

**Kavernenfeld Etzel,  
Hochwasserschutz des Vorfluters Schiffsbalje im Abschnitt km 1,9 bis km 4,25,  
Änderung Gewässeraufbau durch Herstellung einer beidseitigen Verwallung**

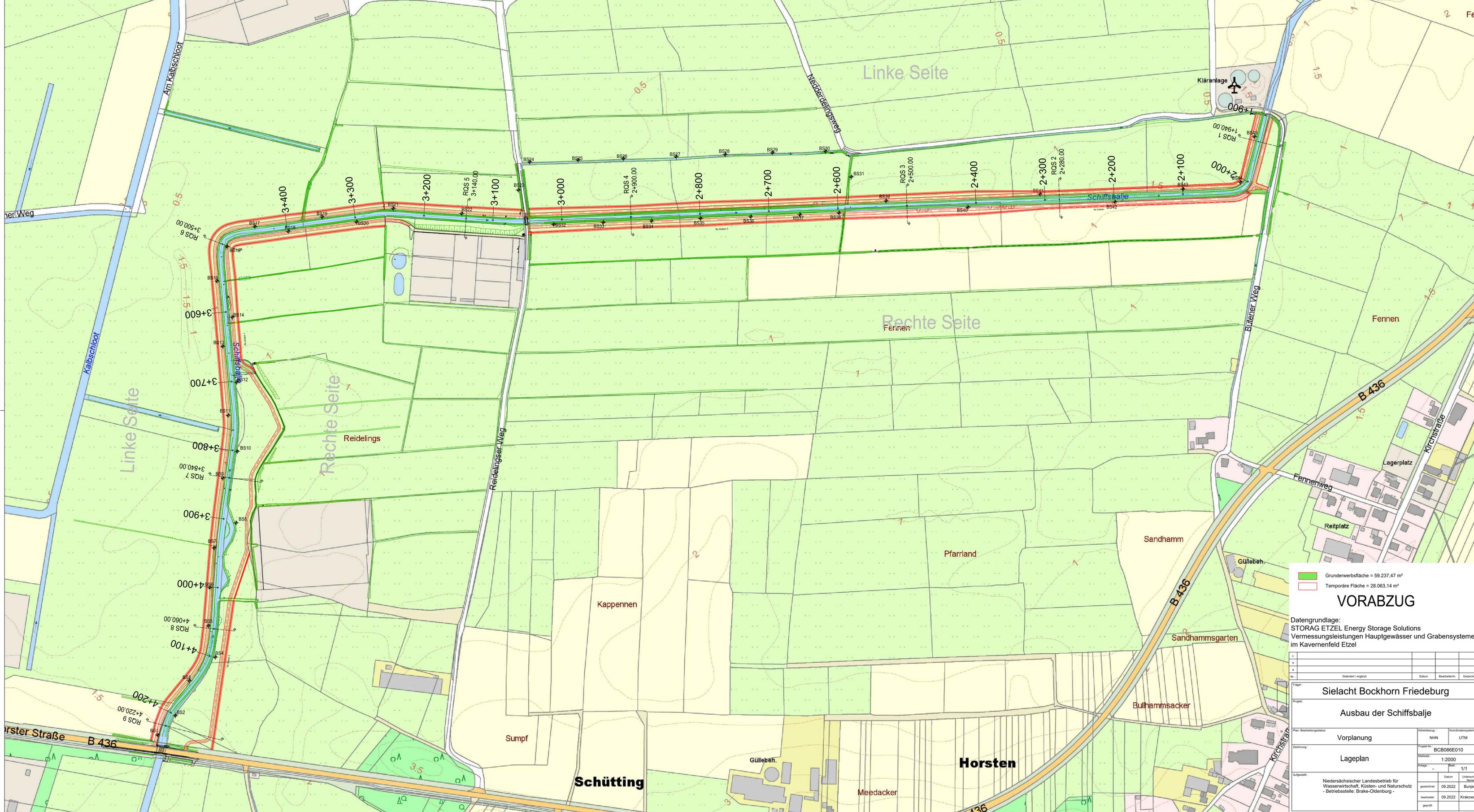
# **ANLAGE 1**

zum

**Antrag auf wasserrechtliche Plangenehmigung nach § 68  
WHG für die Herstellung eines Versuchsfelds zur Prüfung  
und Optimierung des Bauvorhabens**

Lageplan der geplanten beidseitigen Verwallung

Seitenzahl: 1



■ Grundverbsfläche = 59.237,47 m<sup>2</sup>  
■ Temporäre Fläche = 28.063,14 m<sup>2</sup>

### VORABZUG

Datengrundlage:  
 STORAG ETZEL Energy Storage Solutions  
 Vermessungsleistungen Hauptgewässer und Grabensysteme  
 im Kavernenfeld Etzel

Träger				
Projekt				
Plan-Bearbeitungsstatus				
Zachung				
Aufgestellt				

Sielacht Bockhorn Friedeburg		Höhenbezug: NHN		Koordinatensystem: UTM	
Ausbau der Schiffsbalje		Projekt Nr.: BCB086E010		Maßstab: 1:2000	
Vorplanung		Datum: 09.2022		Umschrieben: Burjes	
Lageplan		bearbeitet: 09.2022		geprüft: Krakowski	
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz - Betriebsstelle: Brake-Oldenburg		Datum: 09.2022		Umschrieben: Burjes	
		bearbeitet: 09.2022		geprüft: Krakowski	
		geprüft: Krakowski		gezeichnet: 09.2022	

Datei: C:\Users\W030\Desktop\Etzel\Umlegung RE Seite an Gremse\Bestandslageplan\_DGM\_Umlegung.dwg

**Kavernenfeld Etzel,  
Hochwasserschutz des Vorfluters Schiffsbalje im Abschnitt km 1,9 bis km 4,25,  
Änderung Gewässeraufbau durch Herstellung einer beidseitigen Verwallung**

# **ANLAGE 2**

zum

**Antrag auf wasserrechtliche Plangenehmigung nach § 68  
WHG für die Herstellung eines Versuchsfelds zur Prüfung  
und Optimierung des Bauvorhabens**

Konzept zur Erstellung eines Versuchsfeldes

Seitenzahl: 27

# Verwallung der Schiffsbalje im Kavernenfeld Etzel

## Konzept zur Erstellung eines Versuchsfeldes



Erstellt für:

STORAG Etzel GmbH  
Beim Postweg 2  
26446 Friedeburg

Erstellt von:



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Sachsenstraße 6  
20097 Hamburg



Projekt-Nr.: 10901

Datum: 12.12.2022 / 25.01.2023 (rev. 01)

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Erfordernis zum Hochwasserschutz</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Standort</b> .....	<b>6</b>
3.1	Schiffsbalje km 1,9 bis km 4,25 [U5] .....	6
3.2	Baugrundverhältnisse [U4].....	7
3.2.1	Geologie / Hydrologie .....	7
3.2.2	Besonderheiten und zusätzlich notwendige Maßnahmen zur Gründung.....	8
3.3	Geländehöhen [U5].....	9
3.4	Kampfmittel [U5] .....	9
<b>4</b>	<b>Zuständigkeiten</b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Geplante Hochwasserschutzanlage ([U5], [U6], [U7])</b> .....	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Beobachtungsmethode</b> .....	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Erfordernis und Ziele eines Versuchsfeld</b> .....	<b>11</b>
7.1	Notwendigkeit .....	11
7.2	Kriterien, Anforderungsprofil und zu berücksichtigende Randbedingungen.....	11
7.3	Lage und Aufbau Versuchsfeld .....	13
7.4	Bauablauf und Terminplanung .....	21
7.5	Begleitendes Messprogramm .....	22
7.6	Dokumentation .....	23

## Anlagen

Anlage 1	Prinzipskizze Querschnitt Verwallung Versuchsfeld
Anlage 2	Möglicher Bauablauf (Prinzipskizzen)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wasserübertritt bei km 3,65 am 30.11.2022 auf das rechtseitige Ufer bei erhöhtem Wasserstand in der Schiffsbalje.....	6
Abbildung 2:	Lageplanausschnitt Trasse der beidseitigen Verwaltung (aus [U7]) mit Kennzeichnung Verteilerplätze (VT), aktueller Fließrichtung (blau) und Start- und Endpunkt der Verwaltung (rot) .....	7
Abbildung 3:	Lageplanausschnitt Bohransatzpunkte (aus [U4]), mit einskizziertem Bereich Torfe .....	8
Abbildung 4:	Standort für das Versuchsfeld (gestichelt), (Lageplanausschnitt aus [U7]).....	14
Abbildung 5:	Bohrprofile im Bereich Versuchsfeld (Planausschnitt aus [U4]).....	14
Abbildung 7:	Trassenbereich des Versuchsfeldes (orange Linie), Blickrichtung Süd, am 30.11.2022 .....	15
Abbildung 7:	Zuwegung parallel zum VT 10 (30.11.2022) .....	19
Abbildung 8:	Lageplanausschnitt (aus [U7]) mit Versuchsfeld (magenta) und Kennzeichnung möglicher Zuwegung, Baustraße und BE-Fläche (rot) .....	21

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Aufbaustärken der zu berücksichtigenden Varianten im Versuchsfeld bei 1 m Dammhöhe.....	16
------------	---	----

## Abkürzungsverzeichnis

BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
BIG	Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BS	Bohrsondierung
DPL / DPH	Leichte / schwere Rammsondierung
$E_{v1} / E_{v2}$	Verformungsmodul zur Bestimmung der Tragfähigkeit (statischer Plattendruckversuch)
$E_{vd}$	Verformungsmodul zur Bestimmung der Tragfähigkeit (dynamischer Plattendruckversuch)
GLB	Grundbaulabor Bremen Ingenieurgesellschaft. für Geotechnik mbH
GOK	Geländeoberkante
KRB	Kleinrammbohrung
LB / LV	Leistungsbeschreibung / Leistungsverzeichnis
NHN	Normalhöhennull
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
PWD	Porenwasserdruck
STE	STORAG Etzel GmbH

---

## Quellenverzeichnis

### Verwendete Unterlagen

- [U1] Zentrale Polizeidirektion – Kampfmittelbeseitigungsdienst: Ergebnisse Luftbildauswertung, Etzel, Kavernenanlage Nordfeld, Hannover 11.04.2011
- [U2] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Prognose der Senkungen und weiterer Bodenbewegungs- und Bodenverformungsgrößen für die Kavernenanlage Etzel mit 99 Kavernen, Hannover, Oktober 2016
- [U3] Ingenieurgesellschaft Nordwest / Storag Etzel GmbH (STE): Bestandshöhenpläne, Stand 31.08.2020
- [U4] Grundbaulabor Bremen (GLB): Hochwasserschutzmaßnahme Etzel Nord, Schiffbalje, Stat. 1+900 bis 4+250, 26446 Horsten / Friedeburg, Geotechnischer Bericht Nr. 1, Bremen, 13.08.2021
- [U5] Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) Betriebsstelle Brake-Oldenburg: Bauentwurf, Herstellung des Hochwasserschutzes am Gewässer Schiffsbalje von km 1,900 bis km 4,250, Wilhelmshafen, September 2022
- [U6] Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) Betriebsstelle Brake-Oldenburg: Langtext-LV Kostenermittlung (Entwurf), Herstellung des Hochwasserschutzes am Gewässer Schiffsbalje von km 1,900 bis km 4,250, Wilhelmshafen, 20.09.2022
- [U7] Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) Betriebsstelle Brake-Oldenburg: Vorabzug Vorplanung, Ausbau Schiffsbalje (Lageplan, Regelquerschnitte), Wilhelmshafen, 09.2022
- [U8] Storag Etzel GmbH (STE): Prinzipskizze Grenze Grunderwerb, Stand Mai 2022
- [U9] Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH (BIG): Vorstellung Planung und Lösungsansätze zur Kostenoptimierung, Ergebnisprotokoll zum Termin 11.10.2022
- [U10] Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH (BIG): Abstimmung Fachgutachter Geotechnik zu alternativer „Gründung“ der Verwallung, Aktenvermerk zum Termin 25.10.2022
- [U11] Grundbaulabor Bremen Ingenieurgesellschaft für Geotechnik mbH (GLB): Abstimmung der geotechnischen Untersuchungen im Zuge des Aufbaus Versuchsfeld, Bremen, 02.12.2022

### Literatur

- [L1] Rudolf Floss                      ZTVE Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTVE-StB), Kommentar

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Der Betrieb des Kavernenfeldes in Etzel führt gemäß der Prognose der BGR [U2] zu erheblichen Senkungen, die im Bereich des Gewässers Schiffsbalje zukünftig zu Überflutungen und einer Umkehr der Fließrichtung des Vorfluters führen werden. Das betroffene Gewässer wird durch die Sielacht Bockhorn-Friedeburg unterhalten. Von den prognostizierten Überflutungen sind sowohl die an die Schiffsbalje angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen betroffen, als auch der Betrieb des Kavernenfeldes mit den im Umfeld der Schiffsbalje vorhandenen Verteilerplätzen VT 10, VT 12 und VT 14 der STORAG Etzel GmbH (STE).

