

SuedLink

BBPIG-Vorhaben 3, HGÜ-Verbindung Brunsbüttel - Großgartach
BBPIG-Vorhaben 4, HGÜ-Verbindung Wilster - Bergrheinfeld/West
Leitung-Nr.: LH-16-10001 / LH-16-10002

Vorhabenträger:



Ersteller:



ILF Beratende Ingenieure GmbH:
Werner-Eckert-Str. 7
81829 München

DokumentenzahlNr.: A100-ILF-002054-MA-DE

Planfeststellung

**Planfeststellungsabschnitt A2
von km 0+000 bis 8+589**

Unterlagen nach § 21 NABEG

PLANÄNDERUNG I

**Teil L06.3
Wasserhaltungskonzept - Trasse**

00	28.06.2022	Unterlage nach § 21 NABEG	Rehren, Reich	Kerndter	Rieder
01	27.01.2023	Deckblatt I	Rehren	Kerndter	Pfeiffer
02	31.03.2026	PLANÄNDERUNG I	Heuberg- Hinckel	Zwinger	Bruchmann
Vers.	Datum	Ausgabe	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	5
Anhang- und Anlagenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis.....	6
1 Einleitung	8
1.1 SuedLink	8
1.2 Einordnung der Unterlage	8
1.3 Inhalt und Zweck des Dokuments.....	8
1.4 Rechtlicher und fachlicher Rahmen.....	9
1.4.1 Wasserhaushaltsgesetz (WHG).....	9
1.4.2 Länderspezifische Regelungen.....	9
1.5 Datengrundlagen.....	10
1.6 Methodik und Vorgehensweise	10
1.7 Methodik der geotechnischen und geohydraulischen Berechnungen	12
1.7.1 Auftriebssicherheit hinsichtlich hydraulischen Grundbruchs.....	12
1.7.2 Auftriebssicherheit hinsichtlich Aufschwimmens	12
1.7.3 Setzungsberechnungen.....	15
1.7.4 Berechnungen zur Wasserhaltung.....	16
2 Bauzeitliches Wasserhaltungskonzept	20
2.1 Randbedingungen.....	20
2.1.1 Flächennutzung	20
2.1.2 Bauvorhaben und Einteilung in Bauabschnitte.....	20
2.1.3 Meteorologische Einflüsse	22
2.2 Hydrogeologische und hydrologische Verhältnisse	22
2.2.1 Baugrundbeschreibung.....	22
2.2.2 Charakteristische Bodenkennwerte	23
2.2.3 Wasserstände	23
2.2.3.1 Stau-/Grundwasserkörper.....	23
2.2.3.2 Oberflächenwasserkörper.....	25
2.2.3.3 Schutzgebiete.....	25
2.2.3.4 Bauzeitl. Bemessungswasserstände.....	25
2.3 Wasserbeschaffenheit (Chemische Wasseranalytik).....	25
2.3.1 Stau-/Grundwasserkörper.....	25
2.3.1.1 SH Seite	25
2.3.1.2 NI Seite.....	25

