



Auftraggeber: **Biologische Station Zwillbrock e.V**

Zwillbrock 10
48691 Vreden



Bearbeitung: **Hofer & Pautz GbR**

**Ingenieurgesellschaft
für Ökologie, Umweltschutz und Landschaftsplanung**

Buchenallee 18
48341 Altenberge



Bearbeitung: M.Sc.-Landschaftsökol. E. Rosinski
Dipl. Geogr. B. Hofer
M.Sc.-Umweltwiss. T. van den Beld
Dipl.-Landschaftsökol. J. Rudolph
cand. B. Eng. Landschaftsentwickl. C.-S. Becker
B.Sc.-Landschaftsökol. J. Bonaus

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Anlass	1
1.2	Aufgabenstellung	1
2	Projektgebiet.....	1
2.1	Geographische und administrative Lage.....	1
2.2	Beschreibung	3
2.3	Naturraum	3
2.4	Klima	3
2.5	Schutzstatus	4
2.6	Eigentumsverhältnisse	5
2.7	Nutzungshistorie	5
2.8	Bisherige Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen	8
3	Vorplanung	9
3.1	Anlage von Dämmen zum Rückhalt von Niederschlagswasser	9
3.2	Anstau des Grundwassers	9
3.3	Abgrabung von Sand und Lehm zum Dammbau	9
3.4	Verfüllung von wassergefüllten Torfstichen	9
3.5	Verfüllung des Grenzgrabens.....	10
4	Ergänzende Untersuchungen	11
4.1	Bohrungen	11
4.1.1	Torfqualität des Oberbodens	11
4.1.1.1	Methodik	11
4.1.1.2	Ergebnisse und deren Bewertung.....	13
4.1.2	Torfmächtigkeit und -qualität entlang der Dammstrecken im Moor	14
4.1.2.1	Methodik	14
4.1.2.2	Ergebnisse.....	14
4.1.3	Tiefe des Grundwasserstauers.....	17
4.1.3.1	Methodik	18
4.1.3.2	Ergebnisse und deren Bewertung.....	18
4.1.4	Mächtigkeit des Oberbodens und der Lehmschicht auf Flächen zur Lehmgewinnung.....	20
4.1.4.1	Methodik	20
4.1.4.2	Ergebnisse und deren Bewertung.....	21
4.1.5	Mächtigkeit des Oberbodens auf Flächen zur Sandgewinnung.....	24

4.1.5.1	Methodik	24
4.1.5.2	Ergebnisse und deren Bewertung.....	25
4.1.6	Breite, Tiefe und Mächtigkeit des Sandbetts im Grenzgraben.....	29
4.1.6.1	Methodik	29
4.1.6.2	Ergebnisse.....	29
4.2	Nährstoffbelastung im Wasser	32
4.2.1	Methodik	32
4.2.2	Ergebnisse und deren Bewertung	33
4.2.3	Schlussfolgerungen	35
4.3	Volumen der eutrophierten Torfstiche	36
4.3.1	Methodik	36
4.3.2	Ergebnisse und deren Bewertung	36
5	Überprüfung der vorhandenen Planung.....	40
5.1	Anlage temporärer Fahrwege.....	40
5.2	Dämme zur Anlage von Kompartimenten mit gleichem Moorwasserstand	42
5.2.1	Nachweis der Standsicherheit und Prüfung der Notwendigkeit des Einbaus einer Dichtung in Moor-Dämme.....	42
5.2.2	Dammgeometrie für die Moordämme.....	42
5.2.3	Zuschläge für Torfdämme (Sackung, Bergsenkung, Freibord).....	43
5.2.4	Stauziele der vorgesehenen Stau-Kompartimente	43
5.2.5	Erarbeiten einer Alternative zur Querung großer Torfstiche durch anzulegende Torfdämme (Dämme Nr. 42 und 35)	45
5.2.6	Prüfen bzw. Erarbeiten einer Alternative zur Anlage eines Damms mit 1,1 m Stauziendifferenz (Damm Nr. 24)	45
5.3	Verschließen von Gräben.....	45
5.3.1	Grenzgraben	45
5.3.2	Sonstige Gräben.....	45
5.4	Verschließen eutrophierter Torfstiche	45
5.5	Entfernung von Gehölzen.....	46
5.6	Abgraben von Torfrippen.....	46
5.7	Auffüllen von Torfstichen und tiefergelegenen Bereichen	46
5.8	Versickerung des an die Oberfläche geholten Grundwassers.....	48
5.9	Überprüfen und ggf. Optimieren des Bauablaufs.....	48
6	Aufstellung und Aktualisierung eines Mengengerüsts für Boden und Transport	49
7	Literaturverzeichnis	51
8	Anhang	54

8.1	Karten	54
8.2	Weitere Anhänge	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage des Hündfelder Moores an der deutsch-niederländischen Grenze	2
Abbildung 2:	Projektgebiet und administrative Grenzen	2
Abbildung 3:	Schutzstatus und angrenzende Schutzgebiete	4
Abbildung 4:	Eigentumsverhältnisse im Projektgebiet	5
Abbildung 5:	DGM1 mit Resttorfblock im Südosten	5
Abbildung 6:	Torfstich im Amtsvenn bei Epe, April 1918	6
Abbildung 7:	Im Amtsvenn: Schienentrasse der Feldbahn zum Abtransport des gestochenen Torfes	6
Abbildung 8:	Torfabbaustrukturen im DGM.	7
Abbildung 9:	Abtorfungssituation im Hündfelder Moor im Jahr 1972	8
Abbildung 10:	Lage der Oberbodenbohrungen.	12
Abbildung 11:	Vererdeter, durchwurzelter Torf.....	15
Abbildung 12:	Grobblättriger <i>Cymbifolia</i> -Torf.	15
Abbildung 13:	Lage der Rammkernsondierungen.....	17
Abbildung 14:	Lage der Bohrpunkte im Bereich der Lehmgewinnungsflächen	20
Abbildung 15:	Lage der Bohrpunkte in den Sandgewinnungsflächen.	24
Abbildung 16:	Torfauflage von über 1 m im Norden.....	25
Abbildung 17:	Torfauflage über humusarmen mittelsandigem Feinsand.....	26
Abbildung 18:	Übersandung der Torhorizonte.....	26
Abbildung 19:	Detailansicht des anthropogen beeinflussten Übergangs vom Torf- zum Mineralboden	26
Abbildung 20:	Geringmächtige Torfauflage über reliktschem Podsol	26
Abbildung 21:	Podsol ohne Torfauflage (S09).....	26

Abbildung 22: Übersandete, geringmächtige Torfschicht über humusarmen Sandboden (S26)	27
Abbildung 23: Durchmischter Sandboden (fS,ms) mit einer Lage Glassplitt in ca. 73 cm Tiefe (S25)	27
Abbildung 24: Glassplitt-Schicht aus Verfüllung einer Anodenbohrung (S25)	27
Abbildung 25: Lage der Bohrungen am Grenzgraben	29
Abbildung 26: Entnahmestellen der Wasserproben	33
Abbildung 27: Untersuchte Torfstichgewässer im Zentrum des Projektgebietes	36
Abbildung 28: Torfstich 1 mit großflächiger Wasserfläche und Saum aus Flatterbinsen	37
Abbildung 29: Torfstich 2 mit Verlandungsvegetation aus Flatterbinsen und Breitblättrigem Rohrkolben	37
Abbildung 30: Lage der Fahrwege	40
Abbildung 31: Stauziele der Staukompartimente	44
Abbildung 32: Lage der Abgrabungsflächen	47
Abbildung 33: Lage der Verfüllungsbereiche	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klimakennwerte	4
Tabelle 2: Durchlässigkeitsstufen und Durchlässigkeitsbeiwerte	13
Tabelle 3: Durchlässigkeitsbeiwerte für unterschiedliche Horizonttypen	13
Tabelle 4: Ergebnisse der Schlämm- und Siebkornanalysen der Bodenarten-Stichproben	19
Tabelle 5: Materialbedarf für den unterirdischen Teil der Dichtwand	19
Tabelle 6: Bodenarten und zugeordnete maximale k_f -Werte	22
Tabelle 7: Abzutragende bzw. gewinnbare Mengen im Bereich der Lehmgewinnungsflächen	22
Tabelle 8: Teilergebnisse der bodenanalytischen Laboruntersuchung der Boden-Mischproben	23
Tabelle 9: Vorsorgewerte nach LUFA NRW	23
Tabelle 10: Abzutragende bzw. gewinnbare Mengen im Bereich der Sandgewinnungsflächen	28
Tabelle 11: Lage der Grenzgraben-Verrohrung	30
Tabelle 12: Volumen des Sandbettes des Grenzgrabens	30
Tabelle 13: Volumen des Sandbettes des Grenzgrabens	31
Tabelle 14: Verteilung der Proben auf die drei Gewässerkategorien	32

Tabelle 15:	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Analytik.....	34
Tabelle 16:	Kennwerte und Mengenermittlungen aus den Untersuchungen der Torfstichgewässer.....	38
Tabelle 17:	Dimensionierung der Verwallungen, die als Fahrdamm genutzt werden.	41
Tabelle 18:	Dimensionierung der Torfdämme.	42
Tabelle 19:	Materialbedarf für die verschiedenen Böschungsverhältnisse.....	43
Tabelle 20:	Übersicht über die abzugrabenden Flächen und das gewinnbare Volumen.	46
Tabelle 21:	Übersicht über die unterschiedlichen Verfüllbereiche	46
Tabelle 22:	Mengengerüst.....	50
Tabelle 23:	Kostenschätzung	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Kartenverzeichnis

Karte 1:	Oberbodenbohrungen.....	54
Karte 2:	Bohrungen entlang der Dammstrecken und innerhalb der Staukompartimente...	54
Karte 3:	Rammkernsondierungen entlang der östlichen Dammtrasse	54
Karte 4:	Lehmgewinnung.....	54
Karte 5:	Sandgewinnung	54
Karte 6:	Bohrungen im Grenzgraben	54
Karte 7:	Tiefenmessungen in den Torfstichgewässern.....	54

1 Einleitung

1.1 Anlass

Intakte Moore zählen zu den wichtigsten Kohlenstoff-Senken und sind für den Schutz des Klimas von zentraler Bedeutung. Pro Hektar können sie bis zu viermal mehr CO₂ binden als Tropenwälder, obwohl Moore nur ca. 3 % der Erdoberflächen bedecken. Durch das langsame Wachstum von Torfmoosen und die anaeroben Bedingungen im Wasser wird organisches Material im Moor nicht vollständig abgebaut und stattdessen als Torf konserviert. Dadurch speichern Moore große Mengen an Kohlenstoff. Im entwässerten Zustand hingegen wird dieser Kohlenstoff freigesetzt und trägt zum Treibhauseffekt bei. Die Wiedervernässung von degradierten Moore ist daher entscheidend, um den Kohlenstoffhaushalt im Gleichgewicht zu halten und dem Klimawandel zu begegnen. Neben dem Klimaschutzaspekt haben Moore jedoch auch eine hohe Bedeutung für die Biodiversität. Hochmoore sind Lebensraum einer Vielzahl an selten gewordenen, hochspezialisierten Tier- und Pflanzenarten.

Das Hündfelder Moor gehört zusammen mit dem Amtsvenn und dem auf niederländischer Seite gelegenen Aamsveen zu dem grenzübergreifenden Hochmoorkomplex zwischen Ahaus, Gronau und Enschede. Es soll im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten LIFE-Projektes „CrossBorderBog“ wiedervernässt werden. Ziel hierbei ist die flächige Wiederherstellung hochmoortypischer Wasserstände von +/- 15 cm unter Flur als Basis für die langfristige Wiederherstellung und Sicherung der hochmoortypischer Lebensraumtypen und Arten.

1.2 Aufgabenstellung

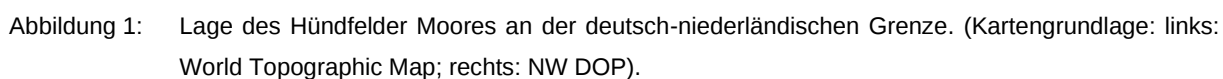
Im Rahmen der Antragsstellung wurde durch die Biologische Station Zwillbrock e.V. eine umfangreiche Vorplanung ausgearbeitet. Diese umfassen Maßnahmen wie die Anlage von Dämmen im Moor, die Verfüllung von Torfstichen sowie den Einbau einer Dichtwand zur Anhebung des Grundwasserstandes. Diese Vorplanung soll nun u.a. durch Untersuchungen im Feld ergänzt, überprüft und präzisiert werden.

2 Projektgebiet

2.1 Geographische und administrative Lage

Das Hündfelder Moor befindet sich im nordwestlichen Münsterland im nördlichen Teil des Kreises Borken, unmittelbar an der deutsch-niederländischen Grenze rund drei Kilometer südöstlich von Enschede sowie rund vier Kilometer südwestlich von Gronau (Abbildung 1). Die Bundesstraße B54 verläuft in weniger als einem Kilometer Entfernung im Norden des Projektgebietes. Östlich verläuft die Bundesstraße B70, die das Hündfelder Moor und das südlich daran angrenzende Amtsvenn voneinander trennt.

Administrativ gesehen liegt das Hündfelder Moor in den Gemeinden Ahaus und Gronau (Westf.) (Abbildung 2), wobei der Südwesten in der Gemeinde Ahaus in der Gemarkung Alstätte liegt und der nordöstliche Teil in der Gemeinde Gronau (Westf.) überwiegend in der Gemeinde Epe, nur der äußerste Norden befindet sich in der Gemarkung Gronau.



2.2 Beschreibung

Das etwa 240 Hektar umfassende Hündfelder Moor ist Teil eines grenzübergreifenden Hochmoorkomplexes zwischen Deutschland und den Niederlanden. Auf deutscher Seite grenzt im Südosten das Amtsvenn sowie auf niederländischer Seite am nordwestlichen Rand das Aamsveen an.

Das teilabgetorfte Hündfelder Moor wird durch ehemalige Torfabfuhrdämme gegliedert. Weitläufige Pfeifengrasbestände und Hochmoor-Feuchtheiden sowie kleinflächigere regenerierten Torfstiche kennzeichnen das Gebiet. Insbesondere in den Randbereichen sind Gehölze aufgewachsen; auf den Dämmen sowie im Bereich ehemaliger Brandflächen hat sich Adlerfarn ausgebreitet. Im zentralen Bereich und im Süden des Gebiets prägen wassergefüllte Torfstiche das Projektgebiet. Die noch bestehenden Hochmoorreste sind von einem Gürtel aus weitgehend extensiv genutztem Feuchtgrünland mit zahlreichen Kleingewässern umgeben.

Das Umfeld des Projektgebiets ist von landwirtschaftlich genutzten Flächen geprägt. Diese werden im Süden und Osten als extensive Weiden genutzt, im Westen grenzen hingegen großflächige Ackerschläge.

2.3 Naturraum

Das Blatt 83/84 Osnabrück/Bentheim der naturräumlichen Einheiten von 1961 beschreibt den ehemaligen Naturraum folgendermaßen: „Südwestlich der Gronauer Niederung erstreckt sich ein feuchtes Talsandgebiet, das nach NW zur holländischen Grenze hin in ein ausgedehntes Hochmoor [...] übergeht, welches sich bis nach Holland hinein erstreckt. In den Talsanden sind podsolisierte Böden mit Grundwassereinfluss vorherrschend. Die ehemaligen Stieleichen-Birkenwälder wurden größtenteils durch Grünland, Äcker und Nadelforste ersetzt. Das Gebiet ist fast siedlungsfrei. Wenige Straßen stellen die Verbindung zwischen den Nachbarräumen her.“ (Meisel, 1961)

2.4 Klima

Das atlantisch geprägte Klima im Projektgebiet umfasst eine Jahresdurchschnittstemperatur von 10,3 °C (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2023a) und eine jährliche Niederschlagsmenge von 821 mm (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2023b) (Tabelle 1).

Der Klimawandel stellt die Optimierung von Mooren hinsichtlich der Wasserbilanz vor besondere Herausforderungen, daher sind im Folgenden kurz die Niederschlagsdefizite der trockenen Jahre 2018, 2019 und 2022 umrissen: Im Sommer und Herbst 2018 fielen jeweils 40-55 % weniger Niederschlag als im langjährigen Mittel (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2018a). Auch im Sommer 2019 fiel immerhin 25-40 % weniger Niederschlag (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2019a). Im Jahr 2022 fielen mit 670 mm 15 % weniger Niederschlag als in der vieljährigen Jahressumme der Referenzperiode 1961-1990. Dies bedeutet ein Defizit von ca. 120 mm für 2022 (Imbery, et al., 2023). Durch gleichzeitig höhere Temperaturen (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2018b; 2019b) ist infolge von höherer Verdunstung die klimatische Wasserbilanz negativ beeinflusst.

Die klimatische Wasserbilanz liegt für den Referenzzeitraum 1991–2022 für das Land NRW jährlich bei -192 mm, wodurch sich ein deutlich negativ fallender Trend widerspiegelt (LANUV, 2022).

Tabelle 1: Klimakennwerte: Vieljährige Mittelwerte (1991 – 2020) des Niederschlags (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2023b), der Temperatur (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2023a) und der Sonnenscheindauer (Deutscher Wetterdienst (DWD), 2023c) der Gemeinde Ahaus, Wetterstation Ahaus (Stations ID 7374).

Parameter	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Niederschlag in mm	72	63	58	43	51	98	78	76	70	64	73	75	821
Durchschnittstemperatur in °C	2,9	3,3	6,1	9,9	13,7	16,6	18,5	18,0	14,5	10,5	6,5	3,6	10,3
Sonnenscheindauer in h	49	71	121	177	204	202	211	195	145	105	55	42	1.577

2.5 Schutzstatus

Das Hündfelder Moor liegt innerhalb des ca. 900 Hektar umfassenden Natura 2000-Gebiets „Amtsvenn und Hündfelder Moor“ (DE-3807-301). Gleichzeitig ist es Bestandteil des Europäischen Vogelschutzgebietes „Moore und Heiden des westlichen Münsterlandes“ (DE-3807-401) (Abbildung 3). Es ist zugleich als Naturschutzgebiet „Amtsvenn – Hündfelder Moor“ (BR-003) gesichert.

Schutzziel laut Verordnung „[...] Erhaltung und Optimierung der Hoch- und Zwischenmoorkomplexe als Lebensraum für viele gefährdete moortypische Pflanzen- und Tierarten u.a. durch Vermeidung von Nährstoffeinträgen, insbesondere aus Oberflächenwässern der intensiv landwirtschaftlich genutzten Umgebung.“ (LANUV, 2011) Als Entwicklungsziel für den Bestand als FFH- und Vogelschutzgebiet werden dieselben Ziele angestrebt wie im Wortlaut des Schutzziels der NSG-Verordnung (LANUV, 2017). Die angestrebten Maßnahmen zur Optimierung des Gebiets kommen damit den formulierten Schutzzielen nach.

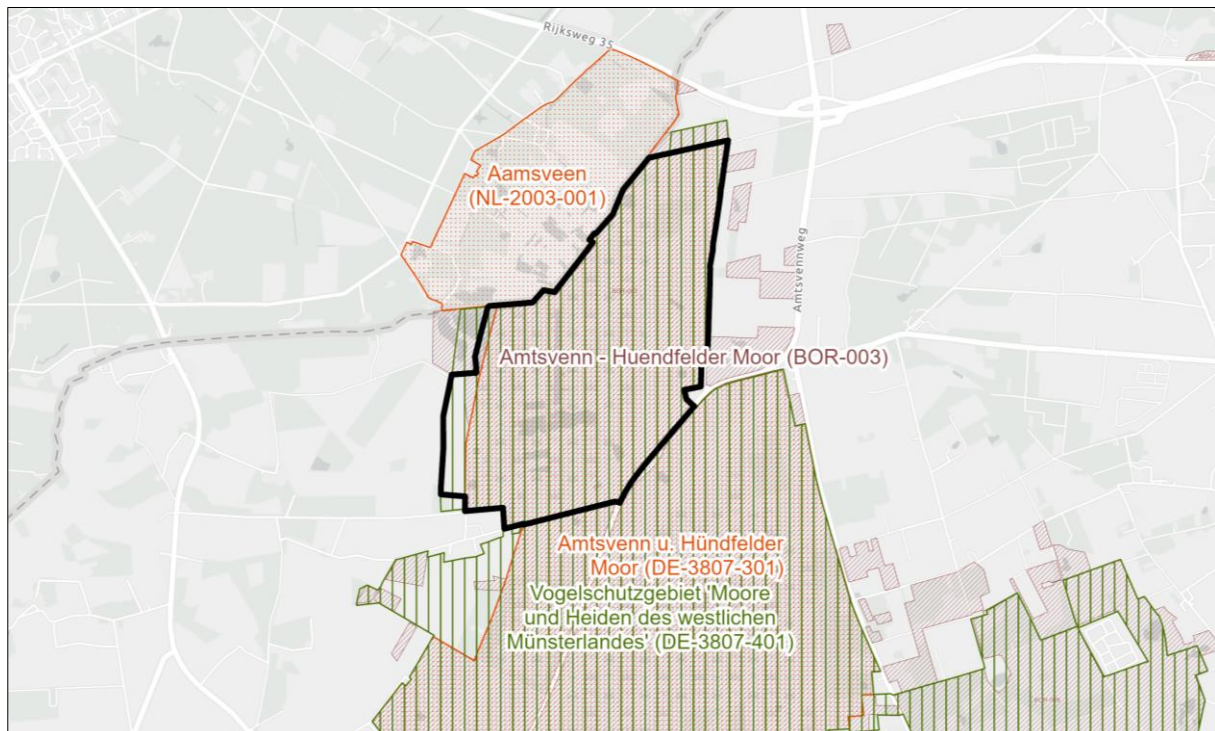
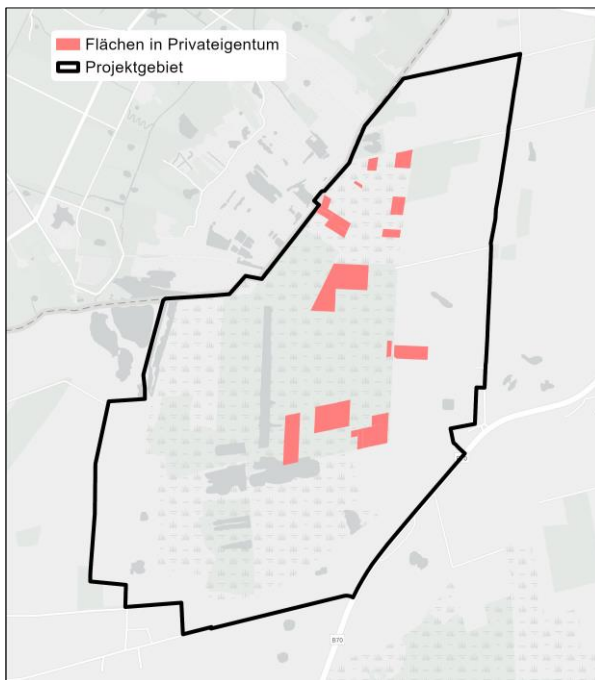


Abbildung 3: Schutzstatus und angrenzende Schutzgebiete (Kartengrundlage: Light Grey Base).

