge im Winterhalbjahr. Es muss dauerhaft gewährleistet werden, dass Starkregen und überschüssiges Wasser nach der Schneeschmelze schadfrei abfließen kann (Eggelsmann 1990).

Auf den Flächen für Grünlandbewirtschaftung wird ein einheitlich hoher Moorwasserstand durch Grabeneinstau angestrebt. Hier wird ebenfalls eine Planierung der Fläche in Betracht gezogen und in Abhängigkeit des Gefälles der Fläche mehrere Wehre in den Gräben eingebracht, um einen bestimmten Wasserstand unterhalb der Geländeoberfläche einzustellen. Hierfür werden in jeden Graben zu Beginn des Grabeneinstaus ein mechani-

sches Wehr eingebaut und in Abhängigkeit des Längsgefälles des Grabens ein, oder mehrere hydraulisch gesteuerte Wehre (Abbildung 74 und Abbildung 75). Bei einer Anhebung des Moorwasserstands auf den Flächen zur Grünlandbewirtschaftung auf 30 cm unter Geländeoberkante (GOK) sind 11 Wehre erforderlich, bei einer Anhebung auf 20 cm unter GOK werden 17 Wehre benötigt.

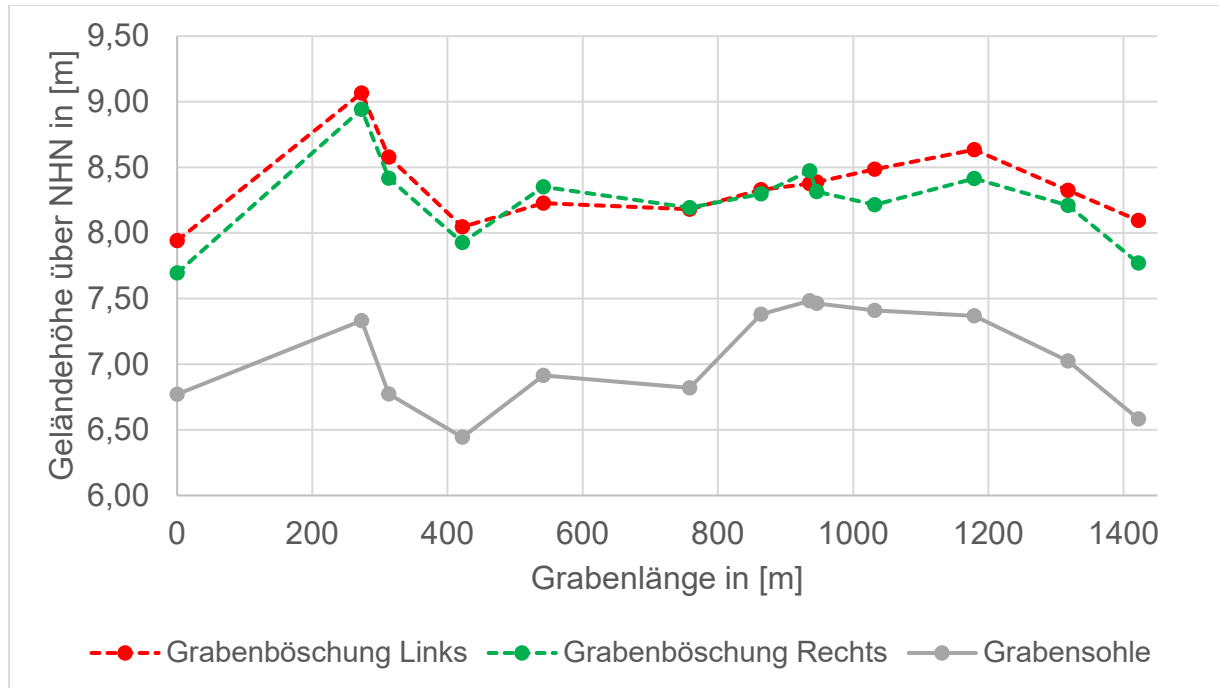


Abbildung 74: Höhenprofil eines Entwässerungsgrabens in der Untersuchungsfläche Langenhausen. Bei der Grabenlänge „0“ mündet der Graben in den Oste-Hamme-Kanal, am anderen Ende (Grabenlänge 1.422 m) mündet der Graben in den Grenzgraben.

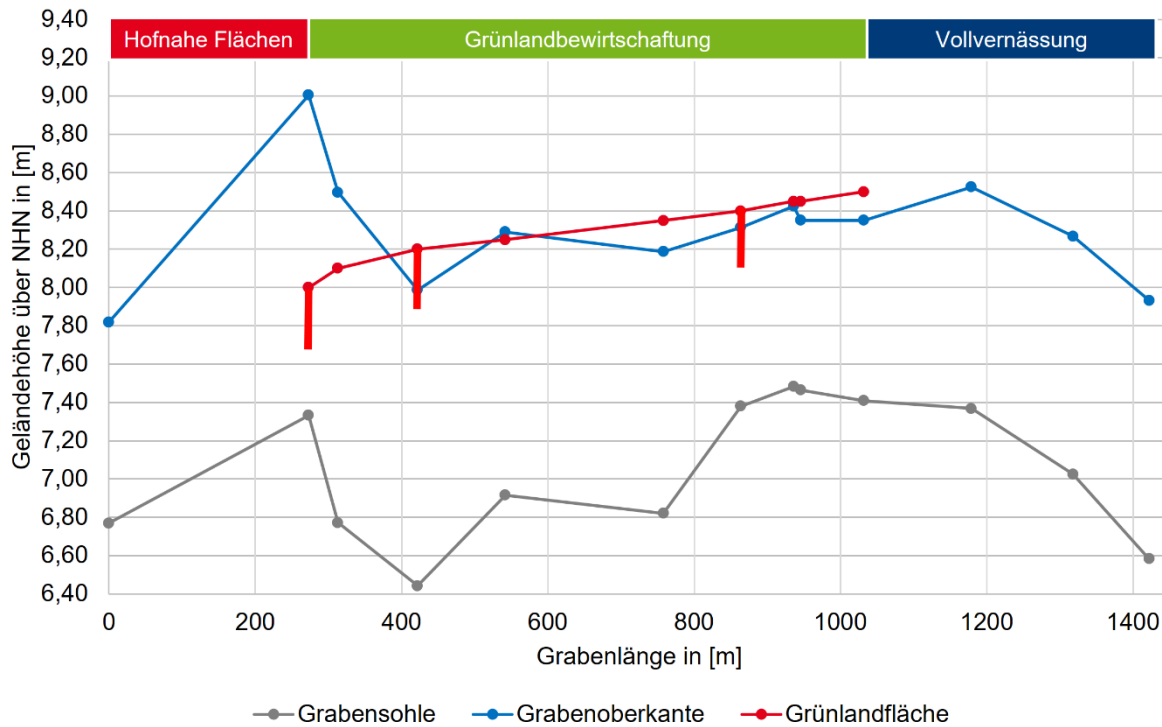


Abbildung 75: Höhenprofile des Entwässerungsgrabens in Langenhausen mit planierter Fläche für Grünlandbewirtschaftung (rote Linie). Bei einem Einstauziel von 20 cm unter Geländeoberkante sind 3 Wehre erforderlich (rote, vertikale Balken)

Der Abstand der Gräben voneinander (Schlagbreite) beträgt 100 Meter. Auf jedem Schlag ist mittig ein Wirtschaftsweg angelegt, unter dem ein hoch verdichteter Boden angenommen wird. Hier wird keine Anhebung des Wasserstandes angestrebt. Eine drucklose Unterflurbewässerung kann die Wasserverteilung in der Fläche unterstützen, sollte der Boden eine zu geringe Durchlässigkeit ($k_f \geq 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ nach Eggelsmann 1990) aufweisen.

Ausschlaggebend für den Erfolg der Maßnahmenumsetzung ist nicht nur die dauerhafte Anhebung des Wasserstands in der Fläche, sondern auch die Möglichkeit den Wasserstand für die Bearbeitung mit Maschinen kurzfristig zu senken und nach Abschluss der Arbeiten wieder zeitnah anzuheben.

Um den Grabeneinstau Niederschlagsunabhängig betreiben zu können, ist Zusatzwasser erforderlich. Erste Überlegungen zu Speichermöglichkeiten im Gnarrenburger Moor sind in Kapitel 5.4.3 aufgeführt.

Weiterführende Betrachtungen

Während der Untersuchungen im Gebiet Langenhausen haben sich verschiedene Fragestellungen für weiterführende Forschungsarbeiten ergeben. Im Konsortium wurde eine Projektskizze erstellt, die auf Basis der Transformationspfade die Einrichtung eines zusammenhängenden Gebietes nach den Erkenntnissen aus dem laufenden Projekt beinhaltet. Auf der Untersuchungsfläche in Langenhausen sollen intensive Versuche zu einer deutlich nasserem Bewirtschaftung mit angepasster Düngung erfolgen. Das beinhaltet auch die Transformation der Bewirtschaftungsflächen nach dem oben beschriebenen Konzept.

Das angestrebte Folgeprojekt umfasst sieben Arbeitspakete, die die folgenden Inhalte bearbeiten soll:

1. Flächentransformation
 - Einrichtung der Flächen (Machbarkeit/Auswirkungen)
2. Wassermanagement
 - Vernässungsgeschwindigkeit, Unterschied von Grabeneinstau und Unterflurbewässerung, Speicherbedarf und -möglichkeiten
3. Pflanzen und Nährstoffe
 - Gräser mit hoher Futterqualität bei hohem Flurwasserstand
4. Landwirtschaftliche Produktions- und Betriebsbegleitung
 - Angepasstes Nährstoffmanagement und Verfahrenstechnik auf vernässten Standorten
5. Fotovoltaik
 - Aufständigung und Standsicherheit von Fotovoltaikanlagen auf vernässten Moorstandorten und Rückbaumöglichkeiten
6. Die Entwicklung im Gnarrenburger Moor
 - Handlungsbedarf und Konsensmöglichkeiten für landwirtschaftliche Betriebe, Flurneueordnungsmöglichkeiten für erweiterte Gebietskonzepte
7. Das Umsetzungspotential der entwickelten Maßnahmen
 - Umsetzungspotential im Gnarrenburger Moor und überregional, Best-Practice-Guide für Klimaschutz in bewirtschafteten Hochmoorstandorten

Dafür soll das Untersuchungsgebiet in Langenhausen wie folgt eingerichtet werden:

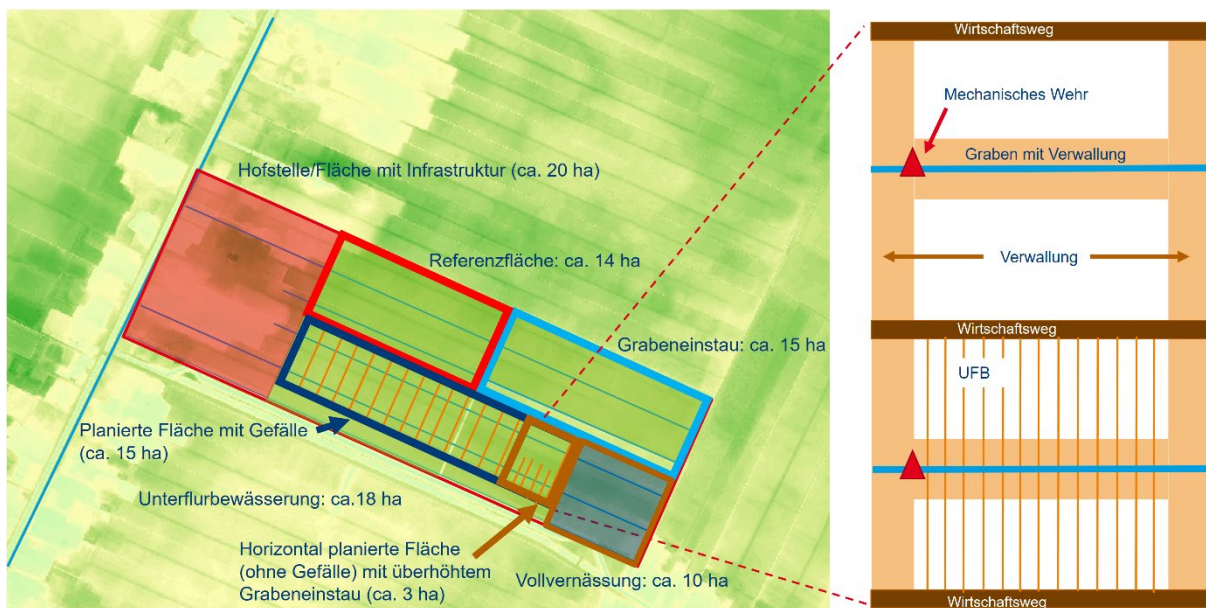


Abbildung 76: Einrichtung der Fläche im Untersuchungsgebiet Langenhausen für ein mögliches Folgeprojekt.

Es wird eine Flächentransformation (durch Planieren und Verwallungen) auf insgesamt 28 ha vorgesehen. Hier werden Versuche zur Vollvernässung mit Fotovoltaikaufstellung und zur Grünlandbewirtschaftung mit angepasster Düngung durchgeführt (Abbildung 76). Die Unterschiede zwischen dem Grabeneinstau mit und ohne Unterflurbewässerung werden modelliert und im Feld überprüft. Das Ziel des Folgeprojektes wird es sein, die CO₂ Emissionen aus norddeutschen Hochmoorflächen zu senken und dabei Zukunftsperspektiven für Landwirtschaftsbetriebe in Moorgebieten zu entwickeln. Die Transformationspfade sollen an der aktuellen Situation ansetzen und eine Entwicklung in Richtung einer immer nasserem Bewirtschaftung vorbereiten und ermöglichen.

9.4.4 Potenzielle Auswirkungen auf Wasserstände, Treibhausgasemissionen und Bewirtschaftung

In Tabelle 34 sind die für Maßnahmen infrage kommenden Areale im Teilgebiet Langenhausen mit aktuellen Wasserständen und Treibhausgasemissionen zusammengestellt. Die Treibhausgasemissionen ergeben sich nach Tiemeyer et al. (2020) und Höper (2022) (siehe Kasten 1 zur Methodik in Kapitel 9.3.2). Die aktuellen Emissionen auf der 80 ha

großen Fläche werden mit 3.120 t CO₂-Äq./ha/a, bei einem mittleren Emissionsfaktor von 39 t CO₂-Äq./ha/a beziffert.

Tabelle 36: Treibhausgasemissionen im Istzustand - Teilgebiet Langenhausen Areale, Flächen, Wasserstände, Emissionsfaktoren (EF) und Treibhausgasemissionen (THG).

Areal	Fläche	Wasserstand	EF	THG
	ha	m ü. GOK	t CO ₂ -Äq./ha/a	t CO ₂ -Äq./ha/a
Fläche A Keine Maßnahme	20,0	-0,50	39	780
Fläche B Vollvernässung Verwallungen	28,0	-0,67	39	1092
Fläche C Unterflurbewässerung	32,0	-0,67	39	1248
Summe	80,0		39	3120

Durch die Maßnahmen, Vollvernässung auf 28 ha incl. Verwallungen (geschätzte Länge 3200 m und geschätzte Breite 2,5 m) und Unterflurbewässerung auf 32 ha, können die Emissionen auf 1864 t CO₂-Äq./a und damit um 1.256 t CO₂-Äq./ha/a reduziert werden (Tabelle 35). Der mittlere Emissionsfaktor reduziert sich auf 23 t CO₂-Äq./ha/a. Die Minderung entspricht 40 % der Emissionen vor Umsetzung der Maßnahmen.

Tabelle 37: Treibhausgasemissionen im Zielzustand - Teilgebiet Langenhausen Areale, Maßnahmen, Flächen, Wasserstände, Emissionsfaktoren (EF) und Treibhausgasemissionen (THG) nach Umsetzung der Maßnahmen, Minderung der Treibhausgasemissionen. Erläuterung siehe Kasten 1.

Areal	Fläche ha	Wasserstand m ü. GOK	EF t CO ₂ -Äq./ha/a	THG t CO ₂ -Äq./ha/a	THG-Minderung t CO ₂ -Äq./ha/a
Fläche A					
keine Maßnahme	20	-0,50	39	780	0
Fläche B					
Vollvernässung	27,2	-0,05	5	136	-925
Verwallungen	0,8	-0,50	25	20	-11
Fläche C					
Unterflurbewässerung	32	-0,25	29	928	-320
Summe	80		23	1864	-1256

Für Zone A würde die Etablierung des Teilgebietskonzepts voraussichtlich keinen Einfluss auf die Bewirtschaftung haben.

In Zone B könnte es zu einer Beeinflussung der Bewirtschaftung kommen. Die Angaben zu der Intensität, mit der die Betriebe ihr Grünland bewirtschaften, passt zu der Intensität, welche die Wasserstandserhöhung in der Erfahrung des Projektes zulässt. In besonders nassen Frühjahren kann allerdings der erste Schnitt problematisch werden. Er trägt überproportional zum Jahresertrag einer Mehrschnittnutzung bei und darf nicht zu spät erfolgen, um das für die Milchwirtschaft benötigte proteinreiche und rohfaserarme Futter gewinnen zu können. Darüber hinaus könnte eine eingeschränkte Befahrbarkeit die Ausbringung von Dünger erschweren. Die Befahrbarkeit kann durch eine Optimierung der bestehenden Landtechnik, wie bereits in 9.3.3 beschrieben und ein temporäres Absenken der Wasserstände verbessert werden. Auch könnte die erste Düngergabe mineralisch und damit mit leichterem Gerät erfolgen, als eine organische Düngung. Jedoch ist hierbei zu bedenken, dass es für den Betrieb wichtig ist, die anfallenden Wirtschaftsdünger sinnvoll zu verwerten und möglichst wenig Mineraldünger einzusetzen. Das zeitweise Absenken der Wasserstände erhöht den Bedarf an Zusatzwasser, auch ist damit zu rechnen, dass die Treibhausgasemissionen ansteigen und die Klimawirkung der Maßnahme reduziert wird. Würde man bei einer 4-Schnittnutzung zu jeder Ernte- und Düngungsmaßnahme den

Wasserstand absenken, kämen hier 4 bis 6 Wochen je Sommerhalbjahr mit tiefen Wasserständen und entsprechend hohen Emissionen zusammen. Dazu käme noch die Wirkung der wechselfeuchten Bedingungen auf die Torfmineralisation und v.a. die Lachgasfreisetzung. Bei mehreren Anliegern an einem Graben ist zudem davon auszugehen, dass es sehr schwer ist, die Bedürfnisse der einzelnen Landwirtinnen und Landwirte hinsichtlich niedriger Wasserstände adäquat zu berücksichtigen.

Im Falle einer Vollvernässung stünden auch hier Nass-PV und Paludikulturen zur Auswahl. Bei einer Nass-PV Anlage erfolgt die Wertschöpfung zwar in erster Linie durch die Generierung von Energie, jedoch ist eine zusätzliche Unterhaltung der Vernässungseinrichtungen (Überläufe, Verwallungen) und eine aufwändigere Wartung der Fotovoltaik-Anlagen im Vergleich zu Mineralböden zu erwarten. Für die Flächenpflege würde dabei Spezialtechnik nötig sein, welche einen besonders geringen Bodendruck hat und an die Größe der PV-Anlagen angepasst ist. Für die Paludikultur würde ebenfalls Spezialtechnik nötig sein.

9.4.5 Rückmeldungen der Landwirtschaft in Workshops

Im Folgenden werden die wichtigsten Diskussionspunkte des Workshops zur Maßnahmenumsetzung im Cluster Langenhausen dargestellt. Anwesend waren die betroffenen Landwirtinnen und Landwirte und Vertreterinnen und Vertreter der Institutionen der Hochschule Ostfalia, der Landwirtschaftskammer und des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie.

