

Errichtung und Betrieb von Photovoltaik-Anlagen auf einem Moorstandort in Elsfleth-West

Machbarkeitsstudie zur Wiedervernässung

Gemeinde Elsfleth (Landkreis Wesermarsch)

Auftraggeber:

Uniper Renewables GmbH
Holzstr. 6
40221 Düsseldorf

Auftragnehmer:



INGENIEURBÜRO LINNEMANN
BODEN | WASSER | ABFALL | TIEFBAU | ERSCHLIESSUNG

Dr.-Munderloh-Str. 7, 27798 Hude-Wüstring
Tel. 04484 / 92002-0
www.buero-linnemann.de

Bearbeitung:

Anni Winterberg (M. Sc.)
Anna Wilbers (M. Sc.)
Christian Bunte (M. Sc.)
Tim Witowski (M. Sc.)

Projektnummer:

3078-24

Hude-Wüstring, Oktober 2024

INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung	1
2	Verwendete Quellen und Unterlagen.....	2
3	PV-Freiflächenanlagen auf Moorstandorten – Allgemeiner Überblick	3
3.1	Rechtlicher Rahmen.....	3
3.2	Wiedervernässung von Moorböden mit PV-Anlagennutzung.....	3
3.3	Wiedervernässungsmaßnahmen.....	5
4	Projekt- und Gebietsbeschreibung	5
4.1	Standortbeschreibung des Untersuchungsgebiets	5
4.2	Beschreibung des Vorhabens [6]	8
4.3	Langjährige Grundwasserstandentwicklung im Projektgebiet	9
5	Untersuchungskonzept und Methoden	11
5.1	Aufnahme der hydrologischen Verhältnisse	12
5.2	Bau von Torfwassermessstellen.....	12
5.3	Bodenstratigraphische Erfassung.....	13
5.4	Modellierung der Torfwasserstände	13
6	Ergebnisse	14
6.1	Vorbemerkung.....	14
6.2	Hydrologische Verhältnisse	14
6.3	Moorkartierung.....	16
6.4	Wasserstandsentwicklung im Untersuchungsgebiet.....	18
6.5	Modellierung der Torfwasserstände	20
6.5.1	Modellaufbau	20
6.5.2	Grundwasserneubildung	22
6.5.3	Kalibrierungsstand.....	23

6.5.4	Ist- Zustand im Winterhalbjahr ohne Maßnahmen	25
7	Wiedervernässungspotential des Moores.....	25
8	Mögliche Vernässungsmaßnahmen	29
8.1	Modellierung der Torfwasserstände	31
8.1.1	Prognose-Zustände SHJ und WHJ mit Maßnahmen ohne Klimaszenarien	31
8.1.2	Ist- und Soll-Zustände mit Klimaszenarien	32
8.2	Hinweise zur Materialbeschaffenheit und Gründung der Unterkonstruktionen	33
9	Zusammenfassung und Empfehlung	34
10	Literaturverzeichnis	37

Anhang

Anlagen

Anlage 1	Lage des Projektgebiets; M = 1:250.000
Anlage 2	Lage und Ausdehnung der Teilgebiete; M = 1:25.000
Anlage 3.1	Flurstücke Teilbereich 1; M = 1:10.000
Anlage 3.2	Flurstücke Teilbereiche 2 und 3; M = 1:10.000
Anlage 4	Lage Grundwasseroberfläche; M = 1:50.000
Anlage 5.1	DGM1 und Lage der Bohrungen und Messstellen Teilgebiet 1; M = 1:12.500
Anlage 5.2	DGM1 und Lage der Bohrungen und Messstellen Teilgebiete 2 und 3; M = 1:7.500
Anlage 5.3	Lage der SWAMPS-Messstellen; M = 1:1.000
Anlage 6.1	Bohrprofile der Bohrungen und Messstellen mit Ausbaudaten
Anlage 6.2	Bohrprofile der bereits bestehenden Bohrungen
Anlage 7.1	Vorfluterverhältnisse im Teilgebiet 1; M = 1:10.000
Anlage 7.2	Vorfluterverhältnisse in den Teilgebieten 2 und 3; M = 1:7.500
Anlage 8.1	Moorverteilung im Teilgebiet 1; M = 10.000
Anlage 8.2	Moorverteilung in den Teilgebieten 2 und 3; M = 7.500
Anlage 9.1	Muddeverteilung im Teilgebiet 1; M = 10.000
Anlage 9.2	Muddeverteilung in den Teilgebieten 2 und 3; M = 7.500
Anlage 10.1	Ganglinien TWM inkl. Niederschlagsdaten (19.07.2024–08.10.2024)
Anlage 10.2	Ganglinien der zusätzlichen Messstellen inkl. Niederschlagsdaten
Anlage 11.1	Potentialbereiche für die Wiedervernässung in Teilgebiet 1; M = 1:10.000
Anlage 11.2	Potentialbereiche für die Wiedervernässung in den Teilgebieten 2 und 3; M = 1:7.500

Anlage 12.1	Modellierte Flurstände Ist-Sommer/Teilgebiet 1: M = 1:10.000
Anlage 12.2	Modellierte Flurstände Ist-Winter/Teilgebiet 1: M = 1:10.000
Anlage 12.3	Modellierte Flurstände Ziel-Sommer/Teilgebiet 1: M = 1:10.000
Anlage 12.4	Modellierte Flurstände Ziel-Winter/Teilgebiet 1: M = 1:10.000
Anlage 13.1	Maßnahmenplanung Teilgebiet 1; M = 1:10.000
Anlage 13.2	Maßnahmenplanung Teilgebiete 2 und 3; M = 1:7.500
Anlage 13.3	Liste der Staueinrichtungen mit den anzustrebenden Zieleinstauhöhen und nötigen Regulationsvorrichtungen

1 VERANLASSUNG

Die Uniper Renewables GmbH plant auf einer Fläche von ca. 235 ha die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen auf einem in der Gemeinde Elsfleth gelegenen Moorstandort. Gemäß dem EEG 2023 ist die Errichtung von Solaranlagen auf Moorflächen nur dann förderfähig, wenn damit eine dauerhafte Wiedervernässung der Flächen einhergeht. Ziel sollte eine Anhebung der Wasserstände bis knapp unterhalb der Torfoberfläche oder darüber sein. Dabei sind Mindestwasserstände von 0,1 m u. GOK im Winter und 0,3 m u. GOK im Sommer anzustreben.

Das Untersuchungsgebiet lässt sich in drei Teilbereiche gliedern. Bei den betrachteten Flächen handelt es sich um zum Teil stark entwässerte Moorflächen, die landwirtschaftlich als Grünland genutzt werden.

Um zu ermitteln, ob und wie eine dauerhafte Wasserstandsanhebung im Plangebiet umgesetzt werden kann, wurde die hydrologische Situation (Verlauf der Vorfluter, Fließrichtungen) aufgenommen sowie die Torfverteilung erfasst. Anhand der gesammelten Informationen sollen für die Wasserstandsanhebung geeignete Teilbereiche herausgearbeitet und ein Wiedervernässungs- und Moorschutzkonzept aufgestellt werden. Zusätzlich ist eine Modellierung der Torfwasserstände unter Berücksichtigung der empfohlenen baulichen Maßnahmen geplant.

Die Uniper Renewables GmbH hat das Ingenieurbüro Linnemann (ILP) mit der Durchführung der Arbeiten beauftragt. Der Endbericht zur Untersuchung der Wiedervernässbarkeit der Flächen sowie ein Maßnahmenkonzept werden hiermit vorgelegt.

2 VERWENDETE QUELLEN UND UNTERLAGEN

Folgende Unterlagen wurden für diesen Bericht verwendet:

- [1] GeoBasis- DE/LGLN (2024): Geobasisdaten zur Beschreibung der Liegenschaften und Digitales Geländemodell, 14.06.2024
- [2] NIBIS (2021): Niedersächsisches Bodeninformationssystem. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- [3] Diekmann, Mosebach & Partner (2024): Umweltbericht zum Bebauungsplan Nr. 63 „Solarpark Elsfleth- West“.
- [4] Pagenkemper S., Jansen-Minßen F., Krause A., Ernsing-Blaga M., Herzberg I., Kahne L., Höper H., Minke M., Sieber A.C., Tiemeyer B., Heller S., Oehmke S.W., Bräuer M., Dettmann U., Lange G., Gatersleben P., Schröder U., Giani L., Landscheidt S., Buchwald R., Kupke L. (2022): Das Projekt SWAMPS – Verfahrensanalysen und Handlungsoptionen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen und zum Schutz von Mooren für landwirtschaftlich genutztes Grünland, Abschlussbericht der Projektjahre 2015–2021.
- [5] <https://moorbodenmonitoring.thuenen.de/>, 17.10.2024
- [6] Diekmann, Mosebach & Partner (2023): Vorentwurf Bebauungsplan Nr. 63 „Solarpark Elsfleth-West“ mit örtlichen Bauvorschriften.
- [7] Sponagel H., Grottenthaler W., Hartmann K.-J., Hartwich R., Janetzko P., Joisten H., Kühn D., Sabel K.-J., Traidl R. (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten.
- [8] Harbaugh, A.W., Langevin, C.D., Hughes, J.D., Niswonger, R.N., and Konikow, L. F., 2017, MODFLOW-2005 version 1.12.00, the U.S. Geological Survey modular groundwater model: U.S. Geological Survey Software Release, 03 February 2017, <http://dx.doi.org/10.5066/F7RF5S7G>.
- [9] Bakker, Mark, Post, Vincent, Hughes, J. D., Langevin, C. D., White, J. T., Leaf, A. T., Paulinski, S. R., Bellino, J. C., Morway, E. D., Toews, M. W., Larsen, J. D., Fienen, M. N., Starn, J. J., Brakenhoff, D. A., and Bonelli, W. P., 2024, FloPy v3.9.0.dev2: U.S. Geological Survey Software Release, 03 October 2024, <https://doi.org/10.5066/F7BK19FH>.
- [10] LBEG Niedersachsen: Wasserstandsdaten Ipweger Moor 2017- 2020
- [11] Thünen- Institut für Agrarklimaschutz: Wasserstandsdaten Ipweger Moor 2021- 2024
- [12] Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015
- [13] Harbaugh, A.W., 2005, MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

- [14] Ertl, G., et al. (2019). Grundwasserneubildung von Niedersachsen und Bremen. Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA18. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.
- [15] Graf M., Höper H., Hauck-Bramsiepe K. (2022): GeoBerichte 45; Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.
- [16] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2024): Potentialstudie „Moore in Niedersachsen“.
- [17] <https://constructalia.arcelormittal.com/de/aktuelles/2023/09/magnelis-macht-solarenergieerzeugung-langlebig>, 21.10.2024

3 PV-FREIFLÄCHENANLAGEN AUF MOORSTANDORTEN – ALLGEMEINER ÜBERBLICK

3.1 Rechtlicher Rahmen

Die Errichtung von Photovoltaik-Anlagen (PVA) auf entwässerten und landwirtschaftlich genutzten Moorböden stellt bei vorangegangener Wiedervernässung des Moorbodens gemäß des Informationspapiers des Greifswalder Moor Centrums (2022) und KNE (2022) sektorenübergreifend eine große Chance zum Klimaschutz dar und ist durch das Inkrafttreten der jüngsten Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) ab Januar 2023 förderfähig – unter der Voraussetzung, dass die Moorflächen dauerhaft wiedervernässt werden (§ 37 Abs. 1 Nr. 3 lit. e) EEG).

Der Gesetzgeber nimmt im EEG 2023 keine Definition des Begriffs Moorböden vor und verweist auf die im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU zu erstellende Flächenkulisse: Moorböden enthalten mind. 7,5 % org. Bodenkohlenstoff oder mind. 15 % org. Bodensubstanz in einer Bodenschicht von 10 cm Mächtigkeit innerhalb der obersten 40 cm des Profils (§ 11 Abs. 2 GAP, § 11 Abs. 3 GAP).

Entsprechend der Begründung zum EEG 2023 sollen mit Maßnahmen zur Wiedervernässung Mindestwasserstände von 10 cm u. GOK im Winter und 30 cm u. GOK im Sommer erreicht werden.

3.2 Wiedervernässung von Moorböden mit PV-Anlagennutzung

Da im Zuge der Wiedervernässung zahlreiche rechtliche Vorgaben zu beachten sind, wurden von *Tiemeyer et al.* (2017) und *Graf et al.* (2022) Empfehlungen ausgearbeitet,

die Aspekte einer erfolgreichen Wiedervernässung zusammenfassen. So gilt es bei der Ermittlung und Auswertung von Ausgangsbedingungen und Restaurierungspotentialen des Moores neben den Bodeneigenschaften auch die Vegetation sowie die hydrologischen Eigenschaften der Moorfläche, vor allem im Hinblick auf die Kombination mit PV-Anlagen, zu berücksichtigen. Von besonderem Interesse ist dabei die Auswirkung der PV-Module auf den Bodenwasserhaushalt, speziell während der Trockenperioden.

Das Vorhandensein und die Anordnung der PV-Module verändert die Verteilung von Niederschlag, Verdunstung, Temperatur und Strahlung an der Bodenoberfläche (*Armstrong et al., 2016*). Da die Anlage einen Teil der einfallenden Strahlung in Strom umwandelt, steht weniger Energie für die Evapotranspiration zur Verfügung – ein besonders in den Sommermonaten dominanter Prozess. Erste Ergebnisse von Messungen zur Bodenfeuchte weisen unter PV-Modulen eine verringerte Verdunstung auf, als auf der Referenzfläche ohne PV-Module (*Feistel und Werisch, 2022*). Dadurch nimmt gleichzeitig der Abfluss (Oberflächenabfluss oder Grundwasserneubildung) zu. Studien konnten nachweisen, dass die verbleibende Strahlung bei vertikalen oder aufgeständerten Anlagen noch für die Photosynthese ausreicht, wodurch es zu Ertragszuwächsen bei den Pflanzen kommen kann (weniger Evaporation bei gleicher Photosyntheseleistung) (*Goetzberger, 1981; Goetzberger und Zastrow, 1982; Dinesh, 2016; Dupraz, 2011*). Dennoch besteht bei der Anordnung der PV-Module bzgl. des Lichteinfalls ein grundsätzlicher Zielkonflikt zwischen der Verringerung der Evapotranspiration und dem Ausbau und Erhalt torfschützender Vegetation, der bei der Optimierung der PV-Modulanordnung auf Moorflächen berücksichtigt werden muss.

Ein weiterer Effekt der PV-Nutzung auf Freiflächen ist der sich ansammelnde Niederschlag an der Tropfkante der PV-Module. Diese Konzentration begünstigt die Infiltration, Versickerung und Grundwasserneubildung direkt unter der Tropfkante und ist speziell in den Wintermonaten ein dominanter Prozess. Unter den Modultischen versickert dahingegen so gut wie kein Regenwasser mehr, was lokal zu einer Austrocknung der Böden führen könnte. Allerdings ergaben Studien, dass unter den Modulen kühlere Bodentemperaturen und eine höhere Bodenfeuchtigkeit herrschen als in den Modulreihen (*Schlegel, 2021*). Des Weiteren kann es im Abtropfbereich zur Bodenerosion kommen, wobei diese Problematik bei Grünlandnutzung als eher gering einzustufen ist (*Helbing et al., 2022*). Dennoch sollte die Anordnung der PV-Module so

erfolgen, dass eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Niederschlags gewährleistet wird (*Helbing et al., 2022*).

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass ein enormer Erprobungs- und Forschungsbedarf in der PV-Nutzung auf Moorböden in Verbindung mit Torferhalt besteht. Durch das stark steigende Interesse an Moor-PV-Anlagen seitens der Grundeigentümer wird diesem Bedarf zusätzlicher Handlungsdruck verliehen. Neben ersten kleineren Pilotprojekten (seit 2020) ist der Bau von PV-Anlagen in Kombination mit einer Wiedervernässung in Deutschland bisher nicht erprobt. Dementsprechend gilt es, sowohl die Auswirkungen der Wiedervernässung auf die technischen Anlagen als auch die Effekte der PV-Anlage auf den Moorstandort hinsichtlich Gasflüssen, Biodiversität und Wasserhaushalt langfristig zu überwachen.

3.3 Wiedervernässungsmaßnahmen

Gängige Umsetzungsmaßnahmen der Wiedervernässung sind Grabenverschluss oder -verfüllung, Dammbau, Torfabziehen bzw. Oberbodenabtrag sowie bei Bedarf Vertiefungen auf hoch gelegenen Flächen. Dabei gilt es, den durch Bodenaushub anfallenden Torf nicht der Oxidation preiszugeben, sondern diesen effektiv und konservierend zu speichern. Eine Möglichkeit besteht in der Nutzung des Torfs zum Verfüllen von Gräben. Ist die Wasserleitfähigkeit des Torfkörpers bereits stark reduziert, können ausgehend von vorhandenen Gräben Schlitze gezogen werden, über die das Wasser besser in die Fläche eindringen kann (*Siuda und Thiele, 2010*). Hinzu kommt die Entfernung von Drainagen, das Einrichten von Pufferzonen und die Zuwässerung sowie das Einbringen moortypischer Arten.