2.6 Eigentumsverhältnisse



Ein Großteil des Moores befindet sich in öffentlicher Hand und wurde für Naturschutzzwecke aufgekauft. Ca. 21 ha befinden sich noch in Privatbesitz (s. Abbildung 4).

Um das Moor befinden sich zahlreiche landwirtschaftlich genutzte Flächen in Privateigentum, wobei es sich bei der Mehrzahl um Kompensationsflächen der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen sowie von Gasversorgern handelt, auf denen eine naturschutzorientierte Bewirtschaftung umgesetzt wird.

Abbildung 4: Eigentumsverhältnisse im Projektgebiet. (Kartengrundlage: Light Grey Base).

2.7 Nutzungshistorie

Bis in Mitte des 19. Jahrhunderts wurde Buchweizenbrandkultur betrieben (BÖMER 1893 zit. in BURRICHTER & WITTIG 1974). Hiervon zeugt noch das flachgründige Entwässerungssystem im unabgetorft verbliebenen Resttorfblock im Südosten (Abbildung 5). Während der Torf zuvor per Hand gestochen wurde (Abbildung 6), erfolgte nach Ende des Zweiten Weltkrieges Jahren der industrielle Torfstich im Gebiet (Abbildung 7) zur Gewinnung von Weißtorf. Während der Handtorfstich



kleinflächige Abbaustrukturen zurückließ, zeichnen sich die durch den industriellen Sodontorffabbau überprägten Bereiche durch einen kleinräumigen Wechsel von höhergelegenen Torfbänken und tiefergelegenen Stichgräben aus (Abbildung 9). In Relation zu dem unabgetorften Resttorfblock im Südosten ist davon auszugehen, dass ein Stich Weißtorf, das entspricht etwa 80 cm, entnommen wurde und der zweite Stich begonnen, aber nicht vollendet wurde.

Abbildung 5: DGM1 mit Resttorfblock im Südosten mit flachgründiger Entwässerung und umgebende Spuren des bäuerlichen und industriellen Torfabbaus.



Abbildung 6: Torfstich im Amtsvenn bei Epe, April 1918. © LWL-Medienzentrum für Westfalen.



Abbildung 7: Im Amtsvenn: Schienentrasse der Feldbahn zum Abtransport des gestochenen Torfes. Dieses Foto zeigt den Ursprung der Sodentorstichstrukturen: in den tiefergelegenen Bereichen wurde bereits Torf gestochen, in den stehengebliebenen Torfbänken noch nicht. (© LWL-Medienzentrum für Westfalen)

Durch die frühe Nutzung durch Buchweizenbrandkultur, Handtorfstich, industriellen Torfabbau und die damit einhergehende Trockenlegung wurde das Hündfelder Moor auf seine heutigen Flächenausmaße reduziert (Burrichter & Wittig, 1974) und hinsichtlich seiner Oberflächenstruktur stark überprägt (Abbildung 8).

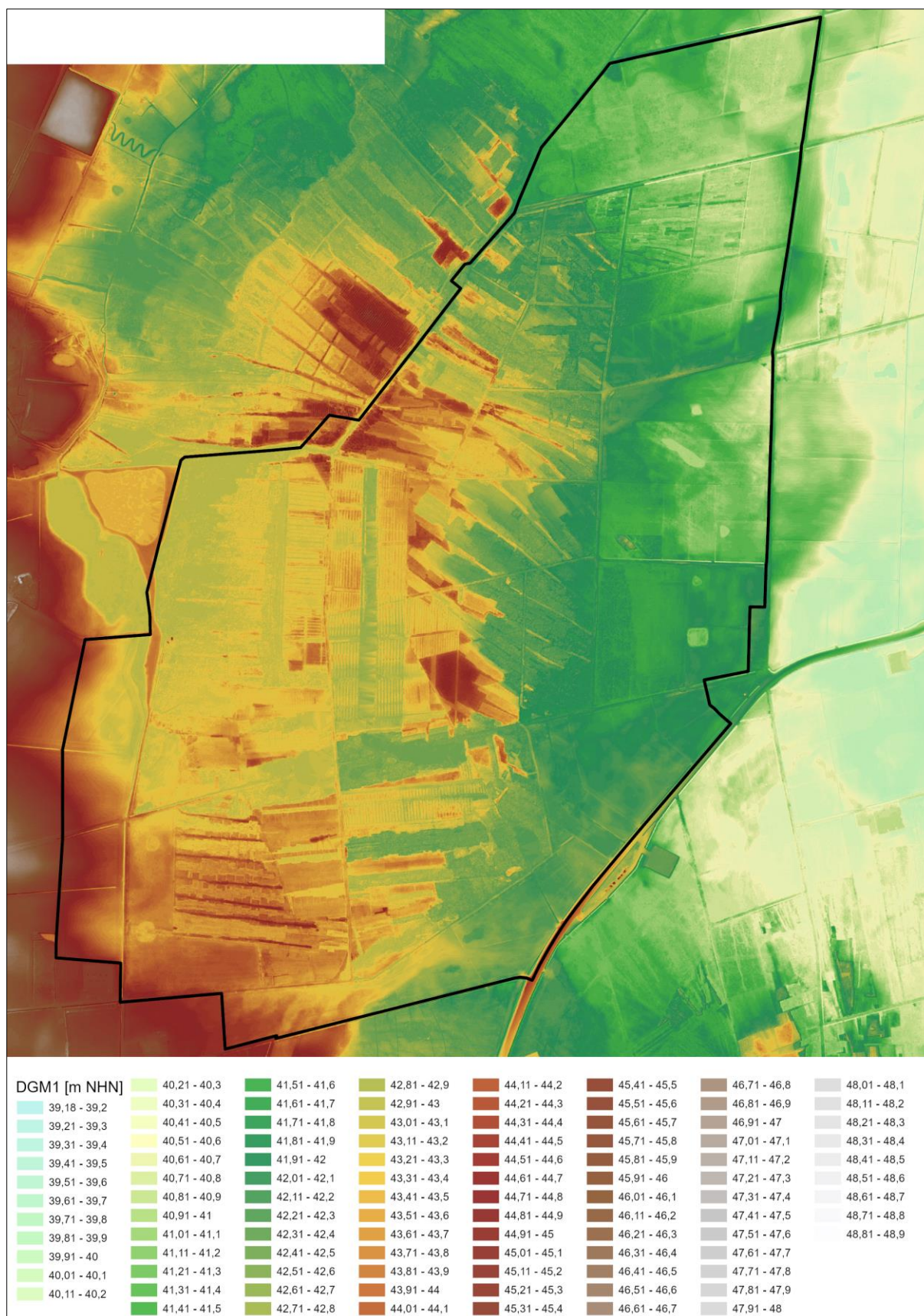


Abbildung 8: Torfabbaustrukturen im DGM.

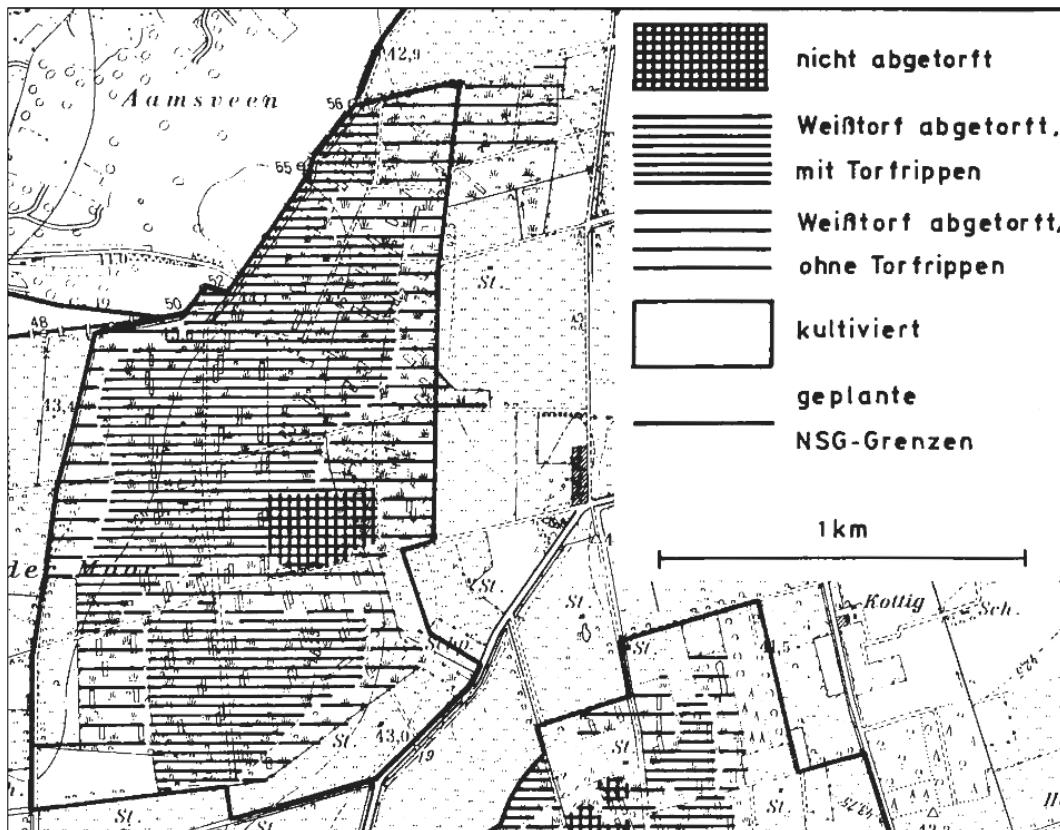


Abbildung 9: Abtorfungssituation im Hündfelder Moor im Jahr 1972 (Quelle: Burrichter & Wittig 1974).

2.8 Bisherige Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen

Mit Unterschutzstellung im Jahr 1979 wurde der Torfabbau im Gebiet verboten, die Entwässerungseinrichtungen verblieben zunächst. Seit 1986 wird das Projektgebiet durch die Biologische Station Zwillbrock e.V. betreut und gepflegt. Durch verschiedene Wiedervernässungsmaßnahmen, darunter auch im Rahmen des LIFE-Projektes „Optimierung des Vogelschutzgebiets - Moore und Heiden des westlichen Münsterlandes“ (1998–2003) wurde die Wiedervernässung des Moors vorangetrieben.

Zu den umgesetzten Maßnahmen gehörte etwa das Einsetzen von Kunststoffplatten zur Abdämmung kleinerer Torfstiche, Errichtung eines Dammes im Südosten des Moores, oder der Anstau der zentral gelegenen Torfstiche und der das Gebiet entwässerten Vorfluter. Im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen wurde die Glaner Beek nach Westen verlegt und der Grenzgraben nach Westen hin verschlossen. Infolgedessen entstand an der Westseite des Moores ein Gewässerbereich.

Zu den regelmäßig durchgeführten Pflegemaßnahmen gehören Entkusselungsaktionen sowie seit 1984 das Offenhalten der Moorheiden durch eine inzwischen rund 500 Mutterschafe umfassende Moorschnuckenherde der Schäferei Moorhof der Biologischen Station.

3 Vorplanung

3.1 Anlage von Dämmen zum Rückhalt von Niederschlagswasser

Um sommerliche Niederschlagsdefizite zu kompensieren, müssen winterliche Niederschlagsüberschüsse zurückgehalten werden. Hierzu muss der Oberflächen-Abfluss minimiert werden. Dies erfolgt über die Anlage von Dämmen, durch die Wasser innerhalb von Staukompartimenten zurückgehalten wird. Das Wasser soll über Staukompartimente mit abfallenden Stauzielen so lange wie möglich im Moor gehalten werden.

Im Hündfelder Moor stellt das vorhandene Abtorfungsmosaik (vgl. Kapitel 2.7) die Planungen vor große Herausforderungen. Es liegt eine heterogene Geländeoberfläche mit höhergelegenen Torfrippen und Torfblöcken sowie tiefergelegenen Torfstichbereichen vor. Diese überlagert das grundsätzlich vorhandene leichte Gefälle von Südwest nach Nordost.

Das Projektgebiet wurde im Rahmen der Vorplanung in 15 Staukompartimente unterteilt, die das Wasser im Gebiet nach Osten bzw. Nordosten abführen.

Die Dämme im Moor sollen überwiegend aus Torf aufgebaut und im Kern mit einer Dichtwand hinab zur stauenden Torfschichten aus stark zersetztem Schwarztorf oder bis stark vererdetem Oberboden versehen werden.

3.2 Anstau des Grundwassers

Da der Grundwasserstand im Sommerhalbjahr deutlich unter die Moorbasis absinkt, sind im Moor derzeit auch vertikale Wasserverluste zu verzeichnen. Um dem zu begegnen, soll im Osten, außerhalb des Moores im Abstrom des Grundwassers, der Bau einer Lehmdeichwand bis hinunter auf den mineralischen Grundwasserstauer erfolgen. Dies soll den Grundwasserstand um bis zu zwei Meter anheben und so die Abflüsse aus dem Moor verhindern.

3.3 Abgrabung von Sand und Lehm zum Dammbau

Der für die Dichtwand und einige Verwallungen benötigte Lehm soll unmittelbar westlich angrenzend an das Gebiet gewonnen werden. Hierzu muss zuvor der humose Oberboden abgezogen und gelagert werden. Im Rahmen der Berechnungen der erforderlichen Bodenmassen und -bewegungen für das Mengengerüst und das Budget ist die Bestimmung der Mächtigkeit des Oberbodens und der Lehmschicht auf Lehmgewinnungsflächen sowie die Mächtigkeit des Oberbodens auf Sandgewinnungsflächen erforderlich. Nach Abtrag und Materialgewinnung sollen in den Sandabgrabungsbereichen zwischen dem außerhalb des Moores gelegenen Damm und dem äußersten Moordamm Stillgewässer entstehen.

3.4 Verfüllung von wassergefüllten Torfstichen

In den ehemaligen Torfstichen haben sich durch Vernässungsmaßnahmen Gewässer gebildet. Einige von ihnen werden durch rastende Gänse frequentiert und sind mittlerweile eutrophiert. Im Zuge der Wiedervernässung im Projekt CrossBorderBog sollen die Torfstiche teilweise oder nach

Möglichkeit vollständig aufgefüllt werden. So soll die Attraktivität der Gewässer reduziert und eine weitere Eutrophierung vermieden werden.

3.5 Verfüllung des Grenzgrabens

Der entlang der Deutsch-Niederländischen-Staatsgrenze verlaufende Grenzgraben wurde in den 1960er Jahren angelegt; er teilt den Hochmoorkomplex von Hündfelder Moor und Aamsveen seitdem in zwei hydrologisch getrennte Gebiete.

Der ehemals offene Graben wurde vor 40 Jahren mit Kunststoffrohren verrohrt. Die Verrohrung liegt in einem Sandbett und ist in regelmäßigen Abständen mit Inspektionsschächten aus Beton-Fertigteilen versehen. Der Grenzgraben trägt aktuell zur Entwässerung des Hündfelder Moores bei und soll daher verschlossen werden.

Auf dieser Grundlage war geplant, die Trasse an sechs Abschnitten, vorzugsweise im Bereich grenzüberschreitender Dämme, zu unterbrechen. Die Unterbrechung sollte mit Hilfe von Grabenaushebungen erfolgen, wobei die vorliegenden Verrohrungen mitsamt des Sandbetts auf einer Breite von ca. 10 m innerhalb der sechs Abschnitte entnommen werden. Der Aushub sollte vor Ort verbleiben und als flache Schicht im Gelände eingebaut werden. Anschließend sollten die Abschnitte der Trasse erst mit stark zersetztem Schwarztorf wieder verfüllt und abschließend bis zur jeweils rechts und links angrenzenden Geländeoberkante mit Torf aufgefüllt werden.

4 Ergänzende Untersuchungen

Zur Überprüfung der Vorplanung und Überarbeitung des Mengengerüsts waren ergänzende Felddaten wie z.B. über die Menge und Qualität der Böden vor Ort erforderlich, welche im Rahmen dieses Auftrages gewonnen werden sollten. Die dazu nötigen Geländearbeiten erfolgten im Winterhalbjahr 2023/2024.

4.1 Bohrungen

Die Planung der Bohr- und Sondierungspunkte erfolgte im Geoinformationssystem (GIS) auf Grundlage der vom Auftraggeber übermittelten Daten und der Rahmenbedingungen des Leistungsverzeichnisses. Dabei musste die Planung unterschiedliche Anforderungen an die ergänzenden stratigrafischen Untersuchungen berücksichtigen. Die Bohrungen unterteilen sich in (1) Oberbodenbohrungen, (2) Dammb Bohrungen und Polderbohrungen, (3) Rammkernsondierungen (4) Bohrungen innerhalb der Lehmgewinnungsflächen, (5) Bohrungen innerhalb der Sandabgrabungsflächen, (6) Grenzgrabenbohrungen.

Im Gelände wurden die zuvor in ArcGIS geplanten Punkte unter Verwendung eines GPS-Vermessungsgerätes (Trimble R8 und R10) eingemessen. Für eine genaue und schnelle Initialisierung sowie Lokalisation werden GNSS-Korrekturdaten über Satelliten- und Internetverbindungen empfangen. Der SAPOS-Dienst des Landes NRW sowie der Niederlande wird über ein mobiles Modem hergestellt, welches über ein virtuelles Höhensystem als NTRIP-Verbindung verfügt. Über diesen Dienst werden Korrekturdaten im UTM-Raster mit Lage- und Höhenpunkten zur Verfügung gestellt.

4.1.1 Torfqualität des Oberbodens

4.1.1.1 Methodik

Mittels DGM1 wurde eine Vorauswertung zu potenziellen Abtragsflächen getroffen. Hierbei handelte es sich um über die Umgebung herausragende Torfdämme und -blöcke. In diesen wurden die Bohrpunkte zur Prüfung der Eignung der anstehenden Torfe geplant.

Für die Ermittlung der Torfmächtigkeit und -qualität des Oberbodens wurde im Winterhalbjahr 2023/2024 auf abzugrabenden Torfflächen 88 Bohrungen bis ca. 1,0 m Tiefe mit dem Guts-Bohrer niedergebracht (Karte 1). Ziel der Untersuchungen war es zu beurteilen, ob das Material des abzutragenden Oberbodens geeignet ist, um als Dichtung für die geplanten Torfdämme zu fungieren. Die bodenkundliche Ansprache erfolgte nach der aktuell gültigen bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5). Zu Protokoll gebracht wurden dabei die Mächtigkeit der Schichten, die Torfart und ihr Zersetzungsgrad nach VON POST.

Anschließend wurde aus den erhobenen Geländedaten der kf-Wert ermittelt. Der kf-Wert gibt Auskunft über die Durchlässigkeit bzw. Versickerungsfähigkeit von Böden. Je höher dieser Wert liegt, desto schneller versickern Flüssigkeiten in einem Bodengefüge. Hierbei können die Torfe unterschiedlichen Durchlässigkeitsstufen mit zugeordneten Durchlässigkeitsbeiwerten zugeordnet werden (vgl. Tabelle 2). BLANKENBURG (2004) gibt für Weißtorfe (H1-H5) mittlere Durchlässigkeitsbeiwerte von 0,1 m/d ($1,1 \times 10^{-6}$ m/s) bis 0,4 m/d ($4,6 \times 10^{-6}$ m/s) an, für Schwarztorfe (H6-10) weniger als 0,01 m/d ($< 1,16 \times 10^{-7}$ m/s). Auch hinsichtlich der Torfarten besteht ein Unterschied hinsichtlich der Abdichtungseigenschaften. Bei den Torfarten handelte es sich um feinblättrigen *Acutifolia*-Torf

(Hhsa), plattigen *Cuspidata*-Torf (Hhsu) oder grobblättrigen *Cymbifolia*-Torf (Hhsy). *Cymbifolia*-Torfe eignen sich aufgrund ihrer Struktur von den drei Torfarten am wenigsten für Abdichtungsarbeiten.