Zone A - Hofnahe Flächen

- Die geplante Ausgestaltung ist aus Sicht der Landwirte unkritisch. Die Flächen können zur Beweidung wie bisher genutzt werden.
- Eine Wasserhaltung, die die Gefahr von Hochwasserereignissen in diesem tiefer liegenden Bereich erhöht, ist zu vermeiden.
- Gräben in diesem Bereich schneiden vermutlich in den mineralischen Untergrund ein und können nicht oder nur bedingt angestaut werden.
- Die ursprüngliche Absicht, die Gräben in Zone A mit Stauwehren für einen Grabenanstau zu versehen, wird nicht weiterverfolgt.

Zone B - Grünlandbewirtschaftung

Wasserregulierende Maßnahmen

- Eine Wasserstandsanhhebung kann jeweils durch Anstau des Grabens zwischen 2 Wegen, d.h. auf eine Breite von ca. 100 m (2 Beetbreiten) erzeugt werden.
- Eine Wasserstandsanhhebung sollte idealerweise durch eine Unterflurbewässerung mit Wasserzufuhr im Sommerhalbjahr über die Gräben erfolgen, um unter Bewirtschaftung möglichst hohe Wasserstände, im Jahresmittel 0,2-0,3 m unter Geländeoberkante, zu erzielen.
- Als kostengünstige Maßnahme hat sich im SWAMPS-Projekt (Pagenkemper et al., 2021) im Ipweger Moor auch der Grabeneinstau mit Wasserzufuhr im Sommerhalbjahr, aber ohne wasserleitende Dräne erwiesen, wenngleich die Wasserstände auf der Fläche deutlich ungleicher waren als bei Unterflurbewässerung.
- Der südlich entlang des Augustendorfer Kanals gelegene Grünlandstreifen kann derzeit nicht vernässt werden, da es eine Abbruchkante auf der Südseite des Streifens gibt und im Norden des Streifens ein Weg und kein Graben für die Wasserzufuhr verläuft.
- Die Wasserscheide kann durch Gestaltung der Grabensohle angepasst werden, so dass eine Fließrichtung nach Wunsch erzeugt werden kann.
- Die vorhandenen Gräben müssten im Hinblick auf die Wasserführung regelmäßig unterhalten werden. Das vorhandene vertikale Grabenprofil, mit senkrechten Böschungen, hat sich im Hinblick auf die Vermeidung eines intensiven Grabenbewuchses bei geringem Lichteinfall als sinnvoll erwiesen. Die Gräben dürfen nicht in den mineralischen Untergrund einschneiden. Nach Aussagen der Landwirtinnen und Landwirte sollte diese Bedingung in dieser Zone gewährleistet sein.

Wasserbereitstellung

- Wie die Demonstrationsversuche mit Grabenanstau gezeigt haben (Kap. 7.1), reicht das Niederschlagswasser in vielen Jahren nicht aus, um in den Sommermonaten durch Anstau eine signifikante Anhebung der Moorwasserstände zu erzielen. Folglich ist eine Wasserzufuhr in den Sommermonaten erforderlich. Das zuzuführende Wasser kann aus dem Grundwasser entnommen werden oder muss als Oberflächenwasser in Becken zwischengespeichert werden. Eine Zwischenspeicherung auf der Fläche durch winterlichen Überstau ist dagegen nicht möglich, da dadurch die Grasnarbe geschädigt und eine wirtschaftliche Grünlandnutzung nicht mehr möglich wäre.
- Aus den Demonstrationsversuchen mit Unterflurbewässerung hat sich ergeben, dass bis zu 300 l/m²/Jahr zugeführt worden sind. Die hohe Menge ist u.a. auf die besonders trockenen Jahre 2018 - 2020 aber auch auf den Versuchsmaßstab zurückzuführen. Bei kleinen Versuchsflächen, im konkreten Fall ca. 0,5 ha, sind Randeffekte, insbesondere laterale Wasserverluste, besonders hoch. Es kann davon ausgegangen werden, dass im Zuge einer Skalierung auf größere Flächen, die relativen Randeffekte bezogen auf die Maßnahmenfläche abnehmen und damit auch ein geringerer Bedarf an Zusatzwasser zu erwarten ist. Dies soll in einem Folgeprojekt getestet werden.

- Eine Entnahme von Grundwasser ist nur in begrenztem Umfang erforderlich. Für Bewässerung durch Beregnung wird im Mittel der Jahre mit einem Wasserbedarf von 70 bis 80 l/m²/Jahr gerechnet. Für das Gnarrenburger Moor gilt es konkret zu prüfen, welches Wasserdargebot genutzt werden kann. Es ist jedoch klar, dass nur ein Teil des Gebietes mit dem erforderlichen Wasser aus Grundwasser versorgt werden kann.
- Eine Wasserspeicherung in den Gräben reicht mit Abstand nicht aus.
- Es wurde eine Wasserentnahme aus dem Oste-Hamme-Kanal diskutiert. Der Oste-Hamme-Kanal wurde 1790 unter der Leitung des Moorkommissars Jürgen Christian Findorff im Zuge der Moorkolonisation fertiggestellt und diente der Entwässerung der Moore und als Verkehrsstraße für die Moorbauern in früherer Zeit. Er ist mit Schleusen und Stauklappen versehen, um die tidebedingten Wasserstandsschwankungen der Oste und Hamme auszugleichen. Eine Wasserzufuhr aus diesen Flüssen würde demnach verschiedene Pumpstufen erfordern und den derzeitigen touristischen Nutzen des Kanals gefährden. (Gespräch mit GLV Teufelsmoor, Herr Meyer)

Wasserbereitstellung und Hochwasserschutz

- Eine weitere Möglichkeit der Wasserspeicherung besteht in dem südlich des Gebietes gelegenen Hochwasserrückhaltebecken am Augustendorfer Kanal. Dieses dient derzeit dazu, im Falle eines Hochwasserereignisses, beim Überschreiten einer Sohlschwelle am Beckeneingang, Wasser aus dem Augustendorfer Kanal aufzunehmen, sofern dieses nicht ausreichend in den Oste-Hamme-Kanal abgeführt werden kann. Um die Funktion als Hochwasserretentionsbecken zu erfüllen, muss dieses Becken allerdings in der Regel leer sein, vor allem vor den zu erwartenden Hochwasserereignissen. Vergangene Hochwasserereignisse, v.a. im Frühjahr 2022, haben gezeigt, dass das jetzige Beckenvolumen gerade ausreichend für die Erfüllung seiner Funktion zum Hochwasserschutz ist. Es wurden zwei Möglichkeiten diskutiert, wie eine Nutzung des Beckens auch als Wasserspeicher möglich sein kann:
 - a. Das Becken wird vergrößert. Ein Teilvolumen des Beckens wird im Winterhalbjahr, vor der Vegetationsperiode, für Speichierzwecke aufgefüllt und steht ca. ab Mitte April für die Wasserentnahme zur Verfügung. Ein weiteres Teilvolumen bleibt leer und dient als Hochwasserlamelle für die Aufnahme von Überschusswasser bei einem Hochwasserereignis. Dem Ausbau des Beckens steht grundsätzlich nichts entgegen, jedoch verweist der GLV Teufelsmoor auf den höheren Aufwand für Unterhaltung des Beckens und regelmäßige Freistellung des Gehölzaufwuchses.
 - b. Der Hochwasserbildung wird bereits am Ort der Entstehung entgegengearbeitet. Ein Großteil des Wassers stammt aus den Hochmoorgebieten nördlich und südlich der Ortschaft Augustendorf. Wenn es gelänge, den Wasserabfluss über die Gräben hier entschieden zu verlangsamen bzw. Wasser zurückzuhalten, könnte das Hochwasserereignis im Augustendorfer Kanal abgeschwächt werden. Dazu müssten die Grünlandflächen teilweise verwallt werden und temporär, vor allem in den Wintermonaten, einen kurzzeitigen Überstau tolerieren.

Zu klären ist allerdings, wie das Wassermanagement in diesem Fall erfolgen kann und wie der Ausgleich zwischen Landbesitzern mit unterschiedlicher Betroffenheit und Nutzen geregelt werden kann (Gespräche mit GLV Teufelsmoor). Allen Beteiligten ist klar, dass solche Planungen aufwändig sind und die Maßnahmen nicht in vollem Umfang von den Landeigentümerinnen und Landeigentümern oder der Gemeinde vor Ort finanziert werden können.

Oberflächengestaltung

- Die Fläche ist durch erhebliche Unebenheiten (kleinräumige Höhenunterschiede von bis zu 0,5 m) gekennzeichnet, auch die Grabenböschungen sind sehr uneben. Im Hinblick auf eine gleichmäßig hohe Wasserführung ist eine Einebnung der Flächen dringend geboten. Freigelegte Torfrücken aus dem Unterboden können bezüglich der Nährstoffversorgung ein Problem bedeuten („toter Torf“) und zu Wachstumshemmung des Aufwuchses führen. Allerdings ist zu erwarten, dass in den kommenden Jahren wieder eine Reliefausbildung stattfindet, indem die Torfrücken weniger an Höhe verlieren, als die zugeschobenen Senken, so dass in regelmäßigen Abständen Planierungen sinnvoll sein können. Offen ist, inwieweit durch die feuchteren Bedingungen dieser Prozess verlangsamt werden kann.
- Flächenplanung mit Neuansaat und Wasserstandsanehebung sollten zeitlich getrennt stattfinden, um Probleme der Bestandsetablierung und hohe Lachgasemissionen wie bei D12 (siehe Kapitel 6) zu vermeiden. Eine Neuansaat sollte im frühen Herbst erfolgen. So können die Landwirtinnen und Landwirte die beiden ertragsträchtigen ersten Grünlandschnitte der alten Grasnarbe noch ernten und der neue Aufwuchs kann unter den kühleren und feuchteren Bedingungen des Herbstes besser gedeihen. Möglicherweise können dann im folgenden Jahr schon wieder 1-2 Schnitte geerntet werden, so dass die Futterbereitstellung weniger beeinträchtigt ist.
- Hinsichtlich Grünlandumbruch und Flächenplanung ist die Verträglichkeit mit gesetzlichen und förderrechtlichen Regelungen zu prüfen und es sind entsprechende Genehmigungen bei der unteren Naturschutzbehörde einzuholen.

Bewirtschaftung

- Für die Betriebe mit Milchwirtschaft stellt die Futtergewinnung in ausreichender Menge und Qualität ein entscheidendes Kriterium für die Akzeptanz der Maßnahmen dar. Eine Wasserstandsanehebung wie in den Demonstrationsversuchen D05 und D07 mit Unterflurbewässerung wird von den Landwirtinnen und Landwirten als akzeptabel angesehen. An beiden Versuchsstandorten konnten in den meisten Jahren 4 Schnitte, im eher nassen Jahr 2021, aufgrund eingeschränkter Befahrbarkeit im Herbst, nur 3 Schnitte, geerntet werden.
- Eine Düngung ist für die Futtergewinnung in ausreichender Menge und Qualität erforderlich. Durch die Vorgaben der Düngeverordnung wird die N-Düngung auf Hochmoorstandorten bereits um 50 kg N/ha/Jahr im Vergleich zu Mineralböden reduziert,

um die Torfmineralisation während der Vegetationsperiode als Beitrag zur Stickstoffversorgung der Kulturpflanze zu berücksichtigen. Die Phosphor- und Kalidüngung sollte jährlich im Frühjahr entsprechend des Pflanzenbedarfs erfolgen, eine Vorratsdüngung ist bei diesen Nährstoffen im Moor nicht zu empfehlen, da es zu starker Auswaschung im Winterhalbjahr kommt.

- Bezüglich Termin und Art der Düngergaben sind Anpassungen aufgrund eingeschränkter Befahrbarkeit sowie zur Reduzierung der Torfmineralisation möglich. Eine Zufuhr von Kalk oder anderen basisch wirkenden Stoffen sollte auch weiterhin unterbleiben. Die erste Stickstoff-Düngergabe sollte mineralisch erfolgen, da hier geringere Maschinengewichte eingesetzt werden können. Eine organische Düngung kann nach dem ersten Schnitt oder mittels Gülleverschlachtung erfolgen, um die Grenzen der Befahrbarkeit zu berücksichtigen. Auch sollte eine späte Güllegabe im Herbst aufgrund der dann möglichen nassen Verhältnisse vermieden werden. Nicht zuletzt könnte der Einsatz physiologisch saurer Ammoniumdünger vor allem auf den Hochmoorstandorten den pH-Wert im Boden niedrig halten und so die Torfmineralisation teilweise hemmen. Für die Landwirtinnen und Landwirte könnte dies zur Folge haben, dass die betrieblichen Wirtschaftsdünger nicht mehr auf eigenen Flächen verbraucht werden können und abgegeben werden müssen. Sofern hier bei der Moorbewirtschaftung Anforderungen zu erfüllen sind, die über das Ordnungsrecht hinausgehen, sollte ein Mehraufwand für die Betriebe finanziell ausgeglichen werden.
- Für die Bewirtschaftung könnten die Wasserstände der UFB zeitweise abgesenkt werden. Die Wasserstände würden kurz vor der Befahrung mit schwerem Gerät (Düngung, Ernte) witterungsabhängig z.B. um 20 cm abgesenkt und so bald wie möglich wieder hochgefahren. Allerdings könnte dies dazu führen, dass infolge vielzähliger Befahrungen, die zudem zeitlich asynchron in einem Grabeneinzugsgebiet erfolgen, häufige oder längere Phasen der Wasserstandsabsenkung die Effizienz der Maßnahme stark beeinträchtigen. Für die Wasserstandsabsenkung und anschließende erneute Anhebung wird zusätzlich Wasser benötigt. Auch ist zu erwarten, dass durch die Wasserstandsabsenkung die Treibhausgasemissionen erhöht werden. Aus dem Projekt heraus wird daher eher eine technische Anpassung bei der Bewirtschaftung befürwortet.

Landtechnik

- Im Hinblick auf eine angepasste Landtechnik wurde, zumindest für dieses Projekt, die Einbeziehung von Lohnunternehmern thematisiert, wohingegen Leihmaschinen von den Landwirtinnen und Landwirten nicht als sinnvoll angesehen werden.
- Bei Anschaffung von Technik im Projekt ist die Abschreibung während der Projektlaufzeit zu beachten. Ggf. ist eine Eigenbeteiligung der Landwirtinnen und Landwirte oder ein Erwerb zum Restwert nach Projektende erforderlich. Die Technik lässt sich eher aus dem Projekt finanzieren, wenn die Laufzeit länger ist.
- Breitreifen und flexible Luftdruckregelung mit Niedrigdruckreifen (am Schlepper) wäre für die Landwirtinnen und Landwirte am leichtesten umzusetzen.

Zone C - Vollvernässung

Wiedervernässung und Naturschutz

- Um die Treibhausgasemissionen weitestgehend zu senken, wäre eine Vollvernässung erforderlich. Da im Hochmoor im Sommer nicht genügend Niederschlagswasser zur Aufrechterhaltung hoher Wasserstände zur Verfügung steht, ist eine Zwischenspeicherung des winterlichen Überschusswassers als Überstau auf der Fläche vorgesehen. Dies ist bezüglich der Wasserspeicherung die günstigste Methode, da keine zusätzliche Fläche als Wasserspeicher beansprucht wird, Wasser nicht gepumpt werden muss und auch kein Grundwasser beansprucht wird. Der Hochmoorkörper mit den liegenden Schwarztorfschichten ist nach unten gut abgedichtet, um die Sickerverluste gering zu halten.
- Für den Überstau sind Verwallungen und Überläufe erforderlich. Die Verwallungen sollten so groß bemessen sein, dass sie nach Torfmineralisation noch ausreichend hoch sind (ca. 50 % Höhenverlust ist zu erwarten) und dass sie maschinell gepflegt werden können, v.a. im Hinblick auf die Entfernung von Strauch- und Baumbewuchs. Sie müssen somit eine Kronenbreite von 2,5 m aufweisen. Informationen zur Dimensionierung der Verwallungen sind Graf et al. (2022) zu entnehmen. Die Überläufe sollten verstellbar sein, um unterschiedliche Stauhöhen einstellen zu können. Das Material für die Verwallungen kann aus dem Oberboden der Flächen stammen, wobei die Vegetation weitgehend zu entfernen ist, da ihr Einbau in der Verwallung Undichtigkeiten hervorrufen kann.
- Infolge der Unebenheit des Geländes ist ggf. eine Terrassierung mit Poldern unterschiedlicher Geländehöhe vorzusehen. Die Geländestufen dürfen nicht zu hoch ausfallen, da damit der Wasserdruck und Gefahr von Torfbrüchen steigt. Die Kosten für die Verwallungen bei kleinteiliger Terrassierung sind den Kosten für eine Planierung bei größeren Poldern gegenüberzustellen.
- nach Vollvernässung ist eine Grünlandnutzung nicht mehr möglich, da durch den winterlichen Überstau die Pflanzen des Grünlandes absterben und während der Sommermonate die Befahrbarkeit sehr stark eingeschränkt ist. Ohne weitere Nutzungsmöglichkeiten fällt die Fläche daher brach.
- Eine Nutzungsaufgabe stellt für die Eigentümerin/den Eigentümer einen erheblichen wirtschaftlichen Schaden bis hin zum völligen Wertverlust der Fläche dar. Dieses kann entweder durch den Erwerb der Fläche durch die öffentliche Hand oder durch entsprechende langfristige Verträge mit Grundbucheintrag ausgeglichen werden.
- Für die Flächeneigentümerin/den Flächeneigentümer stellt sich die Frage, wer für die Beitragssätze zu den Wasser- und Bodenverbänden sowie für die Pflege der Verwallungen und Überläufe aufkommt.

Paludikultur mit Wassermanagement

- Bei hohen Wasserständen können Paludikulturen von Interesse sein. Im Hochmoor ist die Torfmooskultivierung ein für den Standort geeignetes Verfahren. Für die Anlage

einer Torfmooskultur müssen aus der Sicht der Flächeneigentümerin/ des Flächeneigentümers aber weitere Aspekte geklärt sein:

- Auch Torfmoose können, wie eine Grasvegetation, keinen längeren Überstau tolerieren. Daher sind für die Wasserzischenspeicherung ein externes Speicherbecken und ein aktives Wassermanagement (Wasserzufuhr im Sommer) erforderlich.
- Es wird ein sehr präzises Wassermanagement benötigt. Das Wasser darf ganzjährig nicht tiefer als 10 cm unter Geländeoberkante, idealerweise ca. 5 cm unter den Torfmoosköpfchen, stehen.
- Die Kosten für die Einrichtung einer Fläche, u.a. für Erdarbeiten, Einrichtung des Wassermanagements und Beimpfung mit Torfmoosmaterial, belaufen sich auf 50.000 – 100.000 Euro je Hektar. Diese Kosten können aus betriebswirtschaftlicher Sicht nur getragen werden, wenn eine Aussicht auf Rentabilität besteht.
- Die Torfmooskultur gilt als innovatives Verfahren und ist noch relativ in den Anfängen. Offen ist, wann sich für ein unter optimierten Bedingungen erzeugtes und qualitätsgesichertes Produkt ein signifikanter und rentabler Markt entwickeln kann.
- Es gibt Skalierungseffekte: Die Torfmooskultur ist umso eher rentabel, je größer die Flächeneinheiten sind, die zusammenhängend bewirtschaftet werden können. Auch kann dann die weitere Verarbeitung und Verwertung besser organisiert werden.
- Eine Zusammenarbeit zwischen örtlicher Torfwirtschaft und Landwirtschaft (Joint Venture) könnte geeignet sein, einen Betrieb für Torfmooskultur auf den Weg zu bringen. Hierzu sind jedoch noch viele Aspekte zu klären.
- Eine Bewirtschaftung der Fläche bedarf einer erheblichen Betriebsumstellung mit großen Risiken. Die Torfmooskultivierung verlangt Spezialwissen, auch ist eine spezielle Technik für die Pflege der nassen Flächen und für die spätere Ernte der Torfmoose erforderlich. Darüber hinaus muss das geerntete Material aufbereitet (geseibt, gedämpft, ggf. tlw. getrocknet) werden.
- Die Einrichtung einer Paludikultur zur Torfmooskultivierung auf der Teilfläche wird derzeit als nicht sinnvoll angesehen, da diese Wirtschaftsform betriebswirtschaftlich nicht interessant ist, und da auch das Umfeld im Hinblick auf eine großräumige, den Skalierungseffekten Rechnung tragende Umsetzung, nicht geeignet erscheint. Für die Umsetzung sind eher betriebsferne sowie großflächig (>> 100 ha) arrondierbare Flächen geeignet.