Mit einer ersten technischen Maßnahme soll im Abschnitt km 1,9 bis km 4,25 der Schiffsbalje eine Ausuferung zum Schutz der vorgenannten Fläche und Anlagen im Randbereich des zentralen Senkungstrogs verhindert werden [U5]. Hierzu wurde vom NLWKN eine beidseitige Verwallung (Eindeichung) geplant [U7]. Aufgrund schwieriger Bodenverhältnisse [U4] sind dabei besondere zusätzliche Maßnahmen erforderlich, die zu einer Kostensteigerung gegenüber der ersten groben Kostenschätzung geführt haben.

Sowohl die Planung als auch die Verwirklichung der Baumaßnahme werden von der STE getragen. Aufgrund der Kostensteigerung wurde die Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH (BIG) von der STE beauftragt, Lösungsansätze für eine eventuell mögliche Kostenoptimierung bei der Bauausführung zu entwickeln. Das Grundprinzip der Eindeichung soll dabei aufrechterhalten werden.

Entsprechend der Abstimmung mit dem Unterhaltungsverband Sielacht als späteren Bauherrn, dem Planer NLWKN sowie der STE wurde ein erster Vorschlag der BIG mit dem Baugrundgutachter GLB weiter entwickelt. Im Ergebnis dieser Abstimmungen soll zunächst ein Versuchsfeld als vorgezogene Maßnahme konzeptioniert werden. Das Konzept bildet die Grundlage der weiteren Planung für das Versuchsfeld und die spätere Hauptmaßnahme.

Das Konzept für das Versuchsfeld wird hiermit vorgelegt.

## 2 Erfordernis zum Hochwasserschutz

Aufgrund der kavernenbetriebsbedingten Senkungsprognose [U1] und fortschreitender Bodensenkungen im Bereich der Schiffsbalje ist zukünftig mit verstärkten seitlichen Überflutungen im Bereich der Vorflut Schiffsbalje (vgl. Abb. 1) zu rechnen, die insbesondere den westlichen Bereich nördlich der Bundesstraße 443 (vgl. Kap. 3) betreffen. Darüber hinaus ist eine Umkehrung der Fließrichtung der Schiffsbalje wegen der Senkungen ab dem Jahr 2033 prognostiziert [U5]. Zum Schutz der angrenzenden Flächen vor Überflutung, aber auch zum Schutz der Betriebsanlagen der STE sind deshalb die in Kapitel 5 beschriebenen technischen Maßnahmen geplant.

Das im vorliegenden Bericht vorgestellte Konzept für ein Versuchsfeld stellt eine Ergänzung der vorhandenen Planungen zur Optimierung der Bauausführung dar, um die komplizierten Baugrundbedingung sowohl in Bezug auf die aktuelle Planung als auch vorsorgend für künftige Anpassungen der Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen.



**Abbildung 1:** Wasserübertritt bei km 3,65 am 30.11.2022 auf das rechtseitige Ufer bei erhöhtem Wasserstand in der Schiffsbalje

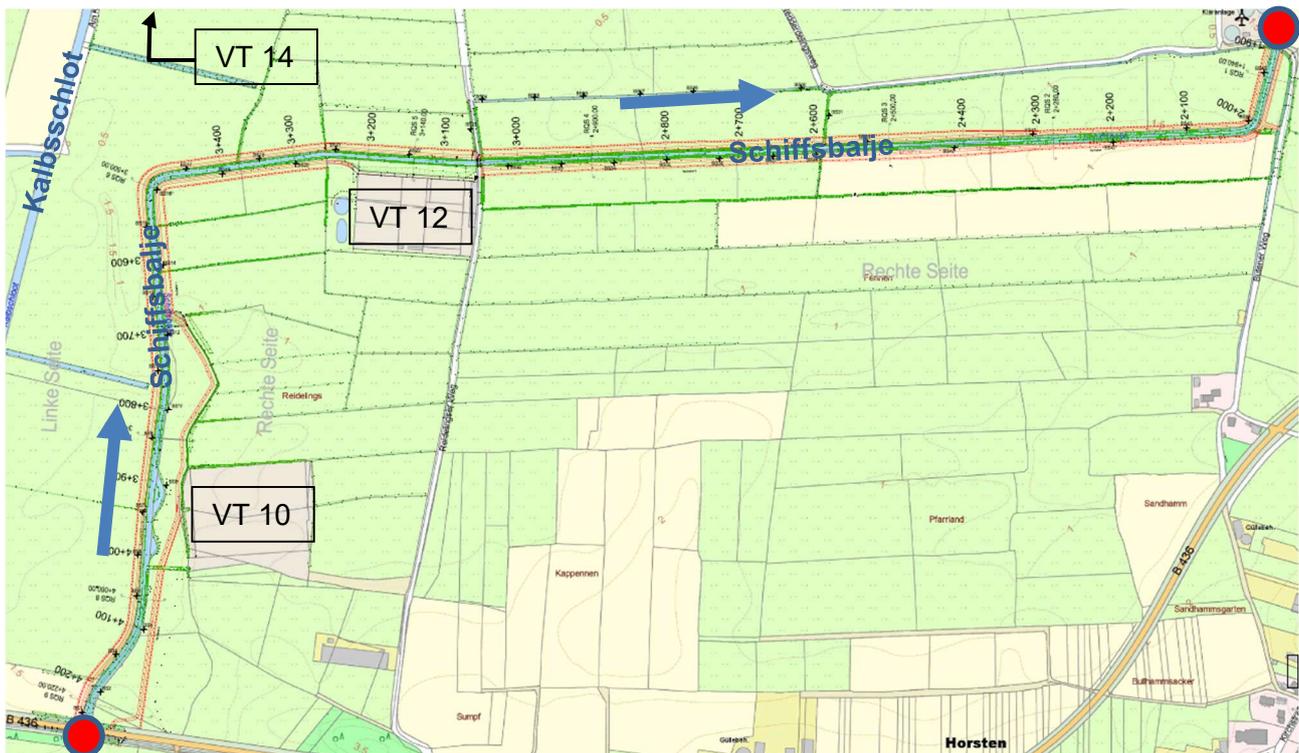
### 3 Standort

#### 3.1 Schiffsbalje km 1,9 bis km 4,25 [U5]

Der für die Hochwasserschutzertüchtigung vorgesehene Abschnitt des Gewässers Schiffsbalje befindet sich zwischen Gewässerkilometer 1,900 und 4,250, wobei die Kilometrierung entgegen der Fließrichtung erfolgt. Die Lage und der Verlauf sind in der Abbildung 2 gekennzeichnet. Der gegen Überflutung zu sichernde Bereich beginnt somit bei km 4,25 direkt nach Querung der Bundesstraße 443 und verläuft zunächst geradlinig Richtung Norden. Bei km 3,5 knickt die Schiffsbalje nahezu rechtwinklig nach Osten ab, um bei km 2,0 in engem Winkel nach Nordost wieder den Verlauf zu ändern. In diesem Teilabschnitt grenzt bei ca. km 3,05 bis km 3,20 rechtsseitig der Verteilerplatz VT 12 unmittelbar an den Grabenquerschnitt der Schiffsbalje an. Ebenfalls bei km 3,05 quert der Reidelinger Weg mittels Brücke die Schiffsbalje. Der zu überplanende Abschnitt endet bei km 1,9 an der Brücke des Butener Wegs, unmittelbar vor der Kläranlage.

Die Flächen der Verteilerplätze der Kavernen sind im Bereich der Schiffsbalje in der Regel leicht erhöht mit rd. 1 m Aufschüttung gegenüber dem umliegenden Gelände ausgebildet (VT 10, VT 12). Der nordwestlich der Schiffsbalje vorhandene Platz VT 14 ist hingegen bezogen auf das umliegende Gelände nahezu höhengleich und deshalb potenziell anfälliger für Überflutungsschäden.

Die Schiffsbalje ist teilweise im direkten Uferbereich mit Strauch- und Buschwerk oder Einzelbäumen bewachsen oder weist im Böschungsbereich einen extensiv bewirtschafteten wiesenartigen Bewuchs auf (vgl. Abb. 1 und Deckblatt).



**Abbildung 2:** Lageplanausschnitt Trasse der beidseitigen Verwaltung (aus [U7]) mit Kennzeichnung Verteilerplätze (VT), aktueller Fließrichtung (blau) und Start- und Endpunkt der Verwaltung (rot)

## 3.2 Baugrundverhältnisse [U4]

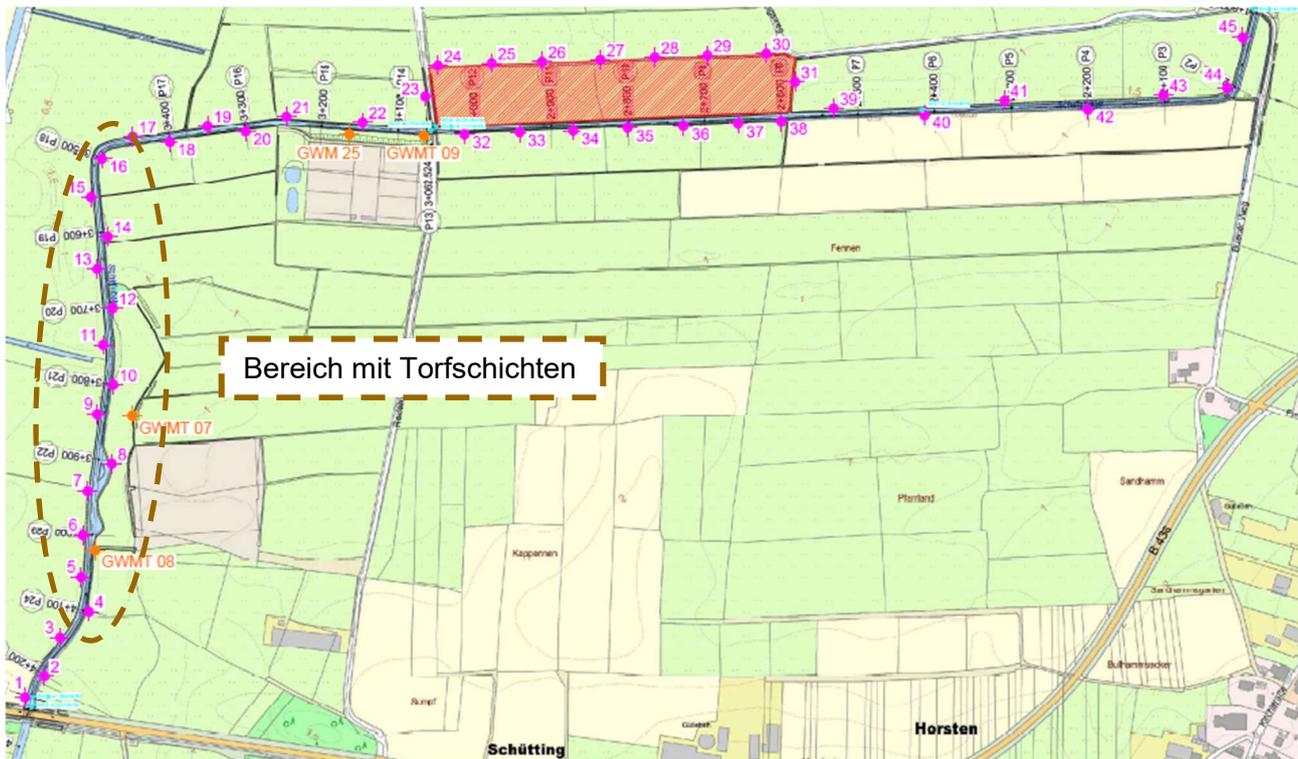
### 3.2.1 Geologie / Hydrologie

Zur Untersuchung der lokalen Baugrundverhältnisse wurden vom Grundbaulabor Bremen (GLB) im Auftrag der STE 45 Kleinrammbohrungen (KRB) mit 5 m bis 11 m Endtiefe abgeteuf. Die Aufschlussbohrungen wurden dabei durch 21 schwere Rammsondierungen (DPH) und 22 Feldflügelsondierungen zur Bestimmung von Bodenkennwerten ergänzt.

Die Lage der Aufschlüsse können der Abbildung 3 entnommen werden. Diese sind, mit Ausnahme eines nicht zugänglichen Grundstücks (orange gekennzeichnet) in regelmäßigem Abstand links und rechts direkt am Fließgewässer angeordnet.

Im Ergebnis der Erkundung sind unterhalb von Auffüllungen feindsandige Schluffschichten und / oder organische Weichschichten (Torfe bzw. Klei) mit stark unterschiedlichen Mächtigkeiten vorhanden. Die Schichtdicke der Auffüllungen ließ sich im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen teilweise nicht eindeutig bestimmen. Unter der Auffüllung schließen sich Sandschichten an, die wiederum von Geschiebeböden unterlagert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Aufschlusstiefe wurden die Geschiebeböden nicht in allen Bohrung erfasst.

Grund- oder Schichtenwasser wurde in den Bohrungen meist oberflächennah (ca. -0,5 mNHN [U5]) angebohrt. Gemäß den Bohrprofilen wurde Bodenwasser auch direkt unterhalb der Weichschichten angeschnitten, weshalb teilweise auch von gespannten oder teils auch artesischen Grundwasserhältnissen ausgegangen werden muss [U4].