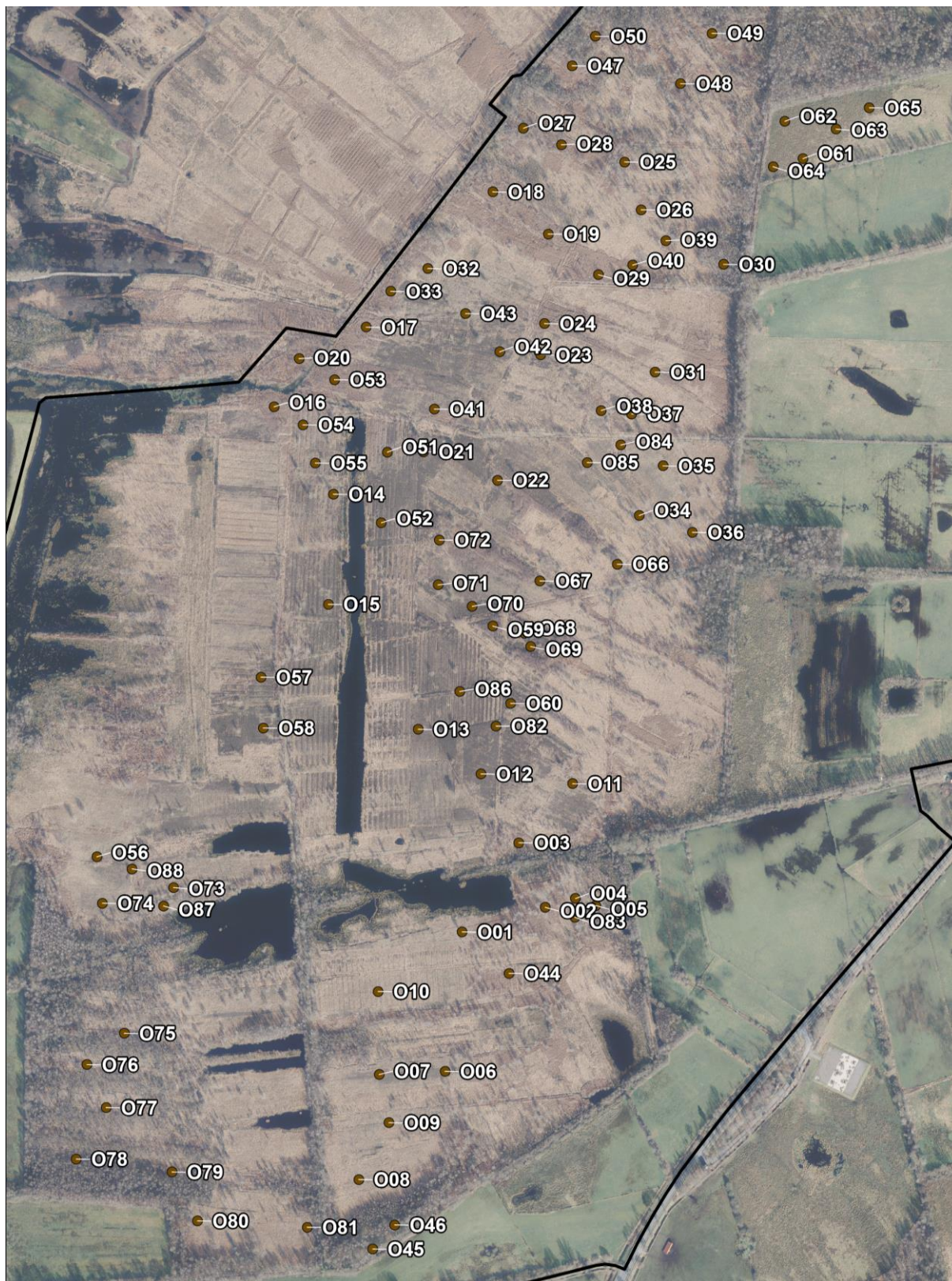


Abbildung 10: Lage der Oberbodenbohrungen.

Die Horizonte wurden daher in drei unterschiedliche Typen eingeteilt: (1) Horizonte mit Zersetzungsgrad H6, darunter auch der vererdete Oberboden, (2) Horizonte mit Zersetzungsgrad H5 und (3) Horizonte mit *Cymbifolia*-Torfen mit Zersetzungsgraden H3-H5 sowie *Cuspidata*-/*Acutifolia*-Horizonte mit H4. Für diese Typen wurde gemäß EGELSMANN (1981) der kf-Wert bestimmt (Tabelle 3).

Tabelle 2: Durchlässigkeitsstufen und Durchlässigkeitsbeiwerte.

Durchlässigkeitsstufe	Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) [m/s]
sehr stark durchlässig	$> 10^{-2}$
stark durchlässig	10^{-2} bis 10^{-4}
durchlässig	10^{-4} bis 10^{-6}
schwach durchlässig	10^{-6} bis 10^{-8}
sehr schwach durchlässig	$< 10^{-8}$

Tabelle 3: Durchlässigkeitsbeiwerte für unterschiedliche Horizonttypen.

Durchlässigkeitsstufe	Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) [m/s]
H6, vererdet sowie H7	10^{-7}
H6	10^{-6} bis 10^{-7}
H5 (<i>Acutifolia</i> , <i>Cuspidata</i>)	10^{-6}
H3-5 (<i>Cymbifolia</i>), H4 (<i>Acutifolia</i> , <i>Cuspidata</i>)	10^{-5}

4.1.1.2 Ergebnisse und deren Bewertung

Der vererdete Oberboden wies Mächtigkeiten zwischen 5 cm bis 30 cm auf, mit einem Durchschnittswert von 17 cm. Dabei variierte der Zersetzungsgrad zwischen H5 und H7. An einigen Bohrpunkten lag eine Deckschicht aus abgestorbenem Pflanzenmaterial (Litter) genannt, als Laubstreu oder trockenem Adlerfarn über dem anstehenden Oberboden. Diese Litter-Schicht muss vor dem Abtrag des Oberbodens entfernt werden, sie wurde bei der Mächtigkeit jedoch bereits nicht berücksichtigt. Eine Vermischung mit dem Oberboden und der Litter-Schicht sollte vermieden werden, da ansonsten die Versickerungsfähigkeit und damit der kf-Wert verändert bzw. erhöht werden würde und das Material somit in seiner Abdichtungsfähigkeit abnimmt.

Großflächig besonders geeignet sind die stehengebliebenen Torfrippen im Südwesten des Projektgebietes sowie mehrere Bereiche im Zentrum, die Flächen sind in Karte 1 dargestellt. Torfrippen und -blöcke mit *Cymbifolia*-Torfen unter einer geringmächtigen Vererdungsschicht eignen sich hingegen nur als Abdeck- oder Füllmaterial.

Torfgewinnung im östlichen Grünland

Bei Bedarf könnte zwischen der Außenverwallung ganz im Osten des Projektgebietes und dem äußeren Damm im Moor auf der ersten Grünlandfläche südlich des Birkhahnweges auf rund 10.000 m² etwa 6.900 m³ Torf gewonnen werden.

4.1.2 Torfmächtigkeit und -qualität entlang der Dammstrecken im Moor

4.1.2.1 Methodik

Mit dem Guts-Bohrer erfolgten insgesamt 146 Dammb Bohrungen mit einem Abstand von ca. 50 m entlang der geplanten Dammstrecke.

Die Erfassung erfolgte auf einem Aufnahmeformblatt des niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), welches ebenfalls für die bodenkundliche Kartierung von Moorstandorten nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) verwendet wird. Mit dem Guts-Bohrer wurden alle Torfarten einschließlich des anstehenden mineralischen Untergrundes angesprochen, u.a. wurden Mächtigkeit der Schichten, Zersetzungsgrad nach von Post, Humusstufe, Substanzvolumen, Feuchte, Beimengungen und Entwässerungstiefe protokolliert.

4.1.2.2 Ergebnisse

Die wesentlichen Aussagen aus den Bohrungen entlang der Dammstrecken sowie die Bohrungen in den geplanten Staukompartimenten lassen sich bezüglich der verschiedenen Schichten folgendermaßen zusammenfassen:

Der mineralische Untergrund bestand überwiegend aus Fein- und Mittelsanden, die im oberen Dezimeter über hohe Anteile an Schluff und humosen Beimengungen verfügten. Diese Schicht lässt sich als postglazialer Oberboden beschreiben, der von der Moorbildung überlagert wurde. Zuweilen wurden auch feinsandige Lehme erbohrt und lokal auch podsolierte Sande.

In einigen Bohrungen gingen organische Mudden in die Torfbasis über. Die Vorkommen der Mudden-Schichten lagen weitestgehend vereinzelt und eingestreut verteilt vor. Diese limnischen Ablagerungen entstanden durch Sedimentation von organischem Material auf dem Grund eines Gewässers. Die Mächtigkeit der vorhandenen Vorkommen umfasste im Mittel 0,13 m bis maximal 0,35 m. Auch mineralische Mudden sowie Kalk-Mudden konnten vereinzelt festgestellt werden.

Die Torfbasis wurde in ca. 80 % der Bohrungen von gering bis stark zersetzten Niedermoortorfen mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von rund 0,30 m (Maximalwert = 0,95 m) gebildet. Unter lokaler Betrachtungsweise waren die Niedermoortorfe am deutlichsten süd-westlich sowie zentral im Untersuchungsgebiet ausgeprägt, sie kamen aber auch in geringmächtiger Ausprägung im Nordosten vor. Dabei dominierten die stark zersetzten Substrate, mit einem Zersetzungsgrad von H6-H10 deutlich in Verteilung (75 % der Bohrungen) und Mächtigkeit (durchschnittlich 0,28 m) gegenüber den gering zersetzten Niedermoortorfen, welche in 13% der Bohrungen eine durchschnittliche Mächtigkeit von 0,23 m aufwiesen. Bei den angesprochenen Substraten handelte es sich überwiegend um Seggen- sowie Bruchwaldtorfe. Radizellen von Seggen waren verbreitet in diesen Torfen als makroskopische Beimengungen zu erkennen sowie vereinzelt Beimengungen von Holz, Schilfstengeln und Fieberkleesamen.

Der Übergang zum Hochmoortorf verlief im Gebiet lokal unterschiedlich. Besonders von Süden, zentral über die Mitte verlaufend, ging der stark zersetzte Niedermoortorf in einen stark zersetzten Hochmoortorf (Schwarztorf) über. Die in 31 % der Bohrungen vorgekommenen stark zersetzten Hochmoortorfe (Zersetzungsgrad $\geq$ H7) entsprachen einer mittleren Mächtigkeit von 0,53 m. Im nördlichen Teil fanden sich häufiger sogenannte Vorlauftorfe, die in der Masse aus *Cuspidata*-Torfen mit der Blumenbinse (*Scheuchzeria palustris*) als charakterisierende Beimengung

bestanden. Diese dokumentieren den Übergang vom grundwassergespeisten Niedermoor zum Niederschlagswasser gespeisten Hochmoor.

Im Verhältnis zu dem stark zersetzten Schwarztorf ($\geq H7$) kam der mit Zersetzungsgrad H6 geringer zersetzte Schwarztorf deutlich häufiger vor (55% der Bohrungen). Die mittlere Mächtigkeit betrug 0,80 m. So lassen sich für Schwarztorfe des Zersetzungsgrades H6, anhand der makroskopischen Bestandteile, im Normalfall noch die Torfarten bestimmen. Der Großteil der bei der Untersuchung festgestellten Torfarten entspricht der Sektion *Acutifolia*, anteilig wurden auch Torfe der Sektion *Cuspidata* festgestellt.

Gering zersetzte Weißtorfe, überwiegend aus der Sektion *Cymbifolia* (Abbildung 12), mit Zersetzungsgraden von H2 oder H3 waren nur in 11 % der Bohrungen anzutreffen, die mittlere Mächtigkeit entsprach hier einer Mächtigkeit von 0,64 m. Mäßig zersetzte Weißtorfe mit einem Zersetzungsgrad von H4-H5, vor allem aus der Sektion *Acutifolia*, waren verbreiteter (61 % der Bohrungen), die mittlere Mächtigkeit betrug ca. 60 cm. Diese unterlagen jedoch deutlichen Mächtigkeitsgefällen, zwischen den zentralen und randlichen Bereiche. Die maximale Mächtigkeit betrug 2,17 m, randlich waren häufig nur Mächtigkeiten von unter 0,50 m vorhanden.

Die oberste Schicht der meisten Damm- als auch Kompartimentbohrungen bestand in 87 % der Fälle aus vererdeten oder vermulmten Torfhorizonten (Abbildung 11). Lediglich überflutete oder übersandete Bereiche wiesen einen anderen obersten Horizont auf. Der durch die jahrzehntelange Entwässerung stärker zersetzte, vererdete Torfhorizont reichte im Mittel bis in 0,21 m Tiefe.



Abbildung 11: Vererdeter, durchwurzelter Torf.



Abbildung 12: Grobblättriger *Cymbifolia*-Torf.

Eine weitere Art der vererdeten bzw. durch anthropogene Einflüsse stark veränderten Torfe sind die sogenannten Bröckeltorfe. Bei den Bröckeltorfen handelt es sich um Torfe, die während des Torfabbaus aus ihrem gewachsenen Verbund gelöst wurden und im Moor verblieben sind. Sie weisen dadurch eine erhebliche Vermischung verschiedener Torfarten mit unterschiedlichen Zersetzungsgraden (zumeist gering, bis mittel zersetzt) auf. Ein weiteres Merkmal der Bröckeltorfe ist ihre „luftige“, lose Struktur, die fast immer als sehr durchlässig für Wasser ist und die regelmäßig

austrocknet. Bröckeltorfe wurden vor allem in den teilabgetorften Bereichen vorgefunden, sie waren in Mittel rund 50 cm mächtig. Insgesamt wurden bei 18 % der Bohrungen Bröckeltorfe festgestellt, mit einer mittleren Mächtigkeit von 0,29 m und einem Maximum von 0,93 m. Die Verteilung der betroffenen Bohrungen befand sich überwiegend im Bereich von Torfstichen.

Im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebiets sowie auf einer von Süden nach Norden verlaufenden Abschnitt wurden Übersandungen auf ehemaligen Fahrdämmen festgestellt. Die Überdeckungen erstreckten sich auf 18 % der Dammstrecken-Bohrungen, mit einer mittleren Mächtigkeit von 0,43 m (0,90 m im Maximum).

4.1.3 Tiefe des Grundwasserstauers

Im Osten des Gebietes soll der Grundwasserabstrom mit Hilfe eines Dammes aufgestaut werden (Abbildung 13), dessen Kern unterirdisch bis auf natürliche Stauschichten im Untergrund reichen

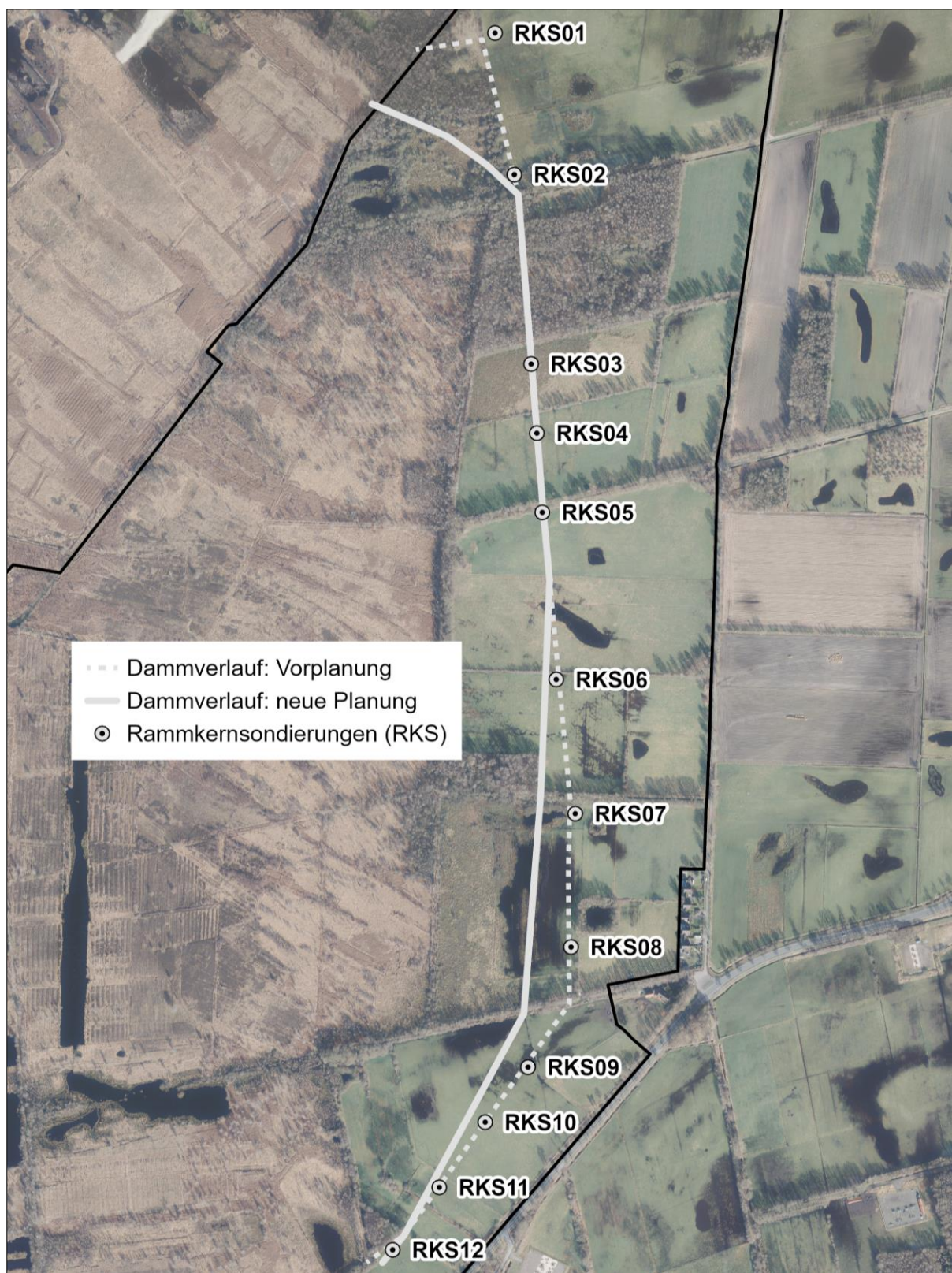


Abbildung 13: Lage der Rammkernsondierungen. Im Norden und Süden wurde nach Abschluss der Geländearbeiten der Dammverlauf gegenüber der Vorplanung angepasst.

soll. Um Aussagen zum Vorhandensein und zur Lage solcher Stauschichten treffen zu können, sollten Rammkernsondierungen (RKS) im geplanten Wallverlauf bis auf entsprechende Stauschichten niedergebracht werden.

4.1.3.1 Methodik

Aus dem Jahr 2020 lagen bereits südlich der geplanten Walltrasse niedergebrachte Kleinrammbohrungen vor (Dr. Schleicher & Partner, 2020), deren Kornzusammensetzung analysiert wurde. Die 2020 erhobenen Tiefen für die Oberkante der erwarteten Stauschichten lagen demnach zwischen 1,5 m und 3,5 m. Insgesamt wurden die Sondierungen aus 2020 bis 5 m Tiefe niedergebracht. Als staufähige Schichten wurden damals lehmige Sande identifiziert.

Auf dieser Grundlage waren 20 RKS-Ansatzpunkte auf dem geplanten Wallverlauf vorgesehen. Gebohrt wurde mit einer 36 mm Sonde, Stemmhammer und Handziehgerät (Handbohrungen). Die vorgefundenen Bodenarten wurden feldmäßig nach DIN 4022 angesprochen und protokolliert. Zudem wurden Bodenproben in 200 ml-Probengläsern entweder schichtweise oder wenn kein Schichtwechsel auftrat pro laufenden Bohrmeter entnommen.

Nach den ersten 5 RKS wurde festgestellt, dass es zwar tonige Stauschichten im Untergrund gibt, diese befanden sich jedoch in deutlich größeren Tiefen als vorab angenommen. Um sicher zu gehen, dass diese Einschätzung fachlich korrekt ist, wurden die Stichproben der Bodenarten einer Sieb- und Schlämmkornanalyse durch die Wessling GmbH, Altenberge, unterzogen. Dabei stammten die Stichproben aus verschiedenen, ausgewählten Profilen unterer Bereiche, welche bei der Geländeansprache überwiegend als leicht schluffhaltig angesprochen wurden.

Die zusätzlichen Meter bis zum tatsächlichen Grundwasserstauer bedeuteten einen erheblichen Mehraufwand bei den Bohrungen. Daraufhin wurde in Rücksprache mit dem Auftraggeber abgestimmt, die Bohrungen in einem Abstand von ca. 200 m zueinander niederzubringen und statt 20 nur 12 RKS durchzuführen.

Zur Ermittlung der benötigten Mengen an unterirdisch eingebautem Dichtmaterial wurde die Walltrasse mithilfe des DGM1 in Abschnitte ähnlicher Mächtigkeit unterteilt.