Fotovoltaik mit Vollvernässung

- In jüngerer Zeit hat sich eine weitere Nutzungsmöglichkeit ergeben, die Freiflächen-Fotovoltaik. Projektierer versprechen Pachten, die es mit den Deckungsbeträgen der Milchwirtschaft aufnehmen können. Auch steht in Aussicht, dass die Langfristigkeit der Nutzung durch Verträge gesichert werden kann. Aus Sicht des Klimaschutzes wäre aber sicherzustellen, dass der Torfkörper nicht weiterhin Treibhausgas emittiert, da ansonsten ein Teil der Emissionsersparnis bei Nutzung der PV-Anlagen im Gegensatz

zu Energiegewinnung aus fossilen Energieträgern durch die Torfoxidation wieder zu nichtegemacht wird. Es wird daher vorgeschlagen, PV-Anlagen auf Moor nur in Verbindung mit einer Vollvernässung aufzustellen.

- Bei der Nutzung für Freiflächen-Fotovoltaik kann der Standort weiter in Privatbesitz bleiben, solange vergleichbare Einkommen zur bisherigen Bewirtschaftung erzielt werden können. Von den Landwirtinnen und Landwirten werden aber auch steuerrechtliche Fragen aufgeworfen, v.a. Bewertung der wirtschaftlichen Aktivität hinsichtlich Gewerbe- und Erbschaftssteuer.
- Es ergeben sich weitere fachlich-technische Fragen:
 - Ist die PV-Anlage am Standort genehmigungsfähig und gibt es Übergabepunkte zum Stromnetz in akzeptabler Nähe?
 - Lässt sich der Standort dauerhaft vernässen?
 - Wie und wann soll die Wiedervernässung eingerichtet werden?
 - Wie können die PV-Anlagen aufgeständert werden, ohne den Staukörper (i.d.R. Schwarztorf) im Liegenden zu stören?
 - Wie lassen sich die Gestelle vor Korrosion schützen und wie kann der Eintrag schädlicher Stoffe (Schwermetalle) von den Gestellen in das Moor vermieden werden?
 - Welche Vorteile bietet die Vernässung im Hinblick auf die Unterdrückung einer möglichen Verbuschung in der Nähe der PV-Paneele und wie ist ggf. der Pflegeaufwand an Verwallungen und Überläufen gegenzurechnen?
 - Wie lassen sich die Anlagen warten und können hierfür trockenere Phasen im Jahr (z.B. September/Okttober) genutzt werden?
 - Wie kann die Wasserführung im Hinblick auf die Etablierung von Torfmoosen und weiteren hochmoortypischen Pflanzen gesteuert werden, wer übernimmt die Steuerung?
 - Gibt es die Möglichkeit Mehraufwendungen oder Mindereinnahmen infolge der Vollvernässung finanziell auszugleichen?
 - Was passiert nach Ende der Nutzung als Fotovoltaik-Standort mit dem Moorstandort und dem Nässeregime?

Vollvernässung und Hochwassergefährdung

- Mit einer Vollvernässung relevanter Flächen ergibt sich die Notwendigkeit einer Neubewertung von Hochwassergefahren für die im Gnarrenburger Moor entlang der Torfkanäle liegenden Siedlungen.
- Besonders kritisch zu sehen sind starke Niederschlagsereignisse im Spätwinter und zeitigem Frühjahr, wenn die Wasserpolder bis zum Überlauf gefüllt sind und es bei zusätzlichem Niederschlag sofort zum Überlauf kommt. Das Niederschlagswasser fließt dann direkt in die Kanäle ab und kann hier zu steigenden Wasserständen führen.
- Dagegen wirken sich die Polder im Sommerhalbjahr und Herbst positiv auf die Wasserrückhaltung aus. Solange der Wasserstand unterhalb des Überlaufes steht, füllen sich die Polder auf und es fließt kein Wasser ab. Bei einem bis zur Mooroberfläche gesättigten Polder und bei einer eingestellten Überstauhöhe von 40 cm können

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

400 mm Wasser gespeichert werden, ohne dass es zum Überlauf kommt. Allein eine Reserve von 5 cm unter Überlauf reicht aus, um 50 mm Starkregen aufzunehmen.

10 Ausblick klimaschonende Landwirtschaft auf Hochmoor

10.1 Ziele für den Klimaschutz auf Moorstandorten

Die Vollvernässung von Moorböden und weiteren kohlenstoffreichen Böden stellt eine effiziente Klimaschutzmaßnahme im Landwirtschaftssektor dar (KNE 2022). Der Schritt der Vollvernässung ist notwendig, um die von Bund und Ländern formulierten Klimaziele zu erreichen. Bis zum Jahr 2030 sollen die jährlichen Treibhausgasemissionen aus Moorböden von ca. 53 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalenten um 5 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente gesenkt werden (Bund 2021). Für eine solche Reduzierung des CO₂-Ausstoßes ist eine ganzjährige Wasserstandsanhhebung auf den Moorflächen notwendig. Diese Maßnahme erfordert eine großflächige Nutzungsänderung von der bisherigen entwässerungsbasierten Nutzung hin zu nassen Bewirtschaftungsformen, nicht-landwirtschaftlichen Nutzungen oder der vollständigen Nutzungsaufgabe. Hierbei soll das Prinzip der Freiwilligkeit seitens der Landwirtinnen und Landwirte für eine Wasserstandsanhhebung und einhergehender Nutzungsänderung im Vordergrund stehen (Bund 2021).

Von Grethe et al. (2021) werden drei Strategien für eine Vollvernässung auf geeigneten Moorstandorten vorgeschlagen. Neben dem Übergang von Flächen in den Naturschutz werden auch nasse und nicht-landwirtschaftliche Nutzungsformen angesprochen.

- Aktuell viel diskutiert wird das Verfahren der nassen Landwirtschaft, der Paludikultur (z. B. Torfmoose, Schilf, Rohrkolben, Erlen). In Zukunft könnten diese neuen Produkte zum Beispiel als Bau- oder Dämmstoffen zunehmend wirtschaftlich interessant sein. Bis diese Produkte marktreif und für die Landwirtschaft interessant werden, bedarf es noch hoher Investitionen in Forschung, Entwicklung und Verarbeitungsstrukturen.
- Als nicht-landwirtschaftliche Nutzungsform wird Fotovoltaik auf vollvernässten Moorstandorten als sinnvoll erachtet. Im Gegensatz zu Fotovoltaik auf mineralischen landwirtschaftlichen Flächen werden zwei zentrale Vorteile genannt: 1) geringerer Landnutzungskonflikt, 2) eine höhere Akzeptanz von Vollvernässung durch die Generierung von Einkommen auf ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen. Der rechtliche Rahmen zur Errichtung von Fotovoltaik auf Moorstandorten wurde aktuell durch angepasste Regelungen in den Erneuerbaren-Energien-Gesetzen, welche in Teilen ab 2023 gültig sind, gegeben. Eine Errichtung von Fotovoltaik auf Moorböden ist nur im

Zusammenhang mit einer Vollvernässung der Fläche förderfähig (KNE 2022). Pilotprojekte mit Begleitforschung zum Beispiel zur Pflege und Auswirkungen auf Vegetation und Verdunstung sollten daher zeitnah umgesetzt werden.

- Einkommensmöglichkeiten für die Landwirtinnen und Landwirte ergeben sich auch bei einer Umwandlung der landwirtschaftlich genutzten Moorflächen in Naturschutzflächen. Dies gilt insbesondere bei Flächen, auf denen Schutzziele im Vordergrund stehen und die Naturschutzwerte z.B. an eine (Pflege-) Mahd oder Beweidung gebunden sind. Aufgrund der häufig hohen Flächenwertverluste bei Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung, ist diese Maßnahmen am ehesten über Flächenerwerb durch die öffentliche Hand oder private Stiftungen umzusetzen.

Der Erhalt einer extensiven und feuchten Grünlandnutzung wird auf Moorstandorten empfohlen, die für eine Vollvernässung nicht infrage kommen. Diese Flächen erfüllen folgende Kriterien: 1) die Bildung von aus Biodiversitätsperspektive besonders wertvollen Mosaikstrukturen und Biotopvernetzungen (FFH), 2) eine geringe Torfauflage, 3) eine technisch besonders schwierige Vollvernässung und 4) eine besondere kulturhistorische Bedeutung. Dabei sollte eine schrittweise Reduktion der feuchten Grünlandnutzung von heute 45% auf 20% in 2045 umgesetzt werden.

10.2 Transformationspfade zur Erreichung der Ziele

Im Modellprojekt Gnarrenburger Moor wurden Maßnahmen entwickelt, die an die bisherigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen der Flächen mit weitgehend unveränderten Absatzwegen anknüpfen. Das geplante interdisziplinäre Folgeprojekt Gnarrenburger Moor 3 geht einen Schritt weiter und verfolgt das Ziel, Lösungen zur Entwicklung und Erprobung von Transformationspfaden (Abbildung 77) zu erarbeiten. Diese Pfade setzen an der aktuellen Situation an und ermöglichen eine Entwicklung in Richtung immer nasserer Bewirtschaftungsverfahren.

Folgende Prämissen liegen der Etablierung der Transformationspfade zugrunde: (1) Moorgrünland bleibt in privatem Besitz und die Umsetzung von Maßnahmen geschieht auf freiwilliger Basis; (2) langfristig wird eine Vollvernässung mit und ohne landwirtschaftlicher Nutzung klimapolitisch angestrebt; (3) in naher Zukunft sind alternative, torferhal-

tende Nutzungen, z.B. durch Torfmooskulturen, für die Betriebe nicht wirtschaftlich, daher wird eine Betriebsumstellung der zahlreichen Milchbetriebe, kurz- bis mittelfristig nicht erfolgen und es sind Übergangslösungen erforderlich.

Die Fernziele im Jahr 2045 beinhalten die Bewirtschaftungsformen der Paludikultur, Fotovoltaik und der Übergang der Moorflächen in den Naturschutz, wie auch in Grethe et al. (2021) vorgeschlagen. Während der Transformationsprozesse sollen auf Flächen mit Grünlandnutzung und Extensivgrünland die Wasserstände so hoch wie möglich eingestellt werden, um möglichst schnell eine klimaschonende Wirkung zu erzielen. Dabei muss allerdings eine Beeinträchtigung der Bewirtschaftung vermieden oder finanziell ausgeglichen werden.

Für Maßnahmen der Wasserstandsanehebung in niederschlagsgespeisten Hochmoorgebieten ist eine große Menge an Zusatzwasser im Sommer erforderlich. Als Bestandteile eines aktiven Wassermanagements können Wasserspeicher eingerichtet werden, die den oberflächlichen Abfluss in der Landschaft, vorwiegend in den Wintermonaten, zurückhalten und der Bereitstellung an Zusatzwasser in den Sommermonaten dienen. Sobald es betriebswirtschaftlich tragfähig ist und die rechtlichen Grundlagen geschaffen sind, kann eine Umstellung auf nasse Bewirtschaftungsformen vollzogen werden. Bei annehmbaren finanziellen Anreizen bis hin zu Flächenerwerb durch die öffentliche Hand kann auch die landwirtschaftliche Nutzung aufgegeben werden und die Fläche für Nass-Fotovoltaik genutzt werden oder brachliegend in die Vollvernässung übergehen. In beiden Fällen ist ein passives Wassermanagement möglich. Das heißt Niederschlagswasser wird während des Winterhalbjahres als Überstau auf der Fläche zurückgehalten und steht für die Verdunstung während der Vegetationsperiode zur Verfügung, so dass die Wasserstände auch am Ende des Sommerhalbjahres nur unwesentlich unter die Geländeoberfläche abfallen.

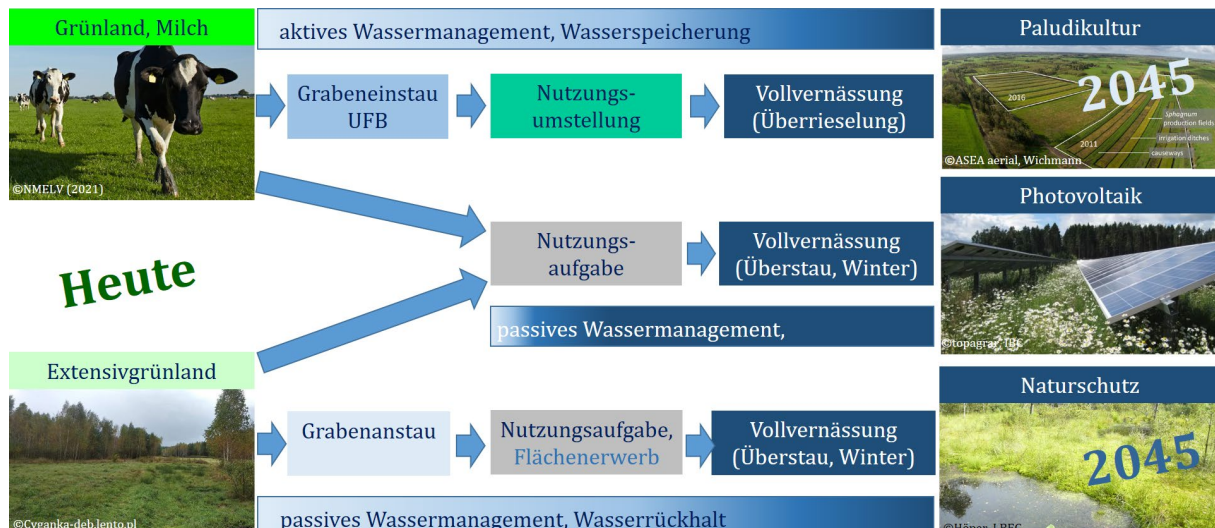


Abbildung 77: Transformationspfade zur Umwandlung der bestehenden Bewirtschaftungsformen zu den zukünftigen Nutzungsformen.

10.3 Zentrale Bedeutung des Wassermanagements

Die Anhebung der Wasserstände auf landwirtschaftlich genutzten Hochmoorstandorten setzt die Vernässbarkeit des Moorkörpers voraus. In Hochmoorgebieten sind die Weißtorfmächtigkeiten und die Eigenschaften der Weißtorfe als wasserleitende Schichten sowie die Schwarztorfmächtigkeiten als Staukörper für die Vernässbarkeit von entscheidender Bedeutung. Im Gnarrenburger Moor ist ein Großteil der Flächen für wasserregulierende Maßnahmen gut geeignet, da es sich um ein relativ großes Moorgebiet mit erheblichen Weiß- und Schwarztorfmächtigkeiten handelt.

Im Laufe der Gnarrenburger Moor Projekte wurde deutlich, dass die wasserregulierenden Maßnahmen einen hohen Bedarf an Zusatzwasser aufweisen. Für die Demonstrationsversuche zur Unterflurbewässerung wurde das benötigte Zusatzwasser aus Grundwasser bereitgestellt. Eine entsprechende Versorgung aller landwirtschaftlichen Nutzflächen des Gnarrenburger Moores würde zu einer Übernutzung des Grundwassers führen. Als Alternative bietet sich eine Rückhaltung hoher Abflüsse, besonders im Winter, und deren Nutzung zur Versorgung der Grünlandflächen im Sommer an. Die großflächige Einrichtung wasserregulierender Maßnahmen erfordert ein aktives Wassermanagement mit ausreichend Speicher- und Pumpsmöglichkeiten, um genügend Zusatzwasser im Gebiet zur Verfügung stellen zu können.

Eine Nutzungsänderung der Hochmoorflächen mit dem Ziel der Vollvernässung kann im Gnarrenburger Moor auf zwei Wegen durchgeführt werden. Zum einen kann die öffentliche Hand einen Teil der Flächen erwerben. Die Moorflächen können gegebenenfalls mit Hilfe von Flurbereinigungsverfahren mit Flächentausch von der Nutzung befreit und in den Naturschutz übergehen. Je nach Standorteigenschaften müssen die Flächen planiert und mit dem anfallenden Oberflächenabtrag Verwallungen modelliert werden. Im Idealfall steht den Flächen, bei Etablierung eines winterlichen Überstaus, im gesamten Jahr ausreichend Wasser zur Verfügung, wodurch ein passives Wassermanagement auf den zu vernässenden Flächen ausreichend wäre.

Zum anderen kann ein Großteil der Flächen in Privatbesitz bleiben. Diese Flächen werden weiterhin privatwirtschaftlich geführt. Da die aktuellen Nutzungsformen auf den Moorflächen (Milchwirtschaft, Rinderweidemast, Moorkartoffel) mit einer Wasserstandsanhöhe nicht mehr vereinbar sind, müssen alternative Nutzungen als adäquater Ersatz entwickelt werden. Aktuell werden die Errichtung von Fotovoltaikanlagen auf wiedervernässten Moorstandorten und eine Umstellung auf Paludikulturen als mögliche zukünftige Einnahmequelle für die Landwirtschaft diskutiert. Der Ansatz der Paludikulturen auf Hochmoor ist zum jetzigen Zeitpunkt sehr teuer in der Einrichtung (100.000 €/ha, perspektivisch 50.000 €/ha) (Wichmann et al., 2020). Eine Betriebsumstellung ist nötig, was mit erheblichen Risiken verbunden ist. Torfmooskulturen sind am ehesten von Torfabbauunternehmen zu betreiben, auch als Joint Venture mit der Landwirtin/dem Landwirt und der Flächeneigentümerin/dem Flächeneigentümer. Die derzeitige Umstellung von Milchbetrieben mit noch nicht abgeschriebenen Investitionen in diese Betriebsform ist nicht zu erwarten. Darüber hinaus erfordern Torfmooskulturen ein aktives und auf ganzjährig sehr gleichmäßig hoch eingestellte Wasserstände ausgerichtetes Wassermanagement (ca. 200 - 300 mm Zusatzwasser, Zielwasserstände ca. 5 cm unter Geländeoberkante). Hierzu muss in erheblichem Umfang Oberflächenwasser auf zusätzlichen Flächen, mit entsprechendem Investitions- und Flächenbedarf, zwischengespeichert werden.

10.4 Unterflurbewässerung als Maßnahme in der Transformationsphase

Mit den wasserregulierenden Maßnahmen des Grabenanstaus und der Unterflurbewässerung wurden innerhalb der Gnarrenburger Moor Projekte unterschiedliche Ergebnisse erzielt.

Die Moorwasserstände konnten mit dem **Grabenanstau**, vor allem im Sommerhalbjahr, nur leicht angehoben werden. Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen ist daher nicht zu erwarten. Ebenfalls konnte die Sackung der Geländeoberfläche mit dieser Maßnahme nicht gemindert werden.