**Abbildung 3:** Lageplanausschnitt Bohransatzpunkte (aus [U4]), mit einskizziertem Bereich Torfe

Neben der Frost- und Feuchtigkeitsempfindlichkeit von bindigen Böden und gegebenenfalls Fremdbestandteilen in der Auffüllung sind für die Gründung des geplanten Damms vor allem die erkundeten Torf- und Kleischichten relevant, da diese einerseits auf Lasteintrag oder Änderung der Wassergehalte besonders empfindlich reagieren und andererseits wegen der organischen Anteile auch einem kontinuierlichen Veränderungsprozess unterliegen sowie aufgrund der teils faserartigen Struktur ein nicht einheitliches Scherverhalten aufweisen. Auf die entsprechenden Ausführungen im Bericht der GLB [U4] wird ausdrücklich verwiesen.

Bei den Sanden wurden hingegen mitteldichte bis dichte Lagerungsverhältnisse und damit unproblematische Baugrundverhältnisse festgestellt.

Die Unterkante der Torf- und Kleischichten wurde in den Bohrungen im Bereich von ca. -0,1 mNHN bis zu -7,5 mNHN angetroffen. Die Mächtigkeit der gering tragfähigen Weichschichten, einschließlich Weichschichten mit Sandeinschlüssen, reicht damit von wenigen Zentimetern bis rd. 8 m. Die Schwankungen der Mächtigkeiten wechseln dabei auch auf kürzeren Abständen, sind aber im Wesentlichen im Bereich der Bohrungen BS 4 bis BS 16 ausgeprägt vorhanden. Die Schichtstärke der Weichschichten ist somit sehr heterogen im Verlauf der Schiffsbalje erkundet worden.

### 3.2.2 Besonderheiten und zusätzlich notwendige Maßnahmen zur Gründung

Aufgrund der besonderen geotechnischen Eigenschaften der Torfe und Kleiböden ist der vorhandene Baugrund, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, insbesondere im westlichen Planungsabschnitt als problematisch für eine Überbauung jeglicher Art einzustufen. Die geplante beidseitige Verwaltung (s. Kap. 5) erfordert einen Bodenauftrag von im Mittel ca. 1 m, womit entsprechende zusätzliche Lasten in den nur begrenzt tragfähigen Baugrund abzuleiten sind. Bereits die unterschiedlichen

Schichtdicken der Torfe und Kleie führen dabei zu unterschiedlich starken Setzungen und erwartbaren erheblichen Setzungsdifferenzen, sowohl im Trassenverlauf der geplanten Dämme als auch über den Querschnitt der Verwallung (Längs- und Querrichtung). Eine Gründung auf den vorhandenen Böden ohne zusätzliche Maßnahmen zur Bodenstabilisierung oder besondere Verfahren im Bauablauf ist deshalb nicht möglich.

Für den knappen Nachweis der rechnerischen Standsicherheit der Dämme [U4] wurde deshalb ein zweischichtiger Bodenauftrag vorgesehen, um eine ausreichende Konsolidierung der Weichschichten abwarten zu können. Erforderlich ist dabei gemäß [U4] ferner der Einbau einer Bewehrungslage (Geogitter / Gewebe) in der vollen Breite der Aufstandsfläche des Damms. Weiterhin sind gemäß [U4] für die Bauausführung Erdbaumaschinen mit Moorketten, zumindest aber die Verwendung von Baggermatratzen und ein Vor-Kopf-Einbau bzw. die Errichtung der Baustraßen im Trassenverlauf der Dämme empfohlen.

Setzungen wurden mit 20 cm bis 40 cm abgeschätzt, können jedoch auch deutlich höher ausfallen [U4]. Entsprechend hoch kann damit das Risiko für Setzungsdifferenzen angenommen werden.

### **3.3 Geländehöhen [U5]**

Die Höhen des an die Schiffsbalje angrenzenden Geländes liegen gemäß [U5] im Planungsgebiet zwischen +1,53 mNHN und -0,32 mNHN. Der Längsschnitt [U7] weist für die Gewässersohle der Schiffsbalje Ist-Höhen zwischen -0,50 m NHN und -2,10 mNHN aus, mit bislang tendenziell sinkenden Sohlhöhen in Richtung km 1,9. Der Verlauf der Sohlhöhen ist jedoch relativ uneben, mit diversen abflusshemmenden Höhenrücken, die bis zu ca. 50 cm aus dem angrenzenden Sohlniveau aufragen.

### **3.4 Kampfmittel [U5]**

Für den Planungsabschnitt liegen gemäß [U5] keine Hinweise auf Kampfmittelverdachtspunkte vor. Der Bescheid des Kampfmittelbeseitigungsdienstes [U1] bezieht sich jedoch vor allem auf die Verteilerplätze VT 10 und VT 12 und zugehörige Leitungstrassen und kann deshalb nur orientierend für die geplanten Maßnahmen herangezogen werden. Darüber hinaus datiert der Bescheid aus dem Jahr 2011 und ist als nicht mehr gültig einzustufen, da vom Kampfmittelbeseitigungsdienst regelmäßig neue Luftbilder und neue Verfahren zur Auswertung eingesetzt werden. Zudem wurde gemäß [U1] im Bereich einer Leitungstrasse im Kreuzungsbereich auch eine Kampfmittelverdachtsfläche überprüft, so dass im Bereich der Schiffsbalje ein allgemeiner Kampfmittelverdacht nicht ausgeschlossen werden kann. Eine erneute Kampfmittel-Vorerkundung wurde von der STE bereits angefragt und wird bis zum Beginn der geplanten Arbeiten im April 2023 vorliegen.

## **4 Zuständigkeiten**

Für die Umsetzung des geplanten Versuchsfeldes sind die folgenden Zuständigkeiten zu beachten:

- Genehmigungsbehörde für die notwendige wasserrechtliche Erlaubnis (WRE): Landkreis Wittmund
- Antragsteller: STE, BIG
- Planung: BIG
- Kostenträger: STE
- Geotechnische Beratung, Baubegleitung und Monitoring: GLB und BIG

Bei der späteren Hauptmaßnahme soll der Antrag vom zukünftigen Betreiber, der Sielacht Bockhorn-Friedeburg, gestellt werden und die weitere Planung wieder vom NLWKN übernommen werden.

## 5 Geplante Hochwasserschutzanlage ([U5], [U6], [U7])

Die aktuelle Planung sieht neben einer bereits erfolgten Erhöhung der Pumpleistung des Schöpfwerks Kalbsschlot die Errichtung eines beidseitigen Damms vor, mit einer geplanten Kronenhöhe von +1,0 mNHN und Angleichung an das angrenzende Höhenniveau. Dafür soll beispielsweise die Dammkrone im Anschluss an die Bundesstraße auf ca. +2,0 mNHN angehoben werden.

Die Gesamtstrecke der Dammbauwerke beträgt 2,35 Kilometer (s. Kap. 3.1). Unterbrochen werden die Dämme beidseitig durch die bestehende Brücke des Reidelinger Wegs. Hier sind deshalb auch Winkelstützen in der Planung vorgesehen. Weiterhin ist rechtsseitig im Bereich des Verteilerplatzes VT 12 kein Dammbauwerk erforderlich, da die Platzfläche relativ nah an das Gewässer angrenzt und die notwendige Geländemindesthöhe von +1,0 mNHN [U5] bereits aufweist. Damit beträgt die Gesamtlänge der Dämme ca. 4,55 Kilometer.

Zur Herstellung der Verwallung wurden, bis auf einen kleineren Abschnitt im Bereich km 2,8 (s. Abb. 2), die angrenzenden Grundstücke auf einer Breite von mindestens ca. 15 m ab Uferkante durch die STE erworben. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, ist der rechtsseitige Trassenverlauf der Verwallung nördlich der Bundesstraße zunächst nicht direkt angrenzend an die Schiffsbalje, sondern zur Berücksichtigung eines Retentionsraumes binnenseitig, d.h. nach Osten versetzt. Hier wurde ein dementsprechend breiterer Uferstreifen in das Eigentum der STE überführt [U8]. Der aufgeweitete rechtsseitige Retentionsraum reicht von ca. km 4,05 bis ca. km 3,68.

Rückwärtig vom Damm werden jeweils Randgräben hergestellt, da ein direkter Abfluss von Oberflächenwasser in die Schiffsbalje durch das Dammbauwerk unterbrochen wird. Über verschließbare Querschläge im Fußbereich der Dämme kann das Randgrabenwasser bedarfsweise in die Vorflut abgeschlagen bzw. ein Rückfluss auf die Flächen im Hochwasserfall unterbunden werden.

Der bisher geplante Dammaufbau gemäß [U5] besteht aus einem auf einem Geogitter aufgesetztem Dammkern der seitlich und im Bereich der Böschungsschulter mit einer 20 bis 40 cm dicken Kleischicht abgedeckt wird. Die Böschungsneigungen sind mit 1:3 wasser- wie landseitig berücksichtigt. Im Kronenbereich ist ein Deichverteidigungsweg mit 3,5 m Breite [U7] und einem 45 cm dicken Straßenaufbau mit wassergebundener Decke und einer dreiprozentigen Seitenneigung vorgesehen.

Für die Herstellung des vorgenannten Aufbaus ist in der Regel ein Abtrag der Grasnarbe und ein Bodenabtrag von ca. 20 cm geplant gewesen, um einen entsprechenden Bodenaustausch durchführen und ein Sandauflager für den Einbau des Geogitters herstellen zu können. Oberhalb des Geogitters folgt der wie vor beschriebene Sandkern des eigentlichen Damms.

## 6 Beobachtungsmethode

Alternativ zum bisherigen Entwurf – bei dem die gemäß [U4] empfohlen Ertüchtigungsmaßnahmen umgesetzt werden, um den Anforderungen für den rechnerischen Standsicherheitsnachweis zu genügen – ist vorgesehen, die Aufwendungen zur Bodenbewegung zu vereinfachen bzw. umzuschichten. Hierzu soll die Beobachtungsmethode analog DIN 1054 / DIN EN 1997-1 angewendet werden, d.h. die Ausführung durch begleitende Messungen kontrolliert und überwacht werden. Kernstück ist

dabei die Erstellung eines Versuchsfeldes, bei dem im Vorwege der eigentlichen Hauptbaumaßnahme zur Hochwasserertüchtigung Daten zum Verhalten des Baugrundes durch die zusätzliche Lasten des Bauwerks gewonnen werden, die eine sichere Baudurchführung und auch einen sicheren späteren Betrieb der technischen Erdbauwerke ermöglichen.

## **7 Erfordernis und Ziele eines Versuchsfeld**

### **7.1 Notwendigkeit**

Bei dem in der Vorplanung berücksichtigten Regelquerschnitten erfolgt grundsätzlich ein geringmächtiger Eingriff in den vorhandenen Baugrund. Dadurch wird die die Oberfläche im Sinne einer „biologischen Bewehrung“ stabilisierende Grasnarbe entfernt. Mit der Freilegung des Erdplanums unmittelbar auf der Weichschicht wird diese in ihrer oberflächlichen Struktur gestört. Wegen der Bodenzusammensetzung und Wasserempfindlichkeit kann auf diesem Erdplanum darüber hinaus auch keine Nachverdichtung erfolgen. Insoweit bleibt auch bei Einbau des Geogitters ein Restrisiko bzw. eine Restunsicherheit bezüglich der Setzungen und der Auswirkungen auf die Grundbruchsicherheit.

In geringfügiger Abwandlung der Vorplanung soll nunmehr die Grasnarbe erhalten bleiben und direkt darauf der Damm unter Einsatz eines stabilisierenden Bewehrungsgewebes (vgl. Kap. 7.3) gegründet werden ([U9], [U10]). Die durch die Überbauung der Grasnarbe entstehenden Abbauprozesse und der zusätzliche geringfügige Eintrag von Organik ist in Anbetracht der stark organischen Weichschichten vernachlässigbar. Zur Vorwegnahme der Langzeitsetzungen wird eine zusätzliche Überschüttung des eigentlichen Damms und des landseitigen Bereichs, wo der Randgraben hergestellt werden soll, vorgenommen (Überkonsolidierung). Nach Rückbau der zusätzliche Überschüttung sind durch die Zusammenpressung die Bodenkennwerte verbessert, so dass das Risiko eines Grundbruchs aufgrund der Entlastung durch der Grabenaushub oder wegen der Lage neben dem „Hohlraum“ der Schiffsbalje als deutlich reduziert eingestuft werden kann. Da der tatsächliche Effekt jedoch nicht genügend genau im Vorfeld hochgerechnet werden kann, soll dieses in einem Versuchsfeld unter kontrollierten Bedingungen (s.a. Kap. 6) geprüft und optimal an die tatsächlichen lokalen Bedingungen angepasst werden.