4.1.3.2 Ergebnisse und deren Bewertung

Die Teufe des Grundwasserstauers lag im Minimum 3,07 m unter Geländeoberkante, bei RKS 11 wurde mit 5,80 m die technisch bedingte maximale Bohrtiefe erreicht. Schätzungsweise ist jedoch davon auszugehen, dass die Stauschicht hier in tieferer Lage vorzufinden ist, als Wert wurde 5,90 m angenommen. Im Mittel liegt der tonige Grundwasserstauer in 4,25 m Tiefe. Die Lage in m NHN schwankt zwischen 36,23 und 38,56 m NHN, sie liegt durchschnittlich bei 37,48 m NHN. Sie folgt den sich im DGM1 abzeichnenden Sandrücken (vgl. Karte 3).

Die im Verlauf des geplanten Außenwalls niedergebrachten Rammkernsondierungen wiesen im oberen Bereich teilweise Torfschichten auf. Dies traf vor allem auf den die Bereiche nördlich des von Grünland umgebenen Wanderweg in Richtung Moor zu (vgl. auch Kapitel 4.1.1). In den Weiden südlich davon ist die Torfauflage lückenhaft und fällt schließlich auf Höhe der Siedlungsbereiche am Heideweg ganz weg. Erst in den RKS 11 und 12 im Süden des Gebiets wurden erneut Torfbeeinträchtigungen in den oberen Dezimetern des Bohrprofils angesprochen.

Bis in Tiefen zwischen ca. 3 m und 5,7 m wurden überwiegend Feinsande erbohrt, die oft mittelsandige Anteile und weniger häufig Schluffanteile über 10 % enthielten. Während der Geländeansprache ließen sich diese Bodenarten als durchlässig eingestuft. Die folgende Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Schlamm- und Siebkornanalysen der Stichproben. Die Lage der Proben im Profil ist in den Bohrprofilen im Anhang 3 dargestellt. Alle Proben wiesen durchlässige Bodenarten auf (Durchlässigkeitsbereich nach DIN 18131, Teil 1 $k_f 10^{-4} - 10^{-6}$ [m/s]). Im Labor wurden nur solche Proben einer Schlämmanalyse unterzogen, die mehr als 10% Schlämmerkorn, d.h. feine Ton- und Schluffpartikel, enthielten. Dies war nur bei Proben der RKS 1 und RKS 5 in der nördlichen Hälfte des Dammverlaufs der Fall.

Tabelle 4: Ergebnisse der Schlamm- und Siebkornanalysen der Bodenarten-Stichproben.

Proben-Nr.	RKS Nr.	Tiefenbereich [m]	Bodenart DIN 4022	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies [%]	k_f -Wert [m/s]	Durchlässigkeitsbereich DIN 18130
2/3, 2/4	2	2,00 – 3,20	fS, ms, u'	0,8	10,4	88,6	0,2	$3,7 \cdot 10^{-5}$	durchlässig
7/5	5	3,60 – 4,20	fS, mS	-	4,2	95,6	0,2	$7,4 \cdot 10^{-5}$	durchlässig
9/6	6	3,40 – 4,40	fS, ms, u'	0,3	12,0	87,2	0,4	$3,3 \cdot 10^{-5}$	durchlässig
15/5, 15/6	15	2,35 – 3,80	fS, ms, u'	-	9,6	90,0	0,4	$4,1 \cdot 10^{-5}$	durchlässig
18/6	18	2,45 – 3,60	fS, ms, u'	-	9,9	89,5	0,7	$4,0 \cdot 10^{-5}$	durchlässig
20/8, 20/9	20	3,80 – 5,70	fS, ms, u'	-	9,0	89,6	1,5	$4,0 \cdot 10^{-5}$	durchlässig

Unter den Sand-Schichten folgten bei allen Bohrungen, außer der RKS 11, Stauschichten aus überwiegend tonhaltigen Sanden und seltener Schluffen. Diese Ton-Sand-Schluff-Schichten mussten keiner Kornanalyse unterzogen werden, da sie unzweifelhaft echte hydrologische Stauwirkung im k_f -Bereich von kleiner als 10^{-6} m/s aufweisen.

Der Mengenbedarf für den unterirdischen Teil der Dichtwand erfolgte je Abschnitt. Hierfür wurde zu der Teufe des Grundwasserstauers ein Zuschlag von 30 cm addiert, um die Dichtwand bis in den Grundwasserstauer einbauen zu können. Die ermittelten Mengen je laufenden Meter wurden mit der Länge des jeweiligen Abschnitts multipliziert. In Tabelle 5 ist der Materialbedarf für den unterirdischen Teil der Dichtwand aufgeführt. Er geht in das Mengengerüst ein (s. Kapitel 6).

Tabelle 5: Materialbedarf für den unterirdischen Teil der Dichtwand.

	Breite der Dichtwand		
	0,5 m	1,0 m	1,5 m
Materialbedarf, aufgerundet [m³]	4.100	8.100	12.200

Zusammenfassung

- Grundwasserstauer liegt deutlich tiefer als in Vorplanung vorgesehen
- Grundwasserstauer liegt zwischen ca. 3 und ca. 6 m
- höherer Materialbedarf, höherer Aufwand und damit höhere Kosten als in Vorplanung vorgesehen

4.1.4 Mächtigkeit des Oberbodens und der Lehmschicht auf Flächen zur Lehm-gewinnung

4.1.4.1 Methodik

Südwestlich, außerhalb des Untersuchungsgebietes ist vom Auftraggeber geplant, Lehm von den dortigen Ackerflächen zu entnehmen und zum Bau der Dichtwand im Osten des Hündfelder Moores zu nutzen. Im geplanten Entnahmebereich wurden bereits 2022 (Dr. Schleicher & Partner, 2023) zwölf Kleinrammbohrungen (KRB) durchgeführt (Abbildung 14).

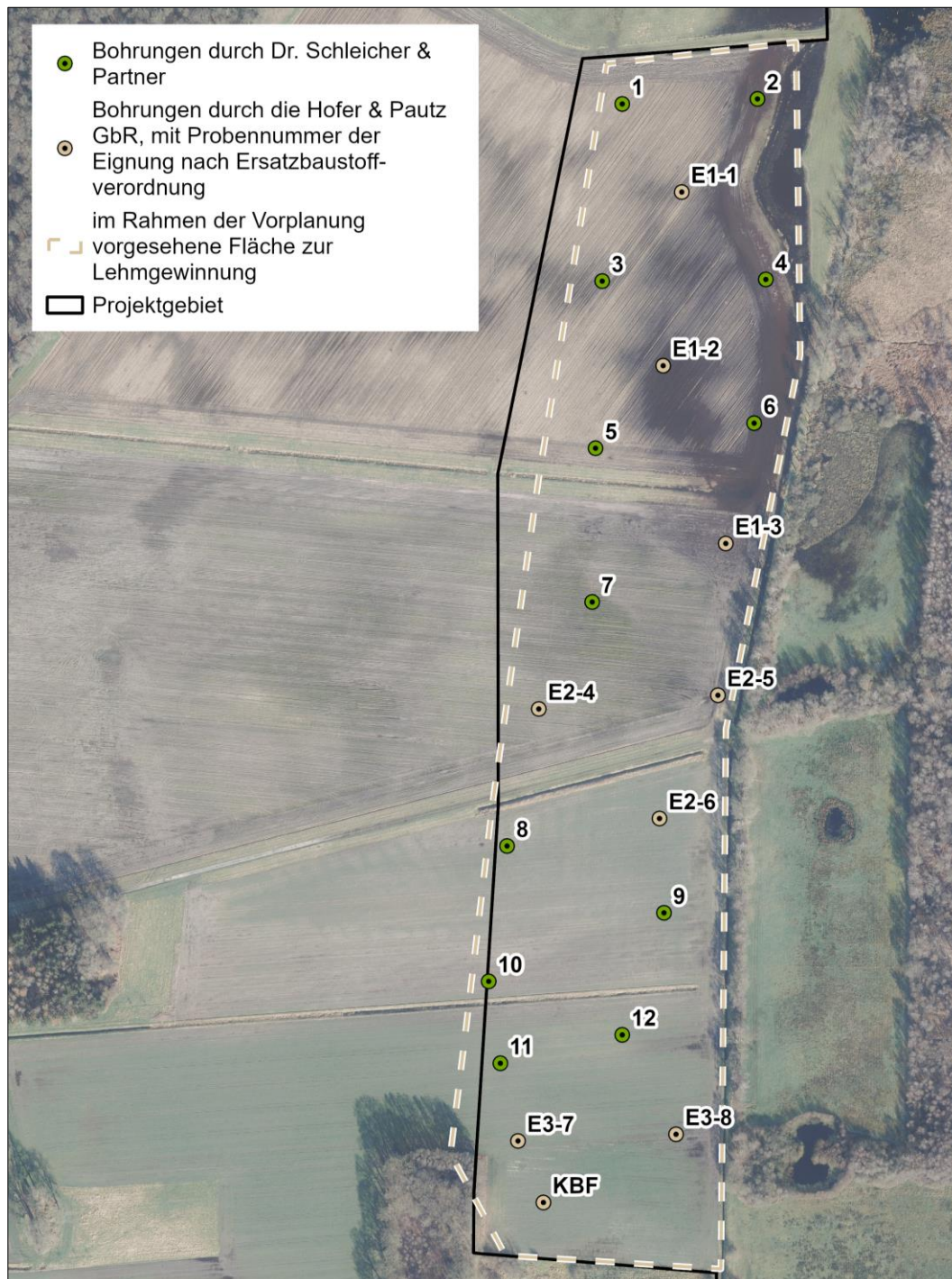


Abbildung 14: Lage der Bohrpunkte im Bereich der Lehmgewinnungsflächen. Im Süden gab es keinen Bohrfortschritt (KBF), da hier der Betondom der Salzgewinnungsgesellschaft angebohrt wurde.

Im vorgesehenen Entnahmebereich wurden durch die Hofer & Pautz GbR weitere Bohrungen durchgeführt (Abbildung 14), um das Bohrraster von Dr. Schleicher & Partner (2023) zu ergänzen. Zudem sollte das Material auf die Eignung nach Ersatzbaustoffverordnung (07-2021) geprüft werden. An den acht Sondierbohrungen wurde über das geplante Entnahmegebiet 3 Mischproben ab Beginn des ermittelten bindigen Materials bis in eine Tiefe von 2,5 m entnommen und durch die Wessling GmbH, Altenberge, analysiert. Die Sondierungen für die Materialproben wurden nach DIN 2022 angesprochen und zu jeder Entnahmestelle eine Profildarstellung und ein Schichtenverzeichnis erstellt (Anhang 4).

Für in Karte 4 dargestellte Unterteilung der Bohrungen in solche, die sich für eine Entnahme eignen und solche, die sich nicht für eine Entnahme eignen, wurden die ersten zwei Meter der Bohrprofile bewertet. Eine tiefere Entnahme geht mit deutlich höheren Kosten einher. Das Profil wurde in die Klassen „Oberboden“, „Sand“, „Lehm“ und „Ton“ unterteilt. Zur Berechnung des Volumens des Oberbodens, des Sandes und des Lehms/Tons wurden im GIS die Werkzeuge „IDW“ und „Cut Fill“ verwendet.

4.1.4.2 Ergebnisse und deren Bewertung

Oberboden und Lehmschicht

Bei den von Dr. Schleicher & Partner vorgefundenen Bodenarten handelt es sich den Schlämm- und Siebanalysen zufolge überwiegend um bindiges Material mit Durchlässigkeitsbeiwerten von 1×10^{-5} bis 1×10^{-8} , in der Mischung als schwach durchlässiges Material für Wallabdichtungen geeignet. Zu beachten ist, dass diese als Mischproben mehrerer Horizonte genommen wurden.

Gering durchlässige Tone fanden sich in mächtigerer Schichtstärke überwiegend in größerer Tiefe von über 3 Metern. Im Süden, am Bohrpunkt 7, lassen sich von jeweils 0,45 bis 2,0 m Tiefe feinsandige Tone gewinnen, auch am Bohrpunkt 4 wurden noch ab 0,95 m unter einer 7 cm dicken Lehmschicht 1,05 m feinsandige Tone vorgefunden. Der abzutragende Oberboden ist 0,3-0,5 m mächtig, er enthält teils Bauschutt. Darunter folgen im Mittel 40-50 m Sand. Es ist somit ein Abtrag von bis zu einem Meter notwendig, um an das lehmige Material zu gelangen.

Während der Geländearbeiten am geplanten Bohrpunkt 7 (KBF) im Südwesten wurde wahrscheinlich der Betondom der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH & Co. KG in ca. 1 m Tiefe angebohrt. Insgesamt wurden in einem Bereich von 10 m um den geplanten Punkt drei weitere Sondierversuche durchgeführt, die allesamt die Betonschicht erreichten. Erst 40 m nördlich des geplanten Punktes konnte bis auf 2,5 m Tiefe sondiert werden und dort erfolgte auch letztendlich die Probennahme des Bohrpunkt 7.

In der folgenden Tabelle werden die beprobten Schichten aufgeführt, die als Baumaterial geeignet befunden wurden. Dazu wurde eine Bezeichnung der Bodenarten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5) beigefügt. Bei allen aufgeführten Bodenarten sollte es sich um Feinkornböden handeln, der Feinkorngehalt der Schichten wurde durchweg auf über 40% geschätzt. Somit ist der Feinkorngehalt wesentlich für die Bodeneigenschaften: In diesem Falle werden gute bis sehr gute Staueigenschaften der Böden angenommen.

Die rund 11,9 Hektar große Fläche, die im Rahmen der Vorplanung zur Lehmgewinnung anvisiert wurde, wurde nach der Auswertung der Bohrungen und Laboranalysen auf eine Fläche von etwa 7,1 Hektar reduziert. Für diese Fläche wurde eine Entnahme von einem und zwei Meter

durchgerechnet, um einen Überblick über die Mengen zu erhalten. Bei einer Gewinnung bis in zwei Meter Tiefe stünden auf der Fläche insgesamt 81.400 m³ an Lehm und Ton zur Verfügung (Tabelle 7). Soll nur eine Gewinnung bis in einen Meter Tiefe erfolgen, so reduziert sich das gewinnbare Material auf 18.700 m³. Zuvor sind 26.500 m³ an Oberboden abzutragen, und es stünden – je nach gesamter Abtragstiefe – 25.400 bis 33.300 m³ an Sand zur Verfügung.

Tabelle 6: Bodenarten und zugeordnete maximale k_f -Werte

Sondierung	Schicht [Teufe m]	Bodenart (BKA 5)	maximaler k_f -Wert [m/s]	Bereich nach DIN 18130-1
E1-1	0,70 – 1,40	Lts	$5 \cdot 10^{-6}$	schwach durchlässig
	1,40 – 2,50	Ts3 – Ts4	$1 \cdot 10^{-8}$	sehr schwach durchlässig
E1-2	0,40 – 2,50	Su4	$5 \cdot 10^{-6}$	schwach durchlässig
E1-3	1,50 – 2,50	Lt3	$1 \cdot 10^{-8}$	sehr schwach durchlässig
E2-4	0,95 – 2,00	Ts2	$1 \cdot 10^{-10}$	sehr schwach durchlässig
E2-5	1,50 – 2,50	Su4 - Us	$5 \cdot 10^{-6}$	schwach durchlässig
E2-6	1,40 – 1,70	Lts	$5 \cdot 10^{-6}$	schwach durchlässig
	1,70 – 2,20	Ts3 – Ts4	$1 \cdot 10^{-8}$	sehr schwach durchlässig
E3-7	0,80 – 2,50	Ts2	$1 \cdot 10^{-10}$	sehr schwach durchlässig
E3-8	0,90 – 2,00	Ts2	$1 \cdot 10^{-10}$	sehr schwach durchlässig

Eine Entnahme bietet sich sowohl im Norden (E1-1, E1-2, 2, 3, 4) als auch Süden (E3-7, E3-8) an. Hier liegt jeweils bindiges Material nah an der Oberfläche vor. Da zuvor Oberboden und teils Sand abgetragen werden muss, ist es kostensparender, an einer Stelle eine tiefere Entnahme durchzuführen als flächig einen geringeren Abtrag. Vor diesem Hintergrund ist die nördlichste Teilfläche zur Entnahme in eine Tiefe bis zu 1,10 m vorzusehen (Tabelle 7), diese Tiefe wurde iterativ ermittelt. Hier stehen oftmals oberflächennah ab 30 cm rund 13.700 m³ Lehm und/oder Ton zur Verfügung, an Oberboden sind 8.300 m³ vorhanden, die Menge an abzutragendem und im Anschluss zurückzusetzendem Sand beläuft sich auf 4.800 m³.

Tabelle 7: Abzutragende bzw. gewinnbare Mengen im Bereich der Lehmgewinnungsflächen auf 70.600 m² Gesamtfläche

	Flächengröße / Volumen			
	Gesamt	Oberboden	Sand	Lehm / Ton
maximales Volumen bis in 1 m Tiefe	70.600	26.500	25.400	18.700
maximales Volumen bis in 2 m Tiefe	141.200	26.500	33.300	81.400
nördliche Teilfläche bis 1,10 m Tiefe	26.800	8.300	4.800	13.700

Eignung nach Ersatzbaustoffverordnung

Die folgende Tabelle 8 zeigt einen Teil der Ergebnisse der bodenanalytischen Laboruntersuchung durch die Wessling GmbH. Dabei handelt es sich um jene Parameter, die in einer messbaren Konzentration vorgefunden werden konnten. Die Proben enthielten beispielsweise keine nachweisbaren Polychlorierte Biphenyle (PCB) oder Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Die vollständigen Ergebnisse mit allen weiteren Daten sind den Laborprotokollen von Anhang 5 zu entnehmen. Die vorgefundenen Elemente bzw. Metalle Nickel (Ni), Chrom (Cr) und Zink (Zn) liegen weit unter entsprechenden Vorsorgewerten (Besorgnisschwelle), die von der LUFA NRW herausgegeben wurden (LUFA NRW, 2017). Diese Vorsorgewerte für Verhältnisse von mg/kg können Tabelle 9 entnommen werden.

Tabelle 8: Teilergebnisse der bodenanalytischen Laboruntersuchung der Boden-Mischproben im Hinblick auf die Eignung nach Ersatzbaustoffverordnung. T = Ton, S = Sand, U = Schluff, Cr = Chrom, Ni = Nickel, Zn = Zink.

Mischproben-nummer	Sondier-punkte	Tiefenbereich [m]	Bodenart DIN 4022	pH-Wert	ausgewählte Messwerte (Metalle) [mg/kg]	
E 1	1, 2, 3	0,35 - 2,50	T, S, U	7,5	Ni Cr	7,8 16
E 2	4, 5, 6	0,95 - 2,10	T, S, U	7,1	Cr	11
E 3	7, 8	0,70 - 2,50	T, S	8,2	Ni Cr Zn	12 18 21

Tabelle 9: Vorsorgewerte nach LUFA NRW (LUFA NRW, 2017) bei pH > 6. Cr = Chrom, Ni = Nickel, Zn = Zink.

Element-Symbol	Vorsorgewert Schluff [mg/kg]	Vorsorgewert Ton [mg/kg]
Cr	60	100
Ni	50	70
Zn	150	200

Auf Basis der Laborergebnisse sind die vorgefundenen Böden im Hinblick auf die Eignung des Materials nach Ersatzbaustoffverordnung als Einbaumaterial als geeignet bewerten.

Zusammenfassung

- Eignung nach Ersatzbaustoffverordnung ist gegeben
- Reduzierung der tatsächlichen Lehmgewinnungsfläche von 11,9 auf 7,1 Hektar
- Abtrag von 30-50 cm Oberboden: 26.500 m³
- Abtrag / Gewinnung von Sand: 25.500-33.500 m³
- Abtrag bis auf 1 m Tiefe: 18.700 m³ gewinnbares Dichtmaterial
- Abtrag bis auf 2 m Tiefe: 81.400 m³ gewinnbares Dichtmaterial
- empfohlene Entnahme in der nördlichen Teilfläche bis auf 1,1 m Tiefe, folgende Mengen:
 - 8.300 m³ Oberboden
 - 4.800 m³ Sand
 - 13.700 m³ Lehm/Ton

4.1.5 Mächtigkeit des Oberbodens auf Flächen zur Sandgewinnung

4.1.5.1 Methodik

Am 12.03.2024 und 18.03.2024 wurde auf den angedachten Entnahmestellen der Oberboden bis 1 m Tiefe mittels Pürckhauer-Bohrgerät sowie auf Bereichen mit deutlicher Torfauflage mittels Guts-Bohrgerät beprobt. Auf den vier Abgrabungsflächen (Abbildung 15) wurden insgesamt 27 Bohrungen umgesetzt.