Die stärkste Anhebung der Moorwasserstände wurde mit der **Unterflurbewässerung** generiert. Moorwasserstände von 0,28 m unter Geländeoberkante konnten im Jahresmittel eingestellt werden. Dazu wurden die Grabenwasserstände oberflächennah unter Verwendung von gut 300 mm/Jahr Zusatzwasser eingestaut. Im Versuchsmaßstab wurde hierzu Grundwasser genutzt. Bei einer großflächigeren Umsetzung dieser Maßnahme müsste stärker auf Oberflächenwasser, zwischengespeichert in Becken, zurückgegriffen werden. Die Verfahren zur Wasserbereitstellung können später für die Umstellung auf Paludikulturen genutzt werden, sobald diese wirtschaftlich sind oder rechtlich eingefordert werden und eine Einrichtung dieser Nutzungen ohne größere Probleme möglich ist. Die Klimawirkung der Unterflurbewässerung konnte mit den bisherigen Messungen teilweise belegt werden. Im Teilprojekt „Unterflurbewässerung im Praxisversuch“ wurde ohne Berücksichtigung des Jahres der Versuchseinrichtung im Mittel eine um 25 % (22,5-27,5 %) reduzierte Treibhausgasemission im Vergleich zur nicht vernässten Referenzfläche festgestellt. Im Jahr der Versuchseinrichtung traten allerdings infolge Bodenarbeiten, fehlender Vegetation und hohen Wasserständen rekordverdächtige N₂O-Emissionen auf, eine Koinzidenz von ungünstigen Standortbedingungen, die es zukünftig unbedingt zu vermeiden gilt. Unter Verwendung aktueller Rechenmodelle (Tiemeyer et al., 2020) wäre bei der Unterflurbewässerung, bei den eingestellten Moorwasserständen, eine Reduktion zwischen 20 % und 40 % der Treibhausgasemissionen zu erwarten. Allerdings zeigen die Ergebnisse des Projektes „SWAMPS“, dass eine Unterflurbewässerung zu einer deutlichen Erhöhung der CO₂-Emission im Vergleich zur Referenzfläche führen kann. Entsprechend kann an intensiv genutzten Hochmoorstandorten derzeit nicht von einer sicheren Emissionsminderung durch Unterflurbewässerung ausgegangen werden, unter ungünstigen Umständen besteht dagegen ein Risiko der Erhöhung der Emissionen. Allerdings hat die Unterflurbewässerung die stärkste und nachhaltigste Wasserstandsanhhebung auf Moorgrünland möglich gemacht und damit Potenzial für eine Weiterentwicklung bewiesen. Um verlässlichere Aussagen treffen zu können, sind weitere Langzeitmessungen erforderlich. Die Höhenverluste infolge Sackung, Schrumpfung und Torfmineralisation konnten durch die Wasserstandsanhebungen der Unterflurbewässerungen stark reduziert werden. Wie

dauerhaft dieser Effekt ist bleibt offen. Mit der Einrichtung einer Unterflurbewässerung kann die bisherige Nutzung, mit leichten Einschränkungen, fortgeführt werden. Zeitweise kann die Befahrbarkeit eingeschränkt sein, vor allem in trockenen Jahren hat die Zuwässerung aber auch Vorteile bei der Ertragsentwicklung mit sich gebracht.

Im Modellprojekt wurde die Unterflurbewässerung im Wesentlichen hydrologisch getestet. Eine Optimierung des Verfahrens einschließlich der Bewirtschaftung im Hinblick auf die Klimawirksamkeit steht noch aus. So könnten die Wasserstände noch weiter angehoben werden, solange die Grünlandvegetation nicht beeinträchtigt wird oder gar der Anbau nassetoleranter Gräser mit guter Futterqualität möglich ist. Die Befahrbarkeit bei hohen Wasserständen könnte durch den Einsatz angepasster Technik verbessert werden. Letztendlich könnten auch die Düngung in Art und Menge sowie der Bewirtschaftungsablauf, v.a. Düngungs- und Erntetermine, im Hinblick auf die Minderung der Treibhausgasemissionen optimiert werden.

10.5 Synergien zwischen Nutzungen und Schutzziele in Mooregebieten

Im Zuge der Nutzungsänderung oder auch Nutzungsaufgabe bei den genannten Transformationsprozessen kann ein Teil der landwirtschaftlichen Flächen aus der Nutzung fallen. Mit dem Erwerb durch die öffentliche Hand könnten diese Flächen vollvernässt werden und in den **Naturschutz** übergehen. Im Gegensatz zu bereits abgetorften Flächen ist hier der Torfkörper von bis zu 3 m Mächtigkeit weitgehend erhalten. Wird in dem Mooregebiet ein aktives Wassermanagement betrieben, könnten auch diese Naturschutzflächen in Trockenjahren mit Zusatzwasser versorgt werden. Dies setzt voraus, dass Wasser in entsprechend dimensionierten Becken zwischengespeichert werden kann. Wasserspeicher in der Landschaft bildet die Grundlage für das Entstehen feuchter oder nasser Biotope inklusive der Gräben, in denen entsprechende feuchte- und nasseliebende Arten gefördert werden und können somit zu einer Erhöhung der Biodiversität beitragen. Die Wasserspeicherbecken selber lassen sich allerdings nur begrenzt in Richtung Biodiversität entwickeln, da hier die Speicherfunktion mit hohen Wasserständen zu Winterausgang und die Möglichkeit der Wasserentnahme im Sommerhalbjahr im Vordergrund stehen.

Die im Gebiet bereits vorhandenen Abtorfungsflächen sind künstliche Senken in der Landschaft und stellen nach Abschluss der Torfgewinnung ideale Becken für die Wasserspeicherung dar. Allerdings ist die Wiedervernässung und Renaturierung der Flächen Teil

der Genehmigungsaufgaben zur Kompensation des Eingriffs in die Natur durch den Bodenabbau. Gegebenenfalls können durch Flächentausch/Kompensation die Naturschutzauflagen der Abtorfungsflächen auf ehemals landwirtschaftlich genutzten und wiedervernässten Flächen (mit höherer Torfauflage) nach Flächenerwerb durch die öffentliche Hand gelenkt werden. So könnten ehemalige Abtorfungsflächen, auf denen sich noch keine Zielbiotope eingestellt haben, als Speicherbecken genutzt und hierin Wasser sowohl für Naturschutzzwecke z.B. der Wiedervernässung, als auch zur Wasserstandsanehebung auf landwirtschaftlichen Flächen genutzt werden. Der Wasserrückhalt im Gebiet könnte auch der Reduzierung der Nährstoffausträge in die größeren Oberflächengewässer und die Vorflut dienen.

Eine reine Extensivierung von landwirtschaftlich genutzten Mooren ohne Wasserstandsanehebung kann nur begrenzt zum Klimaschutz beitragen. Die der Oxidation weiterhin ausgesetzten Torfe werden mineralisiert und geben klimaschädliches CO₂ in erheblichen Mengen ab. Dazu kommt, dass vor allem Milchviehbetriebe bei einer Extensivierung von bisher intensiv genutztem Grünland den Aufwuchs aufgrund der geringen Futterqualität nicht mehr als Viehfutter nutzen können. Der betriebswirtschaftliche Verlust, z.B. durch Abstockung der Tierbestände bzw. Mehraufwand bei der Futterbeschaffung, müsste finanziell über Jahre ausgeglichen werden.

Vernässung und Wasserrückhalt in der Landschaft können einen Einfluss auf **Hochwasserereignisse** haben. Vollvernässte Flächen können zumindest zeitweise, wenn die Flächen bis zu den Überläufen angestaut sind, keine weiteren Niederschläge aufnehmen und geben das Wasser direkt an die Vorfluter ab. Für solche Bedingungen ist eine Hochwasserlamelle, d.h. ein freies Speichervolumen in Höhe des zu erwartenden Abflusses, vorzuhalten. Bei entsprechendem Risikoausgleich kann der Wasserabfluss am Ort der Entstehung, d.h. auf der Moorfläche, zurückgehalten werden, wenn ein kurzzeitiger und flacher Überstau technisch generiert (flache Verwallung und Staumöglichkeit) und von den Kulturpflanzen toleriert werden kann. Bei einem Niederschlagsereignis von 100 mm wäre ein Überstau von max. 10 cm bei flachem Gelände abzüglich eines sich füllenden Porenraumes im Boden vorzusehen. Ein gebietsbezogenes Wassermanagement für die Vernässung von Moorstandorten muss immer zusammen mit den Aspekten des Hochwasserschutzes flächendeckend geplant werden.

10.6 Sektorübergreifende Zusammenarbeit

Die **Kooperation** des Modellprojektes Gnarrenburger Moor hat maßgeblich dazu beigetragen die Akzeptanz gegenüber klima- und torfschonenden Maßnahmen im Moor zu steigern. Durch die Teilnahme von Vertreterinnen und Vertretern aus der Landwirtschaft, dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, der Landwirtschaftskammer, der Ostfalia Hochschule, eines Sprechers der kooperierenden Landwirtinnen und Landwirte und lokaler Akteure aus Gemeinde, Verwaltungsbehörden und berufsständischen Organisationen war ein sektorübergreifender Austausch möglich. In Kooperationstreffen wurden Maßnahmen und deren Umsetzungen in Teilgebieten der Modellregion diskutiert, beraten und beschlossen, wodurch Interessen und praxisnahe Empfehlungen der betroffenen Menschen vor Ort direkt in die Konzepte einbezogen wurden. Für die Umsetzung der klimaschonenden Maßnahmen ist aus Sicht der Kooperationsteilnehmenden eine ganzheitliche Betrachtung des Gebietes notwendig, welche die Interessen von Anwohnerinnen und Anwohnern und des Hochwasser-, Natur- und Klimaschutzes mit einbezieht und im besten Fall zu Win-win-Situationen für alle Beteiligten führt.

Ein Beispiel ist die Installation von Fotovoltaik auf vollvernässten Moorstandorten. Die Agrarstrukturelle Erhebung in der Modellregion Gnarrenburger Moor hatte zum Ergebnis, dass für viele Landwirtinnen und Landwirte die Chancen, als Geschäftsmodell auf eigenen Flächen über Verpachtung oder Beteiligung an einer Betreibergesellschaft Einkommen aus Freiflächen-Fotovoltaik zu erzielen, einen starken Anreiz ausüben. Der hier zur Diskussion stehende Vollvernässungsansatz ist mit einer Win-win-Situation für Klimaschutz, Flächeneigentümerinnen und Flächeneigentümern und Energiewende verbunden, wenn der sektorübergreifende Beitrag zur Energiewende einbezogen wird. Aus Sicht des NABU können bei durchdachten Konzepten wenig artenreiche Flächen sogar ökologisch aufgewertet werden und neue Lebensräume auf zuvor intensiv genutzten Flächen entstehen (NABU Positionspapier 2022).

Bei der Umsetzung der Klimaschutzziele in Moorgebieten müssen ebenfalls die Interessen der Anwohnerinnen und Anwohner mit betrachtet werden. Die Menschen im Moor sind auch weiterhin auf die lokale Infrastruktur, Wirtschaft und Tourismus angewiesen. Eine geeignete Anordnung und Gestaltung der Flächen mit Klimaschutzmaßnahmen kann auch hier zu Win-win-Situationen führen.

Von den Entscheidungsträgern wird erwartet, dass politische Entscheidungen und durchfinanzierte Maßnahmen einschließlich Flächenankäufe entwickelt werden, die die Umsetzung der klimaschonenden Landwirtschaft auf Moorstandorten und der teilweisen Vollverrässung in einem großen Umfang ermöglichen.

Danksagung

Die Autorinnen und Autoren danken der Europäischen Union und dem Land Niedersachsen für die Bereitstellung von Finanzmitteln aus dem EFRE-Förderprogramm „Klimaschutz durch Moorentwicklung“ (Gnarrenburger Moor – Gebietskonzept und Wassermanagement, ZW6-85048368, und Modellprojekt Gnarrenburger Moor – Unterflurbewässerung im Praxisversuch, ZW6-85023359). Darüber hinaus sei den kooperierenden Landwirtinnen und Landwirten aus dem Gnarrenburger Moor sowie den weiteren Beteiligten an der Kooperation (der Sprecher der kooperierenden Landwirtinnen und Landwirte und lokale Akteure aus Gemeinde, Verwaltungsbehörden und berufsständischen Organisationen) für die aktive Zusammenarbeit und die vielen Diskussionen gedankt, aus denen wichtige Erkenntnisse für die Maßnahmenumsetzung eingeflossen sind. Des Weiteren sei den ehemaligen Kolleginnen und Kollegen Isabelle Vogel, Dr. Stefan Frank, Dr. Merten Minke und Arne Tegge für ihren Einsatz im Projekt gedankt.

Literatur

Blankenburg, J. & Scheffer, B. (2008). Nährstoffausträge gedränter landwirtschaftlicher Flächen Nordwest-Deutschlands. In: DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hrsg.): DWA-Themen: Dränung: Nährstoffausträge, Flächenerfassung und Management, Hennef.

Buchen, C., Well, R., Helfrich, M, Fuß, R., Kayser, M., Gensior, A., Benke, M., Flessa, H. (2017). Soil mineral N dynamics and N₂O emission following grassland renewal. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 246, 325-342.

Bund (2021): Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorschutz, unterzeichnet am 20. Oktober. 2021 in Berlin, 13 Seiten.

- Eggelsmann, R. (1990): Ökohydrologie und Moorschutz. In: Karlhans Göttlich und Fritz-Rudolf Averdieck (Hg.): Moor- und Torfkunde. Mit 63 Tabellen im Text und auf 2 Ausschlagtafeln. 3., vollständig überarb., erg. u. erw. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart.
- Eickenscheidt T., Freibauer, A., Heinichen, J., Augustin, J., Drösler, M. (2014). Short-term effects of biogas digestate and cattle slurry application on greenhouse gas emissions from high organic carbon grasslands. *Biogeosciences* 11, 6187-6207.
- Ellenberg, H. (1990): Bauernhaus und Landschaft in ökologischer und historischer Sicht, Stuttgart 1990, S. 178.
- Flessa, H., Wild, U., Klemisch, M., Pfadenhauer, J. (1998). Nitrous oxide and methane fluxes from organic soils under agriculture. *European Journal of Soil Science* 49, 327–335.
- Frank, S. (2016). Factors controlling concentrations and losses of dissolved carbon and nitrogen from disturbed bogs in Lower Saxony (Germany). PhD thesis, Leibniz-Universität Hannover, Hannover, Germany.
- Frank, S., Tiemeyer, B., Gelbrecht, J., Freibauer, A. (2014). High soil solution carbon and nitrogen concentrations in a drained Atlantic bog are reduced to natural levels by 10 years of rewetting. *Biogeosciences* 11, 2309-2324.
- Graf, M., Höper, H. und Hauck-Bramsiepe, K. (Redaktion) (2022): Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen. *GeoBerichte* 45, 1-120.
- Grethe, H., Martinez, J., Osterburg, B., Taube, F., & Thom, F. (2021). Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität.
- Höper, H. (2022): Treibhausgasemissionen der Moore und weiterer kohlenstoffreicher Böden in Niedersachsen - Geofakten 38.
- Kalinski, K., Sieber, A. C., Höper, H. (2021): Effects of water management on peatland water table and peatland subsidence. In: TELMA - Berichte der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde, Band 51: 13 - 40, DOI: <https://doi.org/10.23689/fidgeo-5336>.
- Kalinski, K., Höper, H., Kruse-Dörgeloh, H., Lange, G., Schröder, U., Tegge, A., Vogel, I. (2021): Modellprojekt "Gnarrenburger Moor". Abschlussbericht. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.

KNE (2022): Fotovoltaik auf wiedervernässten Moorböden - Eine neue Flächenkulisse im EEG 2023. 18 S.

Landesamt für Statistik Niedersachsen (2022): Landwirtschaftszählung 2020, Heft 1A+B, Gemeindeergebnisse: Betriebsgrößenstruktur, Bodennutzung, Viehhaltung, Betriebswirtschaftliche Ausrichtung (BWA), Ökologischer Landbau, Hannover.

LWK Positionspapier (2021): Positionspapier der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zu Freiflächen-Fotovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen; 06.12.2021.

NABU Positionspapier (2022): Solarparks naturverträglich ausbauen, Anforderungen des NABU an naturverträgliche Fotovoltaik Freiflächenanlagen; Beschluss des NABU, Bund-Länder-Rat 13.3.2022.

NIBIS ® Kartenserver (2021): Hydrogeologie, Grundwasserneubildung (mGROWA22). – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover.

Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2022): Neue AUKM ab 2022 - Alle Maßnahmen der neuen Förderperiode auf einen Blick. https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/agrarforderung/agrarumweltmassnahmen_aum/aum_details_zu_den_massnahmen/aukm-ab-2022-alle-massnahmen-der-neuen-forderperiode-auf-einen-blick-209981.html.

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2016). Programm Niedersächsische Moorlandschaften - Grundlagen, Ziele, Umsetzung. 72 Seiten.

Offermanns, L., Tiemeyer, B., Dettmann, U., Rüffer, J., Düvel, D., Brümmer, C. (2023). High greenhouse gas emissions after grassland renewal on bog peat soil. *Agricultural and Forest Meteorology*, Article 109309, <https://doi.org/10.1016/j.agrfor-met.2023.109309>.

Pagenkemper, S. et al (2021) Das Projekt SWAMPS – Verfahrensanalysen und Handlungsoptionen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen und zum Schutz von Mooren für landwirtschaftlich genutztes Grünland. Abschlussbericht der Projektjahre 2015 bis 2021. Grünlandzentrum Niedersachsen-Bremen, Ovelgönne. <https://www.gruenlandzentrum.org/swamps-ergebnisse/>.

- Poyda, A., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R., Taube, F. (2016). Greenhouse gas emissions from fen soils used for forage production in northern Germany. *Biogeosciences* 13, 5221-5244.
- Renou-Wilson, F., Barry, C., Müller, C., Wilson, D. (2014). The impacts of drainage, nutrient status and management practice on the full carbon balance of grasslands on organic soils in a maritime temperate zone. *Biogeosciences* 11, 4361–4379.
- Renou-Wilson, F., Müller, C., Moser, D., Wilson, D. (2016). To graze or not to graze? Four years greenhouse gas balances and vegetation composition from a drained and a rewetted organic soil under grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 222, 156–170.
- Säurich, A., Tiemeyer, B., Dettmann, U., Don, A. (2019). How do sand addition, soil moisture and nutrient status influence greenhouse gas fluxes from drained organic soils? *Soil Biology and Biochemistry* 135, 71-84.
- Tiemeyer, B., Albiac-Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drösler, M., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Roßkopf, N., Sommer, M. & Zeitz, J. (2016). High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biology* 22(12), 4134-4149.
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Albiac-Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M. & Drösler, M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 109, Artikel 105838.
- Weideveld, S.T.J., Liu, W., van den Berg, M., Lamers, L.P.M., Fritz, C. (2021). Conventional subsoil irrigation techniques do not lower carbon emissions from drained peat meadows. *Biogeosciences* 18, 3881–3902.