Das Versuchsfeld, welches auch als Versuchsschüttung oder Probefeld bezeichnet werden kann, dient somit

- der Untersuchung des Einbau- und Verdichtungsverhaltens sowie der zusätzlich zu verbauenden stabilisierenden Materialien wie Bewehrungsgewebe und der optimalen Integration (Schutzmaßnahmen) der Messapparaturen in den Bauablauf,
- zur Optimierung der Bearbeitungsprozesse und des Geräteeinsatzes und
- zur Untersuchung der Eigenverformung von Schüttungen und Baugrundverformungen unter Erdauflasten [L1].

### **7.2 Kriterien, Anforderungsprofil und zu berücksichtigende Randbedingungen**

Das Versuchsfeld soll, wie in Kapitel 7.1 beschrieben, dazu dienen, Bauverfahren, Materialien und das Verhalten des Baugrundes zu untersuchen.

Im vorliegenden Fall ist ferner zu beachten, dass es durch die Bautätigkeiten zu keiner Beeinträchtigung der Schiffsbalje kommt, d.h. die Baugrundverformungen durch die Erdauflasten keinen Einfluss auf die vorhandene Rinne des Vorfluters haben. Das Versuchsfeld soll deshalb in dem Bereich

hergestellt werden, wo der Damm bereits plangemäß weit abgerückt von der Schiffsbalje hergestellt wird.

Bei dem Versuchsfeld sollen somit folgende Punkte berücksichtigt bzw. deren Machbarkeit geprüft werden [U10]:

- Anordnung des Versuchsfeld im Bereich der geplanten rechtsseitigen Dammtrasse auf Höhe der Retentionsräume
- Integration Versuchsfeld in spätere Verwaltung ohne (größere) Anpassungsmaßnahmen
- Abgleich Trasse Versuchsfeld mit vorhandenen Bohraufschlüssen und Prüfung evtl. Ergänzungsaufschlüsse
- Vorhandene GOK sollte ca. bei 0,0 m NHN liegen, um reelle Prüfergebnisse (u.a. (Poren-) Wasserstand im Baugrund) zu erzielen
- Herstellung verschiedener Aufbaustärken (Zuwachs Schichtstärken um 20 cm in erster Schüttlage), d.h. Berücksichtigung von mindestens 3 verschiedenen Abschnitten
- Länge der einzelnen Abschnitte mindestens 15 m bis 30 m
- Breite Versuchsfeld umfasst die zukünftige Dammbreite zzgl. Überschüttung zur Stabilisierung des Baugrunds im Bereich des zukünftigen Randgrabens
- Breite des Bewehrungsgewebes beschränkt sich auf den Dammbereich
- Zuwegung zum Baufeld und möglicher Schutz des Bodens in den zu nutzenden Flächen (Baustraßen)
- Durchführungskonzept
- Verdichtung des Sandkerns und Nachweis Verdichtungsgrad
- Überkonsolidierung zur Vorwegnahme Langzeitsetzungen
- Setzungspegel in Trassenachse
- Setzungs- und Lagemessung am Dammfuß
- Tiefenorientierte Porenwasserdruckmessung in Abhängigkeit der Bodenschichtung
- Probenahme für Bodenkennwerte ( $c_u$ ) nach Abklingen der ersten Setzungen
- Öffnungen in Bewehrungsgewebe für Messapparaturen

Das Konzept ist an Messergebnisse und die Baustellenerfahrungen beim Versuchsfeldbau anzupassen.

#### Bewertung des Schutzgutes humoser Oberboden für das Versuchsfeld und die spätere Herstellung des durchgängig beidseitigen Damms

Humoser Oberboden („Mutterboden“) unterliegt einem besonderen Schutz (§ 202 Baugesetzbuch, Schutz des Mutterbodens). Er sollte möglichst im Garten- und Landschaftsbau sowie in der Landwirtschaft in der durchwurzelbaren Bodenschicht und hier wiederum als oberste, humose Lage verwertet werden.

Im vorliegenden Fall ist im Baufeld in der Regel eine dünne Grasnarbe auf gemäß [U4] teils als Mutterboden bezeichneten Auffüllungen vorhanden. Aufgrund des Auffüllungscharakters ist diese sehr geringmächtige Bodenschicht nur bedingt als wertvoller und schützenswerter belebter Oberboden einzustufen. Zudem sind die zukünftigen Dammaufstandsflächen durch ackerbauliche Nutzung anthropogen überprägt, was sich auch durch die erschwerte Abgrenzung zum gewachsenen Boden zeigt (vgl. Kap. 3.2.1). Durch den plangemäßen Auftrag von Klei und die Begrünung des Damms werden die gemäß § 12 BBodSchV bzw. § 2 BBodSchG gewünschten Bodenfunktionen nahezu wieder hergestellt. Dabei ist ferner zu berücksichtigen, dass lediglich ein schmaler Streifen an der Schiffsbalje in Anspruch genommen wird und die Überschüttungshöhe nur im Kronenbereich bis zu 1 m beträgt bzw. im Böschungsbereich bis auf null ausläuft.

### Im Versuchsfeld nicht zu berücksichtigende Punkte

Der später zu wählende optimale Abstand der Verwallung zum Ufer der Schiffsbalje ist für die Anordnung des Versuchsfelds zu vernachlässigen, da dieser erst nach Auswertung der Ergebnisse des Versuchsfeldes unter Einbeziehung der Anforderungen der späteren Nutzung und betrieblichen Erfordernisse festgelegt werden kann. Da bei der Hauptmaßnahme der Dammverlauf unmittelbar an der Schiffsbalje geplant ist, ist hier der für die Grundbruch- bzw. Böschungsbruchsicherheit relevante maximale Höhendifferenz (Dammkrone – Gewässersohle) zu beachten. Somit kann hier auch bei erfolgreicher Versuchsdurchführung des Versuchsfelds ein punktuelles Dammversagen in der Bauphase mit Bodenverlagerung in die Schiffsbalje mit einer Verstopfung des Abflussquerschnitts nicht vollständig ausgeschlossen werden. Gemäß der auch in der Hauptmaßnahme durchzuführenden Beobachtungsmethode sind deshalb hierfür geeignete Gegenmaßnahmen zu berücksichtigen. Denkbar ist dabei die kurzfristige Erstellung eines Bypasses sowie die Vorhaltung von leistungsfähigen Aggregaten und Pumpen.

### **7.3 Lage und Aufbau Versuchsfeld**

Die in Kapitel 7.2 benannten Kriterien werden optimal im rechtsseitigen Retentionsraum (km 4,25 – km 3,7) erfüllt, da hier keine Beeinträchtigung der Schiffsbalje durch die Grundbruchproblematik gegeben ist. Dieses ist für das Austesten der möglichen Varianten ideal. Da im Versuchsfeld auch der Worst-Case geprüft werden soll, ist es jedoch notwendig, dass die Bodenschichtung der zum Plangebiet „Versuchsfeld“ zugehörigen Bohraufschlüsse besonders ausgeprägte Torf- und Kleimächtigkeiten und möglichst auch Sandlinsen in den Weichschichten aufweist. Weiterhin ist plangemäß im Versuchsfeld kein Bodenabtrag vorgesehen, so dass das Planum der vorhandenen Geländemorphologie entspricht. Im Bereich von Senken oder geringen Geländehöhen ist der geringste Abstand zum Grund- bzw. Schichtenwasserstand anzunehmen, weshalb bei der Auswahl des Abschnitts in der bereits feststehenden Trasse entsprechende Flächen zu bevorzugen sind. Darüber hinaus muss hier letztlich auch die maximale Aufschüttungsdicken (Lastenrag) berücksichtigt werden, um die spätere Kronenhöhe von +1,0 mNHN zu erreichen. Es ist darüber hinaus bei den Senken davon auszugehen, dass – bedingt durch den in Bezug auf GOK relativ hohen Grund- bzw. Schichtenwasserstand – sich hier der für die Konsolidierung und die Standsicherheit relevanten Wassergehalt (Porenwasserdruck) besonders auswirkt.

### Varianten zur Standortauswahl

Im Vorfeld des Erstellung des vorliegenden Konzeptes wurden verschiedene Standorte im rechtsseitigen Retentionsraum und dem in Abbildung 3 gekennzeichnetem Torfzone geprüft. Mangels Zugänglichkeit wird der in Abbildung 4 skizzierte Bereich ausgewählt. Da im nördlichen Abschnitt dieses Standorts bereits ein Seitengraben vorhanden ist, kann dort nicht die Überschüttung des Randgrabens und der östlichen Böschungsschulter der Verwallung in vollem Umfang getestet werden. Hingegen bietet der seitlich Randgraben die Möglichkeit, die Standsicherheitsauswirkungen auf eine dem Vorfluterprofil in kleinem Rahmen entsprechende direkt angrenzende Bodensenke gefahrlos zu simulieren.

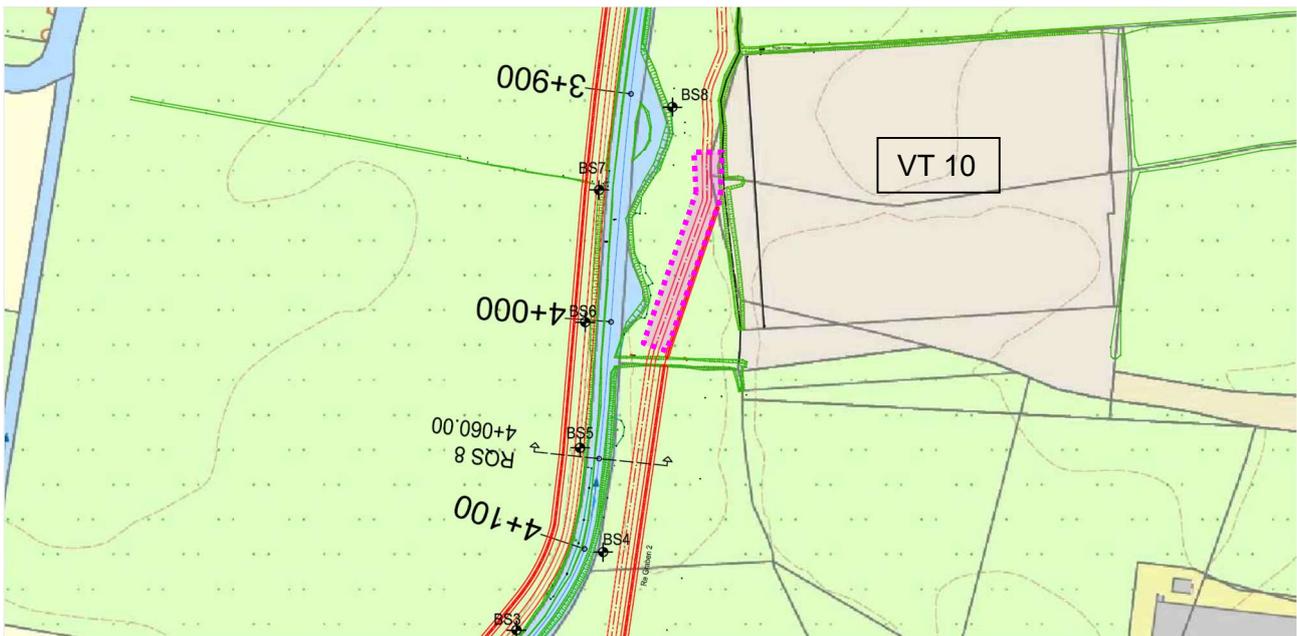


Abbildung 4: Standort für das Versuchsfeld (gestrichelt), (Lageplanausschnitt aus [U7])

Als Bohraufschlüsse können beim ausgewählten Standort die BS 8, BS 7, BS 6 und GWMT 8 (s. Abb. 3) herangezogen werden, die jedoch nicht direkt in der Trasse des rückversetzten Damms liegen und insbesondere bei den Bohrungen mit etwas geringerer Torfmächtigkeit (vgl. Abb. 5) weiter entfernt auf der anderen Seite des Vorfluters liegen. Es wird deshalb zeitnah eine detaillierte Baugrundnacherkundung durchgeführt und auf dieser Basis der geplant Standort final bestätigt.

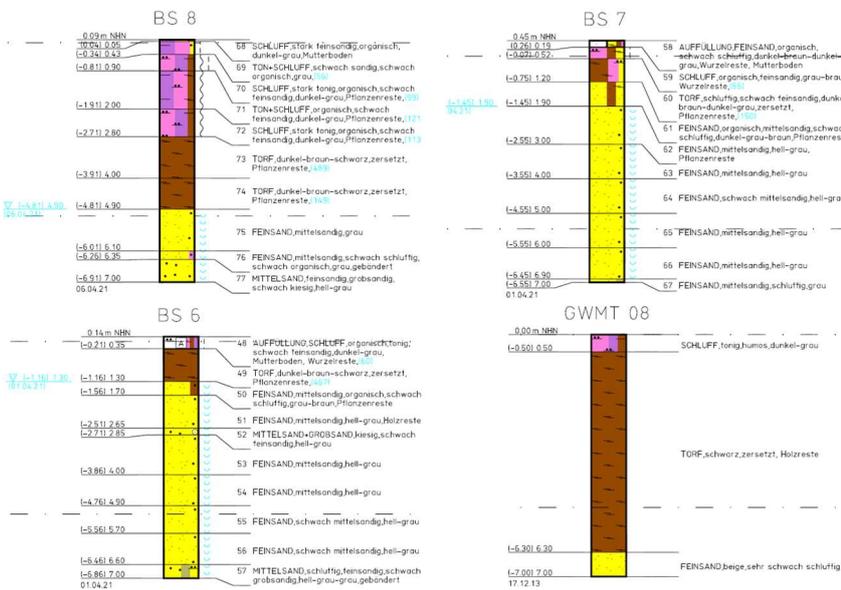


Abbildung 5: Bohrprofile im Bereich Versuchsfeld (Planausschnitt aus [U4])

Der heutige Zustand im Bereich der geplanten Versuchsfeldtrasse kann Abbildung 6 entnommen werden.