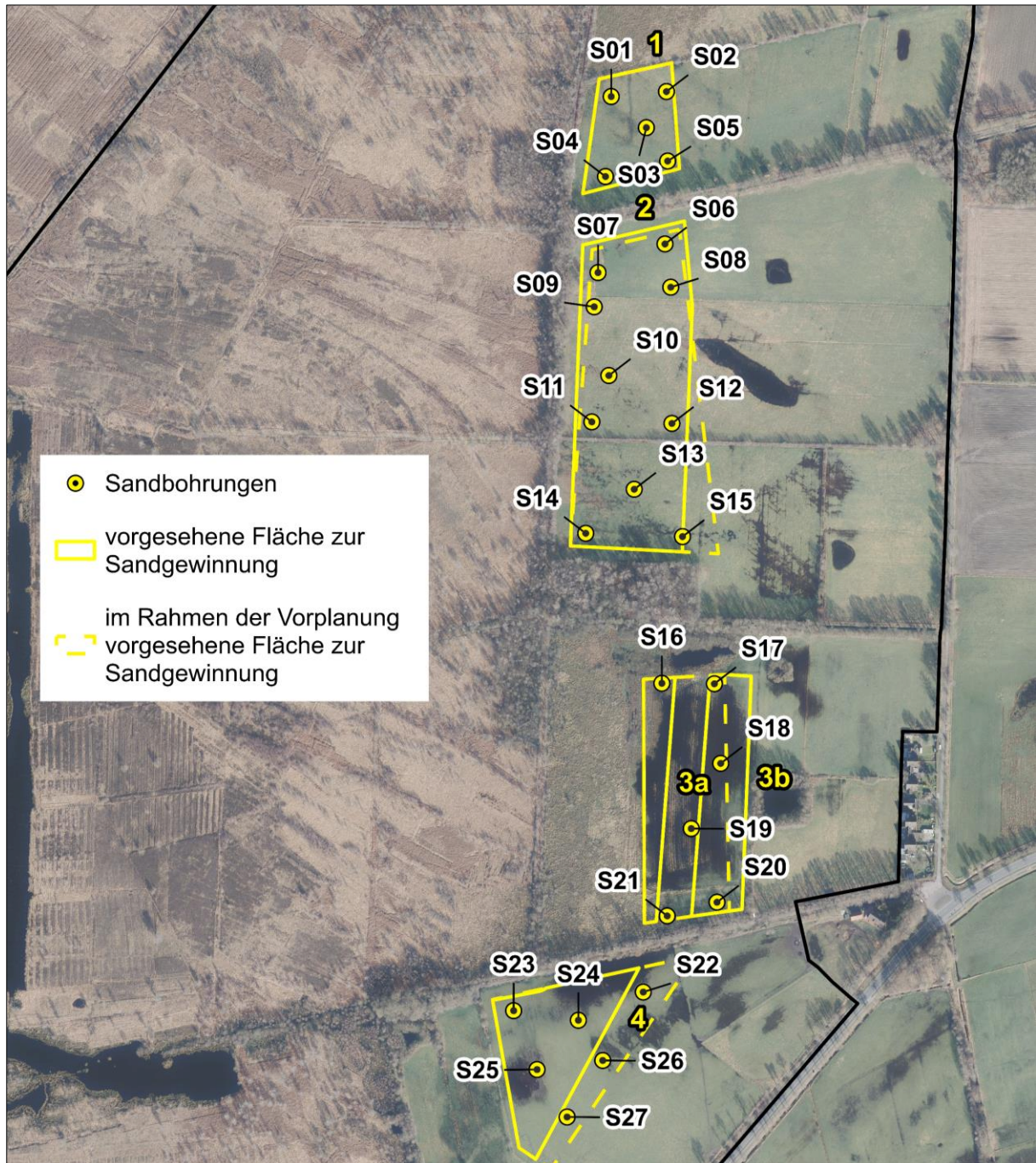


Abbildung 15: Lage der Bohrpunkte in den Sandgewinnungsflächen.

Bei der Ansprache der Sondierungen wurden neben der Bodenart u.a. Mächtigkeit, Humusgehalt sowie organische und sonstige Beimengungen und die Durchwurzelungstiefe des Oberbodens protokolliert. Für die Torfauflagen wurde zusätzlich der Zersetzungsgrad nach von Post berücksichtigt.

Die Ergebnisse sowie Lage der Bohrpunkte sind in Karte 5 dargestellt. Zur besseren Verortung der Ergebnisse wurden die Flächen von Nord nach Süd durchnummeriert. Der nördliche Teil der Fläche 1 wurde bereits in Kapitel 4.1.1 betrachtet.

Das Profil wurde in die Klassen „durchwurzelter Oberboden“, „nicht durchwurzelter Oberboden“, „Torf“ und „Sand“ unterteilt. Zur Berechnung des Volumens wurden im GIS die Werkzeuge „IDW“ und „Cut Fill“ verwendet.

4.1.5.2 Ergebnisse und deren Bewertung

Beschreibung der Flächen

Fläche 1: Den obersten Horizont der gesamten Fläche 1 bildete im Mittel eine 14 cm mächtige Schicht aus vererdetem, durchwurzelter Torf mit einem Zersetzungsgrad von H8 sowie unterschiedlich ausgeprägten Sanddurchmischungen. Im nördlichen Teil der Fläche (BP 01-02) schlossen bis über eine Tiefe von 100 cm Torfhorizonte mit Zersetzungsgraden von H4 bis H9 an (vgl. Abbildung 16). Aufgrund der deutlichen Torfauflage wurden an den beiden genannten Bohrpunkten zusätzlich torfkundliche Bohrungen mittels Guts-Bohrgerät durchgeführt, um die Gesamttorfmächtigkeit (GTM) sowie die Art und Tiefe des mineralischen Untergrundes (MUG) zu ermitteln. Die GTM betrug 116-125 cm, der MUG bestand aus mittelsandigem Feinsand (fSms). Die Grenze zwischen MUG und GTM wurde durch eine geringmächtige Tonmudde definiert. Mineralische Horizonte innerhalb der geplanten Probertiefe von 1 m wurden nur in geringem Ausmaß mit einem Anteil von 10 bis 57 cm auf dem südlichen Teil der Fläche gefunden. Die Mächtigkeit der Mineralschicht nahm von Nord nach Süd zu, bei gleichzeitig abnehmender Mächtigkeit der aufliegenden Torfhorizonte. Die gefundenen Mineralbodenhorizonte entsprechen einem postglazialen, podsollierten Oberboden und die Bodenart kann als mittelsandiger Feinsand beschrieben werden.



Abbildung 16: Torfauflage von über 1 m im Norden; deutliche Lehmschicht (Lts) am Übergang zum Mineralboden (S02)

Fläche 2: Der durchwurzelte Oberboden der Fläche wies im Mittel eine Mächtigkeit von ca. 13 cm auf und setzte sich zum Teil aus vererdetem, durchsandetem Torf mit hohem Zersetzungsgrad (H8) sowie andernorts humosem mittelsandigem Feinsand zusammen. Die Fläche 2 ist ähnlich wie die nördlich anliegende Fläche 1 noch von Torfauflagen geprägt, wenn auch in einem deutlich geringeren Ausmaß. Dem entsprechend wiesen die Hälfte der Bohrungen auf der Fläche 2 überwiegend an dessen Westrand Torfhorizonte auf (vgl. Abbildung 17). Die festgestellten Torfhorizonte besaßen eine mittlere Mächtigkeit von ca. 40 cm, mit Zersetzungsgraden von H4 bis H9. Am Bohrpunkt 07 im nordwestlichen Bereich der Fläche, konnten zusätzlich Hinweise auf Meliorationsmaßnahmen festgestellt werden. Die Torfe waren hier deutlich übersandet (ca. 32 cm Sandauflage). Basal am Übergang zwischen Torf und MUG, wurden anthropogene Veränderungen der Boden-Schichtabfolge deutlich (vgl. Abbildung 18 und Abbildung 19). Ausgenommen des Bohrpunktes S07, wiesen alle Mineralbodenhorizonte der Bohrungen mit Torfauflage die

Horizontabfolge postglazialer, podsolierter Oberböden aus mittelsandigem Feinsand sowie, teilweise geringmächtig, Lehm (Lts) auf (vgl. Abbildung 20). Die Bohrungen ohne Torfauflage bestanden über das gesamte Profil hauptsächlich aus mittelsandige Feinsanden. Die Bodentypen entsprachen hier landwirtschaftlich genutzten Podsol- bis Podsol-Braunerdeböden (vgl. Abbildung 21). Unter Berücksichtigung aller Bohrungen sowie der maximalen Sondierungstiefe von 100 cm, konnte für die Mineralbodenhorizonte im Gebiet eine mittlere Mächtigkeit von ca. 60 cm beschrieben werden. Durchwurzelungsfreie, mineralische Oberbodenhorizonte kamen mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von ca. 18 cm auf 4 von 10 Bohrpunkten vor.



Abbildung 17: Torfauflage über humusarmen mittelsandigem Feinsand (S14).



Abbildung 18: Übersandung der Torhorizonte (S07)



Abbildung 19: Detailansicht des anthropogen beeinflussten Übergangs vom Torf- zum Mineralboden (S07)



Abbildung 20: Geringmächtige Torfauflage über reliktschem Podsol (S13), im untere Profilabschnitt findet sich Lehm.



Abbildung 21: Podsol ohne Torfauflage (S09).

Fläche 3: Im Gegensatz zu den nördlichen Flächen 1 und 2 bestand der Oberboden der Fläche 3 nahezu ausschließlich aus humosem, mittelsandigem Feinsand (fSms). Der durchwurzelte Anteil

des Oberbodens war im Mittel ca. 17 cm mächtig, der nicht durchwurzelte Anteil betrug im Mittel ca. 30 cm. Torfhorizonte befanden sich nur im Nord-Westen bei einem Bohrpunkt mit einer Mächtigkeit von 43 cm sowie an zwei weiteren Bohrpunkten im Norden und Westen mit 16 und 12 cm Mächtigkeit. Entsprechend der Beschreibung oben, waren die Torfhorizonte von humosem Mineralboden überdeckt, an der Torfbasis befanden sich überwiegend humusarme, mittelsandige Feinsande (Lockersubstrathorizont (IC) oder reduzierter Horizont (Gr)), zum Teil mit Merkmalen einer postglazialen Oberbodenentwicklung.

Fläche 4: Auf der gesamten Fläche stand oberflächlich ein humoser Oberboden aus mittelsandigem Feinsand (fSms) an. Abbildung 22 zeigt ein anschauliches Profil einer deutlich übersandeten, geringmächtigen Torfschicht über humusarmen Feinsand. Der durchwurzelte Anteil entsprach einer mittleren Mächtigkeit von 17 cm, der undurchwurzelte Anteil war durchschnittlich 30 cm mächtig. In 3 von 6 Bohrungen lag geringmächtig (<10 cm) hoch zersetzter (H9) Torf vor (vgl. Abbildung 23). Der humusärmere mineralische Unterboden aus mittelsandigem Feinsand begann im Durchschnitt ab einer Tiefe von 56 cm. Am Bohrpunkt 25 wurde bei einer Tiefe von 73 cm eine ca. 16 cm mächtige Schicht aus Glassplitt anthropogenen Ursprungs festgestellt (vgl. Abbildung 24 und Abbildung 23).



Abbildung 22: Übersandete, geringmächtige Torfschicht über humusarmen Sandboden (S26)



Abbildung 23: Durchmischter Sandboden (fS,ms) mit einer Lage Glassplitt in ca. 73 cm Tiefe (S25)



Abbildung 24: Glassplitt-Schicht aus Verfüllung einer Anodenbohrung (S25)

Verwendbares Material und Mengenermittlung

Die gewinnbaren Mengen der unterschiedlichen Baumaterialien sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Da die Torfe nur lokal in höherer Mächtigkeit vorliegen, wäre nur in diesen Bereichen eine separate Gewinnung sinnvoll. Bei den Sandgewinnungsflächen muss daher zwischen zweierlei Bereichen unterschieden werden: (1) Bereiche in denen Torf separat abgetragen werden könnte und (2) Bereiche, in denen die geringmächtigen Torfe gemeinsam mit dem Sand entnommen werden. Bei der Teilfläche 1 und 2 könnte der anstehende Torf separat vom Sand gewonnen werden und als Dichtmaterial eingebaut werden. In den Teilfläche 3 und 4 sind die vorhandenen Torfschichten zu geringmächtig und / oder zu kleinflächig vorhanden, der Torf kann daher zusammen mit dem Sand gewonnen und verbaut werden. Die Sandgewinnung müsste bis in eine Tiefe von ca. 1,20 m reichen.

Tabelle 10: Abzutragende bzw. gewinnbare Mengen im Bereich der Sandgewinnungsflächen bis in 1,2 m Tiefe.

Mengen in m ³						
Teilfläche	Flächengröße in m ²	durch- wurzelter Oberboden	restlicher Oberboden	Torf	Sand	Sand, teils mit gering- mächtigen Torfen
1	9.500	1.300	100	6.200	3.800	
2	36.200	4.700	2.400	7.600	28.700	
3a	5.400	1.000	1.400			4.080
3b	11.100	1.900	2.000			9.420
4	13.800	2.300	4.400			9.860
Summe	89.600	13.100	13.700	13.800	32.500	23.400

Zusammenfassung

- Abtrag von ca. 10-20 cm durchwurzeltem Oberboden: 11.200 m³
- Abtrag von ca. 10-50 cm humosem, aber nicht durchwurzeltem Oberboden: 10.300 m³
- Abtrag / Gewinnung von Torf in Teilfläche 1 sowie 2 möglich: 13.800 m³
- Abtrag / Gewinnung von Sand auf 1,20 m Tiefe: 55.900 m³

4.1.6 Breite, Tiefe und Mächtigkeit des Sandbetts im Grenzgraben

4.1.6.1 Methodik

Die Untersuchung erfolgte am 12.02.2023. Ziel der Untersuchung war es, Daten für die Mengenermittlung der erforderlichen Bodenmassen und -bewegungen für die Verfüllung des Grenzgrabens im Rahmen des Mengengerüsts zu liefern.

Es wurden Breite, Tiefe und Schichtmächtigkeit des Sandbetts innerhalb des Grenzgrabens ermittelt. Die Tiefenlage der unterhalb des Grenzgrabens verlaufenden Verrohrung wurde innerhalb der sechs Querschnitte (A, B, C, D, E und F) bestimmt.

Die Standorte der Sondierungen lagen verteilt auf der rund 700 m langen Grabenstrecke (s. Abbildung 25). Die genaue Lage der Bohrungen wurde von der Zugänglichkeit des jeweiligen Grabenabschnitts abhängig gemacht. An jedem der sechs ca. 10 m langen Grabenquerschnitte wurden fünf bis acht Bohrungen durchgeführt, bei den Grenzbereich zwischen gewachsenem Torf und aufgefülltem Grabenprofil lokalisiert wurde.

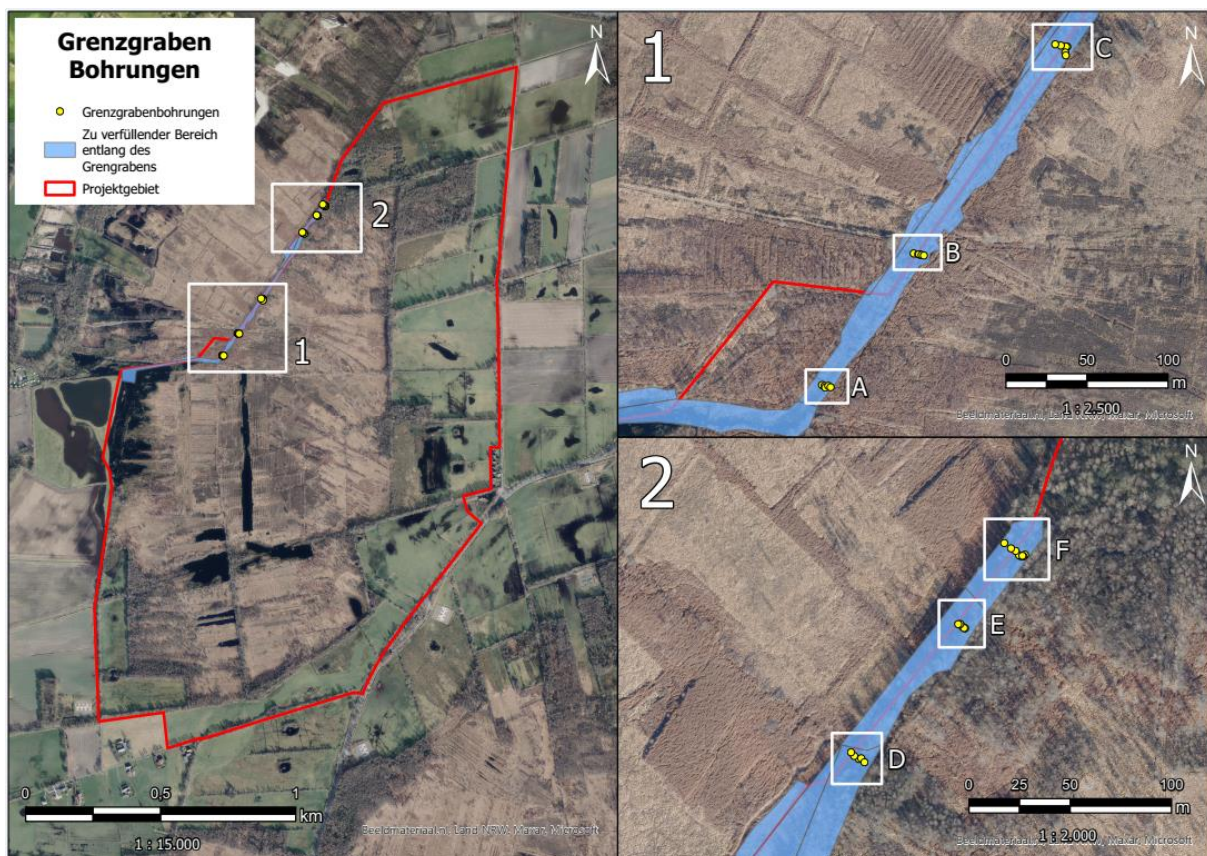


Abbildung 25: Lage der Bohrungen am Grenzgraben.

4.1.6.2 Ergebnisse

Den Tabellen im Anhang 7 sind die Mächtigkeiten bzw. Horizonttiefen mit entsprechenden Bodenarten und/oder den für die Untersuchung bedeutsamen Bodeneigenschaften zu entnehmen.

Bei der unter dem Grenzgraben verlaufenden Verrohrung handelt es sich um ein DN800 Kunststoffrohr mit mehreren Inspektionsschächten aus Beton-Fertigteilen. Dieses Rohr wurde auf die Sohle des ehemaligen Grenzgrabens aufgesetzt und mit Sand verfüllt. Die Verrohrung wurde

in jedem Abschnitt angetroffen. Folgende Tabelle 11 zeigt die Lage der Verrohrung im Bezug zur Geländeoberfläche und in Bezug auf Höhe über NHN. Von Süden (Abschnitt A) nach Norden (Abschnitt F) nimmt die Überdeckung des Rohres auf einer Gesamtstrecke von ca. 670 m von 160 auf 90 cm ab. Die Unterkante des Rohres fällt von ca. 40,5-40,6 m NHN auf rund 40,0 m NHN ab. Im Bereich der südlichen 200 m verläuft die Sohle des ehemaligen Grenzgrabens im Torf, weiter nördlich liegt die Sohle unterhalb der Moorbasis, der Graben wurde dort bis in den Mineraluntergrund ausgebaut.

Im Abschnitt F wurde auf einen weiteren Widerstand in 0,50 m Tiefe unter Geländeoberfläche gestoßen. Ob es sich dabei um Beton oder um z.B. Bauschutt handelt, konnte vor Ort nicht weiter bestimmt werden.

Tabelle 11: Lage der Grenzgraben-Verrohrung.

Abschnitt	Höhe der Geländeoberfläche [m NHN]	Tiefe der Rohroberkante unter Geländeoberfläche [m]	Tiefe der Rohrunterkante unter Geländeoberfläche [m NHN]	Einbau in MUG
A	42,89	1,60	40,49	nein
B	42,94	1,55	40,59	nein
C	42,64	1,50	40,34	ja
D	41,98	1,20	39,98	ja
E	41,76	0,90	40,06	ja
F	kein ausreichendes Höhen-GPS-Signal	0,90	-	ja

Verfüllung des ehemaligen Grabenbettes

Um die entwässernde Wirkung des Grenzgrabens aufzuheben, soll die Verrohrung auf ganzer Länge entfernt werden. Das Sandbett wird auf 720 m Länge auf 3 m Breite ausgekoffert, das Volumen an Sand aus der Entfernung des Sandbetts beläuft sich auf rund 4.300 m³, welche im unmittelbaren Nahbereich wieder eingebaut werden und somit nicht in das Mengengerüst eingehen. Die ehemalige Gewässersohle auf 3 m Breite und 1 m Höhe wird mit rund 2.200 m³ Lehm verfüllt (Tabelle 13). Oberirdisch wird bis zu den Stauzielen 4.100 m³ Material benötigt, davon kommen zu den rund 2.200 m³ Sand rund 1.900 m³ Torf, von denen nur der Torf ins Mengengerüst eingeht.

Tabelle 12: Volumen des Sandbettes des Grenzgrabens für die verschiedenen Abschnitte.

Abschnitt	Breite der ehem. Böschung [m]	Tiefe der Rohrunterkante unter Geländeoberfläche [m]	Böschungsverhältnis	ehemalige Sohlbreite [m]	Volumen je lfd. Meter [m ³]
A	7,0	2,40	1 : 1	2,0	10,80
B	6,7	2,35	1 : 1	2,0	10,22
C	7,5	2,40	1 : 1	2,0	11,40
D	6,0	2,00	1 : 1	2,0	8,00
E	5,2	1,70	1 : 1	2,0	6,30
F	7,7	1,70	1 : 1,5	2,0	7,70

Tabelle 13: Volumen des Sandbettes des Grenzgrabens für die verschiedenen Abschnitte.