4 PROJEKT- UND GEBIETSBESCHREIBUNG

4.1 Standortbeschreibung des Untersuchungsgebiets

Der Solarpark Elsfleth-West ist auf Flächen in der Gemeinde Elsfleth im Landkreis Wesermarsch geplant und in drei Teilbereiche aufgeteilt mit Gebietsgrößen von etwa 184,4 ha, 35,8 ha und 14,7 ha. Die Lage und Ausdehnung des Untersuchungsgebiets mit den drei Teilbereichen ist auf der **Anlage 1** und der **Anlage 2** dargestellt.

Das Teilgebiet 1 erstreckt sich ganz oder teilweise über die Flurstücke 2, 9, 11/1 der Flurnummer 29, die Flurstücke 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12/1, 13, 14/1, 14/2, 15 und

16 der Flurnummer 56, die Flurstücke 1, 2, 3, 4, 5/1, 5/2, 6/1, 6/2, 7, 8, 9 und 24 der Flurnummer 1 der Gemarkung Elsfleth. Das Teilgebiet 2 erstreckt sich über die Flurstücke 10, 11, 12, 13/4 und 14, Flurnummer 28 der Gemarkung Elsfleth. Das Teilgebiet 3 erstreckt sich über die Flurstücke 27, 28, 32 und 34, Flurnummer 25 der Gemarkung Elsfleth [1]. Die Flurstücke sind auf den **Anlagen 3.1** und **3.2** ersichtlich.

Das LGLN weist für die tatsächliche Nutzung der Gebietsfläche größtenteils landwirtschaftliches Grünland aus. Für vereinzelte Flächen wird die Nutzung als Gehölz, Wald, Laubholz oder Heide angegeben. Die gesamte Projektfläche des Teilgebietes 1 liegt im Vorranggebiet für Torferhaltung [1].

Das betrachtete Gebiet ist von landwirtschaftlichen Grünlandflächen, Wald und Flächen gemischter Nutzung, wie Gebäude- und Freiflächen, Land- und Forstwirtschaft umgeben. Südlich der Teilbereiche 2 und 3 liegen die Naturschutzgebiete (NSG) Bornhorster Huntewiesen und Moorhauser Polder. Zwischen den Teilbereichen liegt das NSG und größtenteils FFH-Gebiet Gellener Torfmöörte mit Rockenmoor und Fuchsberg. Der Teilbereich 1 grenzt unmittelbar im Süden als auch im Osten an das Naturschutzgebiet an. Westlich des Teilgebietes 1 liegt das NSG und FFH-Gebiet Barkenkuhlen im Ipweger Moor [1]. Die Lage und Ausbreitung der angrenzenden Naturschutzgebiete sind auf den **Anlagen 3.1** und **3.2** dargestellt.

Nach der Bodenkundlichen Karte 1:50.000 [2] liegt fast im gesamten Untersuchungsgebiet ein tiefes Erdniedermoor mit einem mittleren Grundwasserhochstand von 0,35 m u. GOK und einem mittleren Grundwassertiefstand von 0,9 m u. GOK vor. Abweichend davon befindet sich im Norden des Teilgebietes 1 auf einem kleinen Bereich des Flurstücks 13, Flur 56 ein sehr tiefes Erdhochmoor mit geringmächtiger Sanddeckkultur.

Die Geologische Karte 1:50.000 [2] weist für den Teilbereich 1 Sphagnum-Torf (Hochmoor) aus dem Holozän aus. In den Teilgebieten 2 und 3 liegt holozäner Sphagnum-Torf (Hochmoor) über holozänem Seggen- und Bruchwaldtorf (Niedermoor) vor.

Die Lage der Grundwasseroberfläche wird für das Untersuchungsgebiet bei NIBIS [2] in der Hydrogeologischen Karte HK50 zwischen 0 m NHN und -1 m NHN angegeben. Auf der **Anlage 4** ist die Lage der Grundwasseroberfläche dargestellt. Es ist zu erkennen, dass das Grundwasser von Westen nach Osten abfällt. Östlich des

Untersuchungsgebiets liegt ein Grundwassertrichter mit einem Grundwasserstand von -1 m NHN vor. Gen Weser steigt das Grundwasser wieder auf 0 m NHN an.

Im nördlichen Bereich des Teilgebiets 1 liegen die Geländehöhen laut dem Digitalen Geländemodell (DGM1,[1]) bei etwa -0,5–0 m NHN. Der westliche Bereich zeigt leicht erhöhtes Gelände um die 0–0,3 m NHN mit vereinzelt Erhebungen um die 0,6 m NHN, wogegen im südwestlichen Bereich des Teilgebiets 1 niedrigere Geländehöhen mit bis zu -1,4 m NHN vorherrschen. Die umliegenden FFH-Flächen weisen höhere Geländehöhen auf, sodass an das Teilgebiet 1 im Westen sowie im Osten höher gelegene Flächen angrenzen. Die südlich anschließenden Flächen hingegen liegen niedriger als das Untersuchungsgebiet.

Die Geländehöhe des Teilgebiets 2 liegt überwiegend zwischen -0,7 und -0,9 m NHN. Im westlichen Bereich ist das Gelände mit bis zu 0,8 m NHN etwas erhöht. Im Nordwesten des Teilgebiets 3 liegt leicht erhöhtes Gelände mit Geländehöhen von etwa 0,2 m NHN. Im Westen zeigt sich niedrigeres Gelände mit Werten von ca. -0,3 m NHN bis zu -1,1 m NHN. Nördlich der Teilbereiche 2 und 3 fallen die höhergelegenen Flächen gen Süden, also in Richtung der Untersuchungsgebiete ab.

Die Geländehöhen des Teilgebiets 1 sind auf der **Anlage 5.1** dargestellt, die Geländehöhen der Teilgebiete 2 und 3 sind auf der **Anlage 5.2** dargestellt.

Für die Flächen des Projektgebietes wurde eine Biotoptypenkartierung durch das Büro Diekmann, Mosebach & Partner durchgeführt [3]. Dem Bericht ist zu entnehmen, dass im Teilbereich 1 großflächig artenarmes Intensivgrünland auf Moorböden vorkommt. Vereinzelt ist im Randbereich des Teilbereiches 1 auch artenarmes Extensivgrünland auf Moorböden anzutreffen. Weitere vereinzelt Flächen sind im zentralen Bereich als Grünland-Einsaat, naturnahes Feldgehölz und feuchter Standort halbruderaler Staudenflur ausgewiesen. Am nördlichen Vorfluter befindet sich ein kleiner Pfeifengras-Birken-Moorwald. Das Grünland wird durch nährstoffreiche Gräben parzelliert. Entlang der Parzellengrenzen und befestigten Wege stehen Gebüsche und Gehölzbestände, die vorwiegend aus Moorbirken und Hecken bestehen. Für das Teilgebiet 1 liegt keine flächendeckende detaillierte pflanzensoziologische Untersuchung vor. Die Teilgebiete 2 und 3 weisen hingegen überwiegend artenarmes Extensivgrünland auf Moorböden auf, häufig in Verbindung mit sonstigem Flutrasen. Auch seggen-, binsen- oder hochstaudenreicher Flutrasen ist besonders im nordöstlichen Bereich der Teilgebiete 2 und 3 vertreten. Diese beiden Gebiete sind ebenfalls durch nährstoffreiche Gräben

parzelliert, entlang derer Gebüsche und Gehölzbestände wachsen. Im Süden des Teilgebietes 2 steht ein kleiner bodensaurer Eichenmischwald nasser Standorte. Im südöstlichen Randbereich des Teilbereichs 2 sind zudem punktuelle Vorkommen dreier Pflanzenarten der Roten Liste dokumentiert, darunter die Sumpf-Calla und die Sumpf-Schwertlilie mit einer Deckung von 1–5 m². Die Walzen-Segge ist mit einer Anzahl von 2–25 Sprossen vertreten. Auch entlang der nordöstlichen und südlichen Grenze des Teilbereichs 3 ist die Sumpf-Calla verzeichnet, hier mit einer Deckung von über 50 m².

Im Untersuchungsgebiet sind im Rahmen des „SWAMPS“- Projektes von 2017 bis 2020 Daten zu landwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten von Moorgrünland bei erhöhten Wasserständen erhoben worden [4]. Dabei handelt es sich um ein Pilotprojekt des Landesprogramms „Niedersächsische Moorlandschaften“ und der Förderrichtlinie „Klimaschutz und Moorentwicklung“. Im Rahmen des Projektes sollen Verfahren der kontrollierten Wasserstandsanhhebung und schonenden Grünlandnarbenerneuerung erprobt werden. Im nordwestlichen Bereich des Teilgebietes 1 wurden drei Standorte mit unterschiedlichen Bewässerungs- und Nutzungsvarianten bewirtschaftet. Auf den Versuchsflächen sollte eine Wasserstandsanhhebung mittels Grabeneinstau und Unterflurbewässerung erreicht werden. Die dritte Fläche wurde zur Kontrolle errichtet. Im Vergleich zu der Kontrollfläche konnte durch den Grabeneinstau und die Unterflurbewässerung eine Anhebung der Wasserstände nachgewiesen werden, die u. a. mit einer Ertragssteigerung einherging. Besonders die Unterflurbewässerung ermöglichte es, relativ kurzfristig auf die Moorbodenwasserstände Einfluss zu nehmen. Auch wirkte sie sich positiv auf den Erhalt der Geländehöhe aus. Beide Varianten verzeichneten allerdings Einbußen in der Befahrbarkeit.

Das Thünen Institut für Agrarklimaschutz Braunschweig betreibt bis 2025 innerhalb der Projektfläche ein Moorbodenmonitoring im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft [5]. Von 2021 bis 2024 wurden dazu an zwei Messstellen innerhalb der Projektfläche Wasserstandsdaten aufgezeichnet.

4.2 Beschreibung des Vorhabens [6]

In dem Bebauungsplan Nr. 63 der Teilbereiche 1,2 und 3 ist die Errichtung von PV-Anlagen auf aufgeständerten Modultischen vorgesehen.

Alle drei Teilgebiete des gesamten Solarparks sollen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen eingegrünt werden. Entlang der Grenzen des Geltungsbereiches und der bestehenden Verkehrsflächen sind dazu Flächen zum

Anpflanzen vorgesehen, bestehende Bestände in diesem Bereich sind zu erhalten. Die zu verwendenden Pflanzenarten sind benannt (s. Textliche Festsetzungen Nr.14). Zu beiden Seiten der Verordnungsgewässer II. Ordnung im Plangebiet ist jeweils ein Gewässerräumstreifen von 10 m freizuhalten.

Innerhalb des Teilbereichs 1, die Teilflächen 18, 19, 20 und 21 betreffend, ist eine Gasleitung verlegt. Beidseitig dieser Trasse ist ein 5 m breiter Schutzstreifen einzuhalten, der von jeglicher Überbauung freizuhalten ist.

Für die Modultische im Plangebiet ist eine Höhe zwischen 0,8 m und 2,7 m ü. GOK geplant. Die Höhe der baulichen Anlagen ist auf 3,5 m begrenzt. Zwischen den Modulen ist ein Mindestabstand von 3,5 m einzuhalten. Eine Versiegelung der Flächen ist nur im Bereich der Technikgebäude sowie punktuell durch die Ständer der Modultische vorgesehen. Nebenanlagen für betriebliche Zwecke sind wasserdurchlässig zu gestalten.

Innerhalb des Plangebietes sind Bauwerke zur Wasserregulierung an den festgesetzten Gräben zulässig. Gewässer I. und II. Ordnung sollten unverändert bestehen bleiben. Die vorhandenen Grabenstrukturen sollen erhalten bleiben.

Während des Betriebs der PV-Freiflächenanlage ist die Beweidung der Flächen für die Grünpflege zulässig.

4.3 Langjährige Grundwasserstandentwicklung im Projektgebiet

[Quelle: NLWKN Grundwasserberichte Niedersachsen]

Die Entwicklung der Grundwasserstände ist von kurzfristigen jahreszeitlichen Schwankungen geprägt und wird in der Region Niedersachsen seit 2009 von einem langfristigen Trend überlagert, der auf eine landesweite Absenkung der Grundwasserstände schließen lässt. Dabei basiert die jahreszeitliche Dynamik des Grundwasserhaushalts auf räumlich variierenden meteorologischen, geologischen und hydraulischen Gegebenheiten. Während in den Wintermonaten die klimatische Wasserbilanz durch Niederschläge und geringe Verdunstung günstig für die Grundwasserneubildung ist, nehmen die Grundwasserstände in den Sommermonaten aufgrund der negativen klimatischen Wasserbilanz i. d. R. ab, sodass ein saisonaler Zyklus entsteht. Der Klimawandel wird als Haupttreiber des langfristigen Trends der Grundwasserstandsentwicklung erkannt.

In der Nähe der Projektfläche liegen die drei Grundwassermessstellen *Klein Bornhorst*, *Huntorferdamm-Entenpooltief* und *Gellen* (s. **Anlage 4**). Auch diese beschreiben einen abnehmenden Trend der Grundwasserstände seit 1990, mit Ausnahme der Messstelle *Gellen*. Diese verzeichnet seit 1990 einen positiven Trend. Zur Abschätzung der Grundwasserstandsentwicklung im Bereich des Projektgebietes vor dem Hintergrund überregionaler Trends wurden Daten der Grundwassermessstelle *Klein Bornhorst* verwendet, da diese über aktuellere Wasserstandsdaten verfügt. Der Standort der Messstelle befindet sich 2 km südwestlich der Teilbereiche 2 und 3.

Zur Einordnung des Projektgebiets hinsichtlich der Grundwasserstandsentwicklung ist zu beachten, dass die ausgewiesenen Flächen östlich des Gellener Damms und nördlich von Moorhausen-West sowohl durch die Unterweser-Marsch als auch durch den angrenzenden Oldenburgisch-Ostfriesischen Geestrand charakterisiert sind. Die Sensitivität des Grundwasserniveaus ist in Trockenperioden in Geestregionen höher als in Marschregionen. Dies hat drei Gründe: Zum einen wird der Anstieg bzw. Abstieg des Grundwasserniveaus durch die Porosität der Sedimente beeinflusst, sodass sich Unterschiede im Speichervermögen der lehmigen Marschsedimente und der sandigen Geestsedimente einstellen. Zum anderen steuern Vorfluter die mögliche Reaktion der Grundwasserstände. Niederungsregionen, wie Marschlandschaften, weisen eine hohe Dichte an Vorflutern auf, wodurch die Dynamik des Grundwasserniveaus gedämpft wird. Weiterhin werden die Grundwasserverhältnisse in Niederungsregionen durch Abflüsse aus höher gelegenen Regionen (bspw. Geest) stabilisiert.

Die Trockenjahre 2018 und 2019 haben landesweit zu extrem niedrigen Grundwasserständen geführt. In über 60% der Messstellen wurden historisch tiefste Werte gemessen, so auch nahe des Projektgebietes an der Messstelle *Klein Bornhorst*. Hier stellte sich im Sommer 2018 seit Beginn der Aufzeichnung im Jahre 1990 der niedrigste Grundwasserstand von -0,63 m NHN ein, was einer Grundwasserabsenkung von ca. -20 cm im Vergleich zu den Vorjahren entspricht.

Im hydrologischen Jahr 2020 zeigte der landesweite Durchschnitt der Grundwasserstände aufgrund der günstigen Ausgangslage der klimatischen Wasserbilanz zum Anfang des Jahres zunächst einen Wiederanstieg, der auch an der Messstelle *Klein Bornhorst* zu verzeichnen war. In den Sommermonaten sanken die Grundwasserstände erneut stark ab und die Jahresniederschlagsmenge blieb unter dem Vorjahresniveau, sodass die Grundwasserstandsentwicklung 2020 mit -10 cm als geringe Absenkung eingestuft wurde.

Die niederschlagsreichen Sommermonate im Jahr 2021 hingegen sorgten insbesondere in nordwestlichen Landesteilen für eine positive klimatische Wasserbilanz und somit für Anstiege der Grundwasserstände, obwohl der Jahresniederschlag 2021 unterhalb des langjährigen Mittels der Jahresniederschläge im Referenzzeitraum 1991–2020 (ca. 750 mm/a) liegt. Auch das Grundwasserstandsniveau der Messstelle *Klein Bornhorst* profitierte von den Sommerniederschlägen und verzeichnete im hydrologischen Jahr 2021 einen Grundwassertiefstand von lediglich -0,30 m NHN, was einem Anstieg von vergleichsweise 10 cm entspricht.

Das hydrologische Jahr 2022 startete mit einem niederschlagsreichen Frühjahr, war aber erneut durch extreme Trockenheit im Sommer geprägt. Diese führte zu überdurchschnittlich hohen saisonalen Absenkungen des Grundwassers, vergleichbar mit den Werten aus den Dürrejahren 2018/2019. Auch an der Messstelle *Klein Bornhorst* sank der Grundwasserstand auf -0,60 m NHN. Die Grundwasserstandsgewinne aus dem Vorjahr wurden dadurch teilweise wieder aufgehoben.

Da der aktuelle Grundwasserbericht des NLWKN aus dem Jahr 2022 ist, liegen für die Folgejahre noch keine Auswertungen vor.