2.3.2	Oberflächenwasserkörper.....	25
2.3.2.1	SH Seite	25
2.3.2.2	NI Seite.....	25
2.3.3	Bewertung Analytik zur Einleitung in die öffentliche Vorflut.....	26
2.4	Grundlegende Konzeptionsvarianten zur Wasserhaltung	26
2.4.1	Art der Wasserhaltungsmaßnahmen	26
2.4.1.1	Offene Wasserhaltung	26
2.4.1.2	Geschlossene Wasserhaltung	27
2.4.2	Voraussichtliche Dauer der Wasserhaltungsmaßnahmen.....	27
3	Offene Wasserhaltung an Verkehrs- und BE-Flächen	28
4	Bauabschnittsbezogene Wasserhaltungskonzepte.....	28
4.1	Bemessungsprofile mit Bemessungswasserständen	28
4.2	Absenkziele.....	34
4.3	Hydraulische Berechnungen	34
4.3.1	Auftriebssicherheit	34
4.3.2	Absenkung des gespannten Grundwassers.....	36
4.3.2.1	Randbedingungen	36
4.3.2.2	Ergebnisse der Untersuchungen.....	39
4.3.3	Absenkung von oberflächennahem Grundwasser.....	42
4.3.3.1	Randbedingungen	42
4.3.3.2	Ergebnisse der Untersuchungen.....	43
4.3.4	Ableitung von Niederschlagswasser	45
4.3.4.1	Randbedingungen	45
4.3.4.2	Ergebnisse der Untersuchungen.....	46
4.4	Erforderliche Wasserhaltungsmaßnahmen.....	48
4.5	Einleitung in Vorflut/Siel/Re-Infiltration	49
4.5.1	Wassermengen der gesamten Wasserhaltungsmaßnahmen.....	49
4.5.1.1	SH Seite	49
4.5.1.2	NI Seite.....	50
4.5.2	Bewertung Analytik.....	51
4.5.2.1	SH Seite	51
4.5.2.2	NI Seite.....	52
4.5.3	Einleitstellen	54
4.5.3.1	SH Seite	54
4.5.3.2	NI Seite.....	54
4.6	Auswirkungen auf das Umfeld der Baumaßnahme.....	55
4.6.1	Nachbarbebauung	55
4.6.2	Grundwasserströmung	56

4.6.3	Einfluss auf Flora und Fauna	57
4.6.4	Grundwasserentnahmen	57
4.7	Monitoringkonzept.....	57
4.8	Empfehlungen und Hinweise.....	59
5	Verzeichnisse.....	61
5.1	Literaturverzeichnis	61
5.2	Quellenverzeichnis.....	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Planfeststellungsspezifische Datengrundlagen.....	10
Tabelle 2:	Übersicht der einzelnen Bauabschnitte mit detaillierter Schilderung der Bauweisen.....	20
Tabelle 3:	Übersicht der einzelnen Bauabschnitte als Grundlage der Berechnungen.....	21
Tabelle 4:	Charakteristische Bodenkennwerte	23
Tabelle 5:	Bemessungsprofile für Auftriebs- und Wassermengenberechnungen in Bereichen mit offener Bauweise	29
Tabelle 6:	Bemessungsprofile für Setzungsberechnungen in Bereichen mit Absenkungen / Grundwasserentspannungen.....	30
Tabelle 7:	Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März.....	31
Tabelle 8:	Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen und Wassermengen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September und für die Setzungsberechnungen	33
Tabelle 9:	Datengrundlage der Berechnungen: OK Gelände, OK Leerohr/ OK Kabel und Aushubsohle.....	34
Tabelle 10:	Übersicht der Ergebnisse der Auftriebsberechnungen	35
Tabelle 11:	Eingangsdaten für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März.....	37
Tabelle 12:	Eingangsdaten für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September.....	38
Tabelle 13:	Eingangsdaten für die Wassermengenberechnung in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September.....	39
Tabelle 14:	Berechnungsergebnisse für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März	40
Tabelle 15:	Berechnungsergebnisse für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September.....	40
Tabelle 16:	Berechnungsergebnisse für die Wassermengenberechnung in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September.....	41
Tabelle 17:	Wassermengenabschätzung bei einer Betriebsdauer von 2 Monaten in der sturmflutfreien Zeit 1. April bis 14. September	42