**Abbildung 6:** Trassenbereich des Versuchsfeldes (orange Linie), Blickrichtung Süd, am 30.11.2022

Zur verbesserten Interpretation der Messergebnisse und einer Optimierung der Einbautiefen der Porenwasserdruckmessgeber (s. Kap. 7.5) sollen deshalb in den einzelnen Abschnitten des Versuchsfelds (vgl. Tabelle 1), wie vor beschrieben, durch den Baugrundgutachter GLB ergänzende Kleinrammbohrungen, Drucksondierungen sowie Feld- und Laborversuche zur Scherfestigkeitsuntersuchung ausgeführt werden. Da gemäß Abbildung 3 direkt neben dem Versuchsfeld bereits eine Grundwassermessstelle GWMT 8 vorhanden ist, kann der im Baufeld vorhandene Grundwasserspiegelstand parallel zur Messung des Porenwasserdrucks erfasst werden.

#### Dimensionierung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld sollen sowohl unterschiedliche Höhen der oberen Lage des Bewehrungsgewebes im Sandkern geprüft werden, als auch unterschiedliche Schichtdicken der für die Überkonsolidierung vorgesehenen zusätzlichen Überschüttung des Damms und des Randgrabens. Um die Heterogenität des Baugrunds zu berücksichtigen, sind Abschnittslängen von 15 m einschließlich Übergangsrampen zum nächsten Abschnitt vorgesehen. Weiterhin muss die Größe des Versuchsfeldes zwingend auch den Einsatz der für die spätere großmaßstäbliche Umsetzung notwendigen und zu testenden Baugeräte zulassen.

Die zu berücksichtigende Kronenhöhe des Damms beträgt mindestens +1,0 mNHN bzw. ist eine Mindesthöhe des Damms von 1 m erforderlich. Damit ist in Senken mit NHN-Höhen unter 0,0 mNHN ein erhöhter Damm einzubauen, d.h. bei -0,15 mNHN GOK beträgt die Dammhöhe 1,15 m. Bei Geländehöhen über 0,0 mNHN, beispielsweise +0,30 mNHN ist eine Kronenhöhe von +1,30 mNHN einzuplanen. Übergangsbereiche sind iterativ auszugleichen, wobei ein Gefälle von 5 % möglichst nicht überschritten werden sollte. Die Mindestdicke des Damms ist erforderlich, um später die Befahrbarkeit zu gewährleisten und ausreichenden Raum für die erforderliche Aufbauhöhe des Wegebau oberhalb des Bewehrungsgewebes zu ermöglichen.

Die im Zuge des Versuchsfeldes zu prüfenden Varianten sind in der Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt. Grundsätzlich soll der Sandkern der 1. und 2. Schüttlage dem späteren Dammprofil ohne Kleiabdeckung entsprechen, da der Damm im Versuchsfeld Teil des späteren Gesamtdammbauwerks werden und in diesen integriert werden soll. Aufgrund der erwarteten Senkungen in der Größenordnung der Überschüttung ist hier entsprechend den Erfahrungen bei der Versuchsfeldherstellung eventuell eine Anpassung und Erhöhung der in der Tabelle 1 vorgesehenen Dicken der Überschüttung erforderlich, um den erwünschten Überkonsolidierungseffekt zu erhalten und zu optimieren.

Es werden somit insgesamt sechs Varianten im Versuchsfeld berücksichtigt. Damit beträgt die Gesamtlänge des Versuchsfeldes ca. 90 m. Bei den Randgräben sind gemäß Tabelle 1 regulär Überschüttungshöhen von 1,4 m bis 1,8 m berücksichtigt. Da die Überschüttungen zumindest in der Stärke, die die Setzungen überschreitet, später auch wieder rückzubauen sind, ist bei den Randgräben eine Reduzierung der Überschüttung auf 1 m auf der Hälfte des Versuchsfeldes vorgesehen. Die Reduzierung beim Randgraben berücksichtigt bereits auch die Optimierung der einzusetzenden Bodenmengen bei der später zu verwirklichende Variante. Aus Kostengründen sollte sich bei der kompletten Dammherstellung der zusätzliche Boden- und -abtransport auf das Notwendigste beschränken.

**Tabelle 1:** Aufbaustärken der zu berücksichtigenden Varianten im Versuchsfeld bei 1 m Dammhöhe

Variante (Abschnitt)	Dicke 1. Schüttlage [cm]	Dicke 2. Schüttlage [cm]	Dicke Überschüttung <sup>1)</sup> [cm]	Gesamthöhe inkl. Überschüttung [cm]	Abschnittslänge [m]	Bemerkung
1a	40	60	40	140	15	2. Schüttung in 2 Lagen einzubauen
1b	40	60	80	180	15	2. Schüttung in 2 Lagen einzubauen
2a	60	40	40	140	15	1. Schüttung in 2 Lagen einzubauen
2b	60	40	80	180	15	1. Schüttung in 2 Lagen einzubauen
3a	80	20	40	140	15	1. Schüttung in 2 bis 3 Lagen einzubauen
3b	80	20	80	180	15	1. Schüttung in 2 bis 3 Lagen einzubauen
Summe					90	

<sup>1)</sup> Im Bereich Randgraben ist zur Hälfte die daraus abzuleitende NHN-Höhe zu realisieren, d.h. 1,4 m bzw. 1,8 m Aufbau, im übrigen Bereich des Versuchsfeldes werden die Randgräben nur mit 1 m Boden überschüttet

Die Gesamtbreite des Dammquerschnitts ist abhängig von der Kronenhöhe im Vergleich zum angrenzenden Geländekote sowie von der vorgesehenen Böschungsneigung. Entsprechend dem für die Bewirtschaftung von der Sielacht geplanten Einsatz eines Baggers mit 3,2 m Kettenbreite und

einem Ausleger von bis zu 9 m wird trotz der zukünftigen sehr geringen Nutzung des Deichverteidigungsweges die im bisherigen Entwurf [U7] berücksichtigte Wegesbreite von 3,5 m für die Dimensionierung des Versuchsfelds beibehalten.

Zur Kronenbreite sind neben dem Weg die seitlichen Bankette im Dammschulterbereich mit je 25 cm Breite hinzuzurechnen. Bei dem Versuchsfeld sollen zwei unterschiedliche Böschungsneigungen geprüft werden. Wasserseitig ist eine flachere Neigung von 1:3 geplant, landseitig eine etwas steilere Neigung von 1:2. Damit ergeben sich bei einer Dammhöhe von 1 m über angrenzender GOK Böschungsbreiten von insgesamt 5 m. Da das Versuchsfeld in die zukünftige Trasse des Damms integriert werden soll, ist bei der Festlegung der Achse des Versuchsfeldes zu berücksichtigen, dass nach erfolgreichem Abschluss der Versuchsfelddurchführung landseitig gegebenenfalls eine spätere Abflachung der Böschung auf 1:3 möglich sein muss. Der eventuell notwendige zusätzliche Abstand von 1 m zum Randgraben ist somit zu beachten.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Randbedingungen und Ansatz eines 3,5 m breiten Weges ergibt sich rechnerisch eine Dammaufstandsbreite (Sohle) des Versuchsfeldes von 9 m, d.h. bezogen auf Trassenachse 5 m linksseitig und 4 m rechtsseitig.

### Aufbau Damm

Der Regelquerschnitt und allgemeine Bauablauf zur Herstellung des Damms im Versuchsfeld ist wie folgt geplant (vgl. Prinzipskizze in der Anlage 1 und Schichtdicken in Tabelle 1):

- Baufeldfreimachung
- Einbau eines Bewehrungsgewebes direkt auf der Grasnarbe bzw. bei evtl. vorhandenen lokalen Senken sind diese vorab aufzufüllen. Überlappung Bewehrungsgewebe von mindestens 30 cm in den Stößen (mindesten 50 cm in Trassenachse) und Einbau auf voller Sohlbreite des späteren Damms. Einschlagen auf der in Tabelle 1 benannter Höhe nach verdichtetem lageweisen Einbau der ersten Schüttlage (bis 30 cm Lagenstärke)
- Überdeckung des eingeschlagenen Gewebes mit 20 bis 30 cm Sand bzw. Einbau der 2. Schüttlage (Höhen gemäß Tabelle 1)
- Einbau Trennvlies im Randgrabenbereich
- Herstellung der Überschüttung in Damm und Randgrabenbereich
- Abdeckung Überschüttungskörper mit Erosionsschutzmatten
- Monitoring während Vorkonsolidierung des Baugrundes unter kontinuierlicher Messung von Porenwasserdruck und Setzungen (Kap. 7.5)
- Optional: Rückbau der Überschüttung nach Arbeitsunterbrechung und Vorprofilierung Dammquerschnitt (ohne Herstellung Dammverteidigungsweg und Kleiandeckung, jedoch Wiederandeckung Erosionsschutzmatten)

### Bewehrungsgewebe und Trennvlies

Als Bewehrungsgewebe wird das Produkt „Stabilenka“ des Herstellers Huesker vorgeschlagen. Bei diesem Produkt handelt es sich um ein hochzugfestes Geogewebe, das neben der erforderlichen Bewehrungsfunktion den Vorteil hat, dass es zur Trennung und Filtration eingesetzt werden kann. Damit kann auf den ergänzenden Einsatz eines Vliesgewebes im Bereich der Bewehrung verzichtet werden, welches anderenfalls erforderlich wäre, um den Eintrag von (organischen) Feinstpartikeln in den Sandkern wirksam zu unterbinden. Der damit mögliche Verzicht auf ein zusätzliches Vlies trägt auch zur Vereinfachung des Bauablaufs bei, was für die im Folgejahr geplante Hauptbaumaßnahme von entscheidender Bedeutung sein kann. Die erforderlich Zugfestigkeiten sollten sich an der Empfehlung des Baugrundgutachtens orientieren (30 kN/m), was bereits vom einfachsten Stabilenka-Produkt erfüllt wird. Es ist auch der Einsatz eines gleichwertigen Produktes möglich.

Aus Gründen eines optimierten Bauablaufes kann es sinnvoll sein, das Bewehrungsgewebe in der zweiten Lage nicht über den gesamten Dammquerschnitt zu führen, sondern lediglich auf einer Breite von 50 cm einzuschlagen und in den Dammkörper zu führen.

Für den Ein- und Ausbau der Messgeräte (Kap. 7.5) sind vor Überschüttung des Bewehrungsgewebes Öffnungen im Gewebe herzustellen. Lage und Größe der Öffnungen sind bei Ausführung der Arbeiten vor Ort bzw. vorab mit dem Baugrundgutachter abzustimmen. In diesem Zusammenhang sind auch die Schutzmaßnahmen für die Geräte final festzulegen.

Für das Trennvlies im Randgrabenbereich bestehen keine erhöhten Anforderungen, es reicht der Einsatz eines Vliesstoffes mit  $\geq 150 \text{ g/m}^2$ .

Der spätere Umgang mit dem Trennvlies im Bereich des Randgrabens ist abhängig von den tatsächlichen Setzungen. Sollten sich dort ebenfalls deutliche Setzungen einstellen und es sich als nicht sinnvoll herausstellen, die ursprüngliche GOK wieder herzustellen und damit den abgesackten Sand nur teilweise wieder auszubauen, kann bei der eigentlichen Baumaßnahme auch ein Verzicht auf das Trennvlies empfehlenswert sein. Für den Bereich des Versuchsfeldes wird davon ausgegangen, dass der Überschüttungssand vollständig wieder entfernt wird, die ursprüngliche Bodenschicht (Grasnarbe) wieder freigelegt und die senkungsbedingt entstandene muldenartige Senke das zukünftige Geländeniveau darstellen soll. Das Trennvlies dient dabei sowohl dem Schutz des anstehenden Bodens als auch der besseren Wiederverwertbarkeit des rückzubauenden Sandes, da dadurch keine Vermischung des Sandes mit dem organischen Boden bzw. der vorhandenen Auffüllung stattfindet.

#### Zuwegung und Baustellenlogistik

Da das Baufeld für das Versuchsfeld sich inmitten eines Wiesenbereichs befindet, auf dem die Baustelleneinrichtung (BE) nicht sinnvoll, erstellt werden kann, ist eine geeignete Zuwegung über die Wiese von der BE zur Baustelle unter möglichst geringer Geländeinanspruchnahme herzustellen. Aus diesem Grunde soll der bereits teilverfestigte Weg parallel zum Verteilerplatz VT 10 (s. Abb. 7) genutzt werden.