Zwar scheinen sich die Grundwasserstände nahe des Projektgebietes aufgrund der hohen Niederschlagsmenge in nordwestlichen Landesteilen nur zum Teil am Landesdurchschnitt abnehmender Grundwasserstände zu orientieren, jedoch ist die grundsätzliche Tendenz der Grundwasserabsenkung in Folge des Klimawandels auch hier zu beobachten bzw. zu erwarten. Die zukünftige Entwicklung des Klimas beinhaltet für Niedersachsen steigende Jahresmitteltemperaturen, womit auch Verdunstungswerte weiter ansteigen. Dahingegen werden für die Niederschläge für den kurzfristigen Planungshorizont bis 2050 keine Änderungen der mittleren Jahresniederschlagssummen erwartet, wohl aber eine Verschiebung der Niederschlagsverteilung zugunsten der Wintermonate.

5 UNTERSUCHUNGSKONZEPT UND METHODEN

Anhand der im Folgenden beschriebenen Erkundungen soll geklärt werden, ob und wie eine langfristige Wasserstandsanhhebung im Projektgebiet erzielt werden kann. Wichtige Parameter zur Beantwortung dieser Frage bilden der Aufbau des Moores mit seinen Torfmächtigkeiten, den Zersetzungsgraden der Torfe und das Vorhandensein von stauenden Schichten wie z. B. Mudden oder bindigen Böden sowie die hydrologische

Situation, gekennzeichnet durch Verlauf, Fließrichtung und Morphologie der Entwässerungsstrukturen.

Zur Untersuchung der hydrologischen Verhältnisse wurden zunächst die Vorfluter und deren Fließrichtungen aufgenommen und sechs Torfwassermessstellen in den drei Teilgebieten errichtet und mit einem Datenlogger ausgestattet. Um die Torfmächtigkeiten zu erkunden, wurden Handbohrungen bis auf den mineralischen Untergrund durchgeführt. Anhand der gesammelten Informationen soll ein wasserbauliches Maßnahmenkonzept entwickelt werden.

5.1 Aufnahme der hydrologischen Verhältnisse

Im Zeitraum von Ende Juni bis Anfang Juli 2024 erfolgte durch zwei Mitarbeitende des Ingenieurbüro Linnemann eine Gebietsbegehung, in deren Rahmen die Grabensysteme, Fließrichtungen und Wasserstände aufgenommen wurden. Dabei wurden mit einem GNSS-Empfänger mit Totalstation (Topcon FC-5000) die genauen Höhen und Lagen der Entwässerungsstrukturen erfasst. Die Messungengenauigkeit liegt bei $\pm 0,03$ m.

Die Ergebnisse der Feldbegehung können den **Anlagen 7.1** und **7.2** entnommen werden.

5.2 Bau von Torfwassermessstellen

Um die Entwicklung der Wasserstände im Untersuchungsgebiet zu erfassen, wurden am 18.06.2024 sechs Torfwassermessstellen (ELS-01, ELS-02, ELS-03, ELS-04, ELS-05, ELS-06) errichtet. Diese wurden zur besseren Bewirtschaftung der Projektflächen an den Feldgrenzen installiert. Das für den Ausbau der Messstellen geborgene Bohrgut wurde fachgerecht nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5, [7]) angesprochen und die Höhe und Lage der Aufschlüsse mittels GNSS-Empfängers mit Totalstation (Topcon FC-5000) bestimmt. In allen Messstellen wurden Datenlogger installiert, um den Wasserstand mit einer Messtaktung von 12 Stunden zu erfassen. Die Installation der Datenlogger erfolgte am 18.07.2024.

Die genaue Lage der Torfwassermessstellen ist den **Anlagen 5.1** und **5.2** zu entnehmen. Die Ausbauprofile sind zusammen mit den Höhen in der **Anlage 6.1** dargestellt.

5.3 Bodenstratigraphische Erfassung

Zur Beschreibung der vorliegenden Torfe wurden im Untersuchungsgebiet von August bis September 2024 insgesamt 21 Handbohrungen abgeteuft. Dabei kam für die Ansprache der obersten Bodenmeter ein Stechbohrer mit einem Durchmesser von ca. 50 mm zum Einsatz. Um den Schaden im Bereich der wasserstauenden Schichten beim Durchbohren des mineralischen Untergrundes so gering wie möglich zu halten, wurde der letzte Meter mithilfe eines ca. 30 mm breiten Stechbohrers erkundet.

Die Ansprache des Bohrguts auf seine Beschaffenheit hinsichtlich der botanischen Zusammensetzung der Torfarten, der Feuchtigkeit des Materials sowie der Farbe erfolgte nach der KA 5 [7]. Der Zersetzungsgrad der Torfe wurde nach der von Post erstellten, zehnstufigen Skala [6] bestimmt.

Die Höhen und Lagen der Kartierpunkte wurden mittels eines GNSS-Empfängers mit Totalstation (Topcon FC-5000) bestimmt. Die Lagen der Kartierpunkte sind in den **Anlagen 5.1** und **5.2** dargestellt. Die Höhen sind mit den dazugehörigen Schichtenbeschreibungen der **Anlage 6.1** zu entnehmen.

5.4 Modellierung der Torfwasserstände

Das Modell wurde zunächst anhand von Messdaten (Torfwasserstände) kalibriert. Insgesamt sollte eine realitätsnahe Abbildung der Torfwasserstände im Ist-Zustand (im hydrologischen Sommerhalbjahr) geschaffen werden. Anschließend wurden die Torfwasserstände im hydrologischen Winterhalbjahr sowie ein Szenario einer Maßnahme zur Wiedervernässung für beide Halbjahre berechnet. Für beide Modellvarianten wurden Prognosen zukünftiger Torfwasserstände anhand der RCP-2.6- und RCP-8.5-Szenarien für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr berechnet.

Zur modellbasierten Simulation der Torfwasserstände wurde ein stationäres Strömungsmodell erstellt. Die Implementierung des konzeptionellen Modells in ein numerisches Strömungsmodell erfolgte mit Modflow 2005 [8], das vom United States Geological Survey (USGS) entwickelt wurde. Zur Vor- und Nachbereitung der Daten wurde das Python-Paket FloPy [9] verwendet.

Aufgrund der hydrologischen Datenlage sowie der Priorisierung der einzelnen Flächen für die Wasserstandsanhhebung beschränkt sich die Modellierung auf das Teilgebiet 1.

6 ERGEBNISSE

6.1 Vorbemerkung

Die durchgeführten Untersuchungen liefern lediglich punktuelle Ergebnisse für die genannten Ansatzpunkte. Zwischen den Untersuchungspunkten können in Abhängigkeit der natürlichen Variabilität abweichende Bodenverhältnisse vorliegen.

6.2 Hydrologische Verhältnisse

Das Projektgebiet wird seit Anfang 1960 vor allem durch den Bau *des Ipweger Moorkanals* und des *Östlichen Mittelgrabens* intensiv entwässert [4].

Auf den **Anlagen 7.1** und **7.2** sind die während der Erkundungsarbeiten aufgenommenen Wasserstände sowie der Verlauf und die Fließrichtung der Gräben der Teilgebiete 1 bis 3 dargestellt.

Das Teilgebiet 1 wird maßgeblich durch den zentral durch das Untersuchungsgebiet verlaufenden *Östlichen Mittelgraben* entwässert (Gewässer II. Ordnung). Dieser fließt von Süd nach Nord und mündet an der nördlichen Grenze des Teilgebietes in den querkreuzenden *Ipweger Moor Kanal* (Gewässer II. Ordnung), der das Wasser in östliche Richtung weiterführt. Die Grünlandflächen des Teilgebietes entwässern aus östlicher und westlicher Richtung über kleinere Gräben in den *Östlichen Mittelgraben*. Im südlichen Bereich des Teilgebiets 1 verzeichnet der *Östliche Mittelgraben* eine Wasserscheide auf Höhe des Heideiches. Von dort strömt das Wasser aufgrund abfallenden Geländes in südwestliche Richtung dem *Tief vor dem Heideich* (Gewässer II. Ordnung) zu. Dieser ist maßgeblich für die Entwässerung des südlichen Bereiches des Teilgebietes 1. Gemäß der Vermessungsdaten liegt die durchschnittliche Höhe der Grabensohle des *Östlichen Mittelgrabens* bei -2,47 m NHN und der durchschnittliche Wasserstand bei -1,2 m NHN (Stand 26.06.2024–04.07.2024). Das Sohlgefälle des *Östlichen Mittelgrabens* beträgt nach den durchgeführten Vermessungen im Teilgebiet 1 mit einer Höhendifferenz von 0,063 m über eine Strecke von 1.736 m ca. 0,004%. Durch die teilweise geringmächtigeren Torfe ist davon auszugehen, dass die Grabensohle nicht durchgängig im Torfkörper verläuft. So weisen die Bohrungen HB11 und 51892 in unmittelbarer Nähe zum Vorfluter darauf hin, dass die Grabensohle in diesem Bereich bis in den mineralischen Untergrund schneidet. Der *Ipweger Moor Kanal* verzeichnet innerhalb der Gebietsfläche eine durchschnittliche Höhe der Grabensohle von -2,40 m NHN und einen durchschnittlichen Wasserstand von -1,32 m NHN (Stand

26.06.2024). Das Sohlgefälle des *Ipweger Moor Kanals* beträgt innerhalb der Gebietsfläche mit einer Höhendifferenz von 0,029 m über eine Strecke von 324 m ca. 0,009%. Die Grabensohle liegt im Umfeld der bestehenden Bohrungen im Torfkörper und scheint nicht in den mineralischen Untergrund zu schneiden (s. 57219, 55719, 55717). Die Grabensohle des *Tiefs vor dem Heideich* liegt im Bereich des Untersuchungsgebietes durchschnittlich bei -3,11 m NHN, der durchschnittliche Wasserstand liegt bei -2,3 m NHN (Stand 04.07.2024). Das Sohlgefälle des *Tiefs vor dem Heideich* beträgt in diesem Bereich 0,25%, entsprechend einer Höhendifferenz von 0,21 m über eine Strecke von ca. 84 m. Auch hier liegt die Grabensohle im Umfeld bestehender Bohrungen im Torfkörper (s. 51887, 57346) und scheint nicht in den mineralischen Untergrund zu schneiden.

Das Teilgebiet 2 ist im Norden und im Süden durch ein Gewässer II. Ordnung eingefasst. Zur nördlichen Grenze verläuft das *Moorhauser Tief*, zur südlichen Grenze das *Moorhauser Grasmooortief West*. Innerhalb der Projektfläche sind die Flächen parzelliert, über Gräben läuft das meiste Wasser dem südlichen *Moorhauser Grasmooortief West* zu, welches das Wasser dann in nordöstliche Richtung weiterführt. Gemäß der Vermessungsdaten liegt die durchschnittliche Höhe der Grabensohle des *Moorhauser Tiefs* bei -2,24 m NHN und der durchschnittliche Wasserstand bei -1,36 m NHN (Stand 21.06.2024 und 04.07.2024). Das Sohlgefälle beträgt ca. 0,03% bei einer Höhendifferenz von 0,21 m auf einer Strecke von ca. 626 m. Im Umfeld des Teilgebietes 2 liegen keine Bohrungen ab 1994 vor. Die Handbohrungen HB18 und 21 lassen lediglich Aussagen zu den angrenzenden kleineren Gräben zu, nicht jedoch zu den Haupt- Vorflutern. Diese scheinen nicht in den mineralischen Untergrund zu schneiden. Die Grabensohle des *Moorhauser Grasmooortiefs West* weist eine durchschnittliche Höhe von -2,26 m NHN und einen durchschnittlichen Wasserstand von -1,43 m NHN auf (Stand 04.07.2024). Das Sohlgefälle entlang der Gebietsgrenze liegt bei einer Höhendifferenz von 0,18 m über eine Strecke von 439 m bei ca. 0,04%. Durch die teilweise geringmächtigeren Torfe in diesem Teilgebiet ist davon auszugehen, dass die Grabensohle nicht durchgängig im Torfkörper verläuft. So weist die Bohrung HB18 in unmittelbarer Nähe zum Vorfluter darauf hin, dass die Grabensohle in diesem Bereich bis in den mineralischen Untergrund schneidet.

Einige der westlichsten Vermessungsdaten entlang des *Moorhauser Grasmooortiefs West* deuten auf einen westlichen Abfluss hin. Hier scheint die Entnahme von großen

Mengen von Wasser zur Versorgung von Rindern und Schafen durch eine Tauchpumpe die Fließrichtung kurzfristig und lokal in die gegenläufige Richtung umzustellen (Messung während des Pumpvorganges in Gegenwart Landeigentümer). Alle anderen Werte deuten hingegen auf einen Abfluss in östliche Richtung hin.

Die Gräben des Teilgebiets 3 entwässern ebenfalls in das *Moorhauser Tief*, das zur nördlichen und östlichen Grenze des Gebiets verläuft. Dieses führt Wasser in westliche Richtung und verläuft auf Höhe des Teilgebiets 3 senkrecht in Richtung Süden weiter, wo es dem *Moorriemer Kanal* zuläuft. Aus den Vermessungsdaten geht hervor, dass die durchschnittliche Höhe der Grabensohle des *Moorhauser Tiefs* in diesem Bereich bei -2,69 m NHN und der durchschnittliche Wasserstand bei -1,46 m NHN (Stand 04.07.2024) liegt. Das Sohlgefälle liegt bei einer Höhendifferenz von 0,06 m über eine Strecke von ca. 406 m bei ca. 0,01%. Auch an dieser Stelle kann für das *Moorhauser Tief* aufgrund fehlender Aufschlussdaten keine Aussage dazu getroffen werden, ob die Grabensohle in den mineralischen Untergrund schneidet.

Darüber hinaus befinden sich im gesamten Untersuchungsgebiet, vor allem im Bereich des Teilgebietes 1, zahlreiche Drainagezuflüsse aus den umliegenden, landwirtschaftlich genutzten Grünlandflächen, die sowohl in die Vorfluter als auch in die kleineren Gräben münden.

6.3 Moorkartierung

Für die Erfassung der Beschaffenheit und Verteilung des Moorkörpers wurden zusätzlich zur aktuellen Erkundung bereits bestehende Aufschlüsse in die Betrachtung aufgenommen. Diese stammen aus dem Jahren 2003, 2008 und 2016 und sind durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLfB) abgeteuft und durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) bereitgestellt worden. Bohrungen vor dem Jahr 2000 sind nicht berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass vor dem Hintergrund von Torfsackung und -zehrung über diesen Zeitraum keine aktuellen Bodenverhältnisse mehr abgebildet werden. Die Bohrprofile sind der **Anlage 6.2** zu entnehmen.

In den Teilgebieten 1–3 konnte ein weitestgehend durchgehender Torfkörper kartiert werden. Insgesamt liegen Torfmächtigkeiten von überwiegend 2 m bis 3 m im Untersuchungsgebiet vor. Die Torfmächtigkeiten variieren zwischen 3 m (HB10) und 1,37 m (HB18). Im Teilgebiet 2 wurden die geringmächtigsten Torfe aufgeschlossen. Die Altdaten des LBEG verzeichnen mächtige Torfschichten bis zu über 4 m im Bereich der

umliegenden Naturschutzgebiete (51881, 51886, 52170). Das Untersuchungsgebiet ist allgemein als Hochmoorstandort zu bewerten. Vereinzelt konnte geringmächtiges Niedermoor in Form von Schilf- und Birkenbruchtorfen an der Basis der Bohrungen angesprochen werden (HB01, 02, 10, 11, 15, 16, 18, 19). Es kommen sowohl Schwarz- also auch Weißtorfe vor. In den Teilgebieten 2 und 3 sind stark zersetzte Torfe bereits oberflächennah zu finden (HB15, 16, 18). Die obersten 20–40 cm der Aufschlüsse sind durchweg von Vererdungs- und Vermulmungsprozessen gekennzeichnet. Der Oberboden ist vergleichsweise trocken und stark verdichtet. Dies ist besonders im Teilgebiet 1 zu beobachten. Hier sind zudem teilweise künstliche Aufschüttungen von Sand in das Projektgebiet eingebracht worden (s. HB04, HB05). Laut der Flächeneigentümer sollte dies dem Zwecke der verbesserten Tragfähigkeit, dem Ausgleich von Unebenheiten und dem Entgegenwirken von Sackungen dienen und wurde in unregelmäßigen Abständen in den letzten 50 Jahren vorgenommen. Auch die Altdaten der Bohrungen des LBEG sind größtenteils deckungsgleich mit den hier erfassten Ergebnissen.

Auf der **Anlage 8.1** ist die Moorverteilung des Teilgebietes 1 anhand einer Interpolation der Torfmächtigkeiten zwischen den bereits bestehenden Aufschlüssen und den neu abgeteufte Bohrungen im Untersuchungsgebiet dargestellt. Für die Teilgebiete 2 und 3 liegen keine bestehenden Bohrungen vor, die nach dem Jahr 2000 abgeteuft wurden. Daher wurde die Interpolation der Torfmächtigkeiten ausschließlich auf Grundlage der neu abgeteufte Bohrungen vorgenommen. Die Moorverteilung in den Teilgebieten 2 und 3 ist auf der **Anlage 8.2** ersichtlich.