Anhang

Anhang 1: Klimadaten

Tabelle 38: Niederschlag, Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz, saisonal Summen für Sommer, Winter und Jahr in mm. MW – Mittelwert, KWB = klimatische Wasserbilanz

Zeitraum	Niederschlag	Verdunstung	KWB
Winter 16/17	347	111	237
Sommer 17	518	373	144
Winter 17/18	387	133	254
Sommer 18	245	574	-329
Winter 18/19	336	161	175
Sommer 19	427	455	-28
Winter 19/20	357	159	198
Sommer 20	335	433	-98
Winter 20/21	309	113	196
Sommer 21	479	353	126
Winter 21/22	395	142	253
Sommer 22	335	454	-120
Jahr 2017	932	486	446
Jahr 2018	572	709	-137
Jahr 2019	754	615	139
Jahr 2020	698	588	110
Jahr 2021	794	467	327
Jahr 2022	736	601	135
Alle Winter MW	355	137	219
Alle Sommer MW	401	438	-37
Alle Jahre MW	750	573	177

Tabelle 39: Niederschlag, Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz, monatlich monatliche Summen nach Jahr in mm. KWB = klimatische Wasserbilanz

Zeitraum	Niederschlag	Verdunstung	KWB
2017	931,5	486	445,5
1	65,5	7,5	58
2	58,7	11,6	47,1
3	74,6	30,7	43,9
4	46,4	43,1	3,3
5	45,2	79,6	-34,4
6	127	80,9	46,1
7	90,3	71,5	18,8

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

Zeitraum	Niederschlag	Verdunstung	KWB
8	41,2	72,6	-31,4
9	93,7	42,1	51,6
10	120,1	26,6	93,5
11	88,2	11,7	76,5
12	80,6	8,1	72,5
2018	572,3	709,1	-136,8
1	115,7	10,2	105,5
2	10,5	13,6	-3,1
3	32	20,3	11,7
4	60	69,4	-9,4
5	14,2	143,1	-128,9
6	38,8	97,9	-59,1
7	43,8	105,7	-61,9
8	56,7	106,2	-49,5
9	38,2	73,3	-35,1
10	53	47,6	5,4
11	21,5	14,6	6,9
12	87,9	7,2	80,7
2019	754,2	615,4	138,8
1	75,5	9,3	66,2
2	37	25,8	11,2
3	89,4	23,8	65,6
4	24,8	80,1	-55,3
5	41,6	69,2	-27,6
6	52,6	108	-55,4
7	53,7	95,3	-41,6
8	64,4	106,9	-42,5
9	102,5	49,3	53,2
10	112,5	26,1	86,4
11	62,9	9,2	53,7
12	37,3	12,4	24,9
2020	697,9	588	109,9
1	58,8	8,3	50,5
2	132,7	14,3	118,4
3	51,3	32,4	18,9
4	14,1	82,8	-68,7
5	35,9	78,2	-42,3
6	58,3	97	-38,7
7	71	65,5	5,5
8	63,2	114,3	-51,1
9	40,5	57,5	-17
10	66,5	20,7	45,8
11	27,5	11,6	15,9
12	78,1	5,4	72,7
2021	793,6	466,6	327
1	64,5	6,6	57,9

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

Zeitraum	Niederschlag	Verdunstung	KWB
2	34,5	18,1	16,4
3	61,8	25,5	36,3
4	42,6	45,7	-3,1
5	120,4	45,4	75
6	48,3	92,5	-44,2
7	84,3	79	5,3
8	115,1	55,8	59,3
9	41,5	47,6	-6,1
10	69,4	32,6	36,8
11	38,6	11,6	27
12	72,6	6,2	66,4
2022	735,6	600,6	135
1	57,6	8,6	49
2	156,9	14,7	142,2
3	15,3	42,1	-26,8
4	54,3	59	-4,7
5	51,9	86,4	-34,5
6	58,1	91,1	-33
7	44	94,7	-50,7
8	20,7	92,2	-71,5
9	119,8	54,6	65,2
10	40	35,3	4,7
11	39,6	15,6	24
12	77,4	6,3	71,1

Anhang 2: Wasserstände in den Demonstrationsversuchen

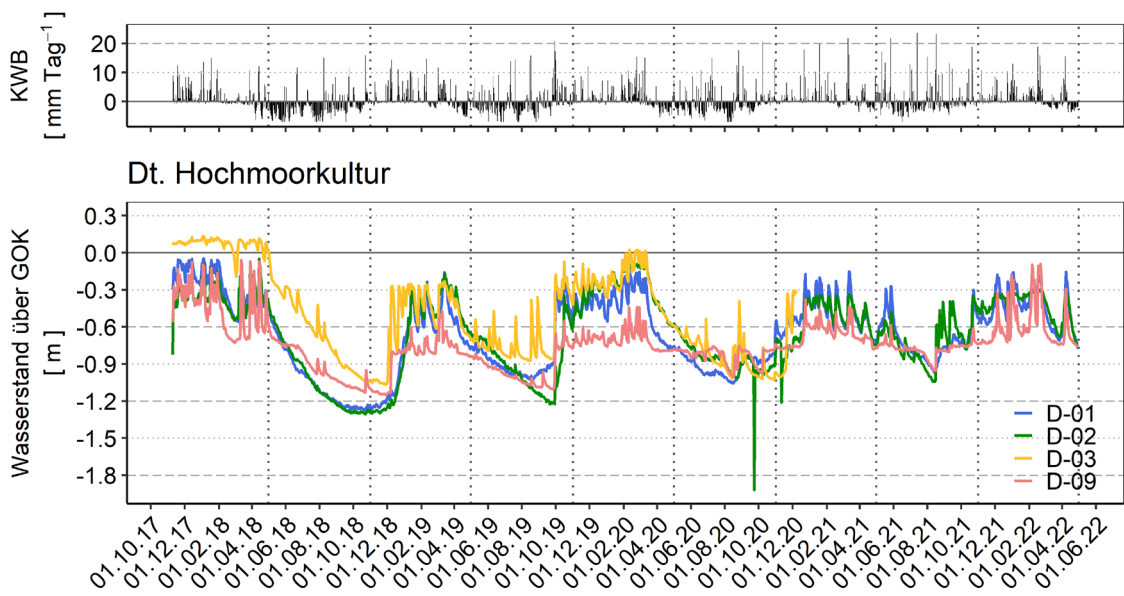


Abbildung 78: Jahrgang der Wasserstände auf D01, D02, D03 und D09 (nicht vernässt) und KWB. Wasserstände in m über Geländeoberkante (GOK). KWB: klimatische Wasserbilanz

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

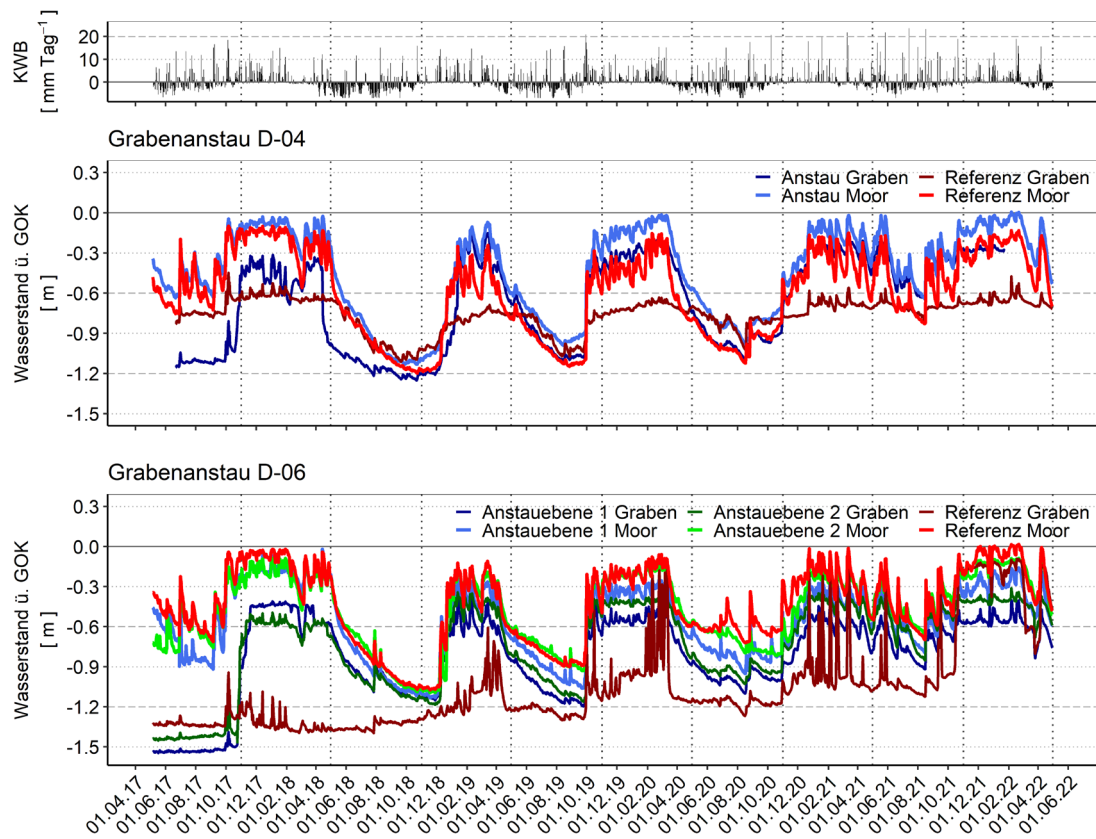


Abbildung 79: Jahrgang der Wasserstände auf D04 und D06 (Grabenanstau), KWB Moorwasserstände in m über Geländeoberkante (GOK), auf der Versuchsfläche und der Referenzfläche

Tabelle 40: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D04 (Grabenanstau) Wasserstände in m über Geländeoberkante. Wi – Winter, So – Sommer, MW – Mittelwert der Messstellen Ost und West.

Zeitraum	Anstau Ost Moor	Anstau West Moor	Referenz Ost Moor	Referenz West Moor	Anstau Graben	Referenz Graben	Anstau Moor MW	Referenz Moor MW
Wi 17/18	0,00	-0,18	-0,12	-0,23	-1,19	-1,72	-0,09	-0,18
So 18	-0,74	-1,02	-0,88	-0,99	-1,85	-2,04	-0,88	-0,94
Wi 18/19	-0,45	-0,58	-0,57	-0,82	-1,38	-1,96	-0,51	-0,69
So 19	-0,62	-0,84	-0,84	-0,97	-1,58	-2,02	-0,73	-0,91
Wi 19/20	-0,14	-0,24	-0,36	-0,56	-1,07	-1,84	-0,19	-0,46
So 20	-0,74	-0,85	-0,95	-0,96	-1,67	-1,95	-0,80	-0,96
Wi 20/21	-0,20	-0,32	-0,40	-0,46	-1,09	-1,86	-0,26	-0,43
So 21	-0,27	-0,44	-0,52	-0,61	-1,14	-1,85	-0,35	-0,57
Wi 21/22	-0,06	-0,18	-0,27	-0,32	-0,99	-1,78	-0,12	-0,29
Jahr 2018	-0,53	-0,74	-0,65	-0,77	-1,65	-1,94	-0,64	-0,71
Jahr 2019	-0,41	-0,58	-0,61	-0,81	-1,35	-1,96	-0,50	-0,71
Jahr 2020	-0,47	-0,59	-0,68	-0,76	-1,40	-1,90	-0,53	-0,72
Jahr 2021	-0,19	-0,33	-0,43	-0,49	-1,08	-1,84	-0,26	-0,46
alle Jahre	-0,40	-0,56	-0,59	-0,71	-1,37	-1,91	-0,48	-0,65
alle Wi	-0,17	-0,30	-0,34	-0,48	-1,14	-1,83	-0,23	-0,41
alle So	-0,59	-0,79	-0,80	-0,88	-1,56	-1,97	-0,69	-0,84

Tabelle 41: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D05 (Unterflurbewässerung) Wasserstände in m über Geländeoberkante. UFB – Unterflurbewässerung.

Zeitraum	UFB		Referenz	
	Moor	Graben	Moor	Graben
Winter 18/19	-0,34	-0,28	-0,48	-1,15
Sommer 19	-0,43	-0,28	-0,67	-1,10
Winter 19/20	-0,21	-0,31	-0,18	-0,72
Sommer 20	-0,46	-0,30	-0,50	-1,02
Winter 20/21	-0,19	-0,27	-0,16	-0,92
Sommer 21	-0,32	-0,27	-0,41	-0,95
Winter 21/22	-0,16	-0,25	-0,15	-0,85
Jahr 2019	-0,35	-0,28	-0,45	-1,03
Jahr 2020	-0,33	-0,30	-0,35	-0,92
Jahr 2021	-0,25	-0,26	-0,28	-0,93
Alle Jahre	-0,31	-0,28	-0,36	-0,96
Alle Winter	-0,22	-0,28	-0,25	-0,91
Alle Sommer	-0,40	-0,28	-0,52	-1,02

Tabelle 42: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D06 (Grabenanstau). Wasserstände in m über Geländeoberkante. E1/E2 – Ebene 1 bzw. 2.

Zeitraum	Anstau E1 Nord / Süd	Anstau E2 Nord / Süd	Referenz Nord / Süd	Anstau E1/E2 Graben	Referenz Graben
Winter 17/18	0,00 / -0,24	0,00 / -0,26	-0,08 / -0,06	-0,31 / -0,28	-1,27
Sommer 18	-0,82 / -0,87	-0,70 / -0,85	-0,86 / -0,75	-0,81 / -0,73	-1,31
Winter 18/19	-0,65 / -0,58	-0,48 / -0,62	-0,57 / -0,53	-0,63 / -0,48	-1,15
Sommer 19	-0,91 / -0,76	-0,72 / -0,73	-0,90 / -0,63	-0,87 / -0,72	-1,21
Winter 19/20	-0,46 / -0,38	-0,21 / -0,38	-0,37 / -0,28	-0,48 / -0,28	-0,96
Sommer 20	-0,99 / -0,69	-0,76 / -0,73	-0,81 / -0,53	-0,89 / -0,75	-1,19
Winter 20/21	-0,60 / -0,39	-0,33 / -0,43	-0,39 / -0,27	-0,54 / -0,33	-0,96
Sommer 21	-0,59 / -0,56	-0,40 / -0,49	-0,49 / -0,49	-0,60 / -0,39	-0,96
Winter 21/22	-0,34 / -0,36	-0,19 / -0,22	-0,21 / -0,17	-0,46 / -0,25	-0,27
Jahr 2018	-0,57 / -0,67	-0,50 / -0,69	-0,63 / -0,55	-0,65 / -0,60	-1,30
Jahr 2019	-0,69 / -0,58	-0,49 / -0,56	-0,64 / -0,48	-0,68 / -0,50	-1,15
Jahr 2020	-0,79 / -0,54	-0,54 / -0,58	-0,61 / -0,41	-0,72 / -0,55	-1,07
Jahr 2021	-0,51 / -0,47	-0,31 / -0,41	-0,39 / -0,36	-0,53 / -0,33	-0,82
alle Jahre	-0,60 / -0,56	-0,41 / -0,56	-0,51 / -0,41	-0,65 / -0,50	-1,08
alle Winter	-0,41 / -0,39	-0,24 / -0,38	-0,32 / -0,26	-0,48 / -0,32	-0,35
alle Sommer	-0,83 / -0,72	-0,65 / -0,70	-0,77 / -0,60	-0,79 / -0,65	-0,68

Tabelle 43: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D07 (Unterflurbewässerung). Wasserstände in m über Geländeoberkante. UFB – Unterflurbewässerung.

Zeitraum	UFB		Referenz	
	Moor	Graben	Moor	Graben
Winter 18/19	-0,14	-0,22	-0,42	-0,91
Sommer 19	-0,36	-0,19	-0,70	-0,88
Winter 19/20	-0,08	-0,35	-0,23	-0,91
Sommer 20	-0,44	-0,15	-0,89	-0,92
Winter 20/21	-0,09	-0,16	-0,42	-0,94
Sommer 21	-0,23	-0,14	-0,41	-0,92
Winter 21/22	-0,08	-0,14	-0,14	-0,90
Jahr 2019	-0,22	-0,23	-0,48	-0,89
Jahr 2020	-0,27	-0,21	-0,63	-0,93
Jahr 2021	-0,15	-0,14	-0,33	-0,93
Alle Jahre	-0,22	-0,19	-0,48	-0,91
Alle Winter	-0,10	-0,22	-0,30	-0,92
Alle Sommer	-0,34	-0,16	-0,67	-0,91

Tabelle 44: Saisonale und jährliche Wasserstände auf D12 (Unterflurbewässerung) Wasserstände in m über Geländeoberkante. F – Flächenpegel (Mittig zwischen zwei Dränrohren), FT – Flächenpegel (Mittig zwischen F und Dränrohr), 1-3 – jeweils Bezeichnung der Ebene, MW = Mittelwert über die Ebenen 1, 2a, 2b und 3.

Zeitraum	F 1	FT 1	F 2a	FT 2a	F 2b	FT 2b	F 3	FT 3	F MW	FT MW
Winter 2019/20	-0,10	-0,13	-0,22	-0,29	-0,20	-0,20	-0,30	-0,32	-0,21	-0,24
Sommer 2020	-0,35	-0,30	-0,36	-0,34	-0,31	-0,27	-0,38	-0,38	-0,35	-0,32
Winter 2020/21	-0,17	-0,25	-0,23	-0,32	-0,25	-0,26	-0,35	-0,42	-0,25	-0,31
Sommer 2021	-0,35	-0,37	-0,32	-0,33	-0,31	-0,28	-0,35	-0,38	-0,33	-0,34
Winter 2021/22	-0,10	-0,18	-0,12	-0,16	-0,13	-0,08	-0,10	-0,19	-0,11	-0,15
Jahr 2020	-0,23	-0,23	-0,28	-0,31	-0,25	-0,24	-0,33	-0,35	-0,27	-0,28
Jahr 2021	-0,25	-0,30	-0,26	-0,30	-0,27	-0,25	-0,31	-0,37	-0,27	-0,31
Alle Winter	-0,13	-0,19	-0,19	-0,26	-0,19	-0,18	-0,25	-0,31	-0,19	-0,24
Alle Sommer	-0,35	-0,34	-0,34	-0,34	-0,31	-0,28	-0,37	-0,38	-0,34	-0,34
Alle Jahre	-0,24	-0,27	-0,27	-0,31	-0,26	-0,24	-0,32	-0,36	-0,27	-0,30

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

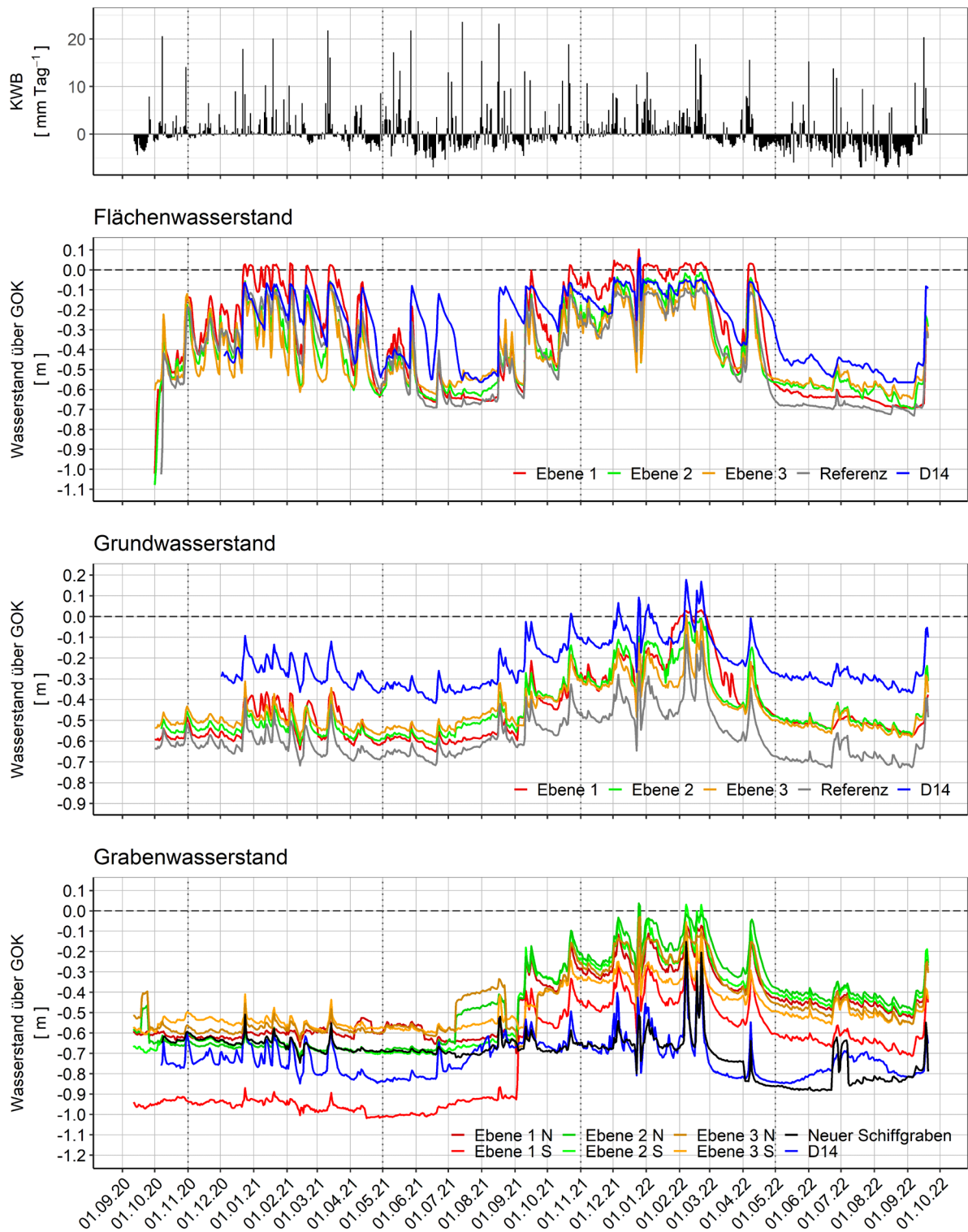


Abbildung 80: Jahresgang der Wasserstände von Anstauerebenen 1-3, Grundwasser und Gräben auf D13 (Grabenanstau) und D14 (Referenz), KWB, Wasserstände in m über Geländeoberkante (GOK), N – Nord, S – Süd