Wegen der Empfindlichkeit des Baugrundes ist – wie bereits in [U4] empfohlen – der Unterbau im Baustraßenbereich sowohl aus bodenkundlichen als auch geotechnischen Erwägungen heraus geeignet zu schützen. Zu unterscheiden sind dabei insbesondere Bereiche in denen die Trasse des Damms verläuft und die deshalb später ebenfalls mit Boden überbaut werden bzw. Bereiche die nur temporär für die Baumaßnahme (Versuchsfeld und Hauptmaßnahme Dammbau) genutzt werden und später wieder weitestgehend in den ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden müssen. Um den Eingriff soweit als möglich zu minimieren können die Baustraße nur als Einbahnstraßen genutzt werden. Wegen des Sackgassencharakters der Baustraßen sind bedarfsweise bei längeren Abschnitten Ausweichstellen zu errichten. Wendemöglichkeiten am Baustellenanfang können nicht oder nur stark eingeschränkt verwirklicht werden. Eine mögliche Herangehensweise ist in Kapitel 7.4 beschrieben.



**Abbildung 7:** Zuwegung parallel zum VT 10 (30.11.2022)

Für die Baustellenabsicherung ist wegen der abseitigen Lage des Versuchsfeldes lediglich eine Absperrung im Zufahrtbereich direkt vor der Baustraße vorgesehen (Tor und jeweils ergänzende seitliche Abschirmung mit ca. 5 Bauzaunfeldern). Darüber hinaus ist im Bereich des Versuchsfeldes gegebenenfalls der rückgebaute Weidezaun durch Bauzäune zu ersetzen.

#### Verzicht auf Kleiandeckung

Abweichend vom zukünftig herzustellenden Damm wird im Versuchsfeld auf die Andeckung mit Klei verzichtet, um einerseits bedarfsweise durch punktuelle Setzungen entstandenen Senken mit Sand egalieren zu können und andererseits nach Abschluss der Versuchsphase ohne besonderen Aufwand einen einheitlichen Querschnitt herstellen zu können. Darüber hinaus muss der notwendige Zugang zu den Messapparaturen trotz verbauter Erosionsschutzmatten einschließlich des Austausches oder Rückbaus nach Abschluss der Messungen und ein fachgerechter Wiederverschluss der Öffnungen im Sandkern und in den Erosionsschutzmatten nach dem Ausbau ermöglicht werden. Um dennoch die Erosionssicherheit insbesondere der Böschungsbereiche zu gewährleisten, ist deshalb eine Abdeckung des Sandkörpers mit Erosionsschutzmatten vorgesehen. Die Erosionsschutzmatten sind gegen Verwehung mit Sandsäcken oder gleichwertig zu sichern.

### Verzicht auf Deichverteidigungsweg

Das Versuchsfeld dient ausschließlich einer Untersuchung zur Optimierung des zu wählenden Querschnitts unter Berücksichtigung der Einflüsse der setzungsempfindlichen und geringe Scherfestigkeiten aufweisenden Weichschichten (Senkenbildung, Standsicherheit). Aus diesem Grund wird im Rahmen der Versuchsfeldherstellung kein gesonderter Straßenaufbau im Dammkronenbereich berücksichtigt und auf die Herstellung des zukünftigen Deichverteidigungsweges ebenfalls verzichtet. Bei der Umsetzung der Hauptmaßnahme im Folgejahr und den Nachprofilierungsarbeiten am Versuchsfeld sind deshalb auch ergänzende Leistungen zum Einbau des Deichverteidigungsweges durchzuführen. Aktuell wird davon ausgegangen, dass entsprechend der geringen Nutzung ein Aufbau von 20 cm bis 25 cm aus Mineralgemisch und Schotterrasen, wie in der Vorplanung [U7] als oberer Abschluss bereits geplant, ausreichend ist. Kleinere Senken und Pfützenbildungen können in Kauf genommen werden, da es sich nicht um einen öffentlichen Weg handelt und die Befahrung durch die Sielacht auch nur in maximaler Schrittgeschwindigkeit erfolgt. Die Reparatur erwartbarer zukünftiger kleiner Setzungen könnte auch im direkten Auftrag der STE durch ein Erd- und Straßenbau- bzw. Galabauunternehmen nach Bedarf erfolgen.

### Verdichtung

Die nach Herstellung des Damms möglichen Setzungen ergeben sich einerseits durch die Konsolidierung der Weichschichten im Baugrund aber andererseits auch durch Setzungen im Dammkörper, sofern dieser nicht ausreichend verdichtet ist. Das einzubauende sandige Material ist deshalb lagenweise verdichtet in Schichtdicken bis maximal 30 cm Stärke einzubauen. Die optimal hierfür einzusetzenden Verdichtungsgeräte sollen im Rahmen des Versuchsfeldes vor Ort getestet werden. Zum Schutz der den Baugrund stabilisierenden Grasnarbe erfolgt, abweichend von den üblichen geotechnischen Gepflogenheiten, keine Nachverdichtung des Planums. Vor Einbau des Bewehrungsgewebes auf der Grasnarbe sind mögliche Unebenheiten im Planum durch dünn-schichtigen Auftrag von Sand zu egalalisieren, um ein gleichmäßiges Aufliegen des Gewebes ohne Hohlräume oder Faltenbildung zu ermöglichen. Die Herstellung einer horizontal einheitlich hohen Planumsebene über den gesamten Querschnitt ist hingegen nicht erforderlich. Die Verdichtung kann somit erst erfolgen, sobald auf dem Bewehrungsgewebe eine Sandschicht von mindestens 20 cm als Schutzschicht aufgebracht wurde. Wegen des weichen Unterbaus ist die Verdichtung der ersten Lage mit besonderer Vorsicht und Sorgfalt unter Einsatz von Verdichtungsgeräten mit geringem Eigengewicht durchzuführen. An die optimale Amplitude und Vibrationsintensität muss sich unter Einbeziehung der Kenntnisse zum Porenwasser (PWD, Pegelstand GWMT 8) herangetastet werden, da bei überhöhtem Eintrag von Erschütterungen in den vernässten Baugrund nicht ausgeschlossen werden kann, dass dadurch unerwünscht Porenwasser hochgepumpt und der Untergrund aufge-weicht wird. Gegebenenfalls ist zunächst eine ausschließlich statische Verdichtung durchzuführen.

Es sollte beim Sandeinbau eine mitteldichte Lagerung erzielt werden, die mittels Rammsondierung über den gesamten Aufbau geprüft werden kann. Im Bereich des späteren Deichverteidigungsweges ist eine Kontrolle der Tragfähigkeit mittels dynamischem Plattendruckversuch ( $E_{vd}$ ) ausreichend. Es ist ein  $E_{vd} \geq 25 \text{ MN/m}^2$  auf dem Erdplanum nachzuweisen. Für die spätere Nutzung ist der deutliche Mehraufwand für den statischen Plattendruckversuch ( $E_{v2}$ ) nicht erforderlich.

### Begleitende Messungen

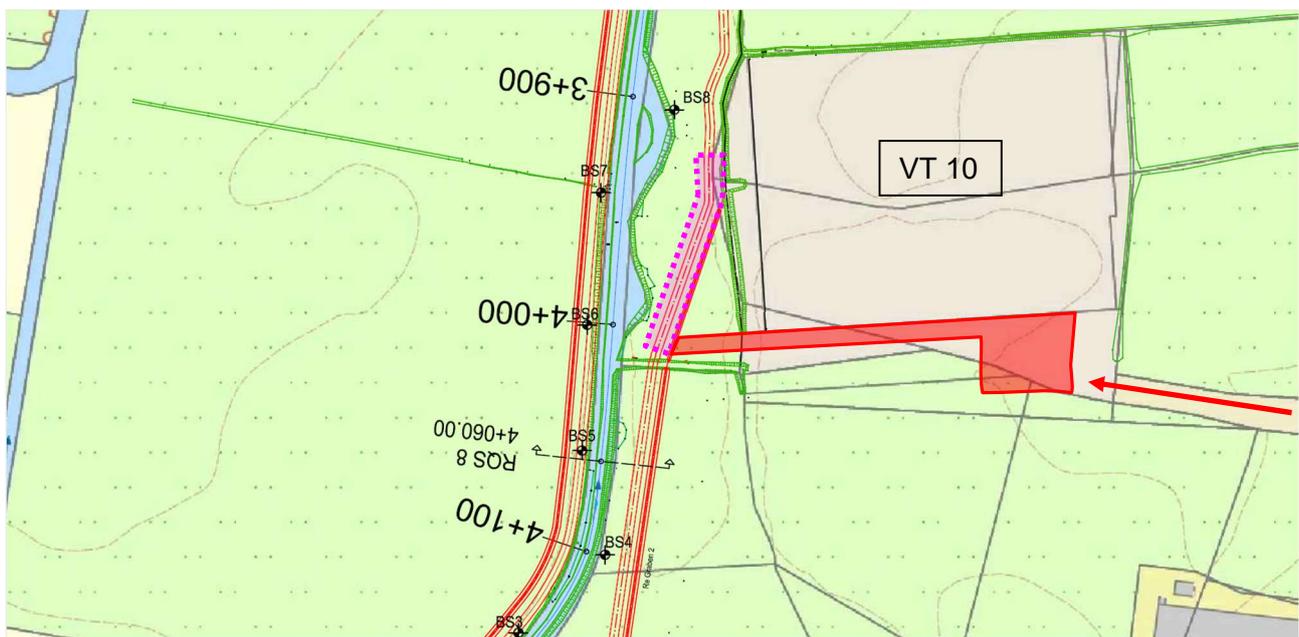
Zur Überwachung der Auswirkungen auf den Baugrund durch die Bauaktivitäten sind begleitende Messungen vorgesehen (Setzungen, Porenwasserdruck, Scherfestigkeit). Art und Umfang der bisher geplanten Messungen sind im Kapitel 7.5 näher beschrieben.

## 7.4 Bauablauf und Terminplanung

Das vorliegende Konzept für das Versuchsfeld ist von der bauausführenden Firma unter Berücksichtigung von eigenem Gerät und Personal sowohl im Bauablauf als auch in terminlicher Hinsicht fortzuschreiben. Idealerweise wird das angepasste Durchführungs- und Termin-Konzept bereits mit dem Angebot durch die Bieter vorgelegt und Vertragsbestandteil. Es wird empfohlen, die diesbezüglichen Mehraufwendungen bei der Angebotserstellung mit einer Pauschalvergütung zu honorieren.

Ein möglicher Bau- und Verfahrensablauf ist in der Anlage 2 plakativ skizziert. Der Einbau und der Schutz der Messeinrichtungen ist dabei noch nicht berücksichtigt, da dieses wesentlich von den tatsächlich einzusetzenden Gerätschaften der bauausführenden Firma abhängt.

Denkbar ist somit der nachfolgend allgemein beschriebene Bauablauf. Nach Herrichtung der Baustelleneinrichtungsflächen (BE) ist zunächst das Baufeld von Bewuchs und Hindernissen wie Weidezäunen zu befreien und die Zuwegung zum Arbeitsbereich herzustellen. Die in der Abbildung 8 gekennzeichnete Zuwegung vom Reidelinger Weg Richtung Verteilerplatz VT 10 führt anschließend Richtung Baustelle parallel zur Verteilerstation über einen bereits teilverfestigten Randweg, der auch später als Zuwegung zur Baustelle der Hauptmaßnahme „Verwallung“ genutzt werden soll. Ein direkter Zugang von der Bundesstraße 443 aus ist deshalb für das Versuchsfeld nicht erforderlich. Die BE-Fläche ist im vorderen Abschnitt neben dem Eingangstor des VT 10 geplant. Ein Abkippen und Bereitstellen von benötigtem Material direkt an der Einbaustelle ist nur begrenzt möglich. Im Regelfall sollte überwiegend eine Entnahme direkt aus der Mulde erfolgen oder können nur kleinere Teilmengen abgekippt werden.



**Abbildung 8:** Lageplanausschnitt (aus [U7]) mit Versuchsfeld (magenta) und Kennzeichnung möglicher Zuwegung, Baustraße und BE-Fläche (rot)

Um möglichst wenig Fläche außerhalb des zukünftigen Damms in Anspruch zu nehmen und den angrenzenden Boden und Baugrund zu schonen, kann der Einbau der Materialien in einer Mischung aus Vor-Kopf-Einbau und halbseitigem Einbau umgesetzt werden, wie in Anlage 2 als Konzeptidee dargestellt. In einem ersten Schritt (Bild 1, Anlage 2.1) wird dazu nach Vor-Kopf-Verlegung von Bag-

germatratzen im linken Bereich des Baufelds das Bewehrungsgewebe im rechten Bereich des späteren Damms auf vorhandener GOK mit leichter Überlappung über die Trassenachse verlegt. Auf dem Gewebe wird sodann die erste Schüttlage verdichtet aufgebracht. Anschließend wird das Gewebe eingeschlagen (Bild 2, Anlage 2.2) und mit einer Sandschutzschicht abgedeckt. Das Einbaugerät kann dann auf die neue Ebene umgesetzt und die linksseitigen Baggermatratzen wieder entfernt werden (Bild 3, Anlage 2.2). Es folgt der Gewebe- und Sandeinbau einschließlich Überlappungen im Trassenachsenbereich (Bilder 3 und 4, Anlage 2.2). Nach Abschluss der Herstellung des Dammkerns wird die für die Vorkonsolidierung notwendige Überschüttung ebenfalls wechselseitig eingebaut (Bilder 5 und 6, Anlage 2.3). Im Randgrabenbereich ist dafür zunächst das Trennvlies zu verlegen. Da eine Setzung in der Dammsohle zu erwarten ist, ist eine Trennung zwischen Sandkern des Damms und Überschüttung nicht erforderlich. Die Überschüttung ist zum Abschluss der Arbeiten mit Erosionsschutzmatten abzudecken (nicht dargestellt).