Ab-schnitt	Länge [m]	Tiefe der Rohrunterkante unter Geländeoberkante (GOK) [m]	Breite [m]	Volumen auszukoffernder Sand je lfd. Meter [m³]	Volumen auszukoffernder und vor Ort einzubauender Sand abzgl. Rohrvolumen [m³]	Volumen einzubauender Lehm [m³]	Volumen Sand	
							unterhalb GOK [m³]	oberhalb GOK [m³]
A	70	2,40	3,00	7,20	464	210	254	210
B	140	2,35	3,00	7,05	908	420	488	420
C	220	2,40	3,00	7,20	1.459	660	799	660
D	210	2,00	3,00	6,00	1.141	630	511	630
E	50	1,70	3,00	5,10	227	150	77	150
F	30	1,70	3,00	5,10	136	90	46	90
Summe	720	.	.	.	4.335	2.160	2.175	2.160

Zusammenfassung

- Verrohrung: DN800 Kunststoffrohr
- Auskofferung des Sandbettes: 4.300 m³
- Verfüllung des ausgekofferten Sandbettes:
 - davon Verfüllung mit abdichtendem Lehm: 2.200 m³
 - davon Verfüllung mit ausgekoffertem Sand: 2.100 m³
- Bedarf für oberirdische Verfüllung: 4.100 m³
 - davon Sand aus Auskofferung: 2.200 m³
 - davon anzuliefernder Torf: 1.900 m³

4.2 Nährstoffbelastung im Wasser

In den großflächigen, ehemaligen Torfstichen haben sich infolge des Anstaus durch Wiedervernässungsmaßnahmen mehr oder weniger ausgedehnte Wasserflächen gebildet. Diese werden durch rastende Gänse und weitere Wasservögel frequentiert. Ihr Vorkommen sorgt jedoch für einen hohen Nährstoffeintrag durch anfallenden Kot, welcher die Gewässer eutrophieren lässt und so die natürliche Entwicklung in Richtung eines durch nährstoffarme Standortverhältnisse geprägten Hochmoores hemmt. Auf drei der Gewässerflächen sind mutmaßlich aufgrund dieser hohen Nährstoffgehalte bereits randliche, ehemals ausgedehnte Torfmoosteppe vollkommen verschwunden. Neben dem direkten Nährstoffeintrag können zudem Düngemittel o.ä. aus dem landwirtschaftlich genutzten Umland einwehen oder über Wasserströme in das Projektgebiet eindringen. Auf diese Annahme hin wurden als drei verschiedene Gewässerkategorien im Projektgebiet beprobt und im Hinblick auf die Nährstoffbelastung ausgewertet.

4.2.1 Methodik

Zur Untersuchung der Nährstoffbelastung durch Nitrit, Nitrat und Ammonium im Projektgebiet wurden am 12.02.2024 insgesamt 14 Wasserproben aus drei verschiedenen Gewässerkategorien genommen (Tabelle 14). Diese umfassten (1) augenscheinlich stark eutrophierte Torfstiche, (2) vergleichsweise weitere aus mutmaßlich unbelasteten Torfstichen und (3) aus Vorflutern des Gebiets (Abbildung 26).

Die Proben wurden nach Möglichkeit bzw. in Abhängigkeit der Begehrbarkeit in einer Tiefe von 0,3 m entnommen (LAWA, 2015), sofern das jeweilige Gewässer eine solche Wassertiefe hergab. Die Entnahme erfolgte in den Randbereichen der Wasserflächen, soweit die Wassertiefe einen Zugang zu Fuß zuließ. Nach Vorgaben der LUFA NRW, welche die Proben anschließend der physikalisch-chemischen Analytik unterzog, wurden pro Probestandort 0,75 L entnommen und in einem verschließbaren Behälter verwahrt (LUFA NRW, Auftragsformular Teichwasser, 2024). Neben der Nährstoffbelastung wurden der pH-Wert und die Leitfähigkeit des Wassers innerhalb der verschiedenen Gewässerkategorien überprüft. Eine Kühlung war für die zu analysierenden Parameter nicht notwendig (LUFA NRW, Verpackungshinweise für Wasserproben, 2024).

Die Beprobung erfolge bei einer bedeckten bis wechselhaften Wetterlage mit vorwiegend trockenen Verhältnissen im Entnahmezeitraum sowie einer Lufttemperatur von durchschnittlich 7,5 °C und einer durchschnittlichen Luftfeuchtigkeit von 77 % (Wetterkontor, 2024). Allerdings war die Witterung der voran gegangenen Wochen als sehr niederschlagsreich zu einzustufen, wodurch die Wasserkörper einen höheren Wasserstand aufwiesen.

Tabelle 14: Verteilung der Proben auf die drei Gewässerkategorien

Gewässerkategorien	Anzahl
stark eutrophierte Torfstiche	3
mutmaßlich unbelastete Torfstiche	6
Vorfluter	5

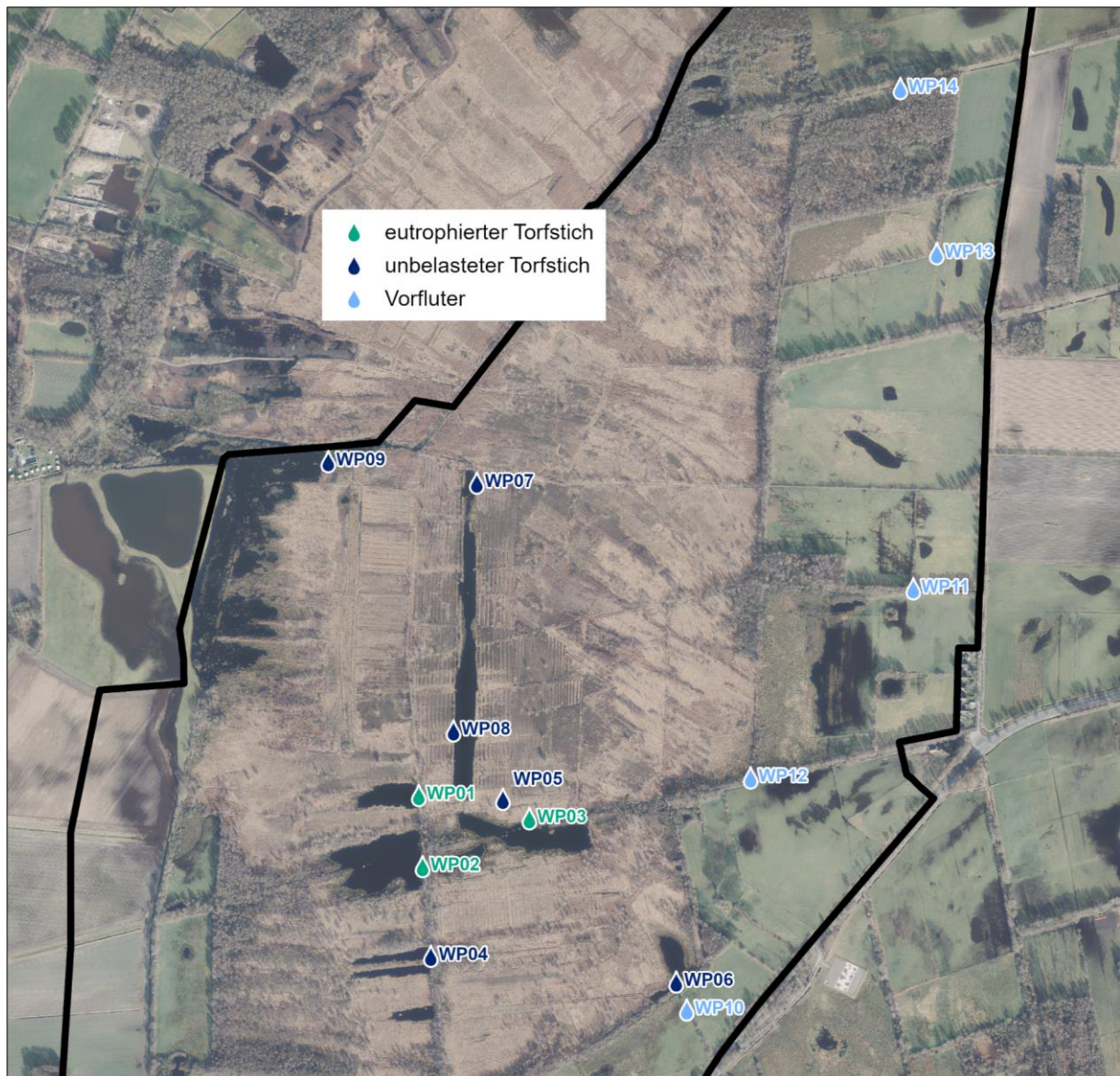


Abbildung 26: Entnahmestellen der Wasserproben.

4.2.2 Ergebnisse und deren Bewertung

Die Ergebnisse der chemischen Wasseranalytik (Tabelle 15, Anhang 8) der drei verschiedenen Gewässerkategorien werden im Folgenden beschrieben.

pH-Wert

Der pH-Wert gibt Auskunft über die Säure-/Baseneigenschaften. Für Hochmoore sind aufgrund der Versauerung des Standorts durch Torfmoose und dem nicht stattfindenden Ionenaustausch mit dem Mineralboden niedrige pH-Werte typisch. Diese liegen nach GÖTTLICH (1990) bei 3,5 bis 4,5. Mit pH-Werten zwischen 4,3 und 4,6 in den als eutrophiert eingestuften Torfstichen (WP-01 bis WP-03) liegen diese gerade noch im hochmoortypischen pH-Wertebereich. Die pH-Werte der als mutmaßlich unbelastet eingestuften Torfstiche streuten stärker, sie umfassten Werte von 3,9 bis 5,2. Dabei wiesen die Entnahmestellen WP-04 bis WP-06 Werte von 3,9-4,0 auf, die Entnahmestellen WP-07 bis WP-09 zeigten Werte zwischen 4,9-5,2. Bei den Vorflutern wies der im Süden

gelegene Graben (WP-10) einen pH-Wert von 3,9 auf, während die der anderen Vorfluter im pH-Werte von 4,5 bis 5,1 zeigten.

Alle gemessenen pH-Werte sind vor dem Hintergrund der vorangegangenen Niederschlagsperioden zu bewerten. Die pH-Werte der beprobten Gewässer sind sich daher ähnlicher, als dies zu niederschlagsarmen Zeiten im Sommer der Fall wäre, da dann das Torfsubstrat an sich wie auch die Torfmoose den pH-Wert der unbelasteten Gewässer stärker absenken würden. Dennoch zeigen sich am Beispiel des langgestreckten Torfstichs im Vergleich zu den anderen mutmaßlich unbelasteten Torfstichgewässern Unterschiede. In diesen strömt von Norden her Wasser aus dem angestauten Bereich im Westen des Gebietes ein, d.h. das Wasser wird insbesondere im Winterhalbjahr aufgrund der Wasserbewegung weniger gepuffert. Bei den Vorflutern fällt auf, dass Graben im Osten den höchsten pH-Wert aufweist. Gegenüber den anderen Vorflutern kann daher von einem geringeren Mooreinfluss ausgegangen werden. Demgegenüber ist der pH-Wert des südlich gelegenen Vorfluters recht niedrig, unmittelbar in den Entnahmestellen der angrenzenden Verwaltung befinden sich vereinzelt Torfmoose, die bereits zur Versauerung beitragen.

Tabelle 15: Ergebnisse der physikalisch-chemischen Analytik der entnommenen Wasserproben der drei Gewässerkategorien (1) **eutrophierter Torfstich**, (2) **unbelasteter Torfstich** und (3) **Vorfluter**.

Probennummer	Gewässerkategorie	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS/cm]	Ammonium NH ₄ [mg/L]	Nitrat NO ₃ [mg/L]	Nitrit NO ₂ [mg/L]
WP-01	eutrophiert	4,3	50	1,30	< 0,50	< 0,05
WP-02	eutrophiert	4,5	74	1,60	< 0,50	< 0,05
WP-03	eutrophiert	4,6	62	1,10	< 0,50	< 0,05
WP-04	unbelastet	3,9	82	0,83	< 0,50	< 0,05
WP-05	unbelastet	4,2	43	0,16	< 0,50	< 0,05
WP-06	unbelastet	4,0	73	0,19	< 0,50	< 0,05
WP-07	unbelastet	5,2	68	1,20	1,20	< 0,05
WP-08	unbelastet	4,9	63	0,94	1,40	< 0,05
WP-09	unbelastet	4,9	64	0,66	< 0,50	< 0,05
WP-10	Vorfluter	3,9	88	0,25	< 0,50	< 0,05
WP-11	Vorfluter	4,7	215	0,41	< 0,50	< 0,05
WP-12	Vorfluter	4,6	62	0,91	< 0,50	< 0,05
WP-13	Vorfluter	5,1	70	0,18	< 0,50	< 0,05
WP-14	Vorfluter	4,4	76	0,49	< 0,50	< 0,05

Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit wird als Summenparameter für den Salzgehalt wässriger Lösungen verstanden und ist neben den gelösten Salzen abhängig von der Temperatur. Bei steigender Temperatur sinkt die elektrische Leitfähigkeit. Die Messwerte von ungenutzten Hochmooren liegen zwischen 10 – 20 µS/cm (Eggelsmann, 1990) bis 100 µS/cm (Puranen, Mäkilä, & Säävuori, 1999). Insgesamt weisen die Gewässer aller Kategorien mit Werten zwischen 43 µS/cm bis 88 µS/cm eine typische Leitfähigkeit auf. Eine Ausnahme bildet die Probe des Vorfluters WP-11 im Osten des Gebietes mit einem auffällig höheren Wert von 215 µS/cm und somit einer mehr als doppelt so hohen Leitfähigkeit im Vergleich zu allen anderen Messwerten. In diesem Vorfluter sammeln sich

die Abflüsse aus den südlichen zwei Dritteln des Hündfelder Moores, u.a. fließt hier auch Wasser von dem südwestlich gelegenen, überstauten Grünland ab.

Ammonium, Nitrat, Nitrit

Der Grenzwert für Ammonium (NH₄) beträgt nach TrinkwV (2013) sowie Schwellenwert nach GrwV (2010) 0,5 mg/ L. Für Teichwasser liegt der Grenzwert laut LUFA (2024) bei 1 mg/ L. In den als eutrophiert eingestuften Torfstichen (WP-01 bis WP-03) wurden Ammonium-Werte von 1,1 mg/L, 1,3 mg/L und 1,6 mg/L gemessen, wodurch diese als leicht erhöht (vgl. (Unbedenkliche Werte, 2024) bis erhöht (vgl. (GrwV, 2010) einzustufen sind. Die Werte der als unbelastet eingestuften Torfstiche (WP-04 bis WP-09) liegen mit 0,66-0,94 mit Ausnahme von WP-07 unter denen der eutrophierten Torfstiche. In den Vorflutern liegen die Werte mit Ausnahme des im Südosten gelegenen Vorfluters (WP-12) noch einmal niedriger. In Fließgewässern ist die Bewegung des Wassers stärker, was zu einer besseren Durchmischung und Verdünnung führt und so geringere Ammonium-Gehalte als in stehenden Gewässern nach sich ziehen kann. Die höheren Werte im langgestreckten Torfstich (WP-07, WP-08) können mit den Einträgen aus dem westlichen Gewässer im ehemaligen Verlauf der Glaner Beek zusammenhängen, die sich im Torfstich dann sammeln.

Im Vergleich sind die Mengen von Nitrat (< 0,5 mg/L) und Nitrit (< 0,05 mg/L) in allen Kategorien überwiegend verschwindend gering, mit Ausnahme von zwei Proben der als unbelastet eingestuften Gewässerflächen, welche von allen Proben die höchsten Nitratwerte mit 1,2 mg/L (WP-07) und 1,4 mg/L (WP-08) verzeichneten. Für Teichwasser liegt der Grenzwert laut LUFA (2024) für Nitrat bei 10 mg/L und für Nitrit bei 0,2 mg/L. Typischerweise enthalten Moore aufgrund ihres sauren Milieus und der langsamen Zersetzung von organischem Material niedrige Konzentrationen von Nitrat und Nitrit. Da die Konzentrationen im Bereich von wenigen Milligramm pro Liter oder sogar darunter liegen können, werden die Ergebnisse als unbedenklich eingestuft (LUFA NRW, 2024).

4.2.3 Schlussfolgerungen

Neben den drei als eutrophiert eingestuften Torfstichen ist auch dem langgestreckten Torfstich ein leicht eutrophierter Charakter zu attestieren. Durch die im Winterhalbjahr vorhandenen Fließbewegungen wird einerseits durch die Bewegung selbst die Ansiedlung von Torfmoosen behindert, zum anderen werden aber auch Nähr- und Schadstoffe ins Gebiet gespült, welche die nicht hochmoortypische Wasser- und Niedermoorpflanzen wie etwa die Flatterbinse gegenüber Torfmoosen und Wollgräsern begünstigen.

Die Verweildauer des Wassers im Gebiet soll daher erhöht und die Attraktivität der Wasserflächen für Wasservögel reduziert werden. Dies soll durch eine (partielle) Verfüllung der Gewässerflächen erfolgen.

4.3 Volumen der eutrophierten Torfstiche

Die eutrophierten Torfstiche sollen verfüllt werden, um das nährstoffreiche Wasser weitgehend zu immobilisieren und somit eine Eutrophierung umliegender Moorbereiche zu vermeiden. Für die Verfüllung soll anfallendes Schreddergut aus den geplanten Entkusselungen der Dammtrassen und Entnahmebereiche verwendet werden, welches anschließend mit einer Torfschicht abgedeckt werden soll. Um die Menge des Verfüllungsmaterials bestimmen zu können, müssen die Tiefe und das Volumen der eutrophierten Torfstichgewässer ermittelt werden. Die Ergebnisse sind relevant für die Berechnung der erforderlichen Bodenmassen und -bewegungen im Rahmen des Mengenrösts (vgl. Kapitel 6).

4.3.1 Methodik

Im Rahmen einer Befahrung mit einem Schlauchboot wurde mittels eines Messlatten-Bohrstocks am 14.03.2024 die Tiefe (in 5 cm Schritten) der Torfstich-Gewässer an verschiedenen Stellen punktuell bestimmt. Die Lage der Gewässersohle in Bezug auf das Normalhöhennull wurde über den Wasserstand bestimmt, der mittels differenziellem GPS eingemessen wurde. Das Volumen der einzelnen Torfstiche wurde anschließend mittels der Tiefenprofile, der Flächengröße und des Wasserstandes berechnet.

Es wurde zudem vermutet, dass durch die Abtorfung der mineralische Untergrund freigelegt worden sein könnte und dies zu höheren Versickerungsverlusten beiträgt. Dieser Verdacht wurde im Rahmen der Tiefenuntersuchung durch das Anbohren des Untergrundes überprüft.

Abbildung 27: Untersuchte Torfstichgewässer im Zentrum des Projektgebietes.



4.3.2 Ergebnisse und deren Bewertung

In Karte 7 sind die Messpunkte in den Torfstich-Gewässer mit den zugehörigen Messergebnissen der Wassertiefe abgebildet, in Tabelle 16 sind die Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

In Abhängigkeit von der Gewässergröße fanden unterschiedlich viele Messungen statt. Im langgestreckten Torfstich 4 mit einer Flächengröße von rund 19.800 m² fanden 41 Messungen statt. Dies waren mehr als doppelt so viele Probenpunkte wie in den anderen drei Torfstichen. In den Torfstichen 1, 2 und 4 folgten die Probenpunkte einer bestimmten Regelmäßigkeit durch das Bilden von vertikalen oder horizontalen Messreihen. Innerhalb der Reihen lagen die Punktabstände enger

zusammen als zwischen den einzelnen Reihen (vgl. Karte 7). Die Form von Torfstich 3 ließ eine solche Messreihenbildung nur bedingt zu.

Beschreibung der einzelnen Torfstichgewässer

Torstich 1: Der südwestlich gelegene Torfstich rechteckige Form auf, er verlandet von Westen her. Im Nordwesten des Torfstiches lagen mit 40-50 cm die flachsten Bereiche vor, im Zentrum des Torfstiches wurde an einer Stelle eine Tiefe von einem Meter gemessen. Die übrigen Messungen lagen meist bei 60-70 cm.

Torstich 2: Auch dieser Torfstich verlandet von Westen her, er ist dort meist 50-60 cm tief. Die Wassertiefe nimmt nach Osten hin auf 70-90 cm zu. Mit rund 5.000 m² ist er der kleinste der hier betrachteten Torfstiche.

Torstich 3: Dieser Torfstich weist im Vergleich zu den anderen Torfstichen eine unregelmäßige Form auf und verlandet von allen Seiten her. Er ist im Vergleich zu den Torfstichen westlich des



Abbildung 28: Torfstich 1 mit großflächiger Wasserfläche und Saum aus Flatterbinsen.



Abbildung 29: Torfstich 2 mit Verlandungsvegetation aus Flatterbinsen und Breitblättrigem Rohrkolben.

Weges nicht so sehr dem Wind ausgesetzt, sodass es hier großflächigere beruhigte Zonen gibt. Die Gewässertiefe folgen keiner räumlichen Verteilung, sie liegen zwischen 0,4 und 0,9 m, der weit überwiegende Teil weist Gewässertiefen von 60 cm auf.