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

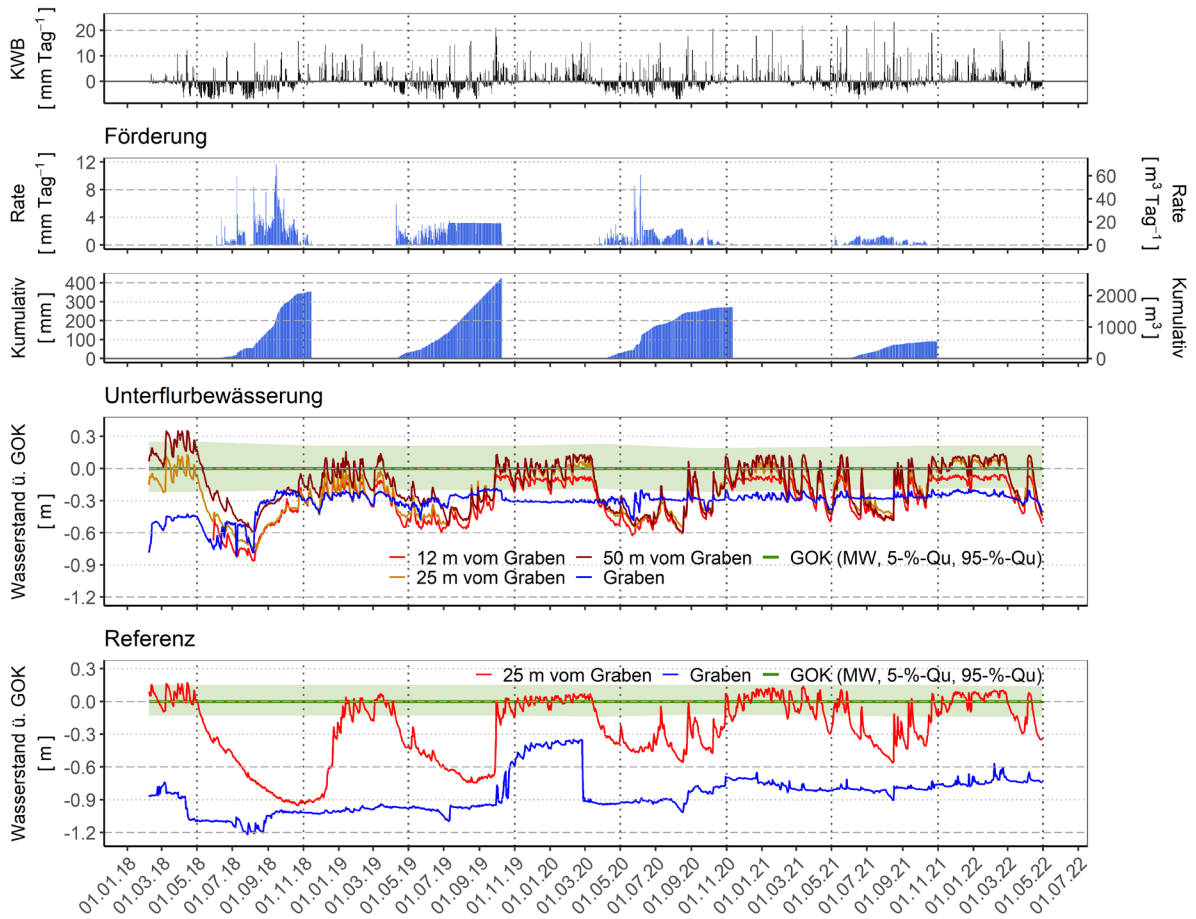


Abbildung 81: Jahresgang der Wasserstände und der täglichen Wasserförderraten auf D05 (Unterflurbewässerung und Referenz), KWB Jährlich kumulierte Fördermenge. Wasserstände in m über Geländeoberkante (GOK).

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

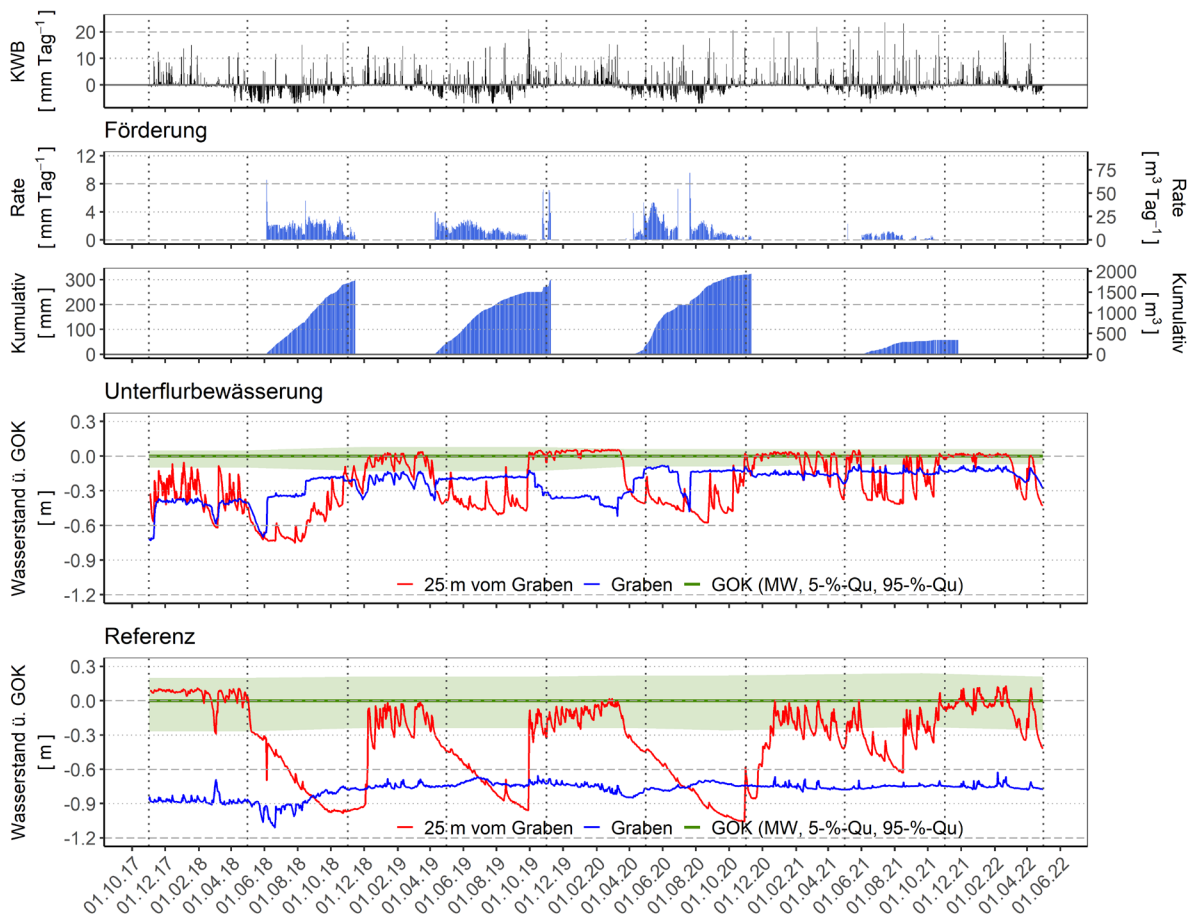


Abbildung 82: Jahrgang der Wasserstände und der Wasserförderraten auf D07 (Unterflurbewässerung und Referenz), KWB Jährlich kumulierte Fördermenge. Wasserstände in m über Geländeoberkante (GOK).

Gebietskonzept und Wassermanagement & Unterflurbewässerung im Praxisversuch

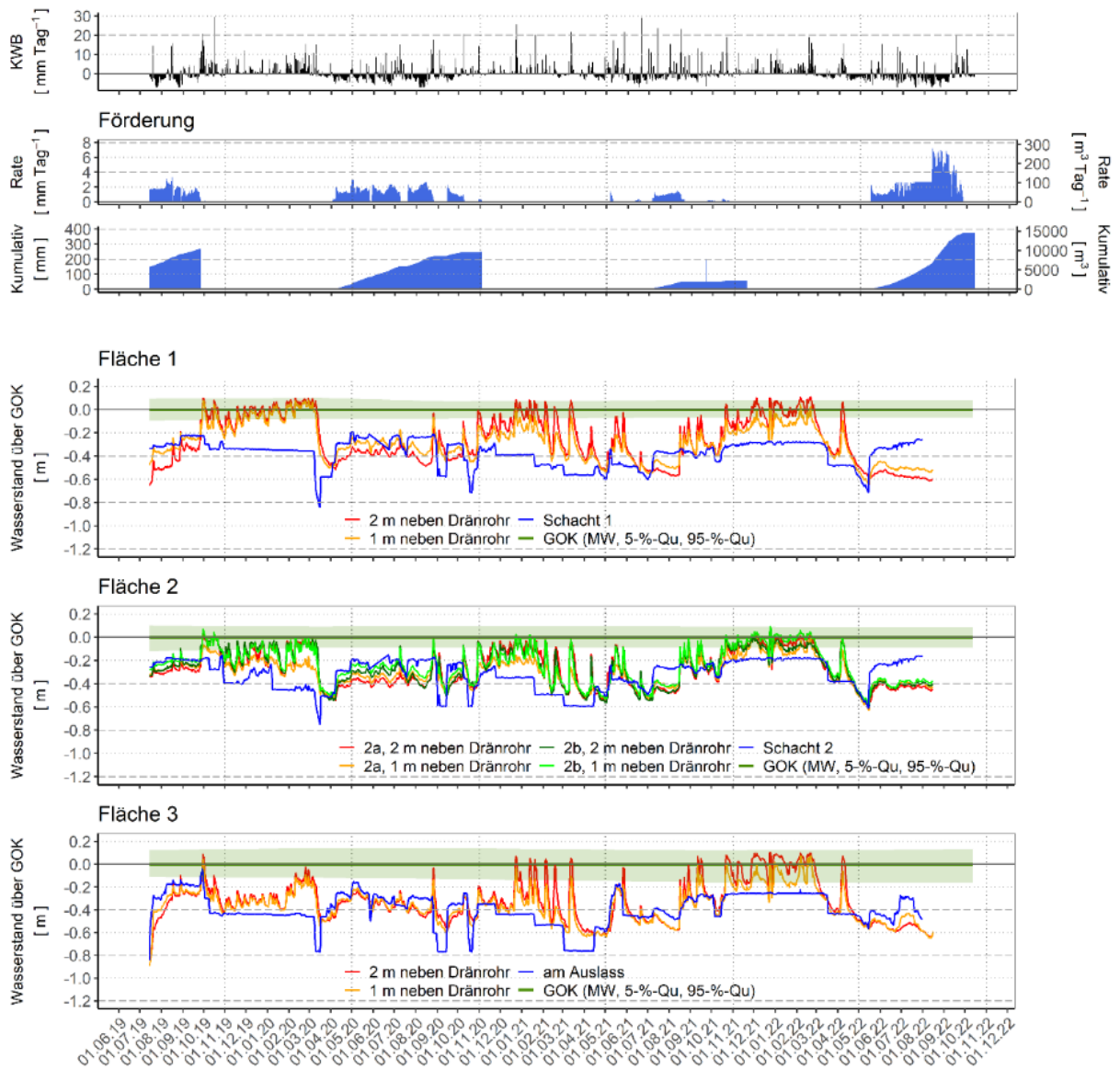


Abbildung 83: Jahrgang der Wasserstände und der Wasserförderraten auf D12 (Unterflurbewässerung), KWB jährlich kumulierte Förder- bzw. Abflussmenge. Wasserstände in m über Geländeoberkante (GOK).

Anhang 3: Methoden zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen und der Wasserqualität im Praxisversuch zur Unterflurbewässerung (Thünen-Institut)

Treibhausgasaustausch und Steuerfaktoren

Austausch von Kohlendioxid (CO₂)

Im Modellprojekt „Gnarrenburger Moor“ wurde der CO₂-Austausch mit der mikrometeorologischen Eddy-Kovarianz-Methode gemessen, die eine quasi-kontinuierliche Erfassung des Netto-Ökosystemaustauschs von CO₂ über eine größere Fläche erlaubt. Der Eddy-Turm und die Stromversorgung durch Solarpanele und Generator wurden Mitte März 2019 installiert, so dass etwa einen Monat vor der Grünlanderneuerung mit der Messung der CO₂-Flüsse begonnen wurde. Für das erste Bilanzjahr („Bilanzjahr 2019“) wurde der Zeitraum 21.03.2019 bis 20.3.2020 festgesetzt. Das zweite und dritte Bilanzjahr („Bilanzjahr 2020“ und „Bilanzjahr 2021“) basierten folglich auf den Perioden vom 21.03.2020 bis 20.03.2021 und 21.03.2021 bis 20.03.2022. Es wurden folgende Daten aufgenommen (Abbildung 84):

- Windgeschwindigkeit (3D Ultraschall-Anemometer, Gill HS-50)
- CO₂- und Wasserdampfkonzentration (Infrarot-Gasanalysator, Licor LI-7200RSF Enclosed CO₂/H₂O Analyzer)
- Strahlungsbilanz (kurzwellige und langwellige Ein- und Ausstrahlung, K&Z CNR4 Net Radiometer)
- photosynthetisch aktive Strahlung (Licor LI-190 PAR Sensoren)
- Niederschlag (RM Young Kippwaage)
- Bodenwärmestrom (5 Hukseflux HFP01SC selbstkalibrierende Bodenwärmestromplatten)
- Bodentemperatur (UMS Bodentemperatur-Profilsonde)
- Lufttemperatur und -feuchte (Vaisala HMP155A/E)

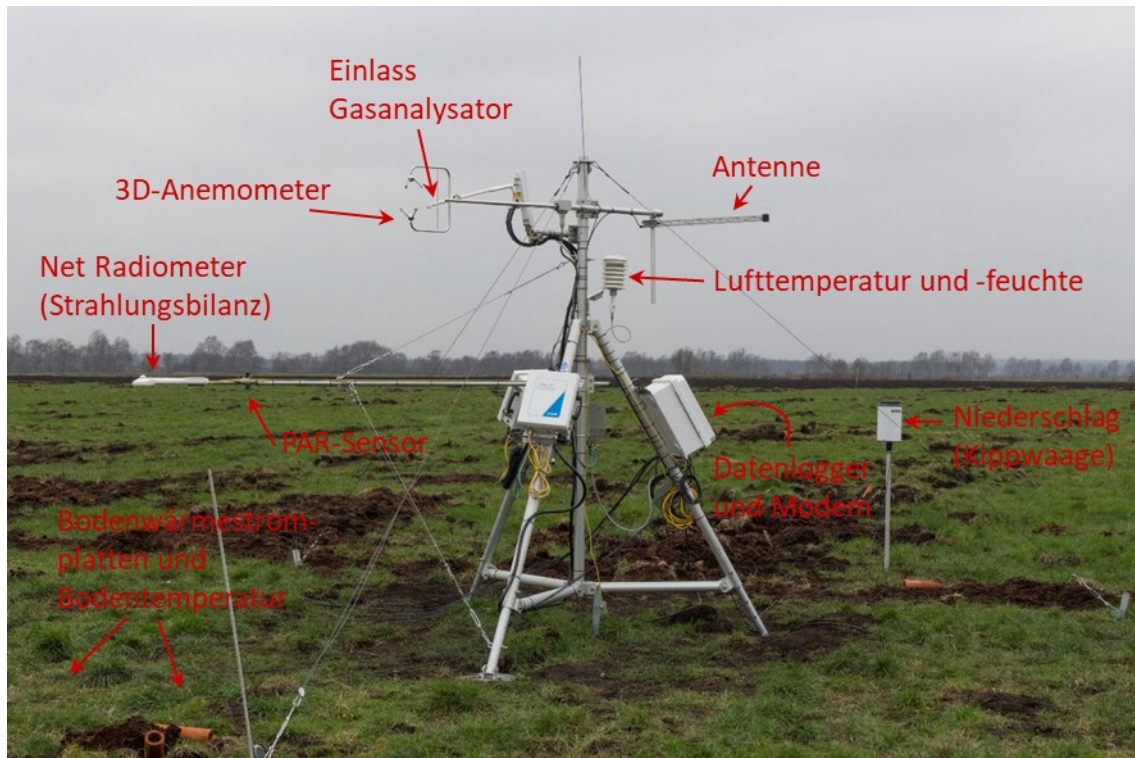


Abbildung 84: Eddy-Turm mit Gasanalysator, 3D Anemometer und meteorologischen Sensoren

Die Daten wurden auf einem Datenlogger gespeichert und per GSM-Modem nach Braunschweig übertragen, so dass die Funktionstüchtigkeit des Systems regelmäßig überwacht und auf Störungen zeitnah reagiert werden konnte. Der Eddy-Turm wurde vor der Planung und Grünlanderneuerung entfernt und zwei Tage später wieder in der Feldmitte positioniert. Bodenwärmestromplatten und Bodentemperaturlanzen wurden ebenfalls ausgebaut und wiedereingesetzt. Während weiterer Bewirtschaftungsschritte (siehe Kapitel 6.1.2) verblieb der Eddy-Turm an seinem Standort.