Nach Einbau der Überschüttung folgt eine zwei- bis dreimonatige Ruhephase, in der keine Bauaktivitäten durchgeführt werden, jedoch das Messprogramm (Kap. 7.5) fortgesetzt wird.

Der Rückbau des überschüssigen Bodens sollte erst im Rahmen der Umsetzung der Hauptmaßnahme Dammbau im Folgejahr durchgeführt werden, da die rückzubauenden Sande dann unmittelbar in der anschließenden weiteren Damfstrecke wieder verwendet werden können. Auch der Rückbau der Baustraßen sollte bevorzugt erst nach Abschluss der Hauptmaßnahme erfolgen, um einen Rückbau und Wiedereinbau zu umgehen, sofern die Vorhaltungskosten (beim Einsatz von Baggermatratzen) im Rahmen bleiben. Die Sicherung der Baustelle (Zugänge und Abgrenzung zur Wiese im Versuchsfeld) ist ebenfalls bis zur Fortsetzung der Bauarbeiten beizubehalten. Die eventuell notwendige Übernahme von Baustraßen und Baustellensicherung durch den Auftragnehmer der Hauptmaßnahme ist geeignet zu regeln.

Eventuell sind nach Abschluss der Ruhephase kleinere Restarbeiten oder Nachprofilierungen durchzuführen. Der Umfang hierfür kann im Vorwege jedoch nicht abgeschätzt werden.

Das vorliegende Konzept bzw. das Konzept der bauausführenden Firma ist an den Erkenntnisgewinn anzupassen und kontinuierlich fortzuschreiben. Unmittelbar nach der Beauftragung hat der Auftragnehmer einen darauf ausgerichteten Bauzeitenplan vorzulegen.

## 7.5 Begleitendes Messprogramm

Neben den in Kapitel 7.3 benannten ergänzenden Bohraufschlüssen ist ein begleitendes Messprogramm vorgesehen, das sich aus der Erfassung der nachfolgenden Parameter zusammensetzt.

- Lageänderungen des aufgeschütteten Damms und des Planums (horizontal und vertikal)
- Änderungen des Wassergehalts (PWD)
- Änderung Bodenfestigkeit (Scherparameter)

Die Messungen sind zunächst über den Zeitraum der Bauphase und während einer anschließenden zwei- bis dreimonatigen Ruhephase vorgesehen. Eine flexible Anpassung der Messintensität (Häufigkeit und Dauer) an die Erkenntnisse und Messergebnisse ist bedarfsweise durchzuführen.

Die geplante Anordnung der Messgeräte kann der Anlage 1 entnommen werden. Es ist vorgesehen, dass die Messungen vom geotechnischen Ingenieurbüro GLB [U11] bauseits durchgeführt werden. Diese begleitenden Maßnahmen sind von der bauausführenden Firma lediglich in den Bauablauf zu integrieren und entsprechend dem Bauablauf zu koordinieren. Das nachfolgend beschriebene orientierende Messprogramm soll vom Büro GLB nach Vorliegen der Aufschlussbohrungen und Drucksondierungen nach Bedarf angepasst und überarbeitet werden.

Wie bereits in Kapitel 7.2 beschrieben, sind vorab kleine Öffnungen im Bewehrungsgewebe herzustellen, die einen Einbau und die Bergung der Messgeräte im Bereich der Überschüttung ermöglichen. Die Öffnungen sind hierfür von der bauausführenden Firma einzumessen und vor der Installation der Pegel in der Örtlichkeit auszupflocken. Die Messpegel sind durch punktuelle Anschüttung vor Einbau des Sandkerns in der Lage zu stabilisieren.

Für die Erfassung der Lageänderungen im Sohlbereich ist der Einbau von Setzungspegeln in der Trassenachse des Damms geplant, mit dem die maximalen Setzungen erfasst werden können. Da insgesamt 6 Aufbauvarianten vorgesehen sind, werden sechs Setzungspegel erforderlich. Ergänzt werden die Setzungspegel durch parallel gesetzte Messpunkte am Dammfuß, bei denen neben der Setzung auch die eventuelle seitliche Lageverschiebung mit erfasst werden sollen. Die seitlichen Messpunkte werden durch die bauausführende Firma erstellt und eingemessen. Für die Randgrabenbereiche mit nur geringer Überschüttung sind jeweils ergänzende Messpunkte vorzusehen. In Summe sind deshalb 18 Messpunkte am Dammfuß einzuplanen. Es wird zu Beginn eine tägliche Messwerterfassung vorgeschlagen, die bei Abklingen der Setzungen auf einen wöchentlichen bzw. vierzehntägigen Rhythmus ausgedehnt werden kann.

Im Zuge der Konsolidierung der Weichschichten wird u.a. das Porenwasser aus den Torfen und dem Kleiboden herausgepresst. Der Porenwasserdruck soll deshalb durch Messwertaufnehmer kontinuierlich über Datenlogger zu erfasst werden. Es sollte mindestens drei Querschnitte (Variante 1, 2, 3, vgl. Tab. 1) erfasst werden. Die Einbautiefe ist vorläufig auf UK Weichschicht (Schichtenwechsel) in der Trassenachse und ca. Mitte der Weichschicht im Randbereich vorgesehen. Gemäß Abbildung 5 ist die UK Weichschicht im Bereich von 3,5 m bis 6 m u. GOK zu erwarten. Der Pegelstand der benachbarten Grundwassermessstelle soll ebenfalls erfasst werden. Hier ist ebenfalls der Einsatz eines Datenloggers möglich oder aber eine (zum Beginn der Maßnahme) mindestens tägliche Messung des Pegelwasserstandes.

Ergänzend ist vorgesehen, Bodenkennwerte, wie die undrained Scherfestigkeit ( $c_u$ ), zu bestimmen. Dazu werden Feldflügelsondierungen über 4 Tiefenstufen vor Baubeginn und zum Abschluss der Bauarbeiten am Versuchsfeld durchgeführt.

## 7.6 Dokumentation

Die Erfahrungen aus dem Versuchsfeld sind vollumfänglich zu erfassen und zu dokumentieren. Neben den Messungen gemäß Kapitel 7.5 sind dies u.a. die Kontrollmessungen zur Verdichtung, die Erfassung der eingesetzten Geräte und Witterungsbedingungen sowie eine Fotodokumentation der Durchführung der Arbeiten.

Verantwortlich für die Dokumentationen sind die jeweils ausführenden Firmen. Der Umfang der Dokumentation durch die bauausführende Firma ist in der Konzeptfortschreibung des AN mit zu erfassen.

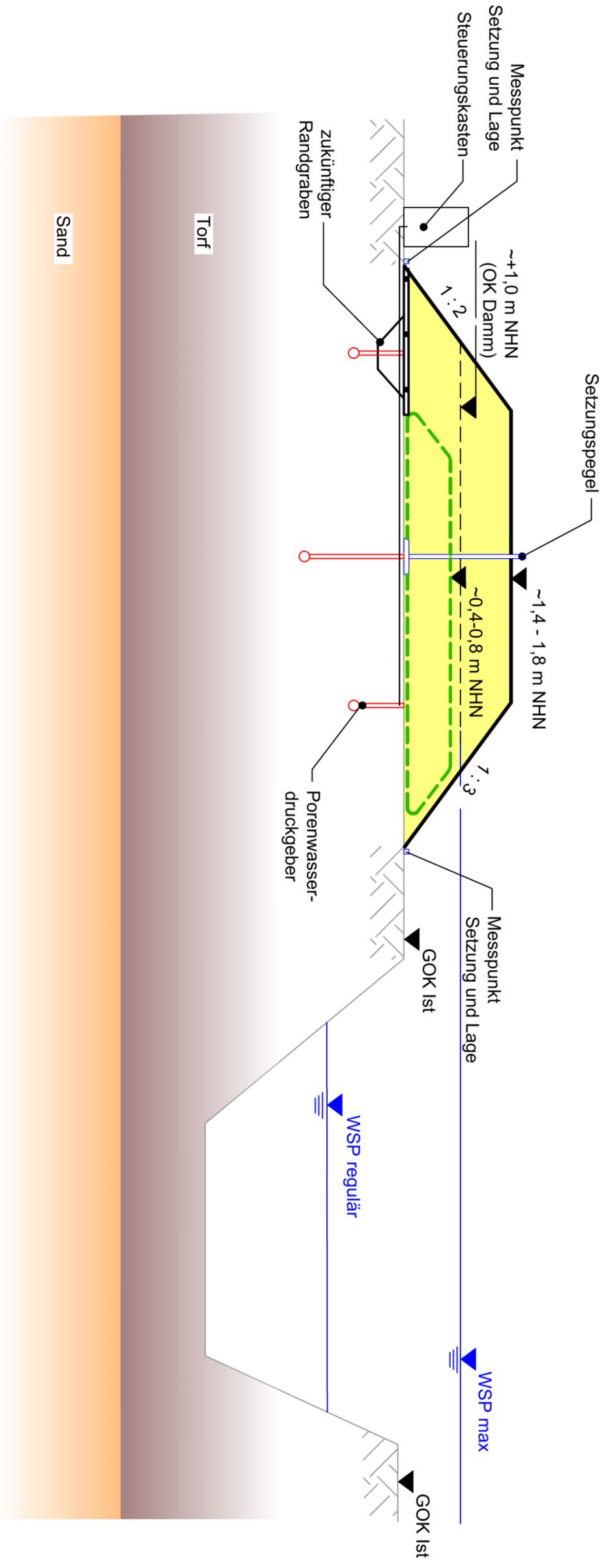
Hamburg, den 12.12.2022 / 25.01.2023

**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**



Dipl.-Ing. Alexander von Kopylow

gez. Zhirnova  
Iana Zhirnova, B. Eng.



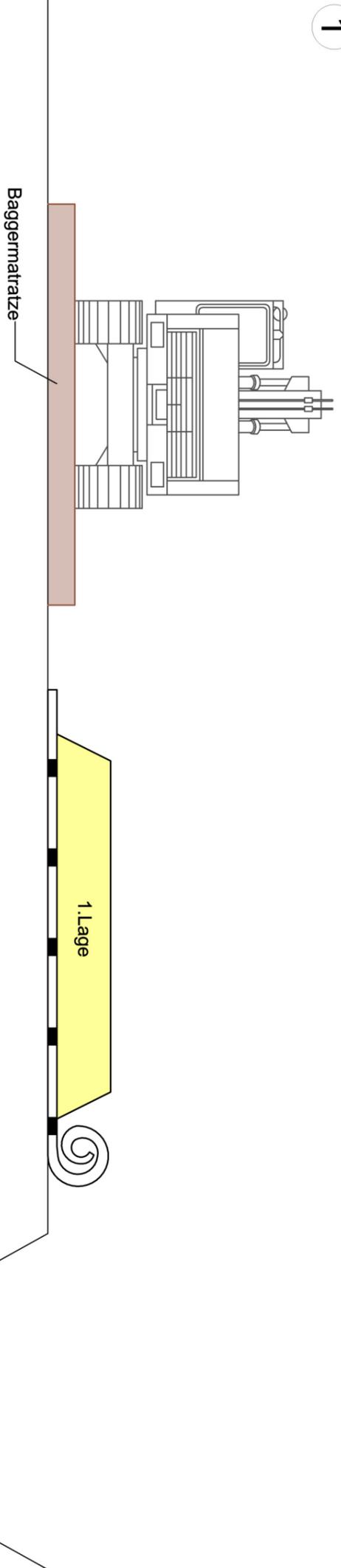
- Legende:**
- Planung
  - Bestand
  - Bewehrungsgewebe (Stablenka o. glw.), eingeschlagen
  - Vlies
  - Sandkern