Tabelle 18:	Eingangsdaten für die Wassermengenberechnung der offenen Wasserhaltung	42
Tabelle 19:	Berechnungsergebnisse Wassermengenberechnung der offenen Wasserhaltung.....	43
Tabelle 20:	Wassermengenabschätzung bei einer Betriebsdauer von 2 Monaten.....	44
Tabelle 21:	Eingangsdaten für die Wassermengenberechnung der Niederschlagsmengen	46
Tabelle 22:	Berechnungsergebnisse Wassermengenberechnung der Niederschläge	47
Tabelle 23:	Übersicht Förderraten	47
Tabelle 24:	Art der erforderlichen Entwässerung bei offener Bauweise.....	48
Tabelle 25:	Wassermengen der einzelnen Wasserhaltungsmaßnahmen in SH.....	50
Tabelle 26:	Wassermengen der einzelnen Wasserhaltungsmaßnahmen in NI	50
Tabelle 27:	Mischwasserkalkulation zur Einleitung in die Hollerwetteren.....	52
Tabelle 28:	Vergleich Mittelwert GW-Analysen mit behördlich vorgegebenen Einleitwerten	53
Tabelle 29:	Übersicht der Auswirkungen auf die Nachbarbebauung in einer Entfernung x zum Graben.....	55
Tabelle 30:	Übersicht der Auswirkungen auf die Grundwasserströmung.....	57
Tabelle 31:	Übersicht der Beweissicherungsmaßnahmen	59
Tabelle 32:	Übersicht der Empfehlungen und Hinweise	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispiel für das Aufschwimmen einer Sohle (Quelle: Steinfeld und Partner, 2007).....	13
Abbildung 2:	Skizze zum Berechnungsmodell unter Berücksichtigung von Scherkräften im Weichboden	14
Abbildung 3:	Prinzipskizze Grundwasserhaltung/-entspannung mit Brunnen im Grundriss	17
Abbildung 4:	Prinzipskizze Grundwasserabsenkung/-entspannung mit Brunnen im Schnitt.....	17
Abbildung 5:	Prinzipskizze Grundwasserhaltung/-entspannung mit Vakuumfilterlanzen im Grundriss.....	18
Abbildung 6:	Prinzipsskizze Grundwasserabsenkung/-entspannung mit Vakuumfilterlanzen im Schnitt.....	18
Abbildung 7:	Prinzipskizze offene Wasserhaltung im Schnitt.....	19
Abbildung 8:	Prinzipskizze offene Wasserhaltung bei Graben 1 im Grundriss	19

Anhang- und Anlagenverzeichnis

Anlage 01	Lageplan
Anhang 01	Wasserhaltung Bauabschnitt PFA A2
Anhang 02	Dämpfungsfaktoren
Anhang 03	freibleibend
Anhang 04	Auftriebsberechnung
Anhang 05	Wassermengenberechnung

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BA	Bauabschnitt
BBPIG	Bundesbedarfsplangesetz
BGU	Baugrunduntersuchung
fTK	festgelegter Trassenkorridor
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
GWM	Grundwassermessstelle
GWST	Grundwasserstauer
h	hour (Stunde)
HDD	Horizontal Directional Drilling
ILF	Ingenieurgemeinschaft Lässer- Feizlmayr (ILF Beratende Ingenieure GmbH)
km	Kilometer
kN	Kilonewton
l	Liter
LWG	Landeswassergesetz
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume
mg	Milligramm
mm	Millimeter
mon	Monat
NHN ± m	Meter Normalhöhennull
MTnw	Mittleres Tideniedrigwasser
MThw	Mittleres Tidehochwasser
MN	Meganewton
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
NABEG	Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz
NI	Niedersachsen

Abkürzung	Erläuterung
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
PFA	Planfeststellungsabschnitt
rd.	rund
S	Sekunde
SH	Schleswig-Holstein
SL	SuedLink
T	Tonne
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

1 Einleitung

1.1 SuedLink

SuedLink ist ein Netzausbauprojekt des Stromübertragungsnetzes, das als Erdkabel-Verbindung geplant wird. SuedLink besteht aus je einer Verbindung zwischen Brunsbüttel in Schleswig-Holstein und Großgartach in Baden-Württemberg (diese Verbindung wird in der Anlage zum Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG) als „Vorhaben Nr. 3“ geführt) sowie zwischen Wilster in Schleswig-Holstein und Bergrheinfeld/West in Bayern (diese Verbindung wird in der Anlage zum BBPlG als „Vorhaben Nr. 4“ geführt). Rechtlich handelt es sich um zwei eigenständige Vorhaben, für die jeweils eigene Anträge auf Planfeststellungsbeschluss gestellt wurden. SuedLink ist in 15 Planfeststellungsabschnitte unterteilt. Die gegenständliche Unterlage ist Bestandteil der Unterlagen gem. § 21 NABEG zum Planfeststellungsabschnitt A2.