Unterhalb der Torfe konnte eine durchgehende Muddeschicht kartiert werden, die teilweise sehr gering ausgeprägt ist (HB01, HB03, HB08) und am Bohrpunkt HB07 nur 2 cm beträgt. Die weiteren Handbohrungen jedoch zeigen Mächtigkeiten bis zu 30 cm (z. B. HB10). Unterhalb der Mudde wurden durchgängig Mittelsande mit unterschiedlichen Beimengungen angesprochen. Die Altdaten der bestehenden Bohrungen hingegen weisen an keinem Standort im Untersuchungsgebiet Mudde auf. Es ist davon auszugehen, dass diese damals kategorisch nicht erfasst wurde. Aus diesem Grund sind die Altdaten des LBEG diesbezüglich nicht repräsentativ und wurden für diesen Bericht nicht für die Interpolation der Muddemächtigkeiten berücksichtigt.

Auf den **Anlagen 9.1** und **9.2** ist die Mudderverteilung der Teilgebiete anhand einer Interpolation der Muddemächtigkeiten zwischen den Handbohrungen im Untersuchungsgebiet dargestellt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in den Teilbereichen 1 und 3 Torfschichten von bis zu 3 m Mächtigkeit vorliegen, im Teilbereich 2 von bis zu 2 m. Abdichtende Schichten in Form von Mudden liegen anhand der Handbohrungen im Bereich des gesamten Untersuchungsgebietes großflächig vor, im Teilbereich 1 stellenweise nur sehr geringmächtig. Unterhalb der Mudde stehen Mittelsande an.

6.4 Wasserstandsentwicklung im Untersuchungsgebiet

In der **Anlage 10.1** sind die Wasserstände der Torfmessstellen ELS-01, ELS-02, ELS-03, ELS-04, ELS-05 und ELS-06 als Ganglinien zusammen mit der Tagesniederschlagsmenge (Messstellen Ovelgönne und Rastede, DWD 2024) für den Beobachtungszeitraum vom 19.07.2024 bis zum 08.10.2024 dargestellt.

Die Wasserstände fallen über den Beobachtungszeitraum teilweise merklich ab. Es ist eine Korrelation zwischen den Niederschlagsmengen und dem Verlauf der Ganglinien zu sehen. Vereinzelt wirken sich die Regenereignisse jedoch nicht auf die Wasserstände der Torfwassermessstellen aus. Daher kann hier angenommen werden, dass die Messstellen in Ovelgönne und Rastede, mit je zehn und vier Kilometer Entfernung, nicht durchweg repräsentativ für die Projektfläche sind. Dennoch lässt sich feststellen, dass die Wasserstände kurzfristig auf Regenereignisse reagieren. So kann in fast allen Messstellen ein starker Anstieg der Wasserstände nach den Regenereignissen um den 03.09.2024 verzeichnet werden. Auch die Regenereignisse um den 14.08.2024 und nach dem 26.09.2024 zeichnen sich vereinzelt durch kurzfristig steigende Wasserstände ab. Besonders ELS-06 reagiert stark auf diese Regenfälle. Bleiben die Niederschläge aus, sinken die Torfwasserstände jedoch rasch wieder ab. Der Wasserstand in der ELS-02 hingegen bleibt weitestgehend konstant.

Alle Messstellen wurden aus Gründen der besseren Bewirtschaftung an die Flächengrenzen gesetzt und liegen somit in der unmittelbaren Nähe eines Grabens. Dennoch lassen sich zwischen den Standorten Unterschiede im Verlauf der Wasserstandsentwicklung im Beobachtungszeitraum feststellen. Die Wasserstände der Messstellen ELS-03 und ELS-06 weisen über den Beobachtungszeitraum die höchsten Schwankungen auf und sinken bei ausbleibenden Niederschlägen in Teilgebiet 1 am stärksten ab. Die Messstelle ELS-04 zeigt die niedrigsten Wasserstände an. Hier fällt der Flurabstand des sommerlichen Torfwasserspiegels auf knapp 1 m u. GOK ab. Eine Entwässerung des südlichen Teilgebietes 1 in Richtung des *Tiefs vor dem Heideich* scheint daher besonders ausgeprägt. Die Wasserstände der Messstellen ELS-05 und

ELS-06 weisen den geringsten Flurabstand innerhalb der Projektfläche auf. Die gemessenen Torfwassertiefstände liegen für den Beobachtungszeitraum um die 0,4 m u. GOK.

Eine geringere Abnahme des Wasserstandes bei ausbleibenden Niederschlägen zeigt die Ganglinie der Messstelle ELS-02. Diese liegt direkt an einer der wichtigsten Entwässerungsstrukturen des Teilgebiets 1, dem *Östlichen Mittelgraben*. Der Vorfluter scheint im Bereich der Messstelle über den Beobachtungszeitraum hinweg genügend Wasser zu führen, um einen vergleichsweise stabilen Moorwasserpegel zu gewährleisten.

Die Grundwasserdaten der umliegenden Grundwassermessstellen *Gellen*, *Huntorferdamm-Entenpooltief* und *Klein Bornhorst* geben einen langjährigen Grundwassermittelwert von jeweils -1,15 m NHN, -0,59 m NHN und -0,09 m NHN für den Zeitraum von 1990 bis 2021 an. Überträgt man diese Grundwasserstände auf das Projektgebiet, so scheint das Grundwasser innerhalb der Torfschichten zu verlaufen und steht daher gespannt an.

Laut dem „Kein Klimaschutz“-Szenario (RCP8.5) liegt die klimatische Wasserbilanz bei 109-141 mm für die Jahre 2031 bis 2060. Das „Klimaschutz“-Szenario (RCP2.6) gibt 100-132 mm für die Jahre 2031 bis 2060 an. Für die Sommerhalbjahre 2031 bis 2060 wird zukünftig im Untersuchungsgebiet mit einem Wasserdefizit von ca. -74 mm gerechnet.

Für das Teilgebiet 1 liegen zudem Wasserstandsdaten bereits durchgeführter Projekte vor. So wurden im Rahmen des SWAMPS-Projektes im nordwestlichen Bereich des Teilgebietes 1 acht Torfwassermessstellen errichtet. Die Lage der Messstellen ist auf der **Anlage 5.3** ersichtlich. Vom 20.04.2017 bis zum 15.12.2020 wurden die Wasserstände innerhalb der Projektfläche aufgezeichnet [10]. Die Messstellen F01, F02, F03, F04, F05, F07, P06 und P07 lagen lediglich 15-40 m voneinander entfernt. Die Entfernung zu Gewässern III. Ordnung variierten. Die Pegel P06 und P07 wurden in einem Graben errichtet und zeichneten den Wasserspiegel auf. Die Wasserstände der Pegel P06 und P07 blieben über den Beobachtungszeitraum relativ konstant bei jeweils -1,0 m NHN und -1,25 m NHN. In Korrelation mit den Niederschlagsereignissen zeigten sich starke, kurzweilige Ausschläge bis zu -0,5 m NHN innerhalb der Wintermonate. Die Ganglinien der Messstellen F01–F05 und F07 verlaufen ebenfalls in Korrelation zu den Niederschlagswerten der DWD-Stationen Övelgönne und Rastede, mit Hochwerten bis

an die 0 m NHN in den Wintermonaten und Niedrigwerten von bis zu -1,15 m NHN in den Sommermonaten. Die Entfernung der Messstellen zu anliegenden Gräben ist sehr gut ersichtlich in den Wasserstandsdaten des Beobachtungszeitraums. So fielen die Wasserstände der Messstellen F02 und F07, die am weitesten entfernt zu den Gräben positioniert waren, über die Sommermonate weniger stark ab. Die Messstellen F01 und F04 lagen am dichtesten an den Gräben und zeigten den stärksten Abfall der Wasserstände in den Sommermonaten auf.

Weitere Wasserstandsdaten im Teilgebiet 1 wurden durch das Thünen Institut erhoben [11]. Die genaue Lage der Messstellen ist auf der **Anlage 5.1** ersichtlich. Im Rahmen des Projektes wurden zwei Messstellen im nördlichen Bereich errichtet. Die Messstelle IPW01 liegt nur ca. 70 m östlich der Messstellen des SWAPS- Projektes, ungefähr auf Höhe der F02. Die Messstelle IPW02 liegt ca. 350 m östlich der ELS-02. Über den Beobachtungszeitraum vom 18.08.2021 bis zum 26.03.2024 verläuft die Ganglinie der IPW01 ähnlich der der SWAPS-Messstellen, mit Wasserständen um die -0,2 m NHN im Winter und bis zu -1,15 m NHN im Sommer. Im Sommer 2023 fiel der Wasserstand lediglich auf -0,9 m NHN und stieg anschließend aufgrund verstärkter Niederschläge im August auf -0,45 m NHN an. Die später in Betrieb genommene Messstelle IPW02 zeichnete den Beobachtungszeitraum vom 25.01.2022 bis zum 26.03.2024 auf. Die Ganglinie der IPW02 folgt der der IPW01 mit leicht tieferem Wasserstand. Zum Spätsommer 2022 wurde der Versatz deutlicher und erreichte minimale Werte von -1,5 m NHN. Ab 2023 gleichen sich die Ganglinien der beiden Messstellen wieder an.

6.5 Modellierung der Torfwasserstände

6.5.1 Modellaufbau

Das Modellgebiet umfasst den Teilbereich 1 des Projektgebietes (vgl. **Anlage 2**). Die räumliche Diskretisierung des Modellgebietes erfolgte mit Hilfe eines strukturierten Gitters. In horizontaler Richtung wurde das Modellgebiet in 256 Zeilen und 199 Spalten unterteilt. Aus der vorgenommenen Diskretisierung ergab sich eine homogene Maschenweite des Modellgitters von 10 m x 10 m. Die vertikale Diskretisierung sollte es ermöglichen, den Torfkörper im Modellgebiet zu erfassen. Die Höhe der Oberfläche des Torfkörpers wurde aus dem DGM1 [1] entnommen. Die Unterkante des Torfkörpers wurde anhand der ermittelten Torfmächtigkeiten im Modellgebiet implementiert. Um eine flächendeckende Torfmächtigkeit aus den Bohrdaten zu gewinnen, wurden die Ergebnisse der Bohrungen interpoliert. Hierzu wurde die Software SAGA-GIS [12]

verwendet. Als Interpolationsalgorithmus wurde das „Natural Neighbours“-Verfahren verwendet. Da anhand der Bohrdaten von einer weitestgehend flächendeckenden Muddeschicht unterhalb des Torfkörpers ausgegangen werden konnte, wurde der Torfkörper als hydraulisch vom unterliegenden Aquifer getrennt angenommen. Volumenströme zwischen Torfkörper und darunterliegendem Aquifer wurden im Modell somit vernachlässigt.

Die lateralen Modellgrenzen wurden als Randbedingungen 2. Ordnung implementiert. Volumenströme in und aus diesen Zellen wurden gleich null gesetzt („No-Flow Boundaries“ [13]). Aufgrund der Begrenzungen durch Drainagegräben in Verbindung mit einem eher flachen Torfkörper können laterale Volumenströme in das Modellgebiet und aus dem Modellgebiet als untergeordnet bedeutsam für die Strömungsverhältnisse angesehen werden.

Die Drainagegräben innerhalb des Modellgebietes wurden mit Hilfe einer Randbedingung 3. Ordnung implementiert. Um das hydraulische Potential innerhalb der zugeordneten Drainage-Zellen im Modell festzulegen, wurden die Ergebnisse der Wasserstandsmessungen vom 26.06.2024 und 04.07.2024 verwendet. Konzeptionell lässt diese Art der Randbedingung nur Volumenströme zu, die aus dem Modellgebiet heraus gerichtet sind. Dabei wird die Drainage erst wirksam, sobald das hydraulische Potential in benachbarten Zellen oberhalb des hydraulischen Potentials innerhalb der Drainage-Zellen liegt. Die ermittelten Wasserstände in den Entwässerungsgräben wurden für die Simulation beider hydrologischen Halbjahre verwendet (innerhalb des Ist-Szenarios). Eine langzeitliche Betrachtung der Wasserstandsdaten der SWAMPS Messtellen (s. **Anlage 5.3**) zeigt über einen Zeitraum von etwa 3 Jahren relativ konstante Wasserstände. Jahreszeitliche Wasserstands-schwankungen ergaben sich nur für vergleichsweise kurze Zeiträume durch einen Anstieg in den Winterhalbjahren und scheinen durch Starkregenereignisse induziert. Diese Starkregenereignisse werden durch das Modell nicht simuliert. Neben dem „Ist-Szenario“ wurde ein „Maßnahmen-Szenario“ berechnet. Hierzu wurden die Wasserstände in den Gräben im Modell erhöht. In der Praxis könnten diese erhöhten Wasserstände durch ein Anstauen der Gräben erreicht werden.

Die Neubildung im Modell wurde mit Hilfe einer Randbedingung 2. Ordnung durch Daten zu Grundwasserneubildungsraten implementiert. Es wurden dabei unterschiedliche Grundwasserneubildungsraten für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr verwendet. Verschiedene Studien zeigten, dass in Deutschland etwa 75 % der jährlichen

Grundwasserneubildung im hydrologischen Winterhalbjahr stattfindet und etwa 25% im hydrologischen Sommerhalbjahr (*Armbruster, 2002; Sächsisches Landesamt für Umwelt*). Außerdem wurde die Grundwasserneubildung zur Berechnung der unterschiedlichen RCP-Szenarien variiert. Die verwendeten Grundwasserneubildungsraten (**Tabelle 1**) stammen aus dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA [14]. Die gezeigten Grundwasserneubildungsraten wurden zur Berechnung des „Ist“- und des „Maßnahmen“-Szenarios verwendet.

Tabelle 1: Verwendete Raten der Grundwasserneubildung innerhalb der unterschiedlichen Modellszenarien. Abgeleitet aus dem mGROWA-Modell [14].

	IST-Sommer	IST-Winter	RCP 8.5-Sommer	RCP 8.5-Winter	RCP 2.6-Sommer	RCP 2.6-Winter
Einheit	[mm/a _{halb}]	[mm/a _{halb}]	[mm/a _{halb}]	[mm/a _{halb}]	[mm/a _{halb}]	[mm/a _{halb}]
GW-Neubildung	25	75	16	64	19	76
Jährliche GW-Neubildung	100		80		95	

Die horizontale hydraulische Leitfähigkeit (k_f -Wert) des Torfkörpers wurde als homogen betrachtet. In Bezug auf die vertikale hydraulische Leitfähigkeit wurde von einer Isotropie ausgegangen. Eine hinreichend realitätsnahe Abbildung der Strömungsverhältnisse ergab sich im Zuge der Kalibrierung bei einem k_f -Wert von ca. 0,85 m/d bzw. 1×10^{-5} m/s. Der Plausibilitätsbereich der hydraulischen Durchlässigkeit von Torfkörpern liegt zwischen 0,06–6 m/d (*Succow & Joosten, 2012*).

6.5.2 Grundwasserneubildung

Klimawandelbedingte Veränderungen der klimatischen Einflussfaktoren auf die Grundwasserneubildung betreffen insbesondere die Niederschlagshöhe, deren jahreszeitliche Verteilung und Intensität sowie u. a. die temperaturabhängige Evapotranspiration (*Ertl et al., 2019*).

Für Deutschland und Niedersachsen weisen Klimaprojektionsergebnisse auf einen weiteren Anstieg der mittleren Jahrestemperatur hin (*Bender et al., 2017; DWD, 2018*). Damit einhergehend ist es wahrscheinlich, dass hohe Temperaturen in Verbindung mit lang andauernden Hitzeperioden zunehmen werden und es zu einem Anstieg der Evapotranspiration kommt (NLWKN, 2022). Niederschlagsprojektionsergebnisse deuten darüber hinaus auf eine saisonale Verschiebung der höchsten Niederschlagsmengen vom Sommer in den Winter hin (*Bender et al., 2017; DWD, 2018; Scheihing, 2019*),

wobei im Sommer mit einer Zunahme von Starkregenereignissen zu rechnen ist (NLWKN, 2022).

Die Klimawirkungsstudie Niedersachsen (MU, 2019) zeigt, dass steigende Temperaturen und die sich daraus ergebende höhere Verdunstung sowie die Veränderungen der Niederschlagsverhältnisse in Niedersachsen langfristig zu einer Reduzierung der Grundwasserneubildung im Sommer führen (NLWKN, 2022). Im Winterhalbjahr ist hingegen aufgrund der Niederschlagsverschiebung in die Wintermonate mit einer Zunahme der Grundwasserneubildungsrate zu rechnen (MU, 2019; NLWKN, 2022). Diese Dynamik verstärkt die natürlichen saisonalen Schwankungen des Grundwasserstands. Es ist davon auszugehen, dass das sommerliche Defizit durch die zunehmende Grundwasserneubildung in den Wintermonaten ausgeglichen werden kann, sodass sich die Grundwasserneubildung in Niedersachsen in Zukunft kaum verändern wird (MU, 2019; NLWKN, 2022).

6.5.3 Kalibrierungsendstand

Die Kalibrierung des Modells wurde für den Ist-Zustand des Sommerhalbjahres (SHJs) entsprechend der aufgezeichneten Wasserstände in den TWMs durchgeführt. Dabei wurden vor dem Hintergrund einer konstanten Neubildung (vgl. **Tabelle 1**) und stationärer Zustände die Eingangsparameter k_f -Wert und Sohdurchlässigkeit der Gräben so variiert, dass die Simulationsergebnisse des Modellsystems die beobachteten Daten des Natursystems möglichst gut approximieren. Der k_f -Wert sowie die Sohdurchlässigkeit der Gräben werden für das gesamte Modellgebiet als homogen angenommen. Zusätzlich wird angenommen, dass die Sohdurchlässigkeit mithilfe einer Faktorisierung des k_f -Werts bestimmt werden kann.