Torfstich 4: Der langgestreckte Torfstich ist mit 19.800 m² der größte unter den hier betrachteten vieren. Die Gewässertiefe nimmt von Norden nach Süden hin zu. In den nördlichen zwei Dritteln werden Werte zwischen 30 und 70 cm erreicht, das südlichste Drittel hingegen weist Gewässertiefen von über einem Meter auf. Die maximale Tiefe betrug 1,7 und wurde in der Südostecke des Torfstichs gemessen.

In Bezug auf den Gewässergrund wurde der Verdacht, dass durch die Abtorfung der mineralische Untergrund freigelegt wurde, nicht bestätigt. Alle Sondierungspunkte innerhalb des Gewässers wiesen eine Überdeckung aus Torf oder Torfschlamm auf.

Verfüllung

Der Torfstich 1 ist ausgehend von Nord- und Ostufer zu teilzufüllen. Die zu verfüllenden Bereiche wurden über einen Puffer von 15 m ermittelt, diese Breite kann mittels Bagger vom Rand aus erreicht werden. Zudem soll der Torfstich 1 durch eine Nord-Süd-gerichtete Verfüllung auf 10 m Breite in zwei Teile geteilt werden, um die Attraktivität des Gewässers zu minimieren. Zudem werden so beruhigtere Wasserflächen geschaffen und Wellenschlag gemindert, der eine Ansiedlung schwimmender Torfmoosdeckungen behindert. Der Torfstich 2 kann von Norden, Osten und Süden her teilverfüllt werden, insgesamt kann so über 80 % des Torfstichs verfüllt werden. Aufgrund der

Tabelle 16: Kennwerte und Mengenermittlungen aus den Untersuchungen der Torfstichgewässer.

Torfstich	1	2	3	4
Anzahl Punktmessungen	13	14	19	41
Punktentfernungen (Spanne) [m]	25 - 50	10 - 30	10 - 45	5 - 45
Tiefenspanne [m]	0,4 - 1,0	0,4 - 0,9	0,4 - 0,9	0,3 - 1,7
mittlere Tiefe	0,62	0,65	0,62	0,7
Gesamtfläche [m ²]	17.800	5.000	28.800	19.800
davon zu verfüllende Fläche [m ²]	6.200	4.000	28.800	16.000
Anteil an Gesamtfläche [%]	35	80	100	81
Stauziel [m NHN]	43,20	43,20	42,90	43,15
Stauziel [m NHN] minus 10 cm	43,10	43,10	42,80	43,05
Wasserspiegel (WS) [m NHN]	42,96	42,98	42,41	42,72
Differenz von „Stauziel minus 10 cm“ zu WS [m]	0,14	0,12	0,39	0,33
Gesamtvolumen [m ³] (V _{ges}) von Sohle bis WS (V _{ws})	11.100	3.200	17.000	13.500
davon zu verfüllendes Volumen [m ³]	3.900	2.500	17.000	9.800
Anteil an Gesamtvolumen [%]	35	78	100	73
V _{ges} [m ³] von WS bis Stauziel minus 10 cm (V _{sz})	2.500	600	11.200	6.500
davon zu verfüllendes Volumen [m ³]	900	500	11.200	5.300
V _{ges} [m ³] von Sohle bis Stauziel minus 10 cm (V _{ws} + V _{sz})	13.600	3.800	28.200	20.000
davon zu verfüllendes Volumen [m ³]	4.800	3.000	28.200	15.100
davon 30 cm mächtige Verfüllung mit Torf	1.900	1.200	8.600	4.800
davon Schreddergut	2.900	1.800	19.600	10.300
zu verfüllendes Volumen - Summe [m ³]	51.100			
davon 30 cm mächtige Verfüllung mit Torf	16.500			
davon Schreddergut	34.600			

Nährstoffverhältnisse soll der Torfstich 3 auf rund 28.800 m³ komplett verfüllt werden. Der langgestreckte Torfstich 4 kann, vor allem von der West- und Ostseite her, in den nördlichen zwei Dritteln komplett verfüllt werden. Der südliche Teil wird aufgrund der großen Wassertiefe von der Verfüllung ausgespart.

Die Verfüllung wurde jeweils bis auf 10 cm unter Stauziel vorgesehen. So kann die Stauziendifferenzklasse - 0,15 bis + 0,15 m erreicht und zugleich Material mit dem einzubringenden Material gehaushaltet werden.

Zusammenfassung

- Wassertiefen überwiegend 50-70 cm
- größte Tiefen mit über einem Meter im langgestreckten Torfstich
- Verfüllung von Torfstich 1: 1.900 m³ Torf 2.900 m³ Schreddergut
- Verfüllung von Torfstich 2: 1.200 m³ Torf 1.800 m³ Schreddergut
- Verfüllung von Torfstich 3: 8.600 m³ Torf 19.600 m³ Schreddergut
- Verfüllung von Torfstich 4: 4.800 m³ Torf 10.300 m³ Schreddergut

5 Überprüfung der vorhandenen Planung

5.1 Anlage temporärer Fahrwege

Die Lage der teils temporären Fahrwege sind in Abbildung 30, die Prinzipienskizzen sind in Anhang 10 dargestellt. Die Fahrdämme umfassen insgesamt eine Länge von rund 7.000 m. Es handelt sich um vier Typen: Bestehende Torfdämme, die übersandet werden mit und ohne Dichtung sowie Dämme aus mineralischem Material mit und ohne Dichtung.



Abbildung 30: Lage der Fahrwege.

Die Dammkrone soll, wie auch in der Vorplanung vorgesehen, 5 m breit werden (s. Tabelle 17). Die Höhe der Verwallung beinhaltet die Differenz zwischen derzeitiger Geländeoberfläche und dem Stauziel und berücksichtigt zudem mehrere Zuschläge (s. Tabelle 17 sowie Kapitel 5.2.3). Während die Höhenlage der Dammkrone je Staukompartiment einheitlich ist, variiert die tatsächliche Höhe über Geländeoberkante je nach Lage der derzeitigen Geländeoberkante. Die aufzusanden Torfdämme sowie die Mineraldämme werden mit einer 30 cm Schicht aus Grasnarbe und durchwurzeltem Oberboden abgedeckt. Dies soll eine Beschädigung der Maschinen durch Sand vorbeugen. Desweiteren erfolgt eine Abdeckung mit Schreddergut, dort wo dieses im Nahbereich anfällt. Da die Fahrdämme im Zuge des Dammbaus hunderte oder sogar tausende Male befahren werden müssen, soll zum Schutz der Dämme eine Abdeckung mit Fahrplatten erfolgen.

Bei den bestehenden Fahrdämmen handelt es sich um gewachsene Strukturen, die durch beidseitige Entwässerungsgräben stark entwässert wurden und daher eine geringere Durchlässigkeit aufweisen (BLANKENBURG 2004). Die Dichtung soll daher nicht im Zentrum des Dammes, sondern seitlich eingebaut werden. Dies erfolgt jeweils auf der Seite des Staukompartimentes mit dem höheren Stauziel.

Tabelle 17: Dimensionierung der Verwallungen, die als Fahrdamm genutzt werden.

Breite	
Breite der Dammkrone	5 m
Breite des Dammfußes	variabel
Böschungsverhältnis	
Böschung	zum jeweils höher gelegenen Polder 1: 5, sonst 1 : 2
Höhe	
Abstand von Geländeoberkante zu Stauziel	variabel
Zuschlag für Folgen der Bergsenkung	30 cm
Zuschlag für Freibord	30 cm
Abdeckung mit Vegetations-/Torfauflage	30 cm
Faktor für Mineralisierung/Sackung von aufzubringendem Mineralboden	1,2
Faktor für Mineralisierung/Sackung von aufzubringendem Torf	1,8
Dichtung	
Breite der Dichtung	1 m
Höhe der Dichtung über GOK, Außendamm und sonstige Mineraldämme	Differenz zw. GOK und Stauziel + (30 cm Zuschlag für Folgen der Bergsenkung * 1,2)
Höhe der Dichtung unter GOK, Außendamm	Grundwasserstauer bis GOK
Höhe der Dichtung unter GOK, sonstige Mineraldämme	stauende Schicht bis GOK
Höhe der Dichtung über GOK, Torfdamm	Differenz zw. GOK und Stauziel + (30 cm Zuschlag für Folgen der Bergsenkung * 1,8)
Höhe der Dichtung unter GOK, Torfdamm	stauende Schicht bis GOK

5.2 Dämme zur Anlage von Kompartimenten mit gleichem Moorwasserstand

5.2.1 Nachweis der Standsicherheit und Prüfung der Notwendigkeit des Einbaus einer Dichtung in Moor-Dämme

Das separate Gutachten ist in Anhang 9 enthalten.

5.2.2 Dammgeometrie für die Moordämme

Für die Planungsvariante A wird für alle wasserseitigen Böschungen ein Böschungsverhältnis von 1 : 5 angenommen. Dies vereint mehrere Vorteile: (1) Flache Böschungen sind für den Bisam, der Dämme unterwühlen kann, wenig attraktiv (BLANKENBURG et al. 2022), sodass von einer geringeren Besiedlung ausgegangen werden kann. (2) Durch die flache Böschung ist der Kern der Verwallung besser vor Durchlüftung geschützt und (3) ist der Anteil des durchlüfteten Teils des Dammes geringer.

Eine flache Böschung geht jedoch zugleich mit einer größeren Fläche einher, die potenziell mit Gehölzen verbuschen kann und deren Verdunstungsleistung und Wurzelatmung zur Höhenabnahme der Dämme beitragen könnte. Da im Hündfelder Moor eine Beweidung erfolgt, dann diesem Aspekt mit gezielte Beweidungsmanagement begegnet werden und die Vorteile einer flachen Böschung genutzt werden.

Die Dammkronenbreite von 3 m ermöglicht prinzipiell ein Befahren der Dämme. Die Breite des Dammfußes und auch die Höhe sind jeweils von der Lage der Geländeoberkante abhängig. Wie auch bei den Fahrdämmen sind bei der Dammhöhe mehrere Zuschläge einzuplanen (Tabelle 18 sowie Kapitel 5.2.3).

Tabelle 18: Dimensionierung der Torfdämme.

Breite	
Breite der Dammkrone	3 m
Breite des Dammfußes	variabel
Böschungsverhältnis	
Böschung Variante A	zum jeweils höher gelegenen Polder 1: 5, sonst 1 : 2
Höhe	
Abstand von Geländeoberkante zu Stauziel	variabel
Zuschlag für Folgen der Bergsenkung	30 cm
Zuschlag für Freibord	30 cm
Abdeckung mit Vegetations-/Torfauflage	15 cm
Faktor für Mineralisierung/Sackung von aufzubringendem Torf	1,8
Dichtung	
Breite der Dichtung	1 m
Höhe der Dichtung über GOK	Differenz zw. GOK und Stauziel + (30 cm Zuschlag für Folgen der Bergsenkung * 1,8)
Höhe der Dichtung unter GOK	stauende Schicht bis GOK

Tabelle 19: Materialbedarf für die verschiedenen Böschungsverhältnisse.

Böschungsverhältnis	aufzufüllendes Material	Breite der Dammkrone [m]	Breite des Dammfußes [m]	Höhe ohne Ausgleich des Geländes [m]	Bedarf je lfd m
1 zu 2	Mineral	5	9,3	1,07	7,6
1 zu 5	Mineral	5	15,7	1,07	11,1
1 zu 2	Mineral	3	7,3	1,07	5,5
1 zu 5	Mineral	3	13,7	1,07	8,9
1 zu 2	Torf	3	7,7	1,17	6,2
1 zu 5	Torf	3	14,7	1,17	10,4

5.2.3 Zuschläge für Torfdämme (Sackung, Bergsenkung, Freibord)

Als Zuschlag für die Folgen der Bergsenkung wurden 30 cm veranschlagt, als Zuschlag für das Freibord wurden ebenfalls 30 cm einkalkuliert. Da der Torf über dem Stauziel Sackungs- und Mineralisierungsprozessen unterliegt, wurden die Zuschläge für Bergsenkung und Freibord mit den Faktor 1,7 multipliziert und so überhöht. Bei der Anböschung und den Torfdämmen wurde der Faktor auf 1,8 erhöht. Dieser Faktor berücksichtigt die von BLANKENBURG (2004) und BLANKENBURG et al. (2022) angenommenen Höhenabnahmen von (20-)33-50 %. Bei aufzubringendem Mineralboden wurde der Faktor mit 1,2 geringer gewählt, da das Porenvolumen gegenüber Torfen nicht so stark abnehmen kann.

Zusätzlich zu diesen Zuschlägen erfolgt eine ca. 15 cm mächtige Abdeckung mit dem abgezogenen, durchwurzelten Oberboden. Durch diese Abdeckung werden Erosionsprozesse vermieden.

5.2.4 Stauziele der vorgesehenen Stau-Kompartimente

Die Stauziele wurden im Allgemeinen über die mittleren Geländehöhen bestimmt. Diese wurden im GIS über den Mittelwert der Geländehöhen innerhalb eines Staukompartimentes ermittelt. So sollte der Aufwand zum Abtragen von höhergelegenen Torfblöcken und -dämmen sowie die Verfüllung tiefergelegener Torfstichbereiche minimiert werden.

Ausnahmen von der mittleren Geländehöhe als Stauziel waren folgende Gegebenheiten: (1) Im Grenzbereich zu den Niederlanden bestimmten jedoch die dort bereits festgelegten Stauziele die Stauziele der unmittelbar angrenzende Polder. (2) Auch im Osten wurden die Stauziele unabhängig von der Geländeoberfläche festgelegt, um rückwirkend ins Projektgebiet eine ausreichende Erhöhung der Wasserstände zu erzielen. (3) Die Höhenunterschiede zweiter aneinander angrenzender und ineinander entwässernder Staukompartimente sollten mindestens 10 cm betragen. So wird ein Abführen des Wassers gewährleistet. Im Grenzbereich zu den Stauziele außerhalb des Moores musste bei einzelnen Staukompartimenten eine Anhebung des Stauziels erfolgen, um diesen Höhenunterschied zu erreichen. (4) Zur Optimierung der Anteile der Stauziendifferenz-Klassen wurden die Stauziele einzelner Staukompartimente iterativ manuell angepasst.

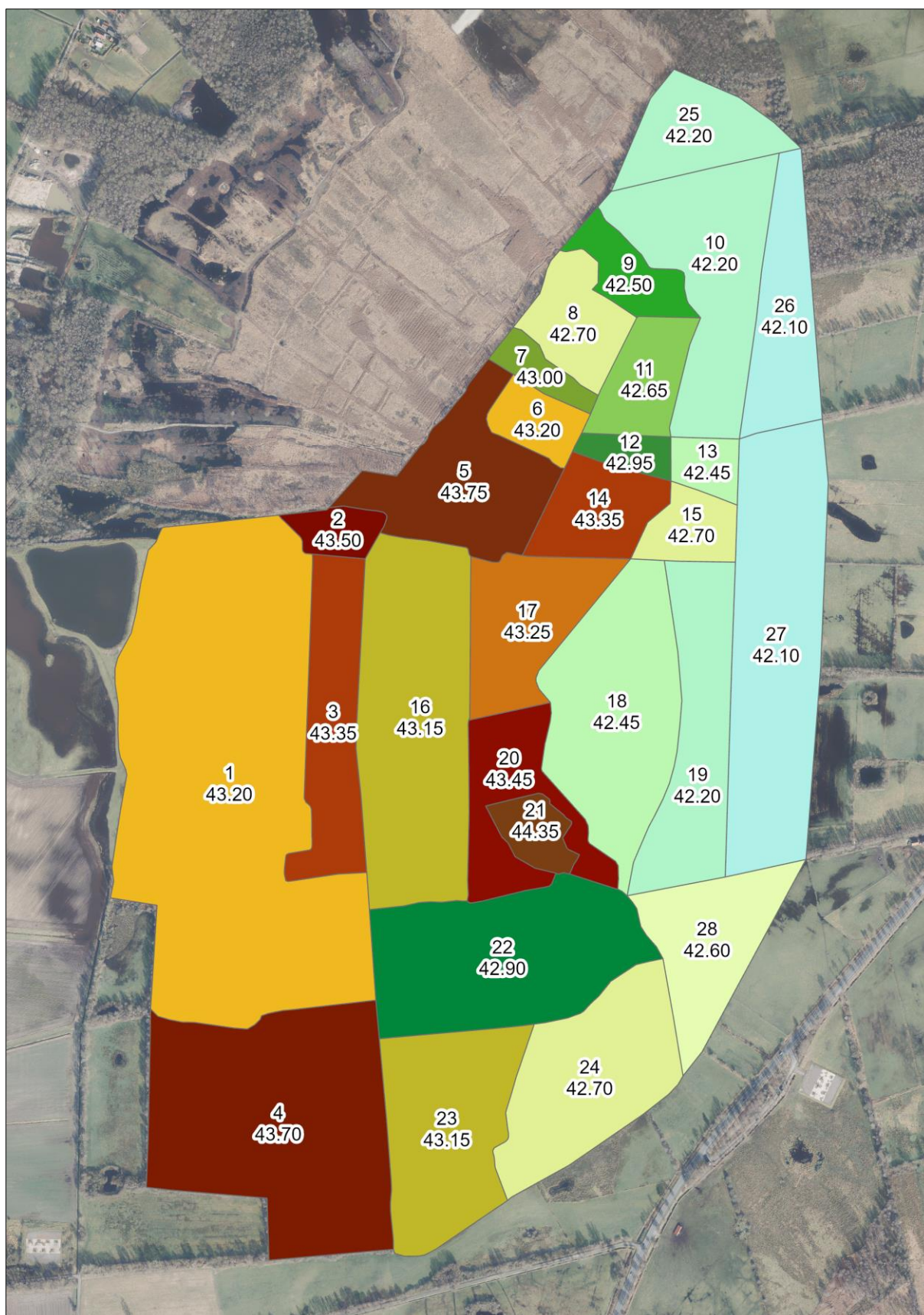


Abbildung 31: Stauziele der Staukompartimente. Bei der jeweils oberen Zahl handelt es sich um die Nummer des Staukompartiments, bei der darunterliegenden um das Stauziel in m NHN.

5.2.5 Erarbeiten einer Alternative zur Querung großer Torfstiche durch anzulegende Torfdämme (Dämme Nr. 42 und 35)

Die vorhandene Planung sah unter anderem die Querung des langgestreckten Torfstiches vor. Aus Gründen der Standsicherheit in nasser Bauweise und auch des hohen Materialbedarfs zur Auffüllung des Torfstiches im Bereich der Trasse des zuvor geplanten Dammes wurde in der nun vorliegenden Planung von einer Querung des Torfstiches abgesehen. Der Torfstich liegt zusammen mit den angrenzenden Flächen innerhalb eines Staukompartiments. Um die offene Wasserfläche zu reduzieren und die Attraktivität für Wasservögel zu senken, ist eine Teilverfüllung vorgesehen.

5.2.6 Prüfen bzw. Erarbeiten einer Alternative zur Anlage eines Damms mit 1,1 m Stauziendifferenz (Damm Nr. 24)

Von einer Anlage eines Dammes um den Hochmoorblock mit vollständigen Torfprofil („Heile Haut“) im Südosten des Projektgebietes wurde bei der hier vorliegenden Planung abgesehen. Grund hierfür ist der Materialbedarf und dass dieser aus der naturschutzfachlich wertvollen Moorheide des Blockes selbst entnommen werden müsste, um den Höhenunterschied zum umliegenden Bereich nicht noch größer werden zu lassen. Stattdessen soll der Wasserhaushalt des Resttorfblock durch eine Abschrägung der Torfstichkanten bzw. eine Anböschung optimiert werden. Der Moorwasserstand fällt dann nicht mehr steil zu allen Seiten hin ab, sondern nimmt einen flacheren Verlauf zu den Seiten hin, wodurch insbesondere die Randbereiche indirekt vernässt werden. Durch diese Maßnahme kann zudem die kulturhistorische Bedeutung des Resttorfblockes bewahrt werden.

5.3 Verschließen von Gräben

5.3.1 Grenzgraben

Der derzeitige Stand der Planung sieht vor, dass die Verrohrung auf gesamter Länge entfernt und nicht wie in der Vorplanung vorgesehen abschnittsweise unterbrochen wird. Das Sandbett wird ausgekoffert und die Trasse mit Lehm 1 m hoch verfüllt. Die weitere Verfüllung bis zum jeweiligen Stauziel erfolgt durch Einbringung des ausgekofferten Sandes und Torf aus dem nahen Umfeld.

Die Ergebnisse der Mengenermittlung sind in Kapitel 4.1.6.2 aufgeführt.

5.3.2 Sonstige Gräben

Die im Gebiet vorhandenen Stichgräben sollen in Abständen von 20-50 m auf 10-15 m Länge punktuell mit Torf aus dem nahen Umfeld verfüllt werden. Eine kartographische Festlegung soll im Rahmen der Entwurfs- und Ausführungsplanung nicht erfolgen. Die konkrete Positionierung der Verfüllungen soll im Rahmen der Baubegleitung durch die Biologische Station festgelegt werden.

5.4 Verschließen eutrophierter Torfstiche

Die Ergebnisse der Prüfung der Vorplanung und die Folgerungen daraus sind in Kapitel 4.3.2 aufgeführt.