Für weitergehende Informationen zu SuedLink und zum Planfeststellungsverfahren wird auf die Kapitel 0 ff im Teil A01 der Unterlagen gem. § 21 NABEG verwiesen.

1.2 Einordnung der Unterlage

Das vorliegende Dokument Teil L06.3 – „Wasserhaltungskonzept“ ist Bestandteil der Unterlagen nach § 21 NABEG für SuedLink im Planfeststellungsabschnitt A2.

Die technische Planung von SuedLink mit dem Teil C „Technik und Trassierung“, sowie das hydrogeologische Fachgutachten (Teil L06.1) und das hydrologische Fachgutachten (Teil L06.2) bilden die Grundlage für das abschnittsspezifische Wasserhaltungskonzept (Teil L06.3). Es entspricht einem bauzeitlichen Entwässerungskonzept zum Einbau der Kabel. Die vorliegende Unterlage bildet eine Grundlage für die Beantragung der wasserrechtlichen Erlaubnisse für Absenkung von Grundwasser und für die Einleitung des geförderten Wassers in ein Gewässer gemäß Unterlage Teil K02 – „Voraussetzungen für wasserrechtliche Zulassungen“.

1.3 Inhalt und Zweck des Dokuments

Das vorliegende Dokument beinhaltet die Planungen der bauzeitlichen Wasserhaltungsmaßnahmen zur Trockenhaltung und ggf. Auftriebssicherung von Baugruben innerhalb des Planfeststellungsabschnitts A2 (**Absenkung**).

Es behandelt weiterhin den Umgang mit dem entnommenen Wasser hinsichtlich Aufbereitung und **Einleitung**.

Die zu erwartenden **Auswirkungen** im Umfeld hinsichtlich Nachbarbebauung, Grundwasserströmung, Flora und Fauna werden kurz betrachtet, weiterführende Betrachtungen hierzu werden in den gleichzeitig erstellten Unterlagen Teil L06.1 und Teil L06.2 gemacht.

Das Wasserhaltungskonzept (Teil L06.3) detailliert die allgemeine Beschreibung der Wasserhaltung in Teil C01 „Technik und Trassierung“ (siehe Kapitel 2.1.5.7 „Wasserhaltung“) und beschreibt auf Basis der hydrogeologischen und hydrologischen Fachgutachten (Teil L06.1 und L06.2) das konkrete Wasserhaltungskonzept für die Baumaßnahmen im vorliegendem Planfeststellungsabschnitt von SuedLink.

Für das Tunnelbauwerk ElbX können die für die dortige Wasserhaltung erforderlichen Themen in den Unterlagen Teil L06.4 „Hydrogeologisches Gutachten mit relevanten hydrologischen Angaben – ElbX“ und Teil L06.5 „Prozesswasserbericht ElbX“ entnommen werden. Die bauzeitliche Oberflächenentwässerung wird im Teil K01 beschrieben.

Da der niedersächsische Trassenabschnitt unmittelbar nach Fertigstellung der Elbquerung bearbeitet werden soll, wird für das hier anfallende Förderwasser abstimmungsgemäß die Reinigungsanlage des ElbX-Projektes Teil L06.5 weiter genutzt.

1.4 Rechtlicher und fachlicher Rahmen

Der rechtliche Rahmen für das Wasserhaltungskonzept leitet sich im Wesentlichen aus dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) ab und wird grundsätzlich in der Unterlage „Voraussetzungen für Wasserrechtliche Zulassungen“ (Teil K02) erläutert.