Zur Kalibrierung werden die durch die TWM ermittelten Torfwasserstände vom 19.07.2024 herangezogen. Für diese Stichtagemessung werden der k_f -Wert und die Sohdurchlässigkeit manuell innerhalb des aufgeführten Plausibilitätsbereiches variiert bis eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Wasserständen erreicht ist. Die Güte der Anpassung wird über die Wurzel der mittleren Abweichungsquadrate (RMSD) zwischen berechneten und gemessenen Wasserständen ermittelt. Die berechneten Wasserstände werden den gemessenen Wasserständen in einem Scatter-Diagramm gegenübergestellt. **Abbildung 1** zeigt das Scatter-Diagramm für die Parameterwerte der bestmöglichen manuellen Anpassung mit

einem ermittelten RMSE von 0,095 m. Der kalibrierte k_f -Wert liegt bei 0,864 m/d, die kalibrierte Sohldurchlässigkeit beträgt ebenfalls 0,864 m/d.

Der Wasserbilanzfehler des Modells beträgt 0 %.

Insgesamt kann demnach mit dem vorliegenden Modell die der Kalibrierung zugrunde gelegte hydraulische Situation gut reproduziert werden.

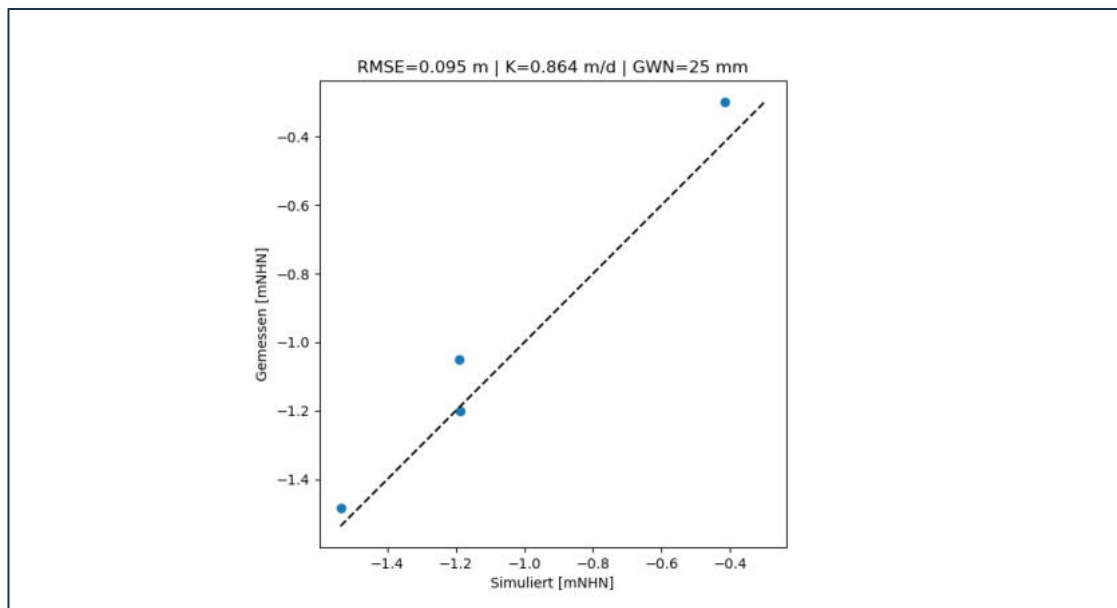


Abb. 1: Scatter-Diagramm der gemessenen Torfwasserstände [m NHN] und der simulierten Torfwasserstände [m NHN].

Anlage 12.1 zeigt die modellierten Flurabstände zum Kalibrierungsstand des Modells für das SHJ ohne Maßnahmen und somit den Ist-Zustand der hydrologischen Verhältnisse im SHJ. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Flurabstände in den Zentren der Parzellen, die von Entwässerungsgräben umgeben sind, grundsätzlich am niedrigsten sind. Mit zunehmender Nähe zu den Gräben nehmen die Flurabstände zu. Dies ist mit der Dränwirkung der Gräben auf den Torfwasserkörper zu begründen, die mit zunehmender Entfernung vom Graben abnimmt. Die niedrigsten Flurabstände von weniger als 0,3 m u. GOK sind vor allem im nordwestlichen und südöstlichen Bereich des Teilgebietes 1 zu verorten. Die höchsten Flurabstände werden im südlichen Bereich des nördlichen Teilgebiets verzeichnet. Der Medianwert der simulierten Flurabstände aller aktiven Modellzellen für den Ist-Zustand im SHJ beträgt 0,81 m (vgl. **Tabelle 3**, S. 33).

6.5.4 Ist- Zustand im Winterhalbjahr ohne Maßnahmen

Der Ist-Zustand für das hydrologische Winterhalbjahr (WHJ) ist in Form eines Flurabstandsplanes in **Anlage 12.2** aufgezeigt. Zur Simulation des Ist-Zustands im WHJ wurde die Neubildung entsprechend der **Tabelle 1** angepasst.

Erwartungsgemäß nehmen die Flurabstände im WHJ für den Ist-Zustand im Vergleich zu denen im SHJ sowohl in den Zentren der Parzellen als auch in der Nähe der Gräben deutlich ab. Dies ist auf die erhöhte Neubildung aufgrund der niedrigeren Evapotranspiration und vermehrter Niederschläge während des WHJs im Vergleich zum SHJ zurückzuführen. Weiterhin sind die Flurabstände in den Zentren der Parzellen am niedrigsten und nehmen mit zunehmender Nähe zu den Gräben zu. Der Medianwert der simulierten Flurabstände aller aktiven Modellzellen für den Ist-Zustand im WHJ beträgt 0,36 m (vgl. **Tabelle 3**, S.33).

7 WIEDERVERNÄSSUNGSPOTENTIAL DES MOORES

Zur Bewertung des Wiedervernässungspotentials der Teilbereiche 1–3 wurden sowohl die bodenkundlichen und hydrologischen Standortfaktoren als auch räumliche Nutzungskonflikte berücksichtigt.

Für eine erfolgreiche Wiedervernässung ist ausschlaggebend, ob genügend Wasser in und aus dem Gebiet fließt. Entscheidend sind vor allem die Abflussraten. Um das Abfließen des Wassers möglichst zu verhindern, müssen Staueinrichtungen installiert werden. Laut Bebauungsplan müssen Gewässer I. und II. Ordnung allerdings im Rahmen der Wiedervernässungsmaßnahmen unverändert bestehen bleiben. In Teilbereichen mit großer Grenzfläche zu Vorflutern II. Ordnung sind Vernässungsmaßnahmen daher nur eingeschränkt durchführbar. Auch die Entwässerungsstrukturen innerhalb der Projektgebiete sind zu erhalten. Demnach ist die einzige mögliche Wiedervernässungsmaßnahme der Einbau wasserstauender Einrichtungen in den kleineren Gräben.

Für die Wiedervernässbarkeit von Flächen ist auch ausschlaggebend, wie angrenzende Flächen genutzt werden. So sollte zu weiterhin landwirtschaftlich genutzten Flächen eine Pufferfläche bestehen bleiben, während angrenzende Naturschutzgebiete von ansteigenden Wasserständen der Nachbarflächen profitieren könnten und umgekehrt.

Die Wasserstandsdaten innerhalb der Projektfläche deuten auf ein sommerliches Defizit hin, das mit bis zu 1 m u. GOK im Südwesten des Teilgebiets 1 deutlich unterhalb der geforderten 0,3 m u. GOK liegt. Die Teilgebiete 2 und 3 weisen ein wesentlich geringes Defizit auf. Die Torfwasserstands-Modellierung für das WHJ im Teilgebiet 1 zeigt deutlich höhere Wasserstände zum SHJ, diese liegen teilweise dennoch unter den geforderten 0,1 m u. GOK.

Die klimatische Wasserbilanz liefert eine erste Einschätzung der Wasserverfügbarkeit in der Projektfläche. Für die Hochmoorstandorte sind neben der Jahresbilanz insbesondere die sommerlichen Wasserstände von Bedeutung [15]. Ganzjährig betrachtet wird zukünftig ein Niederschlagsüberschuss für die Projektfläche angenommen. Die Sommerhalbjahre verzeichnen jedoch negative Werte, sodass diese z. B. über den Rückhalt winterlichen Überschusswassers kompensiert werden müssen.

Für die Wasserhaltung muss sowohl der laterale als auch der vertikale Abfluss betrachtet werden. Entscheidend für eine erfolgreiche Wiedervernässung ist unter anderem der abdichtende Untergrund [15]. So eignen sich Bereiche mit einer Mudde als gering wasserdurchlässige Basis besser für einen Wassereinstau als Bereiche, in denen der Torfkörper von stark wasserdurchlässigen Sanden unterlagert wird. Insbesondere Schwarztorfe, aber auch stark zersetzte Niedermoor torfe bilden ab einem bestimmten Zersetzungsgrad für den vertikalen Abfluss gering wasserdurchlässige Schichten. Gering zersetzte Niedermoor torfe, vor allem mit Beimengungen von Holzbestandteilen, hingegen weisen höhere hydraulische Leitfähigkeiten auf. Im Projektgebiet liegen durchgängig mächtige Torfschichten mit hohen Zersetzungsgraden vor, die den vertikalen Abfluss einschränken. Darunterliegend findet sich eine Muddeschicht als zusätzliche vertikale Abdichtung.

Ein weiteres Kriterium für das Wiedervernässungspotential von Flächen ist die Höhenlage bzw. der Höhenunterschied von Geländeoberflächen, da der Abfluss von Wasser von höher gelegenen in tiefer gelegene Bereiche erfolgt. Bereiche, die unter dem Höhenniveau des zugehörigen Vorfluters liegen, sind hydrologisch besonders begünstigt. Hierzu gehören auch Bereiche unterhalb des Meeresspiegels. Ein Großteil der Projektfläche liegt um NHN oder unterhalb. Innerhalb der Projektfläche weisen der südwestliche Bereich des Teilgebiets 1, der westliche Bereich des Teilgebiets 2, als auch der westliche Bereich des Teilgebiets 3 vergleichsweise niedrige Geländehöhen auf.

Für das hier betrachtete Projektgebiet liegen folglich gute naturräumliche Ausgangsbedingungen für eine Wasserstandanhebung vor. Auch die Potentialstudie „Moore in Niedersachsen“, veröffentlicht durch das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, bewertet die Standorteigenschaften der Projektfläche mit einem hohen bis mittleren Potential zur Wasserstandsanhebung [16]. Zur umfassenden Bewertung des Wiedervernässungspotentials müssen darüber hinaus auch räumliche Nutzungskonflikte berücksichtigt werden. Diese geben laut der Potentialstudie ein mittleres Potential zur Wasserstandsanhebung aus. Im Rahmen dieses Projektberichtes werden die Art der Anliegerflächen und der Abstand zu eben diesen, als auch der Abstand zu angrenzenden Gewässern II. Ordnung berücksichtigt. Die Nähe zu Verkehrsflächen kann zudem als Barriere und Begrenzung gewertet werden und mangelnde Pufferzonen revidieren. Anhand dieser Kriterien wurden unterschiedliche Potentialbereiche herausgearbeitet (s. Tabelle 2), die im Folgenden hinsichtlich ihrer Wiedervernässbarkeit beurteilt werden sollen. Die Ausdehnung der Potentialbereiche im Plangebiet ist auf den **Anlagen 11.1** und **11.2** dargestellt. Aufgrund der Größe des Projektgebiets sowie der angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen wurden Teilbereiche ausgearbeitet, die sich besonders für die Anhebung des Wasserstands eignen.

Tabelle 2: Eigenschaften der Potentialbereiche für die Wiedervernässung

Potentialbereich 1	Grenzt nicht an Gewässer II. Ordnung, Anliegerfläche Naturschutzgebiet und/ oder Verkehrsflächen	Sehr gute Ausgangsbedingungen für eine Wiedervernässung, wenige bauliche Maßnahmen wie Grabeneinstau vonnöten
Potentialbereich 2	Geringere Grenzfläche zu Gewässer II. Ordnung, geringere Grenzfläche zu landwirtschaftlichen Flächen oder Höfen und /oder größere Grenzfläche zu Naturschutzflächen und/ oder Verkehrsflächen	Gute Ausgangsbedingungen für eine Wiedervernässung, evtl. sind weitere bauliche Maßnahmen wie Barrieren vonnöten
Potentialbereich 3	Große Grenzfläche zu Gewässern II. Ordnung, große Grenzfläche zu landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Höfen und/ oder geringe Grenzfläche zu Naturschutzflächen und/ oder Verkehrsflächen	Bedingt gute Ausgangsbedingungen für eine Wiedervernässung, nur partielle bauliche Maßnahmen wie Grabeneinstau möglich
Potentialbereich 4	Grenzt von mehreren Seiten an Gewässer II. Ordnung, grenzt ausschließlich an landwirtschaftliche Flächen oder Höfe, keine Begrenzung durch Verkehrsflächen	Keine guten Ausgangsbedingungen für eine Wiedervernässung

Unter Betrachtung der aufgeführten Kriterien scheinen die Flächen im Osten des Teilgebietes 1 besonders für eine Wiedervernässung geeignet. Diese stehen nicht im unmittelbaren Kontakt zu dem *Östlichen Mittelgraben* und sind im Osten durch höher gelegene Verkehrsflächen begrenzt. In nördlicher Richtung schließen sich Naturschutzflächen an. Das umliegende erhöhte Gelände der Naturschutzflächen kann sich zudem positiv auf den natürlichen Wasserzufluss in den Potentialbereich 1 auswirken. Weiter südlich liegt ein Hof, dazwischen sind allerdings ausreichend Pufferflächen vorhanden. Auf diesen Flächen könnten die bestehenden Gräben ohne Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Flächen oder Eingriff in die Gewässer II. Ordnung eingestaut werden. Die hier installierte Messtelle Els-03 zeigt die größten Schwankungen innerhalb des gesamten Projektgebietes für diesen Standort. Dies kann jedoch auch auf die Nähe zum Vorfluter zurückgeführt werden.

Die zentral gelegenen Flächen entlang des *Östlichen Mittelgrabens* können größtenteils dem Potentialbereich 2 zugeordnet werden. Die Grenzflächen dieser Bereiche an ein Gewässer II. Ordnung können allerdings zusätzliche Maßnahmen zur Wasserhaltung, wie z. B. dem Einbau von unterirdischen Barrieren nötig machen. Zu landwirtschaftlich genutzten Flächen und Höfen ist ausreichend Pufferfläche oder Begrenzung gegeben. Die Messtelle ELS-02 verzeichnet trotz ihrer Lage zum Hauptvorfluter einen relativ stabilen Verlauf der Wasserstände über den Beobachtungszeitraum. Auch die südlichste Fläche kann dem Potentialbereich 2 zugeordnet werden. Hier muss bei Erdarbeiten auf die verlegte Gasleitung geachtet werden.

Die südlichen Flächen, die dem Potentialbereich 3 zugeordnet sind, eignen sich aufgrund der Lage eingeschränkt für eine Wiedervernässung, obwohl hier die niedrigsten Geländehöhen vorliegen. Diese Flächen können nur partiell durch Maßnahmen verändert werden, da sie teilweise zu nah an Anliegerflächen und Höfen angrenzen. Die Messtelle ELS-04 im südlichen Bereich weist besonders niedrige Wasserstände auf.

Die nördlichsten Flächen sind aufgrund ihrer Standorteigenschaften dem Potentialbereich 4 zugeordnet. Hier scheint eine Wiedervernässung aufgrund der vorliegenden Bedingungen problematisch.

Da das Teilgebiet 2 nördlich und südlich von zwei Vorflutern Gewässer II. Ordnung eingfasst ist, kommen lediglich zentral gelegene Teilflächen als Potentialbereich 1

infrage. Die umliegenden Flächen lassen sich dem Potentialbereich 2 zuordnen. Die äußeren Bereiche im Süden und Norden sind dagegen nur bedingt oder nicht für eine Wiedervernässung geeignet und sollten als Pufferflächen dienen. Positiv für das Vorhaben ist der im Vergleich zum Teilgebiet 1 höhere Torfwasserstand, der in diesem Teilgebiet in den Sommermonaten und in Grabennähe auf max. 0,4 m u. GOK abfällt. Die Wasserstände liegen hier knapp unterhalb der im EEG 2023 genannten Forderung der Torfwasserstände im Sommerhalbjahr.

Im Teilbereich 3 grenzen alle Flächen an Vorfluter Gewässer II. Ordnung oder an landwirtschaftliche Flächen außerhalb des Projektgebiets. Auf der zentralen Fläche könnte durch partiellen Grabeneinstau eine Wasserstandsanhhebung/-erhaltung erfolgen. Auch hier liegt der sommerliche Torfwassertiefstand in Grabennähe bei 0,4 m u. GOK, der bereits dicht am sommerlichen Zieleinstau von 0,3 m u. GOK liegt.