5.5 Entfernung von Gehölzen

Gehölze nahe den Trassen sollen geschreddert werden und in unmittelbarer Nähe auf den Dammkörper aufgebracht werden. So entfällt ein Transport des Materials.

Baumstubben sollen je nach Dichte möglichst gezogen werden. Sie können entweder als Strukturelemente auf bzw. am Rand der Dämme verbleiben oder als wellenbrechende Struktur in Torfstichbereiche verbracht werden.

5.6 Abgraben von Torfrippen

Das Abgraben von bestehenden Torfrippen verfolgt zwei unterschiedliche Ziele: Zum einen soll Dicht- und Verfüllmaterial für den die Dämme und für die Verfüllung von Torfstichbereichen gewonnen werden. Zum anderen sollen für diese Zwecke nicht geeignete Bereiche abgetragen und im Nachbereich einplaniert werden, um die Anteile der Stauziendifferenz-Klassen zu optimieren. Die verschiedenen Abgrabungsflächen sind in Abbildung 32 dargestellt. Insgesamt kann auf 297.700 m² Torf abgegraben werden, darunter fallen 121.800 m² zur Gewinnung von Dichtmaterial, 127.900 m² zur Gewinnung von Verfüllmaterial und 48.000 m² zur Einplanierung im Nahbereich (s. Tabelle 20).

Zunächst werden die Grasnarbe und der durchwurzelte Torf auf insgesamt rund 10 cm abgetragen. Dieses Material soll vorrangig zur Abdeckung der Dämme verwendet werden. Überschüssiges Material kann in Torfstichbereiche verfüllt werden, es sollte in diesem Fall mit nicht durchwurzeltem Torf abgedeckt werden, um die Nährstoffe so einzuschließen.

Tabelle 20: Übersicht über die abzugrabenden Flächen und das gewinnbare Volumen.

Abtragstyp	Fläche [m ²]	Volumen [m ³]
Abtrag zur Gewinnung von Dichtungsmaterial	121.800	47.400
Abtrag zur Gewinnung von Füllmaterial	127.900	53.600
Einplanierung und Verfüllung im Nahbereich	48.000	7.800

5.7 Auffüllen von Torfstichen und tiefergelegenen Bereichen

Um die formulierten Anteile der Stauziendifferenzen zu erreichen, müssen tiefer gelegene Torfstiche und Torfstichbereiche verfüllt werden. Zu diesen zählen auch der Grenzgraben (vgl. Kapitel 4.1.6) und die eutrophierten Torfstiche (vgl. Kapitel 4.3). In Tabelle 21 sind die nötigen Mengen aufgeführt.

Tabelle 21: Übersicht über die unterschiedlichen Verfüllbereiche

Verfüllbereich	Fläche [m ²]	Volumen [m ³]			
		Torf (unspezifisch)	Sand	Schreddergut	Lehm
Grenzgraben	9.000	1.900	4.300 ¹	.	2.100
eutrophierte Torfstiche	55.000	16.500	.	34.600	.
sonstige Torfstichbereiche	57.000	14.600	.	.	.
Summe	121.000	33.000	4.300	34.600	2.100

¹ kein separater Bedarf, wird vor Ort gewonnen

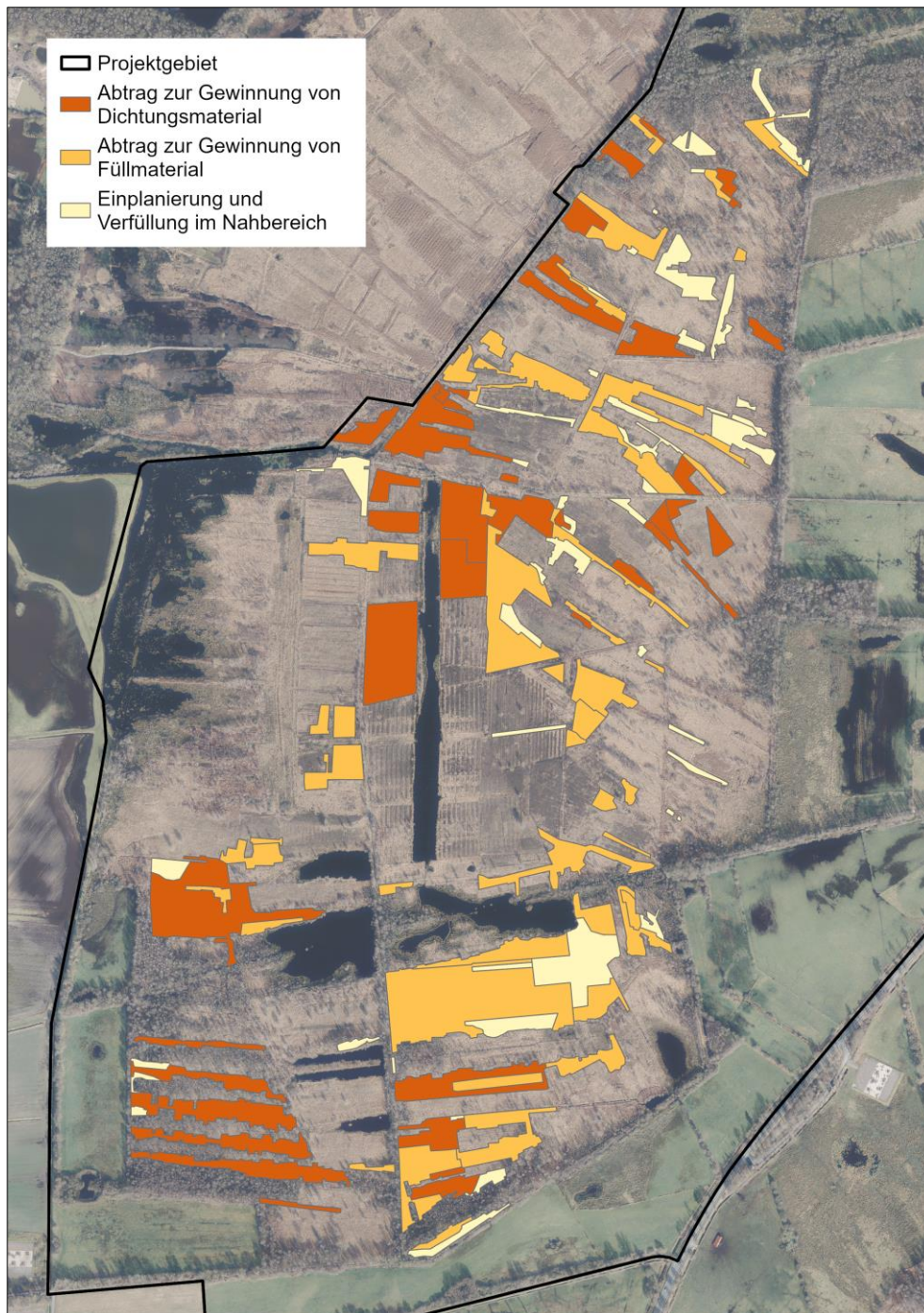


Abbildung 32: Lage der Abgrabungsflächen.



Abbildung 33: Lage der Verfüllungsbereiche

5.8 Versickerung des an die Oberfläche geholten Grundwassers

Um Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse zu begrenzen, werden östlich des Außendammes Versickerungsbereiche angelegt (ProAqua, 2024). Die Versickerungsflächen werden an die Vorfluter angeschlossen. Um die sogenannten Zollhäuser wird ein Fanggraben angelegt, um bei hohen Grundwasserständen Wasser in Richtung der Vorfluter abzuleiten. Die Planung hierzu ist in ProAqua (2024) dargestellt.

5.9 Überprüfen und ggf. Optimieren des Bauablaufs

Entkusselungen: Eine Ergänzung der ersten Bauphase gegenüber der Vorplanung ist der Einbau des bei der Freistellung der Fahrwege anfallenden Schredderguts. Zudem soll die Entkusselung je Bauabschnitt und nicht wie in der Vorplanung angedacht zu Beginn erfolgen, da einerseits eine Wiederverbuschung bis zur Umsetzung der Maßnahmen des letzten Bauabschnitts zu erwarten ist, und zum anderen so die Störungen im Gebiet minimiert werden können. So werden auch die eutrophierten Torfstiche nicht im ersten Jahr verfüllt, sondern kontinuierlich ab dem zweiten Jahr.

6 Aufstellung und Aktualisierung eines Mengengerüsts für Boden und Transport

Bei der Aufstellung des Mengengerüsts wurde in folgende Materialien unterschieden:

- stark zersetzter Schwarztorf bzw. Oberboden (Dichtmaterial)
- sonstiger Torf
- Sand
- Lehm
- Vegetationsschicht
- Schreddergut

Die detaillierte Aufstellung ist in Tabelle 22 aufgeführt.

Die Entnahme vom **dichtendem Torfmaterial** im östlichen Grünland wird voraussichtlich nicht notwendig sein. Er kann daher vor Ort verbleiben. Das Dichtmaterial soll bei der Verfüllung der eutrophen Torfstiche den sonstigen Torf ersetzen, da andernfalls ein Überschuss an Dichtmaterial entstehen würde. Dennoch ergibt sich ein rechnerischer Überschuss von 100 m³.

Beim **sonstigen Torf** besteht ein Defizit von 7.800 m³. Dies kann entweder aus dem Torf aus dem Aamsveen gedeckt werden oder der Abbau an den Entnahmestellen erfolgt bis auf 15 cm unter Stauziel.

Beim **Sand** ergibt sich weder ein Defizit noch ein Überschuss. Der Sand kann unmittelbar in der Nähe der Haupteinbaubereichs nach Bedarf gewonnen werden.

Der **Lehm** kann nach Bedarf gewonnen werden, sodass kein Überschuss entsteht.

Die **Vegetationsschicht** wird im Bereich der Dammtrassen und Abgrabungsflächen entnommen und weit überwiegend unmittelbar vor Ort nach Aufbau der Dämme wieder angedeckt oder nach Abgrabung wieder aufgesetzt.

Eine konkrete Mengenermittlung des anfallenden **Schredderguts** ist nicht vorhersagbar. Die eutrophen Torfstiche sollen mit 34.600 m³ Schreddergut verfüllt werden. Aus diesem Grund wird von dem Bedarf von 34.600 m³ Schreddergut ausgegangen, mit dem die eutrophierten Torfstiche teilverfüllt werden sollen. Dieses wird im Bereich der Dammtrassen und im Bereich der Torf-Entnahmebereiche gewonnen. Weiteres anfallendes Schreddergut soll auf die Fahrdämme im Moor aufgebracht werden.

Tabelle 22: Mengengerüst

	Bedarf						anfallendes Material					
	Vegetation- sdecke	sonstiger Torf	Torf, Dichtmaterial	Sand	Lehm	Gehölzschnitt	Vegetations- decke	sonstiger Torf	Torf, Dichtmaterial	Sand	Lehm	Gehölzschnitt
Torf aus dem Aamsveen	.	.	.	.	.	.	.	40.000	.	.	.	.
Abtragsflächen im Moor	21.300	.	.	.	.	.	29.800	61.400	47.400	.	.	.
Dämme												
Anböschung	300	300	800	0	0	.	300	.	.	.	.	.
Außendamm	11.200	0	0	28.900	1.800	.	11.200	.	.	1.800	.	.
Damm zwischen Moor und Stillgewässer	8.300	4.900	1.900	10.300	0	.	8.300	.	.	.	.	.
Damm zwischen Stillgewässern	4.300	0	0	1.600	100	.	4.300	.	.	.	.	.
Fahrdamm im Moor	8.500	3.600	3.100	8.800	0	.	.	.	.	.	.	.
Mineraldamm am Moorrاند, breit	1.900	1.500	300	2.700	0	.	1.900	.	.	.	.	.
Mineraldamm am Moorrاند, breit ohne unterirdische Dichtung	2.800	1.400	400	3.200	0	.	2.800	.	.	.	.	.
Mineraldamm am Moorrاند, schmal ohne unterirdische Dichtung	300	200	100	400	0	.	300	.	.	.	.	.
Torfdamm	12.500	51.900	11.500	0	0	.	12.500	.	.	.	.	.
Torfdamm mit Lehmichtung	400	1.600	0	0	400	.	400	.	.	.	.	.
Böschung von 1:5 auf 1:10	28.700	.	.	.	.	.	28.700	.	.	.	.	.
Außendamm, Dichtwand, ca. 1.900 m Länge, unterirdisch	1.600	.	.	.	8.100	.	1.600	.	.	8.100	.	.
Lehmentnahme im Westen	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12.500	.
Sandentnahme im Osten	26.800	.	10.100	.	.	.	26.800	.	10.100	55.900	.	.
Grenzgraben												
oberirdisch	.	1.900	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
unterirdisch	.	.	.	4.300	2.100	.	.	.	.	4.300	.	.
Torfstiche												
Torfstich 1	.	.	1.900	.	.	2.900	.	.	.	.	.	.
Torfstich 2	.	.	1.200	.	.	1.800	.	.	.	.	.	.
Torfstich 3	.	.	8.600	.	.	19.600	.	.	.	.	.	.
Torfstich 4	.	1.900	2.900	.	.	10.300	.	.	.	.	.	.
weitere Verfüllungen	.	.	14.600	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Gesamt	128.900	69.200	57.400	60.200	12.500	34.600	128.900	61.400	57.500	70.100	12.500	0
Transport	0	69.200	47.300	55.900	12.500	34.600	0	61.400	47.400	55.900	12.500	0
Wiedereinbau	128.900	0	10.100	4.300	0	0	128.900	0	10.100	4.300	0	0
zusätzlicher Mehr-/Minderbedarf	0	0	0	0	0	0	0	7.800	-100	0	0	0

7 Literaturverzeichnis

- Bundesministerium der Justiz. (2013). *TrinkwV*. Von Bundesgesetzblatt Teil I, Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl113s2977a.pdf%27%5D#__bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl113s2977a.pdf%27%5D__1714035290923 abgerufen
- Bundesministerium und Bundesamt für Justiz. (2010). *GrwV*. Von Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV): https://www.gesetze-im-internet.de/grww_2010/GrwV.pdf abgerufen
- Bundesregierung. (02. 04 2015). *Bundesregierung*. Von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/alt-inhalte/moore-die-natuerlichen-filter-399710> abgerufen
- Burricher, E., & Wittig, R. (1974). *Das Hündfelder Moor, seine Vegetation und seine Bedeutung für den Naturschutz*. Von Zobodat: https://www.zobodat.at/pdf/Abh-Westf-Mus-Naturkde_36_1_1974_0003-0020.pdf abgerufen
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2018a). *Abweichung des Niederschlags im Sommer und Herbst 2018 vom Normalwert 1971 - 2000*. Von https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html abgerufen
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2018b). *Abweichung der Temperatur im Sommer 2018 vom Normalwert 1971 - 2000*. Von https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html abgerufen
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2019a). *Abweichung des Niederschlags im Sommer 2019 vom Normalwert 1971 - 2000*. Von https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html abgerufen
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2019b). *Abweichung der Temperatur im Sommer 2019 vom Normalwert 1971 - 2000*. Von https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html abgerufen
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (16. 08 2023a). *Lufttemperatur: Vieljährige Mittelwerte 1991 - 2020*. Von https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_9120_SV_html.html?view=nasPublication&nn=16102 abgerufen
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (26. 07 2023b). *Niederschlag: Vieljährige Mittelwerte 1991 - 2020*. Von https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_9120_SV_html.html?view=nasPublication&nn=16102 abgerufen
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (16. 08 2023c). *Sonnenscheindauer: Vieljährige Mittelwerte 1991 - 2020*. Von https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/sonne_9120_SV_html.html?view=nasPublication&nn=16102 abgerufen

- Dr. Schleicher & Partner. (2020). *Sondierungen entlang einer geplanten Spundwand am Rand des Hündfelder Moores in 48599 Gronau - Baugrunduntersuchung*.
- Dr. Schleicher & Partner. (2023). *Bodenuntersuchung*.
- Eggelsmann, R. (1990). Moor und Wasser. In *Moor- und Torfkunde*, 3. Auflage. (K. Göttlich, Hrsg.) Stuttgart 1990.
- Göttlich, K. (1990). *Moor- und Torfkunde* (3. Auflage Ausg.). Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Imbery, F., Friedrich, K., Fleckenstein, R., Plückhahn, B., Brömser, A., Bissolli, P., . . . Kaspar, F. (19. 01 2023). *Klimatologischer Rückblick auf 2022*. Von DWD Deutscher Wetterdienst: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/230123/artikel_jahresrueckblick-2022.html abgerufen
- LANUV. (06. 09 2011). *Schutzwürdige Biotope in Nordrhein-Westfalen*. Von <https://bk.naturschutzinformationen.nrw.de/bk/de/karten/bk> abgerufen
- LANUV. (01. 08 2017). *Natura 2000-Gebiete in Nordrhein-Westfalen*. Von <https://natura2000-meldedok.naturschutzinformationen.nrw.de/natura2000-meldedok/de/karten/n2000> abgerufen
- LANUV. (31. 12 2022). *Klimaatlas NRW, klimatische Wasserbilanz, Beschreibung und Trend*. Von <https://www.klimaatlas.nrw.de/klima-nrw-monitoring/umwelt/wasserwirtschaft-und-hochwasserschutz/klimatische-wasserbilanz>) abgerufen
- LANUV. (07. 12 2023). *Natura 2000-Gebiete in Nordrheinwestfalen*. Von <https://natura2000-meldedok.naturschutzinformationen.nrw.de/natura2000-meldedok/de/fachinfo/listen/meldedok/DE-3807-301> abgerufen
- LAWA. (05 2015). *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)*. Abgerufen am 15. 02 2024 von AQS - Merkblatt (P - 8/5): Probennahme aus Seen: https://www.lawa.de/documents/p-08-5_probenahme-aus-seen_weissdruck_2015-05_2_1568279108.pdf
- LUFA NRW. (2017). *Richtwerte BBodSchV*. Von <https://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/download/fachinfo/bodengarten/richtwerte-bbodschr.pdf> abgerufen
- LUFA NRW. (2024). *Auftragsformular Teichwasser*. Von <https://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/auftragsformulare/wasser/auftrag-teichwasser.pdf> abgerufen
- LUFA NRW. (2024). *Unbedenkliche Werte. Prüfberichte zum Prüfgegenstand Teichwasser (Teichwasserproben Hündfelder Moor)*.
- LUFA NRW. (2024). *Verpackungshinweise für Wasserproben*. Von <https://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/pdf/verpackungshinweise-wasserproben.pdf> abgerufen
- Meisel, S. (1961). *Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 83/84 Osnabrück/Bentheim*. Bundesamt für Landeskunde und Raumforschung, Selbstverlag - Bad Godesberg.

ProAqua. (2024). *Hydrologische Studie für das Hündfelder Moor*.

Puranen, R., Mäkilä, M., & Säävuori, H. (1999). *Electric conductivity and temperature variations within a raised bog in Finland: Implications for bog development*.

Wetterkontor. (13. 02 2024). *Aktuelle Wetterdaten Ahaus (Münsterland)*. Abgerufen am 15. 02 2024 von <https://www.wetterkontor.de/de/wetterstationen/aktuelle-wetterdaten-ahaus.asp>

8 Anhang

8.1 Karten

Karte 1: Oberbodenbohrungen

Karte 2: Bohrungen entlang der Dammstrecken und innerhalb der Staukompartimente

Karte 3: Rammkernsondierungen entlang der östlichen Dammtrasse

Karte 4: Lehmgewinnung

Karte 5: Sandgewinnung

Karte 6: Bohrungen im Grenzgraben

Karte 7: Tiefenmessungen in den Torfstichgewässern

8.2 Weitere Anhänge

- Anhang 1: Protokolle der Oberbodenbohrungen
separate Datei „Anhang_01_Protokolle_Oberbodenbohrungen.pdf“
- Anhang 2: Bohrprotokolle
separate Datei „Anhang_03_Profildarstellungen_und_Schichtenverzeichnisse_RKS.pdf“
- Anhang 3: Profildarstellungen und Schichtenverzeichnisse der Probenentnahmestellen der RKS
separate Datei „Anhang_01_Profildarstellungen_und_Schichtenverzeichnisse_RKS.pdf“
- Anhang 4: Profildarstellungen und Schichtenverzeichnisse der Probenentnahmestellen der Lehmgewinnungsflächen
separate Datei „Anhang_04_Profildarstellungen_und_Schichtenverzeichnisse_Lehmgewinnung.pdf“
- Anhang 5: Laborergebnisse der Bodenproben der Lehmgewinnungsflächen
separate Datei „Anhang_05_Laborergebnisse_Bodenproben_Lehmgewinnungsflaechen.pdf“
- Anhang 6: Protokolle der Oberbodenbohrungen der Sandgewinnungsflächen
separate Datei „Anhang_06_Protokolle_Oberbodenbohrungen_Sandgewinnung.pdf“
- Anhang 7: Grenzgrabenbohrungen – Bodenarten und relevante Bodeneigenschaften
separate Datei „Anhang_07_Grenzgrabenbohrungen.pdf“
- Anhang 8: Prüfberichte / Ergebnisse der physikalisch-chemischen Wasserprobenanalytik
separate Datei „Anhang_08_Pruefberichte_Wasserproben.pdf“
- Anhang 9: Standsicherheit
separates Gutachten
- Anhang 10: Prinzipienskizzen für verschiedene Dammtypen
separate Datei „Anhang_10_Prinzipienskizzen.pdf“