Aus den Rohdaten, die vom Eddy-Turm mit einer Abtastrate von 20 Hz aufgenommen wurden, wurden mit Hilfe der Prozessierungssoftware EddyPro (v. 7.0.6, Licor) halbstündliche Netto-Ökosystemflüsse (NEE) berechnet. Dabei wurden standardisierte und bereits erprobte Korrektur- und Qualitätskontrollverfahren verwendet. Berücksichtigt wurden hier beispielsweise das Einhalten von gerätespezifischen Messbereichen und die Detektion von Ausreißern, aber auch die theoretischen Voraussetzungen, wie das Vorhandensein ausreichender turbulenter sowie stationärer Verhältnisse. Anschließend wurden so entstandene oder bereits vorher vorhandene (bspw. Ausfall von Messgeräten) Lücken mit dem R Packet „REddyProc“ (Wutzler et al., 2018) wieder aufgefüllt. Hierbei kamen die meteorologischen Variablen Globalstrahlung, latente und sensible Wärmeflüsse, Luft- und Bodentemperatur, relative Luftfeuchte und Wasserdampfdefizit zum Einsatz, die im Gegensatz zu NEE fast alle nahezu durchgängig vorhanden waren. Aus den NEE-Flüssen

wurde dann über die Nacht-Partitionierungsmethode (Reichstein *et al.*, 2005) die Bruttoprimärproduktion (GPP) und Ökosystematmung (Reco) ausgerechnet. Details zur Prozessierung der Eddy-Kovarianz-Daten sind in Offermanns *et al.* (2023) zu finden.

Die Herkunft der von einem Eddy-Kovarianz-System erfassten CO₂- und H₂O-Moleküle hängt von Windrichtung und Windgeschwindigkeit ab. Um für die gemessenen CO₂-Emissionen repräsentative Wasserstände abzuleiten, wurde für die Standorte mit Unterflurbewässerung eine sogenannte „Footprint Analyse“ nach Kljun *et al.* (2002, 2015) durchgeführt. Dazu wurden zunächst unter Nutzung eines digitalen Geländemodells flächenhaft Moorwasserstände abgeschätzt und diese mit für jeden Halbstundenwert mit dem Footprint verschnitten. Halbstundenwerte, die aus Richtung der nassen Senke stammten, wurden für die Messjahre 2020 und 2021 grundsätzlich ausgeschlossen und die Lücken wie oben beschrieben gefüllt. Im ersten Messjahr (2019) war die Senke noch kaum ausgeprägt, so dass ein Ausschluss der Daten aus dieser Windrichtung nicht notwendig war. Für den Referenzstandort wurden die Wasserstände am Dränrohr und in Dränbeetmitte gemittelt.

Emissionen von Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄)

Im Februar 2019 wurde mit dem Aufbau der Einrichtungen für die Haubentechnik zur Messung von CH₄ und N₂O begonnen. Es wurden zwei Messstandorte („Sites“) mit jeweils drei Wiederholungen („Plots“) eingerichtet (UFB 1), d.h. Stege und Bodenrahmen installiert und in jedem Plot Bodenfeuchte- und Temperatursensoren eingebaut. Eine Site befand sich in der Mitte zwischen zwei Dränrohren, die zweite direkt auf einem Dränrohr (Abbildung 85). Die Messvarianten am Referenzstandort (REF) wurden ebenfalls in Dränbeetmitte und direkt auf dem Dränrohr eingerichtet.



Abbildung 85: Einrichtungen zur Messung der Methan- und Lachgasflüsse (UFB_1) mit nicht transparenten Hauben und semi-automatischen Probenehmern auf einem Dränrohr (vorne) und in der Mitte zwischen zwei Dränrohren (hinten).

Die Einrichtung der Fläche (Fräsen, Planieren, Neuansaat) machte es erforderlich, dass das gesamte Equipment direkt vor der Grünlanderneuerung abgebaut und direkt anschließend wiederaufgebaut wurde, so dass CH_4 - und N_2O -Flüsse zeitnah vor und nach der Maßnahme gemessen werden konnten. Aufgrund dieser umfangreichen Maßnahme fand die zeitaufwändige Installation der Bodenfeuchtesensoren in tieferen Horizonten, der Tensiometer und der Saugplatten erst nach der Grünlanderneuerung statt.

Da der Wasserstand für Ebene 3 im Gegensatz zu den anderen Teilflächen im ersten Jahr nicht optimal eingestellt werden konnte, wurde im Juni 2020 ein zweiter Standort mit zwei Messvarianten für die Messung von N_2O und CH_4 in Feld 2 eingerichtet (UFB 2). Die Einrichtung umfasst wiederum drei Plots auf einem Dränrohr und drei in Dränbeetmitte.

Die regulär 14-tägigen Haubenmessungen auf D12 starteten Mitte Februar 2019. Zusätzliche Messkampagnen wurden bei Düngung dieser Fläche oder des Referenzstandortes sowie nach der Grünlanderneuerung im April 2019 durchgeführt. Analog zu den CO_2 -Messungen wurden die Messungen dem „Bilanzjahr 2019“ (21.03.2019-20.3.2020), dem „Bilanzjahr 2020“ (21.03.2020-20.3.2021) und dem „Bilanzjahr 2021“ (21.03.2021-20.3.2022) zugeordnet. Zur Messung der CH_4 - und N_2O -Flüsse wurden nicht-transparente Hauben für 80 Minuten auf die Bodenrahmen aufgesetzt, gasdicht verschlossen und im

Abstand von 20 Minuten mit semi-automatischen Probenehmern insgesamt 5 Gasproben entnommen. Diese wurden im Labor des Thünen-Instituts gaschromatographisch analysiert. Zusätzlich wurde an jedem Messtermin die Vegetationshöhe bestimmt. Die Düngung und Beerntung der Plots erfolgt manuell und zeitnah zur Bewirtschaftung der Gesamtfläche. Allerdings waren die Plots – wie auch weitere große Teile der Gesamtfläche – im Jahr 2019 lange Zeit vegetationsfrei, so dass ein Mähen von Unkräutern am 10./11.07.2019 entfiel.

Die CH₄- und N₂O-Flüsse wurden aus dem Konzentrationsanstieg oder dem Konzentrationsabfall während einer Messkampagne linear oder nichtlinear separat für jeden einzelnen Messplot berechnet (Fuß, 2019). Die Entscheidung zwischen robust linearer (Huber, 1981) und nichtlinearer Methode (HMR = „Hutchinson-Mosier-Regression“, Pedersen *et al.*, 2010) erfolgte anhand des „ κ_{\max} -Kriteriums“ (Hüppi *et al.*, 2018). HMR wurde gewählt, wenn der Wert des nichtlinearen Formparameters des HMR-Ansatzes κ , den Wert κ_{\max} nicht überschritt. Der Wert von κ_{\max} ergab sich aus dem mittels linearer Regression berechneten Fluss, der Genauigkeit der GC-Messungen und der Verschlussdauer der Hauben (Hüppi *et al.*, 2018).

Die parallel am GC bestimmten CO₂-Konzentrationen wurden genutzt, um eventuelle Undichtigkeiten, Ausreißer oder vertauschte Proben zu identifizieren, da bei der Verwendung nicht-transparenter Hauben ein Absinken der CO₂-Konzentrationen in der Messhaube biologisch nicht erklärbar ist. Wenn CO₂-Konzentrationen eines Messpunkts mehr als 10 ppm niedriger waren als die des vorhergehenden Messpunkts, wurde einer der beiden Messpunkte je nach Güte der linearen Regression des CO₂-Flusses von der weiteren Flussberechnung ausgeschlossen. Flussmessungen mit mehr als einem Ausreißer wurden komplett verworfen. Schließlich wurden Flussmessungen eines Messplots ausgeschlossen, wenn der CO₂-Fluss niedriger als 30% des maximalen CO₂-Flusses der beiden anderen Messplots war (Details in Offermanns *et al.*, 2023).

Aus verbliebenen Flüssen wurden dann mittels linearer Interpolation Jahreswerte des N₂O- und CH₄-Austauschs berechnet. Die Abschätzung der Standardfehler der Jahresbilanzen erfolgte über eine Kombination von Bootstrapping und Jackknife (Günther *et al.*, 2014).

Ober- und unterirdische Biomasse

Zur Bestimmung des Kohlenstoffexports durch die Ernte wurden direkt vor jeder Ernte Biomasseproben aus 4 (Referenz) bzw. 8 (Unterflurbewässerung) zufällig verteilten Rahmen (0,50 m x 0,50 m) sowie von den Messplots für CH₄ und N₂O entnommen. Die Proben wurden getrocknet, gewogen und Kohlenstoffgehalte per Elementaranalyse bestimmt. Zusätzlich wurden mit einem „Plate-Meter“ Vegetationshöhen an insgesamt 16 (Referenz) und 48 (Unterflurbewässerung) Punkten gemessen. Der Zusammenhang zwischen Vegetationshöhe und Biomasse wurde genutzt, um die Exporte besser abschätzen zu können. Im ersten Messjahr wurde zusätzlich aufgrund der heterogenen Biomasseentwicklung und der selektiven Entfernung des unerwünschten Aufwuchses zusätzlich auf Informationen des Landwirts zurückgegriffen.

Zur Bestimmung der Wurzelbiomasse wurden im April 2021 und im April 2022 (also zwei und drei Jahre nach Grünlanderneuerung) umfangreiche Beprobungskampagnen durchgeführt. Dazu wurden in jedem Quadranten der Versuchsfläche mit Unterflurbewässerung sowie zusätzlich in der Senke vier Beprobungsplots zufällig verteilt. In jedem Plot wurde die oberirdische (grüne) Biomasse sowie die verbliebenen (braunen) Stoppel abgeschnitten und dann drei Proben (0-30 cm) mit einem Wurzelbohrer genommen (Abbildung 86). Am Referenzstandort wurden ebenfalls insgesamt 20 Plots beprobt. Da sich die Dichte von Wurzeln und Torf kaum unterscheidet, mussten die Wurzelproben manuell gewaschen (Abbildung 86) und mit Pinzetten sortiert werden (definierte Sortierzeit pro Probe). Anschließend wurden die Wurzeln getrocknet, gewogen und der Kohlenstoffgehalt per Elementaranalyse bestimmt.

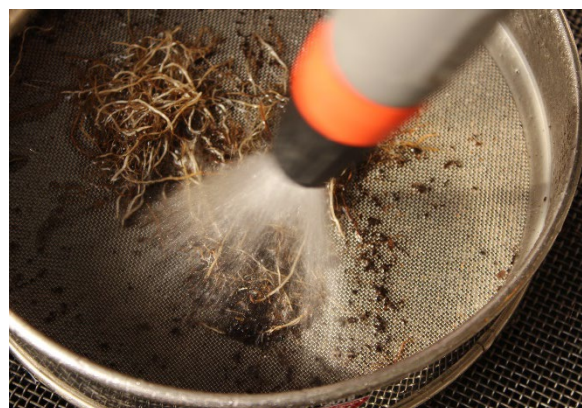


Abbildung 86: Plot für die Wurzelbeprobung nach Entfernen der oberirdischen Biomasse (links) und Waschen der Wurzelproben (rechts)

Bodenhydrologie und Standorteigenschaften

In den einzelnen THG-Messplots wurden Bodenfeuchten oberflächennah und Bodentemperaturen in 2 cm Tiefe gemessen. Zusätzlich wurden sowohl am Referenzstandort als auch bei D12 (nur UFB_1) Bodenfeuchte und Saugspannung in 15, 30 und 50 cm Tiefe in jeweils drei Wiederholungen in Dränbeetmitte und in 15 cm in drei Wiederholungen auf dem Dränrohr gemessen.

Im Zuge des Einbaus der Saugplatten wurden Bodenprofile aufgenommen (exemplarisch in Tabelle 45 für UFB_1 und in Tabelle 46 für REF) und horizontbezogene Proben zur Bestimmung von chemischen (Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt, pH-Wert) und physikalischen (Lagerungsdichte, bodenhydraulische Eigenschaften) Parametern entnommen. Auch an den weiteren Messvarianten wurden Bodenprofile angelegt und Bodenproben entnommen.

Tabelle 45: Exemplarisches Bodenprofil (Normerdhochmoor) am Standort mit Unterflurbewässerung (Site UFB_1) an der THG-Messvariante zwischen den Dränrohren, C_{org}: Organischer Bodenkohlenstoff, TN: Gesamtstickstoff, TRD: Trockenrohdichte, n.b.: nicht bestimmt.

Tiefe (cm)	Horizont	Substrat	ZG nach v. Post	C _{org} (%)	TN (%)	TRD (g cm ³)	pH	Farbe	Beimengungen	Sonstige Merkmale
20	hHvp	Ha	H10	46,6	2,22	0,21 ± 0,01	4,2	schwarzbraun, gräulich	Feinsand, Wurzelfilz, Hhsy als Brocken	Gefräst, stark durchwurzelt
53	hHw1	Hhsa	H2	51,8	1,09	0,13 ± 0,06	3,7	Dunkelbraun	Bsy3, Be1, Bi1	Schwach durchwurzelt, nach unten abnehmend
92	hHw2	Hhs	H3	53,4	1,17	0,09 ± 0,01	3,7	Gelblich braun	Bir1	Plattig geschichtet, Hhsa (H2) und Hhsu (H4) im Wechsel
105	hHr1	Hhsu	H5	54,5	1,27	0,10 ± 0,01	3,7	Bräunlich gelb	Bi1	Plattig geschichtet
>105	hHr2	Hhs	H6	56,3	1,24	0,10 ± 0,01	n.b.	Orange-dunkelbraun	Bsu2, Bi2, Be2	

Tabelle 46: Exemplarisches Bodenprofil (Normerdhochmoor) am Referenzstandort an der THG-Messvariante zwischen den Dränrohren, C_{org}: Organischer Bodenkohlenstoff, TN: Gesamtstickstoff, TRD: Trockenrohdichte, n.b.: nicht bestimmt. Sandbeimengung beim Profil an der Messvariante auf dem Dränrohr nicht vorhanden

Tiefe (cm)	Horizont	Substrat	ZG nach v. Post	C _{org} (%)	TN (%)	TRD (g cm ⁻³)	pH	Farbe	Beimengungen	Sonstige Merkmale
5	hHv	Ha	H10	36,3	1,89	0,36 ± 0,03	4,4	Schwarzgrau	Feinsand	
22	hHv-Hw	Hhs	H2	49,4	0,89	0,11 ± 0,00	3,9	Hellbraun	Bih1	
43	hHw1	Hhs	H3	52,0	0,94	0,10 ± 0,00	3,6	Dunkelbraun	Be1, Bi1, Bih	Plattig geschichtet
63	hHw2	Hhs	H3	55,6	1,12	0,01 ± 0,00	3,4	Schwarzbraun	Be2, Bi1	Plattig geschichtet
68	hHw-hHr	Hhs	H2	51,9	0,67	n.b.	3,4	Rotbraun	Bi1	
77	hHr1	Hhs	H6	55,4	1,01	0,11 ± 0,00	3,4	Braun	Be2	
117	hHr2	Hhs	H4	56,0	1,12	0,08 ± 0,00	3,5	Orangebraun		
225	hHr3	Hhs	H6	57,9	1,13	n.b.	n.b.	Dunkelbraun	Be2	

Wasserqualität

Direkt unter den drei Plots der THG-Messvarianten zwischen den Dränrohren wurden im Anschluss an die Grünlanderneuerung (an UFB_1) bzw. schon im Herbst 2018 (an REF) je drei Saugplatten in 15, 30 und 60 cm Tiefe von einer Profilwand aus eingebaut (Abbildung 87). Für den neu eingerichteten Standort UFB_2 wurden die Saugplatten in 15 und 30 cm ebenfalls untern den drei Plots in Dränbeetmitte im Juni 2020 installiert.



Abbildung 87: Einbau von Saugplatten: Lage der Saugplatten (links), Einbau unter die Rahmen (Mitte), fertig eingebaute Saugplatten und Silikonschläuche zur Beprobung (rechts). Die Bilder wurden bei der Installation am Referenzstandort aufgenommen, Einbautiefen und -methode sind an beiden Standorten gleich.

In 30 und 60 cm Tiefe konnten an UFB_1 Ende April 2019 das erste Mal Wasserproben entnommen werden, in 15 cm Tiefe war dies aufgrund der vorher herrschenden Trockenheit erst seit Ende Mai 2019 möglich. Durch die Tensiometer war es möglich, den Unterdruck in den Saugflaschen den aktuellen bodenhydrologischen Bedingungen anzupassen und Artefakte durch unterdruckbedingten Bodenwasserfluss zur verringern. An UFB_2 konnten Anfang Juli 2020 die ersten Wasserproben genommen werden. Je nach Bodenfeuchten bzw. Tensionen war es im Sommer nicht möglich, durchgängig Wasserproben zu gewinnen.

Das in Saugflaschen gesammelte Wasser wurde je nach Verfügbarkeit in zweiwöchentlichem Rhythmus im Zuge der Haubenmessungen entnommen. Weitere Wasserproben wurden ab Mitte März 2019 aus den T-Stücken (Dränzugänge) und dem Flächenauslass entnommen. Dies erfolgte an den Terminen der Haubenmesskampagnen, d.h. regulär 14tägig und häufiger nach Düngeaktivitäten. Außerdem wurde im September 2019 mit dem zur gleichen Zeit am Gebietsauslass installierten Venturi-Gerinne ein automatischer Probennehmer verbunden, der eine höhere Probenahmefrequenz erlaubte. Die Probenahme von Grundwasser erfolgte ab Ende Oktober 2019. Am Referenzstandort wurden seit Herbst 2018 Proben aus den beiden angrenzenden Gräben (G1, G2) entnommen, wobei G1 ebenfalls mit einem automatischen Probennehmer ausgestattet wurde.

Proben der T-Stücke, Gräben und des Gebietsauslasses wurden auf 0,45 µm gefiltert (PES Membranfilter, Pall Life Science) und bei 4°C (DOC-Analyse) bzw. -20°C gelagert. Anschließend wurden folgende Parameter analysiert, wobei zu berücksichtigen ist, dass im Falle der Saugplatten nicht zu allen Terminen genügend Probenmaterial für alle Analysen zur Verfügung stand. Die Analyse erfolgt entsprechend folgender Prioritäten und mit den genannten Geräten:

- 1) Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert (vor Ort)
- 2) Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) (DIMATOC 2000, DIMATEC)
- 3) Nitrat, Ammonium und Phosphat (Ionenchromatographie-System, Metrohm)
- 4) Gelöster Gesamt-Stickstoff TDN (Total Nitrogen Analyzer TN-100, Mitsubishi). Der gelöste organische Stickstoff (DON) wurde folgendermaßen berechnet:

$$\text{DON} = \text{TDN} - \text{NO}_3\text{-N} - \text{NH}_4\text{-N}$$

Aufgrund gerätespezifischer Unsicherheiten ist die Summe des anorganischen Stickstoffs ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) teilweise größer als TDN. Dies ist ein in der Literatur bekanntes Problem bei Proben mit hohen NO_3 -Konzentrationen. Aus Ergebnisse zu Proben mit sehr geringen NO_3 -Konzentrationen wurden tiefen- und standortspezifische DOC:DON-Verhältnisse abgeleitet. Diese waren zeitlich ausreichend konstant, um aus diesen Verhältnissen und den DOC-Konzentrationen DON-Konzentrationen und darauf aufbauend TDN-Konzentrationen abzuleiten.

- 5) Gelöster Gesamt-Phosphor TDP (ICP-OES, Thermo Scientific)

Proben wurden zwei Tage vor der Messung aufgetaut und angesäuert.

Aufgrund der Maßnahmen zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie, insbesondere in Bezug auf die Personenanzahl in Gebäuden und Laborräumen ist es 2020 (und 2021) zu erheblichen Verzögerungen in der Analyse der Wasserproben gekommen, so dass Daten teilweise zu spät bzw. nicht vollständig vorlagen, um für diesen Bericht verwendet zu werden.

Auch traten in den Jahren 2021 und 2022 erhebliche technische Probleme mit der Abflussmessung auf. In Kombination mit akutem Personalmangel können vollständige Ergebnisse zur Wasserqualität erst im Rahmen des Projektes „Effekte einer etablierten Unterflurbewässerung auf Treibhausgasemissionen und Wasserqualität“ vorgelegt werden.