8 MÖGLICHE VERNÄSSUNGSMAßNAHMEN

Folgende Maßnahmen werden im Rahmen der Wasserstandserhöhung im Projektgebiet empfohlen. Eine Darstellung der genauen Lage der Wiedervernässungsmaßnahmen ist den **Anlagen 13.1** und **13.2** zu entnehmen. Die Zieleinstauhöhen sind auf der **Anlage 13.3** gelistet.

Da vorhandene Gräben unverändert bestehen und Gewässer II. Ordnung unangetastet bleiben sollen, ist die Umsetzung von Staueinrichtungen in der Projektfläche empfehlenswert. Diese stellen zudem keinen Eingriff in das derzeitige Kulturlandschaftsbild dar und können nach Beendigung des Vorhabens und einem Auflösen der Pachtverträge unverzüglich rückgebaut werden. Die Staueinrichtungen sind aus Kunststoff oder Stahl herzustellen, da Holz über den Betriebszeitlauf des Vorhabens zu stark verwittert. Gemäß der angesetzten Anzahl von insgesamt 36 Staueinrichtungen (s. **Anlage 13.3**) in der Projektfläche ist die Herstellung und der Einbau der Staueinrichtungen einfach und kostengünstig zu halten. Hier empfiehlt sich der Einbau von Spundwänden aus Stahl. Diese können mittels eines Baggers in die Gräben gepresst und auf Höhe des jeweiligen Zieleinstaus gebracht werden. Dabei schließen die einzelnen Spundwandbohlen durch ineinandergreifende Schlösser (Nut und Feder), wodurch eine zusammenhängende und wasserdichte Einheit entsteht. Zusätzlich kann eine Schlossverfüllung vorgenommen werden, um die Dichtung zu erhöhen. Auch bieten Spundwände eine hohe Nachhaltigkeit, da die einzelnen Bohlen nach Gebrauch gezogen und wiederverwendet werden können.

Die Staeinrichtungen sollten keinesfalls tiefer als 0,5 m in der Grabensohle versenkt werden, um ein Durchstoßen der abdichtenden Muddeschicht zu vermeiden. Der vorliegende Torf bietet hier zudem den Vorteil der natürlichen Abdichtung bei Einbringung der Staeinrichtungen. Die Staeinrichtungen sollten über die gesamte Breite der Gräben verbaut und in die Uferseiten eingebracht werden. Somit sollte die Breite der Staeinrichtungen bei ca. 1,5 m liegen, die Länge bzw. Tiefe bei ca. 2,5 m. Diese Maße können je nach Graben leicht variieren, bzw. angesichts der vielen kleineren Gräben in den Projektflächen darunter liegen. Um die Staeinrichtungen auf die richtige Einstauhöhe zu bringen, kann ein Pegel mit einer entsprechenden Markierung eingesetzt werden. Auch können nachträgliche Flexarbeiten vorgenommen werden. Vier der 36 Staeinrichtungen sollten zudem regulierbar sein, da diese innerhalb von Pufferzonen liegen. Um hier eine Überstauung außenliegender Bereiche zu vermeiden, sollten diese verstellbar sein. Möglich wäre hier eine Staeinrichtung entsprechend der genannten Maße mit einer Aussparung zum Einbau einer verstellbaren Stautafel aus Kunststoff.

Mit der Errichtung der Staeinrichtungen in der Projektfläche und dem Einstau der Gewässer auf die Zielhöhe ist der Entwässerung durch die weitläufig verlegten Drainagerohre ebenfalls entgegengewirkt.

Im Teilgebiet 1 sollten 26 Staeinrichtungen realisiert werden. Diese sollten im nördlich-zentralen Bereich den Abfluss über den *Östlichen Mittelgraben* eindämmen und auf eine Zieleinstauhöhe von -0,6 m NHN gebracht werden. Die Staeinrichtung 14 sollte aufgrund der Nähe zu einem Hof regulierbar gestaltet werden. Im östlich zentralen Bereich kann die Zieleinstauhöhe von -0,2 m NHN aufgrund des erhöhten Geländes etwas höher angesetzt werden. Im südlichen Bereich sind aufgrund des niedrigeren Geländes geringere Zieleinstauhöhen von überwiegend -0,8 m NHN umzusetzen. Auch die Staeinrichtung 27 ist regulierbar zu gestalten, da hier die Entwässerung entlang des Heiddeichs und des Huntorfer Damms erfolgt, an dem ebenfalls drei Hofstellen liegen. Der südöstliche Bereich ist durch besonders tiefes Gelände geprägt, daher werden hier Zieleinstauhöhen von bis zu -1,7 m NHN angesetzt. Die Staeinrichtung 28 sollte zudem regulier sein, da eine starke Entwässerung in Richtung des *Tiefs vor dem Heiddeich* ersichtlich ist. Die Staeinrichtungen innerhalb des Teilgebiets 1 sind so gewählt, dass eine mögliche Umkehrung der Strömungsverhältnisse durch den Einstau aufgefangen wird.

Innerhalb des Teilgebiets 2 sind vier Staueinrichtungen geplant. Diese sollen den Abfluss in südlicher Richtung eindämmen. Die Zieleinstauhöhen sind auf -1,2 m NHN anzusetzen.

Auch im Teilgebiet 3 sind vier Staueinrichtungen vorgesehen. Die Zieleinstauhöhen variieren zwischen -1,1 m NHN und -1,3 m NHN. Die Staueinrichtung 35 ist zudem regulierbar zu gestalten.

8.1 Modellierung der Torfwasserstände

8.1.1 Prognose-Zustände SHJ und WHJ mit Maßnahmen ohne Klimaszenarien

Die Prognose-Zustände werden anhand einer Auswahl der im Modell umsetzbaren möglichen Wiedervernässungsmaßnahmen simuliert. Dazu werden die empfohlenen Maßnahmen durch eine Anpassung der Dränhöhen im Modell implementiert. Die Zuordnung gemäß SHJ und WHJ findet anhand der **Tabelle 3** statt. Die übrigen Eingangsparameter liegen weiterhin unverändert vor und entsprechen dem Kalibrierungsendstand. Die Prognose-Zustände mit implementierten Wiedervernässungsmaßnahmen sind für das SHJ und das WHJ ebenfalls in Form von Flurabstandsplänen in **Anlage 12.3** und **12.4** dargestellt.

Ein Vergleich der Simulationsergebnisse des Ist-Zustands mit denen des Prognose-Zustands für das SHJ (**Anlage 12.1** und **12.3**) verdeutlicht den Effekt der Maßnahmen auf die Flurabstände. Im gesamten Teilgebiet stellen sich durch die Maßnahmen niedrigere Flurabstände ein. Die niedrigsten Flurabstände von weniger als 0,3 m u. GOK sind als Folge der Maßnahmen nun vor allem auch im nordöstlichen, östlichen und südöstlichen Bereich des Teilgebietes zu verorten. Die höchsten Flurabstände werden weiterhin im südlichen Bereich des nördlichen Teilgebiets und entlang nicht anstaubarer Vorfluter verzeichnet.

Insgesamt spiegelt sich die Wirksamkeit der Wiedervernässungsmaßnahmen in den simulierten Wasserständen grundsätzlich durch deutlich niedrigere Flurabstände wider, insbesondere während des WHJs bei einem direkten Vergleich von **Anlage 12.2** und **Anlage 12.4**.

Um die Auswirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen grob zu quantifizieren, wird in **Tabelle 3** der im Modellgebiet gemittelte Flurabstand sowie der Medianwert des Ist-Zustands und der Prognose-Zustände für das SHJ und WHJ aufgezeigt. Der Effekt der Wiedervernässungsmaßnahmen lässt sich demnach für das SHJ gemäß der

Modellergebnisse bei der Betrachtung der Medianwerte mit einer Verringerung der Flurabstände um 0,36 m gegenüber des Ist-Zustands beziffern. Der Medianwert des Flurabstands im Prognose-Zustand im WHJ nimmt im Vergleich zum Ist-Zustand um 0,31 m ab. Die Aussagekraft des gemittelten Flurabstands bzw. für den Medianwert des Flurabstands für das gesamte Modellgebiet ist zwar eingeschränkt, ermöglicht aber dennoch grundsätzliche Aussagen zu den Effekten der Wiedervernässungsmaßnahmen.

8.1.2 Ist- und Soll-Zustände mit Klimaszenarien

Die Simulationsergebnisse der Modelle, die die verschiedenen Klimaszenarien abbilden, sind hinsichtlich der Flurabstände in **Anlage 12.5** in Form von Boxplots dargestellt. Die projizierte Verschiebung der Niederschläge von den Sommermonaten in die Wintermonate zeichnet sich in den Klimaszenarien zunächst lediglich anhand höherer Flurabstände im hydrologischen Sommerhalbjahr im Vergleich zum Ist-Zustand ab. Dies gilt sowohl für das RCP2.6- als auch für das RCP8.5-Szenario. Aufgrund der projizierten abnehmenden jährlichen Neubildungsrate in beiden Klimaszenarien (vgl. **Tabelle 1**) wird vom Modell jedoch keine zunehmende saisonale Dynamik der Wasserstände prognostiziert. Gemäß der Modellergebnisse nehmen die Flurabstände in beiden Klimaszenarien innerhalb des hydrologischen Winterhalbjahres im Vergleich zum Ist-Zustand geringfügig zu.

Bei einem Vergleich der Simulationsergebnisse für die Klimaszenarien mit und ohne umgesetzte Wiedervernässungsmaßnahmen verdeutlicht sich deren positiver Effekt auf die Wasserstände in Form von niedrigeren Flurabständen.

Zusammenfassend lässt sich anhand der Modellergebnisse festhalten, dass die generell abnehmenden jährlichen Neubildungsraten zukünftig zu höheren Flurabständen im Untersuchungsgebiet führen. Aufgrund der zusätzlich projizierten Verschiebung der Niederschläge von den Sommermonaten in die Wintermonate verstärkt sich dieser Effekt insbesondere im hydrologischen Sommerhalbjahr. Bei der Umsetzung der Wiedervernässungsmaßnahmen ist zu erwarten, dass die Wasserstandsänderungen im Vergleich zu den Szenarien ohne Wiedervernässungsmaßnahmen gedämpft werden könnten.

Tabelle 3 liefert eine tabellarische Übersicht der jeweiligen Mediane und Mittelwerte der Flurabstände der Szenarien.

Tabelle 3: Median und Mittelwerte der simulierten Flurabstände mit (Ziel) und ohne umgesetzte Maßnahmen (Ist) für verschiedene Szenarien in saisonaler Abhängigkeit.

	Szenario	Median Flurabstand	Mittelwert Flurabstand
		[m u. GOK]	[m u. GOK]
ohne Maßnahmen (Ist)	SHJ	0,81	0,84
	WHJ	0,36	0,42
	RCP8.5 SHJ	0,92	0,96
	RCP8.5 WHJ	0,44	0,48
	RCP2.6 SHJ	0,88	0,92
	RCP2.6 WHJ	0,35	0,42
mit Maßnahmen (Ziel)	SHJ	0,45	0,52
	WHJ	0,05	0,23
	RCP8.5 SHJ	0,55	0,63
	RCP8.5 WHJ	0,13	0,27
	RCP2.6 SHJ	0,51	0,59
	RCP2.6 WHJ	0,04	0,23

8.2 Hinweise zur Materialbeschaffenheit und Gründung der Unterkonstruktionen

Grundlegend dürfen weder die Aufständungen noch die Infrastruktur (Kabeltrassen, Zuwegungen usw.) die hydrologischen Eigenschaften des Torfkörpers beeinträchtigen. Die relevanten, stauenden Schichten müssen unbedingt erhalten bleiben, um das Ziel der Wiedervernässung nicht zu gefährden. Aus Bodenaushub anfallender Torf ist zu minimieren und sollte nicht offen gelagert und der Oxidation preisgegeben werden (*Greifswald Moor Zentrum, 2022*). Es wird empfohlen, die Unterkonstruktion für die PV-Module mit Pfählen zu gründen. Die Pfähle der Modultische sollten aus statischen Gründen im mineralischen Untergrund verankert werden. Dazu werden die Pfähle durch den Torfkörper in den festen Untergrund gerammt. Verzinkter Stahl und Epoxidharzbeschichtungen sorgen dafür, dass die Modulbefestigungen im nassen, sauren Torfboden nicht rosten. Soll die Anlage aufgeständert montiert werden, müssen

die Gestelle der Anlage zusätzlich pulverbeschichtet werden, um über die gesamte Laufzeit im Moorwasser vor Korrosion geschützt zu sein. Alternativ wird seit 2023 die Korrosionsschutzlösung Magnelis® angeboten, die laut Hersteller in einer C5-Umgebung bis zu 40 Jahre Lebensdauer verspricht [17]. Die Bodenversiegelung ist auf ein Minimum zu reduzieren und nur auf die punktuellen Fundamente der Modultische, Zuwegungen und notwendige Technikgebäude zu beschränken. Die Anlagen sind so aufzustellen, dass der Rückbau bodenschonend durchgeführt werden kann (*Helbing et al., 2022*).

Innerhalb der Fläche können kleinräumige Schwankungen der Torfmächtigkeiten vorliegen. Diese beeinflussen die Durchführung der Erdarbeiten, wie zum Beispiel den Wegebau. Die Auskoffnung muss deutlich tiefer als auf trockenem Untergrund erfolgen und es ist zusätzliches Material für den offenporigen Wegebau zu kalkulieren. Auch die Anlage der Kabelschächte muss angepasst an die Bodenschichten und den hohen Wasserstand erfolgen. Die Rammarbeiten zur Montage der Aufständering sind ebenfalls mit mehr zeitlichem Aufwand und dem Einsatz von Spezialgeräten verbunden. Darüber hinaus ist der Transport von Baumaterial auf der Fläche schwieriger, da nur kleine, leichtere Spezialmaschinen eingesetzt werden können und das auf einem LKW angelieferte Material umgeladen werden muss (*Nissen, 2022*).

9 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG

Die Nutzung von zuvor landwirtschaftlich genutzten Flächen als PV-Anlagenstandort kann bei einer Wiedervernässung und gleichzeitig reduzierten Dünggeeinträgen zu Einsparungen von Treibhausgasen wie Lachgas (N_2O) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) führen und somit einen entscheidenden Beitrag zum Klimaschutz leisten. So können anhand des GEST-Ansatzes (Treibhaus-Gas-Emissions-Standort-Typen, *Couwenberg et al., 2008, 2011*) der Universität Greifswald die Emissionen der Projektfläche ermittelt werden. Ausgehend von mäßig feuchtem Moorgrünland emittiert die Projektfläche näherungsweise 31,5 t CO_2 -Äquivalente (eq) pro Hektar und Jahr. Die Gesamtprojektfläche von ca. 235 ha berücksichtigend entspräche das einer jährlichen $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emission von 7.402,5 t. Durch die geplanten Maßnahmen kann die Projektfläche teilweise als feuchtes Moorgrünland eingestuft werden mit einem geringeren Treibhauspotential von näherungsweise 19,5 t $\text{CO}_{2\text{eq}}$ pro Hektar und Jahr. Damit ergibt sich eine jährliche Emission von rund 4.582,5 t $\text{CO}_{2\text{eq}}$. Das Einsparpotential liegt damit schätzungsweise bei ca. 2.820 t $\text{CO}_{2\text{eq}}$ im Jahr.

Im Hinblick auf die genannten Standorteigenschaften eignen sich vor allem die zentralen Bereiche der Teilgebiete 1 und 2 für eine Wiedervernässung. Die umliegenden Puffer- und Randbereiche ermöglichen eine ausreichend hohe Wasserstandsanhhebung ohne Beeinträchtigung der Bewirtschaftung der außerhalb des Plangebiets gelegenen Flächen. Zur zusätzlichen Absicherung sind an kritischen Standorten regulierbare Staueinrichtungen geplant.

Entscheidend für einen Vernässungserfolg ist insbesondere, ob ausreichend Wasser in den Flächen gehalten werden kann. Dafür muss vor allem der laterale Abfluss über die Gewässer II. Ordnung vermindert werden. Dieser soll größtenteils über die Errichtung der Staueinrichtungen abgefangen werden. Dennoch ist zu bemerken, dass ohne weitere Maßnahmen weiterhin eine Entwässerung des Projektgebietes über die Haupt-Vorfluter besteht.

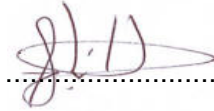
Die größte Herausforderung an die Wiedervernässung wird sich durch die trockenen Sommermonate mit erhöhter Evapotranspiration ergeben. Dieser wird versucht, mit dem Einstau winterlichen Überschusswassers entgegenzuwirken. Durch die Überdeckung eines großen Flächenanteils durch die PV-Modultische ist hingegen von einer verringerten Verdunstungsrate auszugehen. Wie genau sich die Verdunstungsraten durch die Errichtung der PV-Module entwickeln werden, kann jedoch nach dem aktuellen Stand nicht abschließend beurteilt werden. Ziel sollte eine langfristige Vernässung auch über den Anlagenzeitraum hinaus sein. Da die Wasserstandsentwicklung im Plangebiet vor allem im Hinblick auf langfristig zu erwartende Niederschläge und unentdeckte Abflüsse nicht abschließend abgeschätzt werden kann, sollte über den gesamten Zeitraum der PV-Flächennutzung ein Wasserstandsmonitoring durchgeführt werden. Durch eine regelmäßige und kontinuierliche Erfassung/Auswertung der Wasserstände ist gewährleistet, dass die geplanten hydraulischen Maßnahmen überprüft und bewertet werden können.