1.4.1 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

Aus dem WHG sind unter anderem nachfolgende Paragraphen für das Wasserhaltungskonzept relevant:

- § 9 WHG – Benutzungen
- § 25 WHG - Gemeingebrauch
- § 32 WHG - Reinhaltung oberirdischer Gewässer
- § 33 WHG - Mindestwasserführung
- § 36 WHG - Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern
- § 38 WHG – Gewässerrandstreifen
- § 46 WHG – Erlaubnisfreie Benutzungen des Grundwassers
- § 47 WHG - Bewirtschaftungsziele für das Grundwasser
- § 48 WHG - Reinhaltung des Grundwassers
- § 57 WHG - Einleiten von Abwasser in Gewässer
- § 62 WHG - Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

1.4.2 Länderspezifische Regelungen

Ergänzend zu den vorgenannten Regelungen sind unter anderem folgende länderspezifische Paragraphen zu beachten

Schleswig-Holstein (Landeswassergesetz LWG):

- § 13 LWG – Erlaubnisfreie Benutzungen
- § 18 LWG - Gemeingebrauch
- § 23 LWG – Anlagengenehmigung
- § 26 LWG – Gewässerrandstreifen
- § 37 LWG – Unterhaltung von Anlagen in und an Gewässern

Niedersachsen (Niedersächsisches Wassergesetz NWG):

- § 32 NWG – Arten und Zulässigkeit des Gemeingebrauchs
- § 57 NWG – Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern, Aufschüttungen und Abgrabungen
- § 58 NWG – Gewässerrandstreifen
- § 86 NWG – Erlaubnisfreie Benutzungen des Grundwassers

1.5 Datengrundlagen

Wesentlich für die Erstellung des Wasserhaltungskonzeptes sind Daten über das Bauvorhaben und die hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse.

Tabelle 1: Planfeststellungsspezifische Datengrundlagen

Datentyp, Bezeichnung	Wesentliche Inhalte
Technik und Trassierung (siehe Unterlage Teil C)	Technische Angaben zum Vorhaben mit Angaben zum Bau der Kabel, Arbeits- und Bauablauf inklusive Wasserhaltung, Kreuzungen mit Gewässern, Drainagen und Bewässerungssystemen.
Rechtserwerbsplan und Rechtserwerbsverzeichnis (siehe Unterlage Teil D)	Kabeltrasse, Nebenbauwerke, Zuwegungen, Lagerplätze und Versickerungsflächen
Hydrogeologisches Fachgutachten (siehe Unterlage Teil L06.1)	Geohydraulische Kennwerte; GW-Gleichenpläne GW-Ganglinien, flächendeckende hydrogeologische Informationen entlang der Kabeltrasse
Hydrologisches Fachgutachten (siehe Unterlage Teil L06.2)	Meteorologische Daten; Kennwerte Oberflächengewässer; Überschwemmungsgebiete
Erkundungsbohrungen im Rahmen der BGU / Geotechnischen Untersuchungen (siehe Unterlagen Teil L01.1 und L01.2)	Aufbau der Deckschichten und des oberflächennahen Untergrundes; Wasseranschnitte (Grundwasser oder Stauwasser)
Grundwassermessstellen und -bohrungen im Bereich PFA A2	Grundwasserstände; Geohydraulische Daten; Grundwasserganglinien Grundwasserqualität
Bauwerksplanung	Trassenführung; Tiefenlage; Bauverfahren

1.6 Methodik und Vorgehensweise

Mit dem vorliegenden bauzeitlichen Entwässerungskonzept werden Trockenhaltungs- und Sicherungsmaßnahmen dargestellt, die eine Verlegung der Kabel in einer trockenen und auftriebssicheren Baugrube ermöglichen. Dazu werden die Datengrundlagen aus Kapitel 1.5 ausgewertet.

Der Planfeststellungsabschnitt A2 wird hinsichtlich der geologischen Unterschiede und den daraus resultierenden verschiedenen Bauverfahren in spezifische Bauabschnitte unterteilt. Für jeden Bauabschnitt wird ein auf das Bauverfahren abgestimmtes Wasserhaltungskonzept entwickelt, welches einen möglichst geringen und kontrollierten Einfluss auf das Grundwasserregime aufweist. Hinsichtlich der bauzeitlichen Wasserhaltung sind die Bereiche mit offener Grabenbauweise relevant. Hier wird geprüft, ob diese Bereiche eine Grundwasserabsenkung oder eine Grundwasserentspannung benötigen.