Anhang 4: Auswirkungen des Grabenanstaus im Demoversuch D13 auf die östlich gelegene Fläche D14

Versuchsaufbau und Messeinrichtungen

Der Demoversuch D13 ist wie in Abbildung 67 dargestellt aufgebaut. Es wurden je 3 Stau-einrichtungen als Erdwälle mit Knick-Überlaufrohren in den beiden Gräben nördlich (G-Nord) und südlich (G-Süd) der Versuchsfläche eingerichtet, die die Fläche in 3 Anstau-ebenen (Anstau-ebenen 1 bis 3) unterteilen. Der Grabenanstau wurde am 03.09.2021 durch Herstellung der Dämme aktiviert und am 21.09.2021 erfolgten Nacharbeiten an den Stau-einrichtungen von Anstau-ebene 3. Auf der Versuchsfläche wurden auf jeder Ebene auto-matische Messstellen zur Erfassung der Grundwasser- (Rohre im Mineralischen verfil-tert) und Moorwasserstände (im Torf verfiltert) eingerichtet. Auch die Gräben nördlich und südlich der Fläche wurden je Anstau-ebene mit einer Wasserstandsmessstelle verse-hen, ebenso der westlich gelegene Neue Schiffgraben. Östlich der Versuchsfläche D14 wurde eine weitere Versuchsfläche ohne Anstau etabliert, um Effekte des Anstaus von D13 auf diese Fläche untersuchen zu können. Diese wurde mit 3 Messstellen zur Erfas-sung der Graben-, Moor- und Grabenwasserstände ausgestattet. Südlich der Versuchsflä- che befinden sich zwei Referenzmessstellen zur Messung von Grund- und Moorwasser- ständen (K1-GW und K1-Torf).

Zur Dokumentation der Effekte des Grabenanstaus gibt es 3 Informationsebenen:

1. Grabenwasserstände („Graben“)
2. Grundwasserstände im mineralischen Untergrund („GW“)
3. Moorwasserstände: Stauwasserstände im Torfkörper, jeweils dort, wo es auch eine Grundwassermessstelle gibt („Torf“)

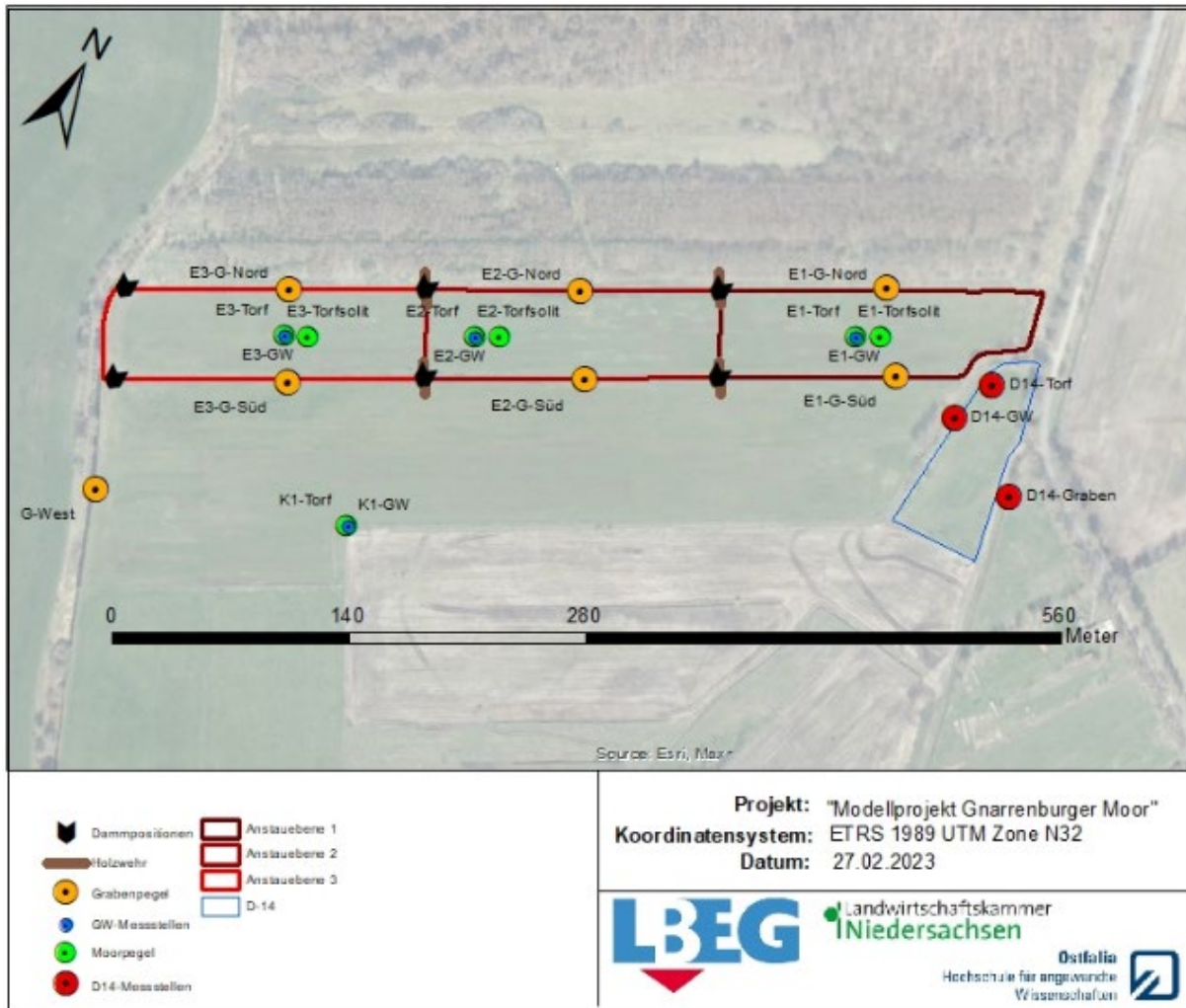


Abbildung 88: Lageplan von D13 (Grabenanstau im Niedermoor). Position der Dämme in den Gräben, Anstauenebenen 1 bis 3, Lage der Wasserstands-Messstellen als Grabenpegel (G), Grundwasser-Messstellen (GW) sowie Moorwassermessstellen (Torf), Kontrollmessstellen K1 (GW und Torf) sowie Fläche D14 mit Messeinrichtungen (Graben, GW, Torf)

Grabenwasserstände

Die Grabenwasserstände an der Fläche D13, der Kontrolle und der Nachbarfläche D14 sind in Abbildung 89 dargestellt. Beispielhaft sind hier die Effekte auf Anstauenebene 1 dargestellt, die am dichtesten an der Nachbarfläche D14 liegt. Durch den Grabenanstau auf Ebene 1 ab 03.09.2021 werden die Wasserstände in dem nördlich und südlich der Versuchsfläche gelegenen Gräben im Winterhalbjahr um 0,32 bzw. 0,46 m angehoben (E1-G-Nord von 2,28 auf 2,60; E1-G-Süd von 2,14 auf 2,60 mNN). Im Vergleich der Frühjahrs- und Sommermonate April bis August zwischen den Jahren 2021 (vor dem Anstau) und

2022 (mit dem Anstau) ist eine Anhebung der Grabenwasserstände um 0,1 bis 0,15 m erkennbar.

Dagegen bleiben die Grabenwasserstände auf D14 (D14-Graben) unverändert, wie sich am Vergleich der Monate April bis September 2021 und 2022 erkennen lässt. Die auf D14 im Herbst- und Winterhalbjahr zwischen August 2021 und März 2022 erhöhten Grabenwasserstände stiegen schon vor dem Anstau witterungsbedingt an und wurden durch den Anstau selber nicht direkt beeinflusst. Dies kann man daran erkennen, dass Anfang September bei Etablierung des Anstaus, kein Anstieg des Grabenwasserstandes zu verzeichnen war.

Fazit 1: Der Anstau der Gräben nördlich und südlich der Versuchsfläche D13 hat keinen Einfluss auf den Wasserstand des Grabens östlich der Fläche D14.

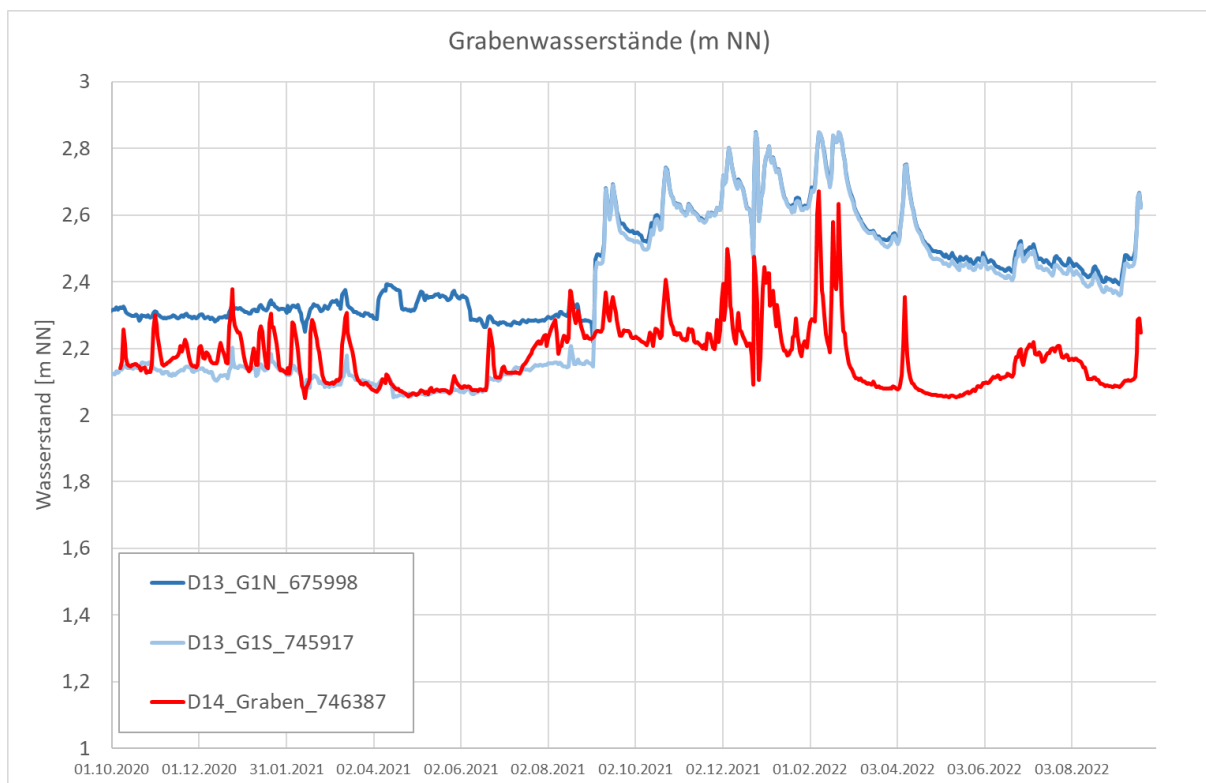


Abbildung 89: Grabenwasserstände auf D13 und D14. in m NN in den Gräben nördlich (D13_G1N) und südlich (D13_G1S) der Versuchsfläche sowie westlich der Fläche D14 (D14_Graben)

Grundwasserstände

In Abbildung 90 sind die Grundwasserstände der östlichen Ebene 1 des Demoversuchs D13, der Fläche D14 und auf der südlich gelegenen Kontrollfläche D13_K1 dargestellt. Im Vergleich der Monate April bis August im Jahr 2021 mit denen im Jahr 2022 zeigt sich, dass die Maßnahme auf Anstauenebene 1 des Demoversuchs D13 (D13_E1) einen geringen Anstieg des Grundwassers um wenige Zentimeter bewirkt hat. Dagegen wurde weder auf der Kontrollfläche D13_K1 noch auf D14 der Wasserstand angehoben.

Fazit 2: Der Anstau der Gräben an der Versuchsfläche D13 hat keinen Einfluss auf den Grundwasserstand auf Fläche D14 gehabt.

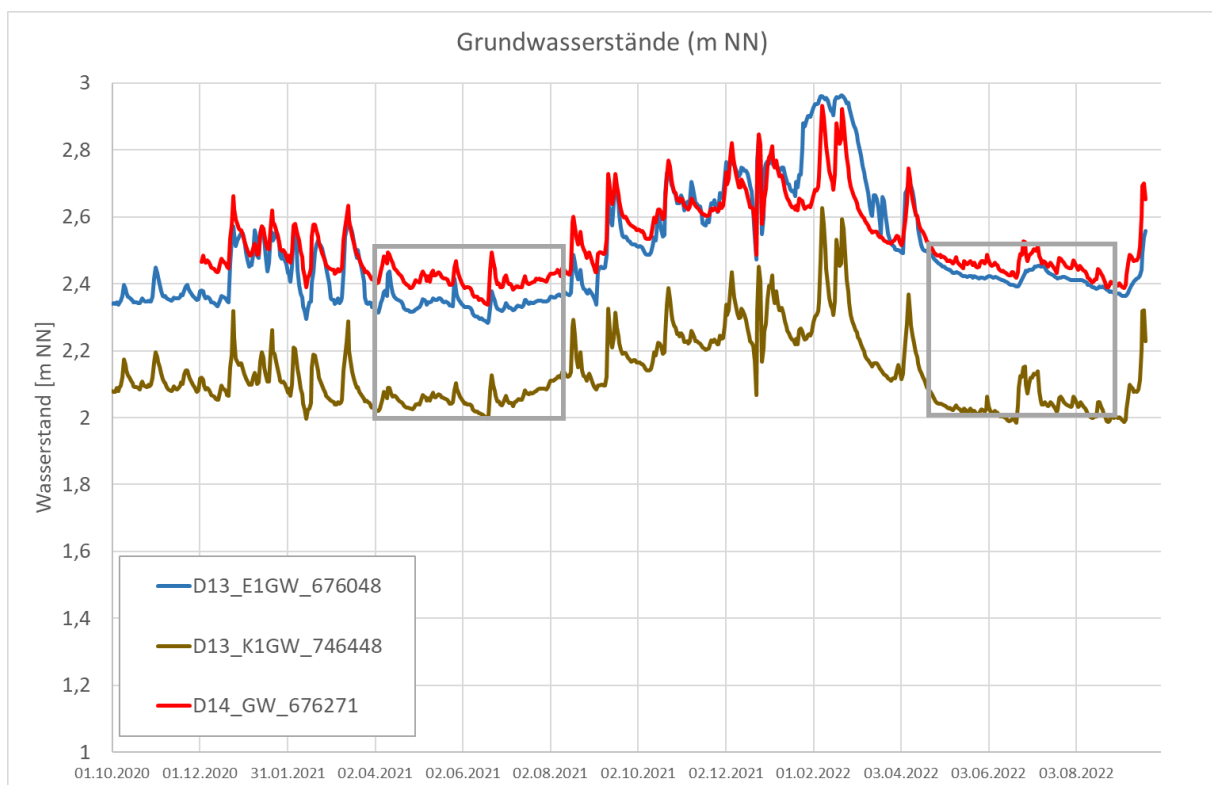


Abbildung 90: Grundwasserstände (im Mineralischen) auf D13 und D14 in m NN auf Ebene 1 der Versuchsfläche (D13_E1-GW), auf der südlich gelegenen Kontrollfläche (D13_K1GW) sowie auf der östlich gelegenen Fläche D14 (D14_GW).

Moorwasserstände

Abbildung 91 zeigt die Moorwasserstände, also die Stauwasserstände im Torfkörper, auf Anstauenebene 1 der Versuchsfläche (D13_E1), der südlich gelegenen Kontrollfläche (D13_K1) sowie der östlich gelegenen Fläche D14 (D14). Aus dem Vergleich der Monate April bis August lässt sich bei keiner der Messstellen ein Anstieg des Moorwasserstandes zwischen den Jahren 2021 und 2022 erkennen. Im Gegenteil kam es 2021, witterungsbedingt, immer wieder kurzzeitig zu höheren Wasserständen, während dieses Phänomen in 2022 nicht beobachtet wurde.

Fazit 3: Der Anstau der Gräben an der Versuchsfläche D13 hat somit auch keinen Einfluss auf den Moorwasserstand auf Fläche D14 gehabt.

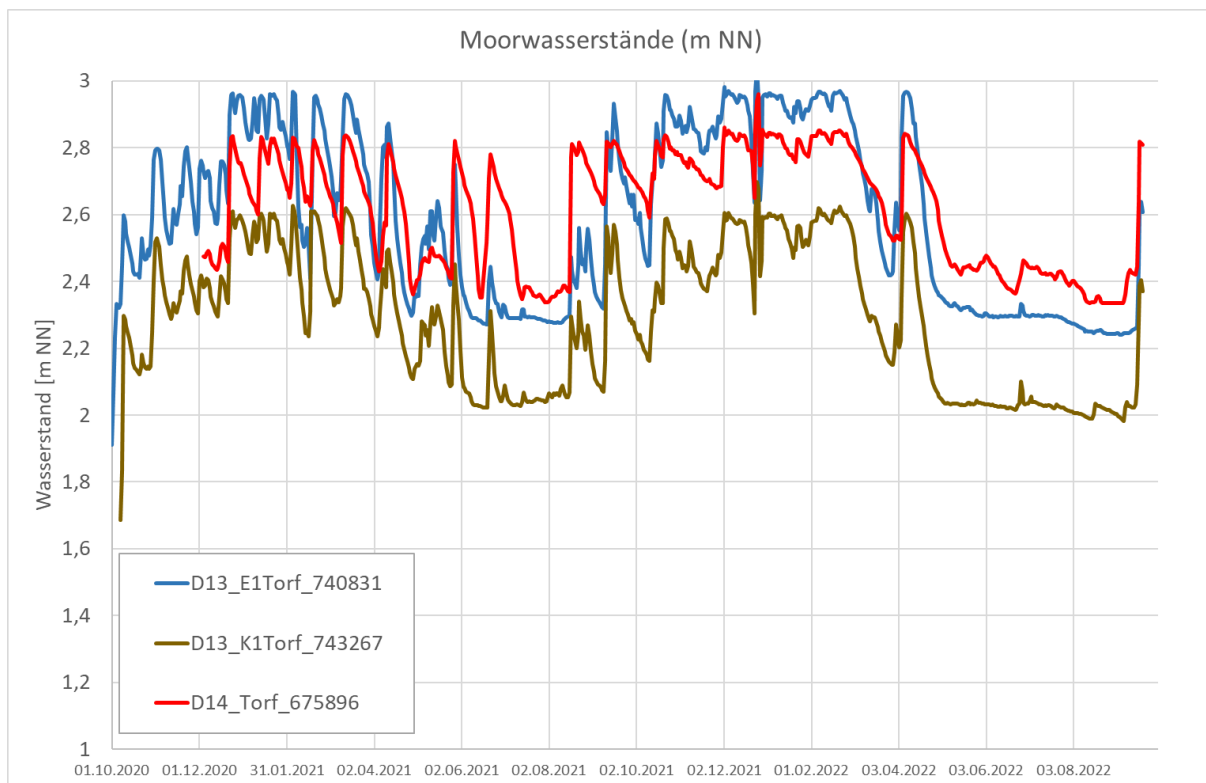


Abbildung 91: Moorwasserstände (Stauwasserstände im Torf) auf D13 und D14 in m NN auf Ebene 1 der Versuchsfläche (D13_E1-Torf), auf der südlich gelegenen Kontrollfläche (D13_K1Torf) sowie auf der östlich gelegenen Fläche D14 (D14_Torf).

Gesamtfazit

Der Grabenanstau im Demoversuche hat keinen Einfluss auf die Graben-, Grund- und Moorwasserstände der östlich davon gelegenen Fläche D14.