Abschließend wird auf die regelmäßige Kontrolle und Funktionsüberprüfung der Staueinrichtungen hingewiesen, damit mögliche negative Veränderungen oder Schäden rechtzeitig erkannt und behoben werden können.

Hude-Wüstring, 21.10.2024



i. A. Anni Winterberg (M. Sc.)



i. A. Anna Wilbers (M. Sc.)



i.A. Christian Bunte (M. Sc.)



i. A. Tim Witowski

10 LITERATURVERZEICHNIS

Armbruster, V. (2002): Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg. Freiburger Schriften zur Hydrologie. Institut für Hydrologie der Universität Freiburg i. Br.

Armstrong, A., Ostle, N. J., & Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074016.

Bender, S. et al. (2017). Der Einfluss des Klimawandels auf die terrestrischen Wassersysteme in Deutschland. Eine Analyse ausgesuchter Studien der Jahre 2009 bis 2013 (Techn. Bericht)

Couwenberg, J.; Augustin, J.; Michaelis, D.; Wichtmann, W. & Joosten, H. (2008): Entwicklung von Grundsätzen für die Bewertung von Niedermooren hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. Endbericht. Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Institut für Dauerhafte Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde (DUENE) e.V. Greifswald.

Couwenberg, J.; Thiele, A.; Tanneberger, F.; Augustin, J.; Bärisch, S.; Dubovik, D. et al. (2011): Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. In: *Hydrobiologia* 674 (1), S. 67–89. DOI: 10.1007/s10750-011-0729-x.

Deutscher Wetterdienst (DWD). (2018). Klimareport Niedersachsen. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft " (Techn. Bericht)

Dinesh (2016). The potential of agrivoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 54, 2016.

Dupraz (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes, *Renewable Energy*, Volume 36, Issue 10, 2011.

Feistel, U. und Werisch, S. (2022). Wie PV-Freiflächenanlagen den Bodenwasserhaushalt verändern – Begleitforschung im größten Solarpark Deutschlands.

Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023) § 37 Abs. 1 Nr. 3 lit. e).

Goetzberger, A. (1981). Kartoffeln unter dem Kollektor. *Sonnenenergie* 3/81.

Goetzberger, A. und Zastrow, A. (1982). On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. Int. J. Solar Energy 1.1.

Greifswald Moor Centrum (2022): Informationspapier des Greifswald Moor Centrum zu Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden. 6 S. Link zum Dokument
https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/Positionspapier_PV-auf-Moor_fin.pdf (letzter Zugriff: 07.04.2022).

Graf, M., Höper, H. & Hauck-Bramsiepe, K. (Redaktion) (2022): Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen. – GeoBerichte 45; Hannover (LBEG).

Grundwasserbericht Niedersachsen - Sonderausgabe zur Grundwasserstands-entwicklung im Jahr 2021. (2022). NLWKN.

Helbing, Dr. H. et al. (2022). Bodenschutz und Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Positionspapier des Bundesverbandes Boden e.V.

Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE) (2022): Photovoltaik auf wiedervernässten Moorböden – Eine neue Flächenkulisse im EEG 2023.

Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MU). (2019). "Klimawirkungsstudie Niedersachsen (Techn. Bericht).

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). (2022). Grundwasser Band 53: Niedersächsisches Messprogramm Klima-Grundwasserstand (Techn. Bericht)

Nissen, R. (2022): Erfahrungsbericht zu Moor-PV - Projektvorstellung Lottorf (Kreis SchleswigFlensburg). Vortrag im Rahmen des KNE-Fachgesprächs „Solarparks als strategische Chance für die Wiedervernässung von Moorböden?“ am 10.11.2022. 27 S.

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Referat 43: Siedlungswasserwirtschaft, Grundwasser.

Scheihing, K. W. (2019). Klimawandel in Niedersachsen und mögliche Folgen für die Grundwasserbewirtschaftung: ein Review.

Schlegel, J. (2021). Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität und Umwelt. Literaturstudie.

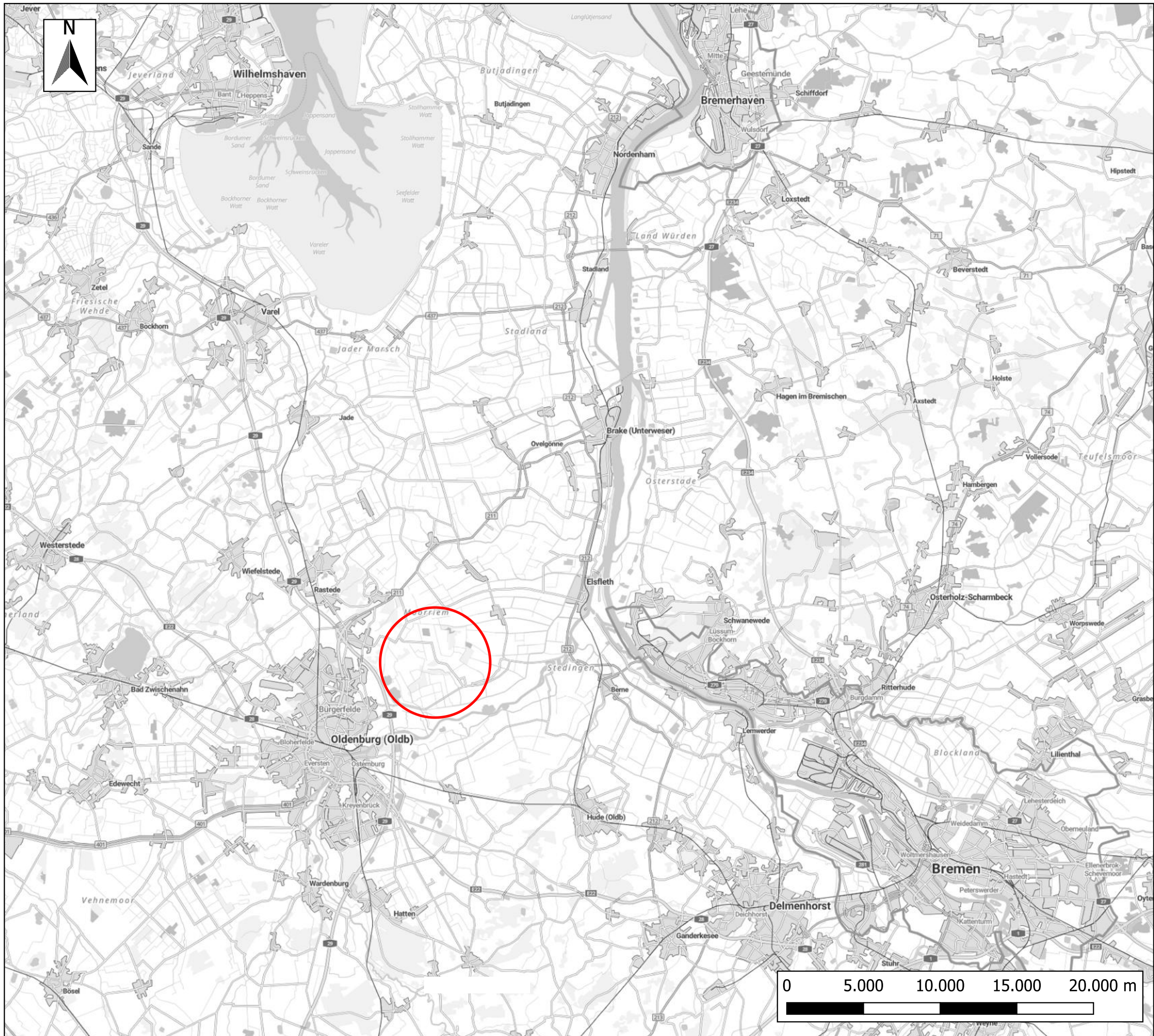
Siuda, C., Thiele, A. (2010): Moorrenaturierung kompakt - Handlungsschlüssel für die Praxis. LfU Bayern – Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.).

Succow, M., & Joosten, H. (2012). Landschaftsökologische Moorkunde. Schweizerbart Science Publishers.

Tiemeyer et al., 2017, Instrumente und Indikatoren zur Bewertung von Biodiversität und Ökosystemleistungen von Mooren, Braunschweig.

Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der GAP geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Verordnung) § 11 Abs. 2, § 11 Abs. 3.

ANHANG



Legende

Projektgebiet

M: 1:250.000

Auftraggeber: **Uniper Renewables GmbH**

Vorhaben: **Solarpark Elsfleth-West**

Projekt: **Machbarkeitsstudie
Wiedervernässung**

Projekt-Nr.: **3078-24**

A 1 **Lage des Projektgebiets**

Kartengrundlage: © basemap.de / BKG, LBEG, LGLN
Koordinatensystem: ETRS89 / UTM zone 32N, EPSG:25832



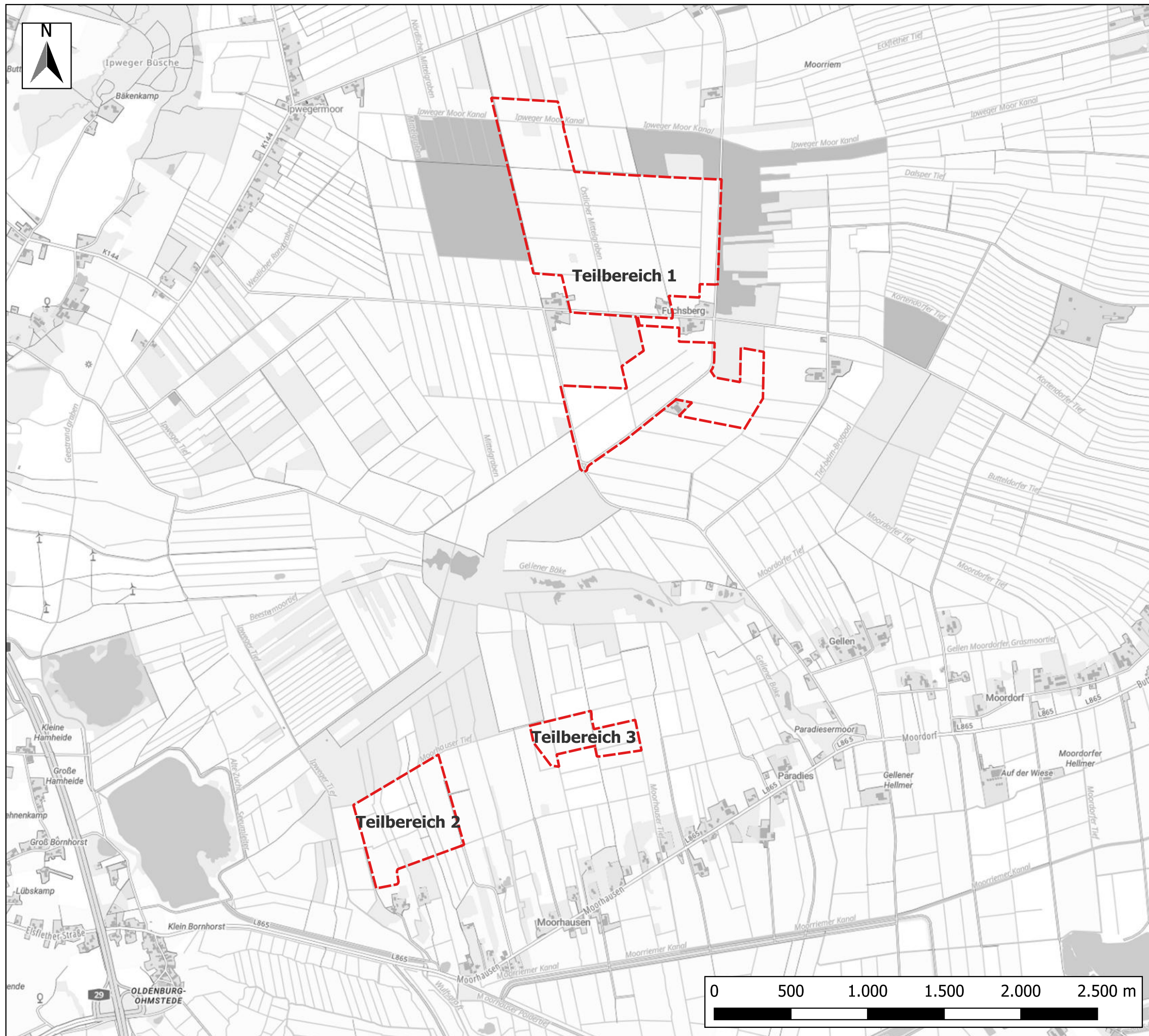
**INGENIEURBÜRO
LINNEMANN**

Datum : 2024-09-03

Gezeichnet: ILP/WA

Bearbeitet: ILP/WA

Format: A3 Q



Legende

 Teilbereiche 1-3

Teilbereich 1: Östlich Gellener Damm
ca. 184,4 ha

Teilbereich 2: Nördlich Moorhausen-West
ca. 35,8 ha

Teilbereich 3: Nördlich Moorhausen-Ost
ca. 14,7 ha

M: 1:25.000

Auftraggeber: **Uniper Renewables GmbH**

Vorhaben: **Solarpark Elsflëth- West**

Projekt: **Machbarkeitsstudie
Wiedervernässung**

Projekt-Nr.: **3078**

A 2 **Lage und Ausdehnung
der Teilgebiete**

Kartengrundlage: © basemap.de / BKG, LBEG, LGLN
Koordinatensystem: ETRS89 / UTM zone 32N, EPSG:25832

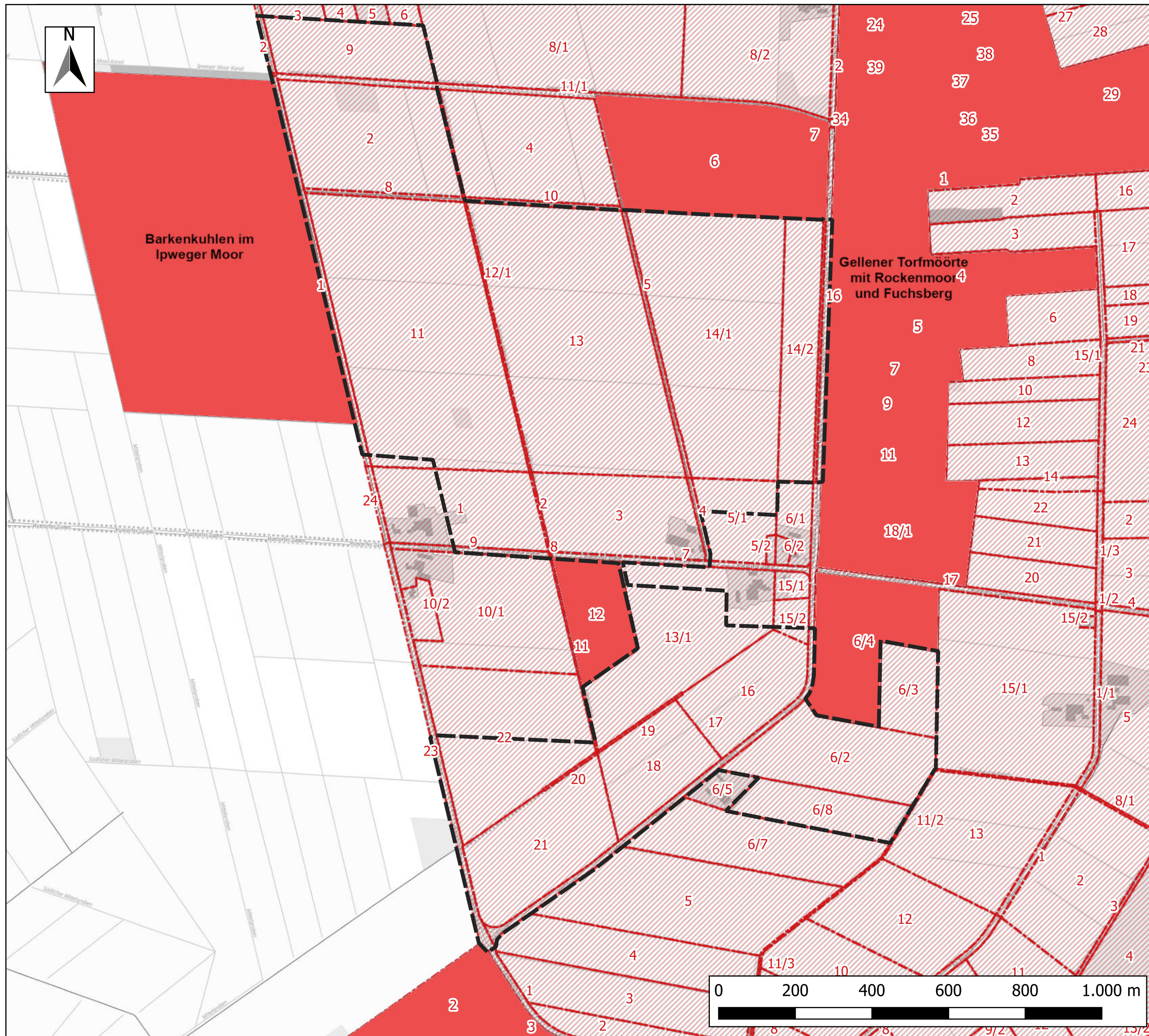


Datum : 2024-09-03

Gezeichnet: ILP/WA

Bearbeitet: ILP/WA

Format: A3 Q



- Legende**
- Projektfläche
 - Flurstücke
 - Naturschutzgebiet
 - Naturschutzgebiet