Eine Grundwasserentspannung ist nur dort erforderlich, wo die organischen Weichböden mit der Grabensohle nicht durchtrennt werden und der Weichboden durch von unten drückendem Grundwasser aufschwimmen kann. Dieses Problem tritt nur bei einem ungünstigen Verhältnis zwischen Weichschichtmächtigkeit, Grabentiefe und Grabenbreite auf.

Oberflächennahes Stauwasser ist hingegen in allen Bereichen des Abschnitts PFA A2 zu erwarten.

Für die Beurteilung einer Grundwasserentspannung sind folgende Berechnungen erforderlich:

- Ermittlung der Sicherheit gegen Aufschwimmen der Grabensohle unter Nutzung eines Berechnungsmodells mit Berücksichtigung von haltenden Scherkräften des Bodens (siehe Abschnitt 1.7.1).
- o Damit werden Bereiche festgelegt, in denen bei offener Bauweise eine Grundwasserentspannung erforderlich ist.
- Ermittlung der maximalen Wasserfördermenge jeweils getrennt für die Sturmflutzeit vom 15. September bis 30. März und die sturmflutfreie Zeit vom 01. April bis 14. September
- o Dient als Grundlage zur Auslegung der maximal erforderlichen Pumpenleistung
- Ermittlung der mittleren Wasserfördermenge und des mittleren Absenktrichters
- o Dient der Abschätzung von Einleitmengen
- Ermittlung von Setzungsauswirkungen

Eine Grundwasserabsenkung zur Herstellung des Grabens ist nur in den Bereichen erforderlich, in denen die organischen Weichschichten bei hoch anstehendem Grundwasser mit dem Graben durchtrennt werden und somit der wasserführende Sand an der Grabensohle ansteht.

Für die Beurteilung einer Grundwasserabsenkung sind folgende Berechnungen erforderlich:

- Festlegung des Absenkzieles, welches mit 0,5 m unterhalb der Aushubsohle definiert wird (UK Bettungsschicht der Kabel)
- Ermittlung der maximalen Wasserfördermenge jeweils getrennt für die Sturmflutzeit vom 15. September bis 30. März und die sturmflutfreie Zeit vom 01. April bis 14. September
- o Dient als Grundlage zur Auslegung der maximal erforderlichen Pumpenleistung
- Ermittlung der mittleren Wasserfördermenge und des mittleren Absenktrichters
- o Dient der Abschätzung von Einleitmengen
- Ermittlung von Setzungsauswirkungen

Basierend auf dem spezifisch ausgewählten Wasserhaltungskonzept je Bauabschnitt (z.B. Schwerkraftbrunnen) innerhalb des Planfeststellungsabschnitts werden die zu fördernden Wassermengen mit ihrem Einflussbereich auf das Umfeld des jeweiligen Bauabschnitts rechnerisch abgeschätzt.

Weiterhin wird die Qualität des Förderwassers hinsichtlich des Erfordernisses einer Wasseraufbereitung generell beurteilt und die Möglichkeiten der Einleitung dargestellt. Zusätzlich werden die Auswirkungen auf das Umfeld der Baumaßnahme (Nachbarbauwerke etc.) aufgeführt.

Im Ausblick auf die Ausführungsplanung ist die Entwicklung eines generelles Monitoringkonzept vorgesehen. Dabei werden sowohl Maßnahmen zur Beobachtung der Oberflächen- und Grundwasserstände als auch Beweissicherungsmaßnahmen einbezogen. Hierfür werden Erfordernisse zu Ortsbegehungen mit Fotodokumentationen, zum Zustand der Flora und Fauna sowie im Einflussbereich der Wasserhaltungsmaßnahmen liegenden Bauwerken vor Beginn, während und nach der Bauphase aufgezeigt. Außerdem werden die messtechnische Überwachung von ggf. erforderlichen zusätzlichen Grundwasserbeobachtungspegeln sowie von geodätischen Messpunkten und Setzungsmonitoren konkret geplant. Mit dem Monitoringkonzept werden Schwellenwerte festgelegt, bei deren Überschreitung zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden.