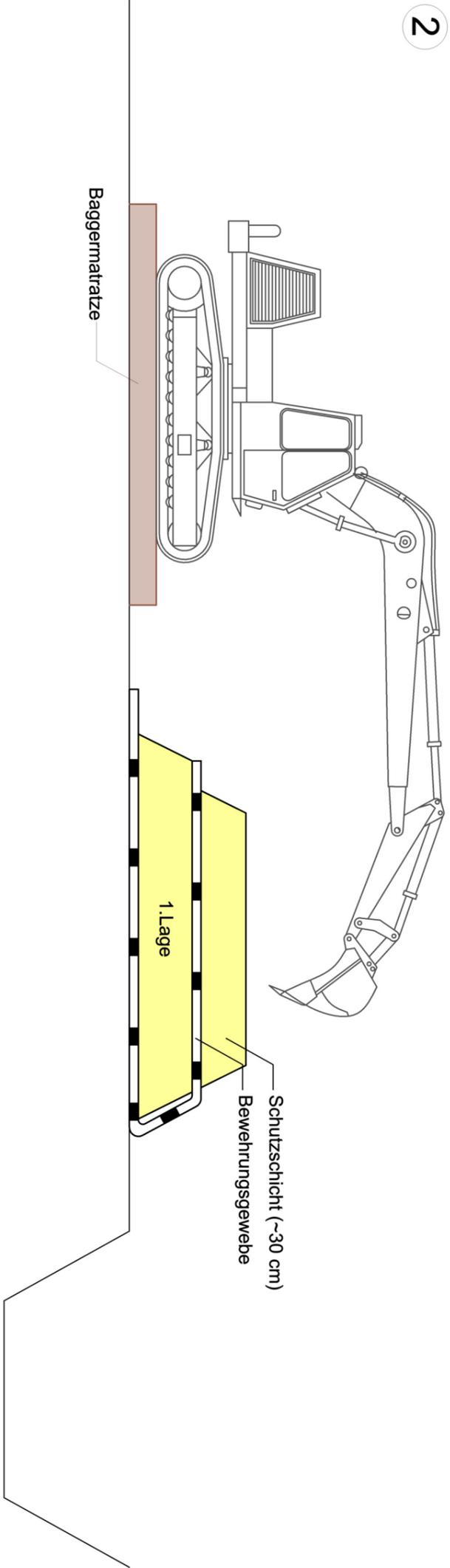
Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Sachsenstraße 4-8, 20097 Hamburg

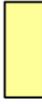
Auftraggeber	STORAG Etzel GmbH Beim Postweg 2, 26446 Friedeburg	Anlage 1
Projekt	Eindeichung der Schiffsbalje, Etzel	
Titel	Prinzipskizze Versuchsfeld (großer Abstand zur Schiffsbalje)	
Datum	Plangröße	Bearbeiter
11.11.2022	DIN A3	IZ/IB
		Projektnummer
		10 901
		Maßstab
		ohne

1



2



**Legende:**  
 Sandkern



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
 Sachsenstraße 6, 20097 Hamburg

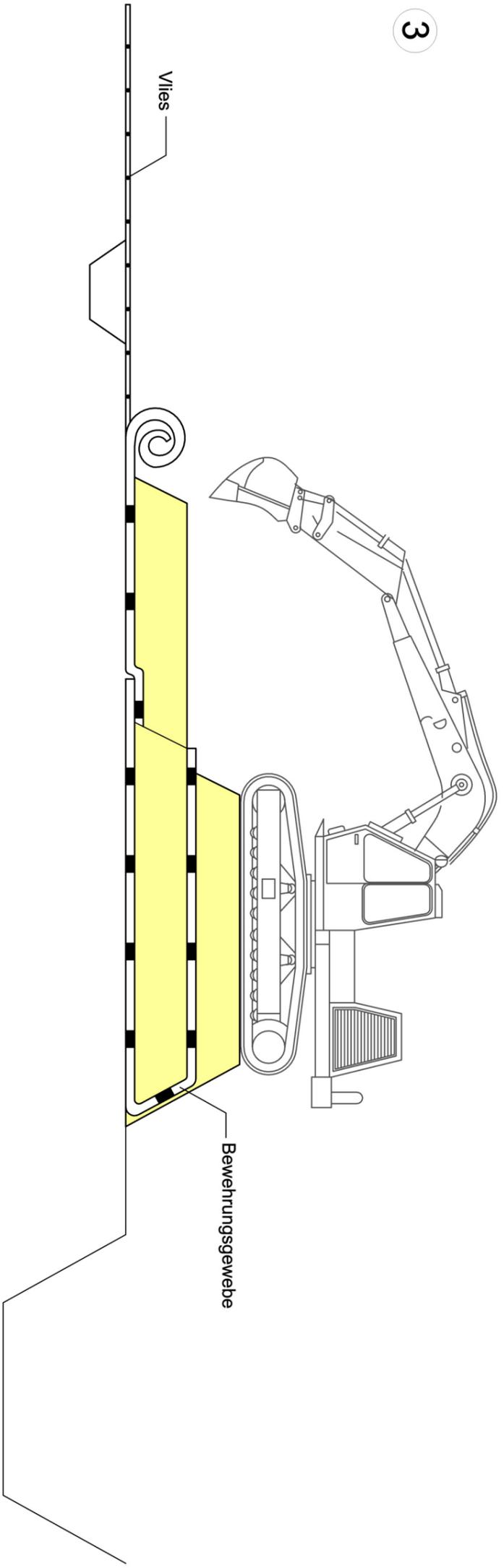
Auftraggeber	STORAG Etzel GmbH Beim Postweg 2, 26446 Friedeburg	<b>Anlage 2.1</b>
Projekt	Eindeichung der Schiffsballe, Etzel	

Titel	Möglicher Bauablauf Prinzipskizze
-------	--------------------------------------

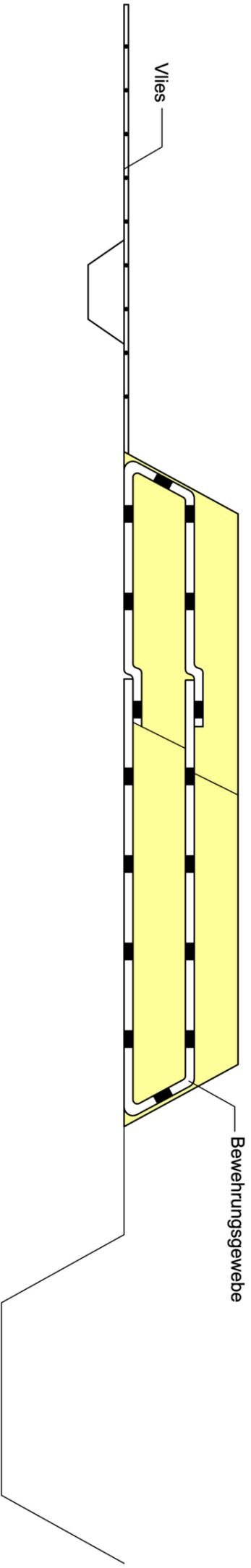
Datum	Plangröße	Bearbeiter	Projektnummer	Maßstab
-------	-----------	------------	---------------	---------

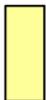
10.11.2022	420 x 297 mm	IZ/AVK	10 901	ohne
------------	--------------	--------	--------	------

3



4



**Legende:**  
 Sandkern



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
 Sachsenstraße 6, 20097 Hamburg

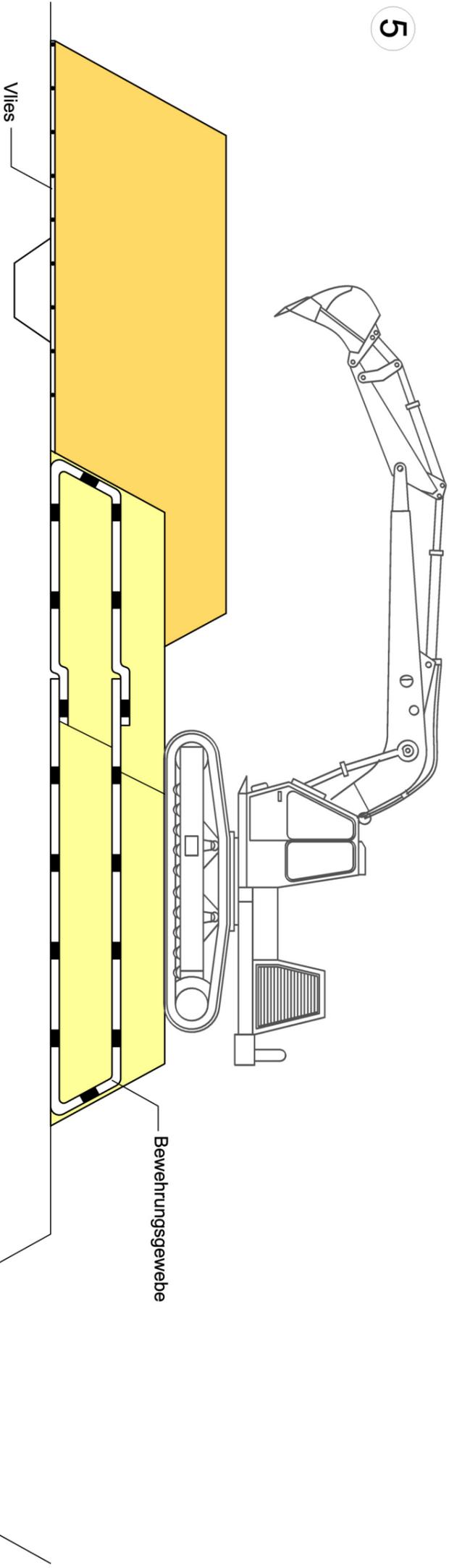
Auftraggeber	STORAG Etzel GmbH Beim Postweg 2, 26446 Friedeburg	<b>Anlage 2.2</b>
--------------	---	-------------------

Projekt	Eindeichung der Schiffsballe, Etzel
---------	-------------------------------------

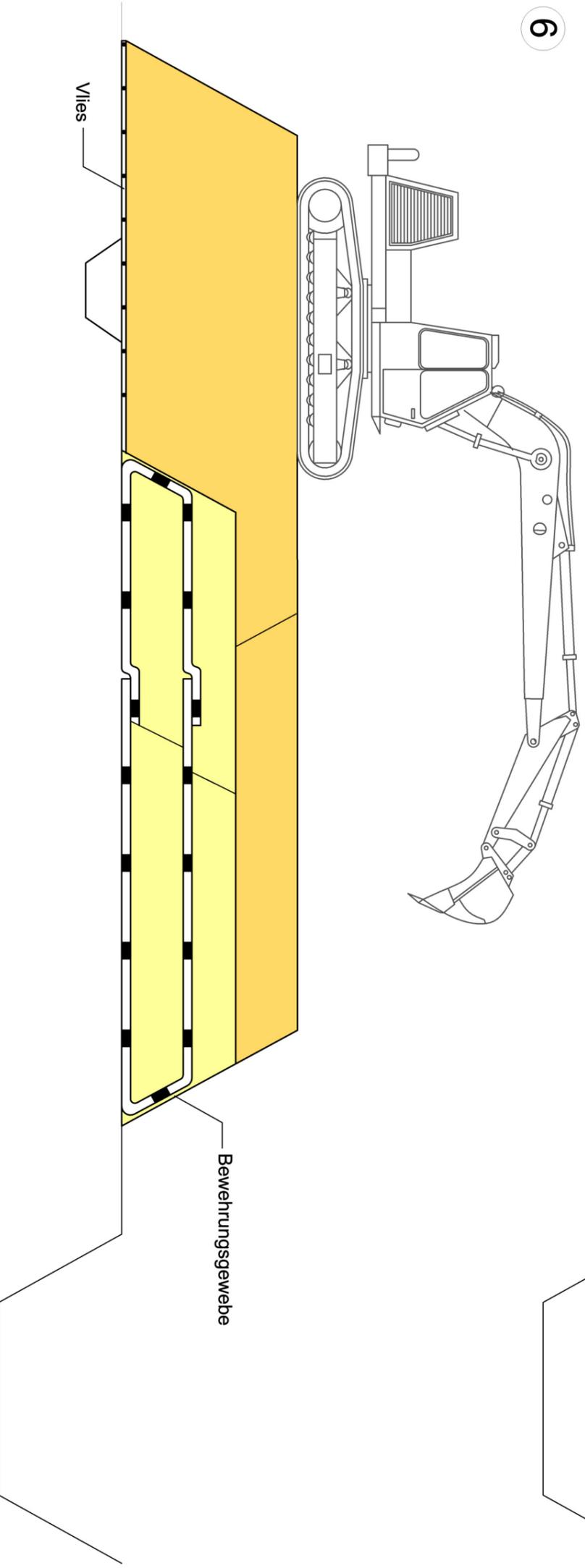
Titel	Möglicher Bauablauf Prinzipskizze
-------	--------------------------------------

Datum	10.11.2022	Plangröße	420 x 297 mm	Bearbeiter	IZ/AVK	Projektnummer	10 901	Maßstab	ohne
-------	------------	-----------	--------------	------------	--------	---------------	--------	---------	------

5



6



- Legende:**
- Sandkern
  - Sandkern Überschüttung



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
 Sachsenstraße 6, 20097 Hamburg

Auftraggeber	STORAG Etzel GmbH Beim Postweg 2, 26446 Friedeburg	<b>Anlage 2.3</b>
Projekt	Eindeichung der Schiffsballe, Etzel	

Titel	Möglicher Bauablauf Prinzipiskizze			
Datum	Plangröße	Bearbeiter	Projektnummer	Maßstab
10.11.2022	420 x 297 mm	IZ/AVK	10 901	ohne