M: 1:10.000

Auftraggeber: **Uniper Renewables GmbH**

Vorhaben: **Solarpark Elsfleth West**

Projekt: **Machbarkeitsstudie
Wiedervernässung**

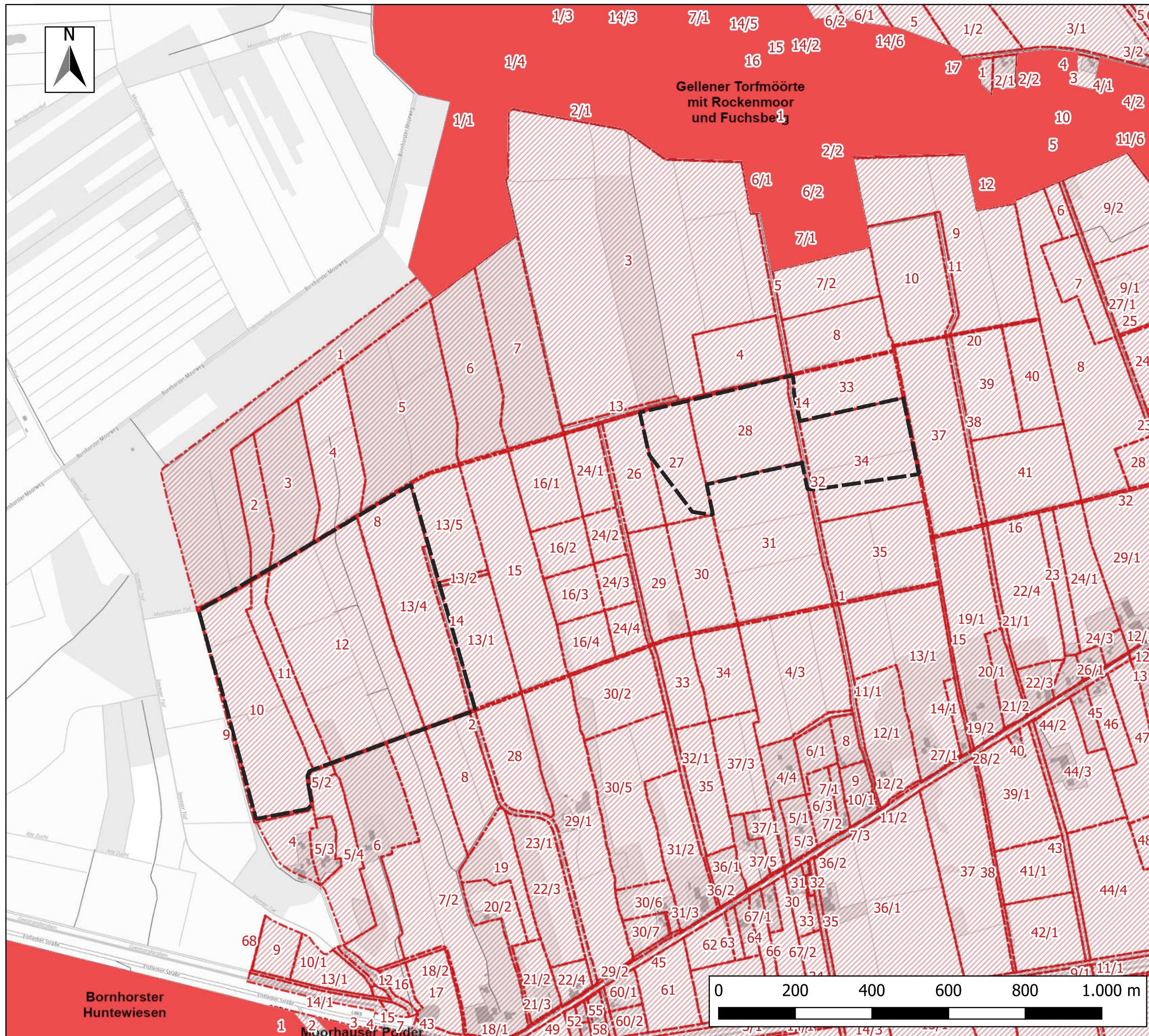
Projekt-Nr.: **3078**

3.1 Flurstücke Teilbereich 1

Kartengrundlage: © basemap.de / BKG, LBEG, LGLN
Koordinatensystem: ETRS89 / UTM zone 32N, EPSG:25832



Datum : 2024-09-09
Gezeichnet: ILP/WA
Bearbeitet: ILP/WA
Format: A3 Q



Legende

- Projektfläche
- Flurstücke
- Naturschutzgebiet
- Naturschutzgebiet

M: 1:10.000

Auftraggeber: **Uniper Renewables GmbH**

Vorhaben: **Solarpark Elsfleth West**

Projekt: **Machbarkeitsstudie
Wiedervernässung**

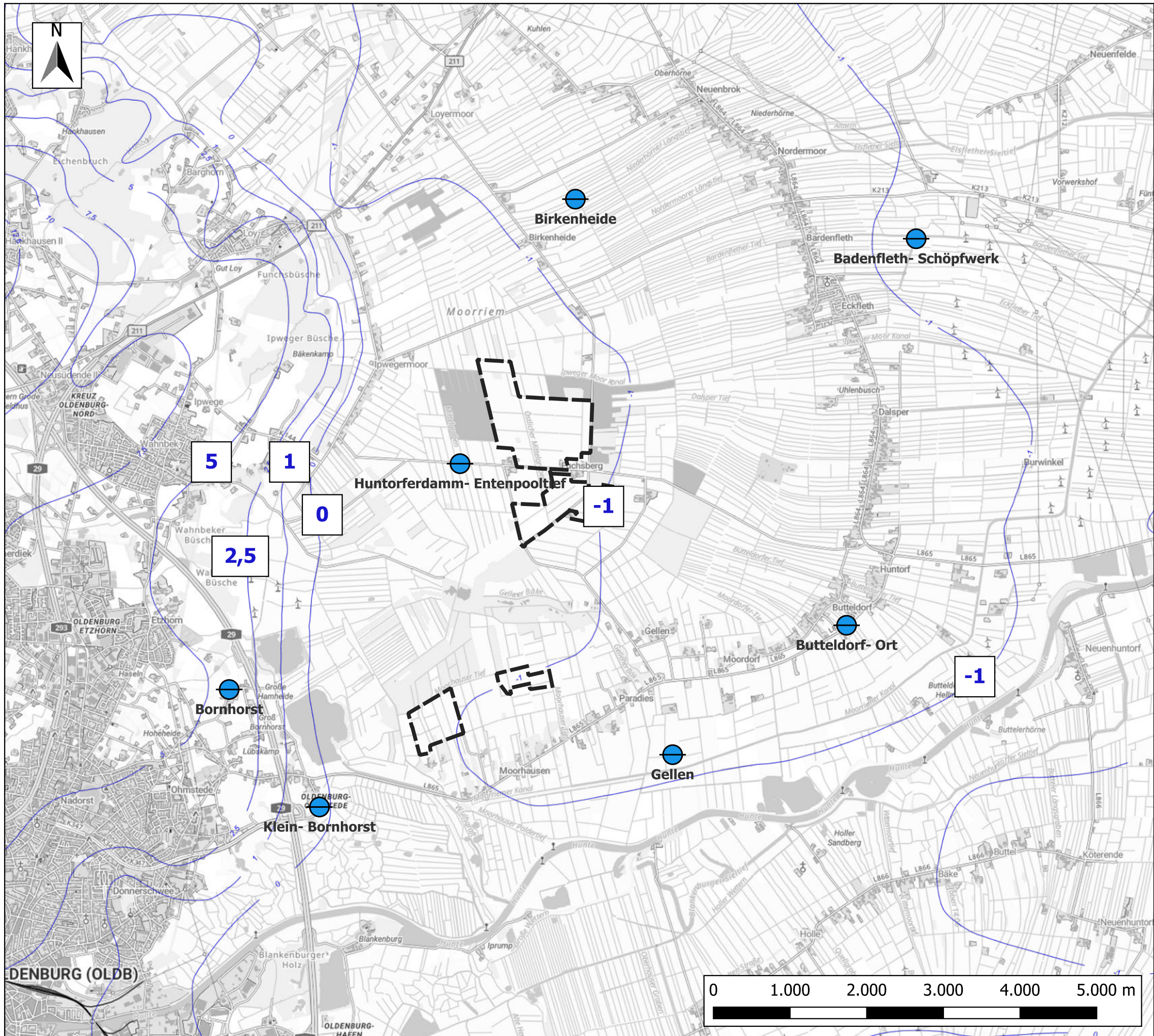
Projekt-Nr.: **3078**

3.2 Flurstücke Teilbereiche 2 & 3

Kartengrundlage: © basemap.de / BKG, LBEG, LGLN
Koordinatensystem: ETRS89 / UTM zone 32N, EPSG:25832



Datum : 2024-09-09
Gezeichnet: ILP/WA
Bearbeitet: ILP/WA
Format: A3 Q



Legende

-  Projektfläche
-  Landesgrundwassermessstellen

HK50- Lage der Grundwasseroberfläche

— Isolinien

M: 1:50.000

Auftraggeber: **Uniper Renewables GmbH**

Vorhaben: **Solarpark Elsfleth-West**

Projekt: **Machbarkeitsstudie
Wiedervernässung**

Projekt-Nr.: **3078**

A 4 **Lage der Grundwasser-
oberfläche**

Kartengrundlage: © basemap.de / BKG, LBEG, LGLN
Koordinatensystem: ETRS89 / UTM zone 32N, EPSG:25832



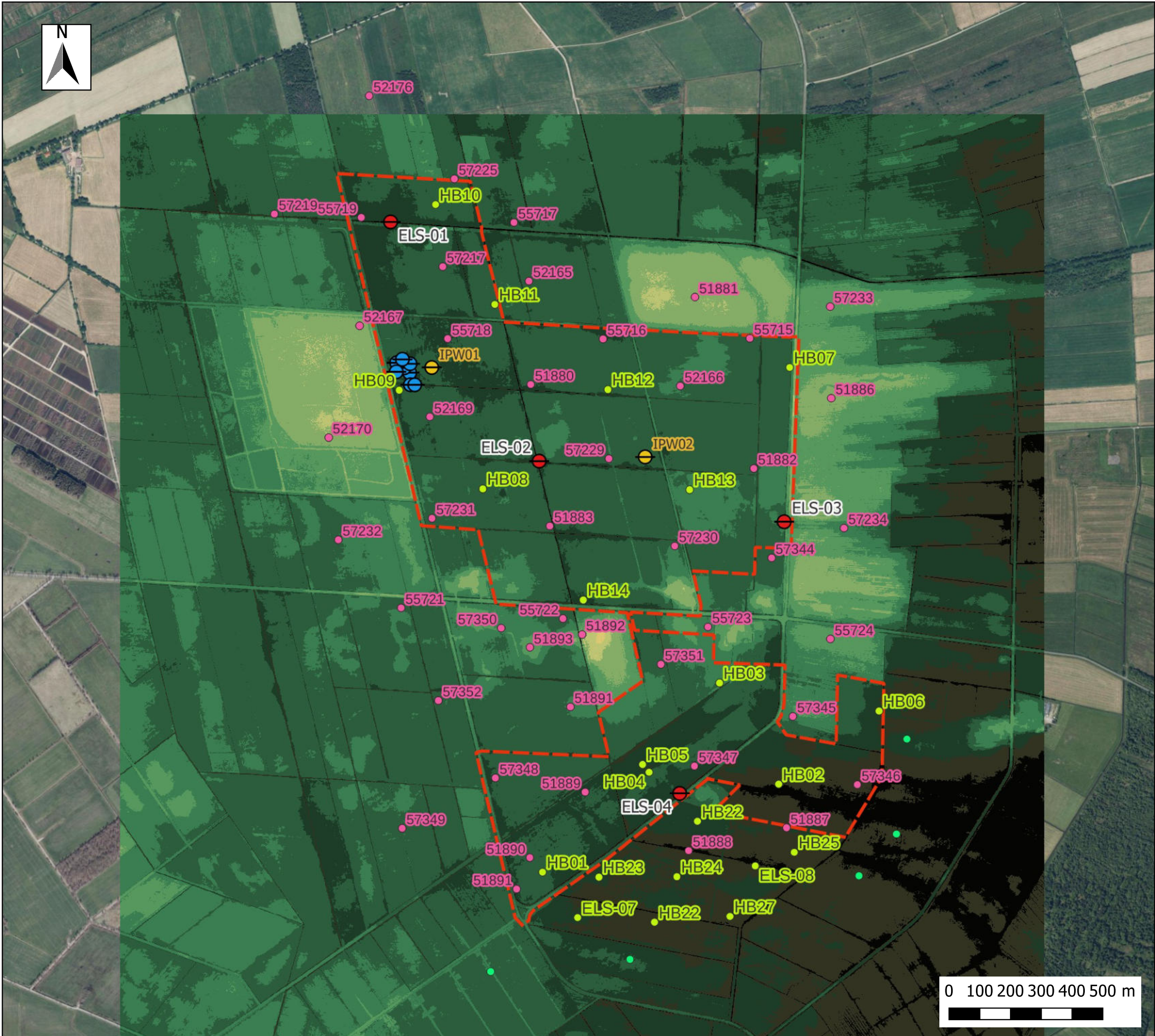
**INGENIEURBÜRO
LINNEMANN**

Datum : 2024-09-03

Gezeichnet: ILP/WA

Bearbeitet: ILP/WA

Format: A3 Q



Legende

- Projektfläche
- Torfwassermessstellen
- Messstellen_Thünen-Institut
- Messstellen_SWAMPS

Bohrungen

- fiktive Bohrung
- Handbohrung
- LBEG Bohrung

3078 DGM1

[m NHN]

- $\leq -1,23$
- 1,23 - -0,70
- 0,70 - -0,16
- 0,16 - 0,37
- 0,37 - 0,91
- 0,91 - 1,44
- 1,44 - 1,98
- 1,98 - 2,51
- 2,51 - 3,05
- 3,05 - 3,58
- 3,58 - 4,12
- $> 4,12$

M: 1:12.500

Auftraggeber: **Uniper Energy GmbH**

Vorhaben: **Solarpark Elsfleth West**

Projekt: **Machbarkeitsstudie
Wiedervernässung**

Projekt-Nr.: **3078**

**A 5.1 DGM1 und Lage der
Bohrungen und Messstellen
Teilgebiet 1**

Kartengrundlage: © basemap.de / BKG, LBEG
Koordinatensystem: ETRS89 / UTM zone 32N, EPSG:25832



Datum : 2024-10-21
Gezeichnet: ILP/WA
Bearbeitet: ILP/WA
Format: A3 Q



Legende

Projektfläche

Torfwassermessstellen

Bohrungen

fiktive Bohrung

Handbohrung

3078 DGM1

[m NHN]

$\leq -1,23$

$-1,23 - -0,70$

$-0,70 - -0,16$

$-0,16 - 0,37$

$0,37 - 0,91$

$0,91 - 1,44$

$1,44 - 1,98$

$1,98 - 2,51$

$2,51 - 3,05$

$3,05 - 3,58$

$3,58 - 4,12$

$> 4,12$

M: 1:7.500

Auftraggeber: **Uniper Energy GmbH**

Vorhaben: **Solarpark Elsfleth West**

Projekt: **Machbarkeitsstudie
Wiedervernässung**

Projekt-Nr.: **3078**

A 5.2 DGM1 und Lage der Bohrungen und Messstellen Teilgebiete 2 und 3

Kartengrundlage: © basemap.de / BKG, LBEG
Koordinatensystem: ETRS89 / UTM zone 32N, EPSG:25832



Datum : 2024-10-21
Gezeichnet: ILP/WA
Bearbeitet: ILP/WA
Format: A3 Q



Legende

- Projektfläche Teilgebiet 1
- Messstellen SWAMPS- Projekt
- Messstellen Thünen-Institut

Entwässerungsstrukturen

- kleine Gräben
- Gewässer III. Ordnung
- Gewässer II. Ordnung

3078 DGM1

[m NHN]

- $\leq -1,23$
- 1,23 - -0,70
- 0,70 - -0,16
- 0,16 - 0,37
- 0,37 - 0,91
- 0,91 - 1,44
- 1,44 - 1,98
- 1,98 - 2,51
- 2,51 - 3,05
- 3,05 - 3,58
- 3,58 - 4,12
- $> 4,12$

M: 1:1.000

Auftraggeber: **Uniper Renewables GmbH**

Vorhaben: **Solarpark Elsfleth- West**

Projekt: **Machbarkeitsstudie
Wiedervernässung**

Projekt-Nr.: **3078**

A 5.3 **Lage der SWAMPS-
Messstellen**

Kartengrundlage: © basemap.de / BKG, LBEG
Koordinatensystem: ETRS89 / UTM zone 32N, EPSG:25832



Datum : 2024-09-21
Gezeichnet: ILP/WA
Bearbeitet: ILP/WA
Format: A3 Q