Das Wasserhaltungskonzept schließt mit Empfehlungen und Hinweisen ab, die im Hinblick auf die bauzeitliche Entwässerung zu beachten sind und für andere Unterlagen zur Planfeststellung berücksichtigt werden sollen.

1.7 Methodik der geotechnischen und geohydraulischen Berechnungen

1.7.1 Auftriebssicherheit hinsichtlich hydraulischen Grundbruchs

Der Nachweis hinsichtlich eines hydraulischen Grundbruchs ist für Baugruben mit durchströmbaren Böden (Sand) maßgebend, an deren Baugrubenrand ein hydraulisches Gefälle ansteht. Das ist für die im PFA A2 vorliegenden Verhältnisse nicht maßgebend.

1.7.2 Auftriebssicherheit hinsichtlich Aufschwimmens

Der Nachweis der Auftriebssicherheit ist für Bereiche zu führen, in denen sich die Aushubsohle innerhalb einer Weichschicht befindet. Das betrifft die offene Bauweise in SH und in Teilbereichen von NI. Er ist nicht maßgebend in den Teilen von NI, in denen mit der offenen Bauweise die organischen Weichschichten durchstoßen werden.

Mit Aufschwimmen bezeichnet man das Anheben einer undurchlässigen Bodenschicht infolge der hydrostatischen Auftriebskraft des Wassers. Ein Aufschwimmen tritt auf, wenn die Auftriebskraft des Wassers größer wird als das Eigengewicht der dichtenden Bodenschicht zusammen mit dem auf ihr liegenden Boden und dem darin enthaltenen Wasser.

Das klassische Berechnungsmodell zur Ermittlung der Sicherheit gegen Aufschwimmen enthält lediglich einen eindimensionalen Spannungsvergleich. Dabei wird die Unterkante der wasserstauenden Weichschicht in Art einer wasserundurchlässigen „Membran“ berücksichtigt. Unterhalb dieser „Membran“ drückt das Grundwasser mit seiner gesamten Wassersäule nach oben. Im Gegenzug drückt oberhalb der „Membran“ der wassergesättigte Boden mit seinem gesamten Gewicht nach unten. Das Bodengewicht wird dabei von Grabensohle bis Unterkante Weichschicht („Membran“) angesetzt.

Nachteil dieses weit verbreiteten klassischen Berechnungsmodells ist, dass zusätzlich wirkende haltende Scherkräfte innerhalb des Bodens unberücksichtigt bleiben.

Erste Vorberechnungen mit dem klassischen Berechnungsansatz ergaben, dass nahezu bei allen Weichschichtdicken eine Grundwasserentspannung erforderlich wäre,

was aber unrealistisch ist. Daher wurde nun ein Berechnungsmodell entwickelt, bei dem auch die haltenden Scherkräfte innerhalb des organischen Weichbodens berücksichtigt werden.

Die Grundüberlegung dazu beruht auf der Erfahrung, dass schmale Gräben in Moor-gebieten dann, wenn die Weichschichtmächtigkeit deutlich größer als die Grabenbreite ist, in der Regel nicht aufschwimmen. Breitere Aufgrabungen hingegen oder Gräben mit nur geringer Weichschichtmächtigkeit unterhalb der Grabensohle schwimmen durchaus auf, was schon oft zu schweren Schäden geführt hat. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für das Aufschwimmen einer Sohle einer flachen, breiten Baugrube im organischen Weichboden mit nachlaufendem Böschungsbruch. Die dort oberflächennah eingesetzte Kleinfiltervakuumanlage ist wirkungslos gegen Aufschwimmen der Sohle.



Abbildung 1: Beispiel für das Aufschwimmen einer Sohle (Quelle: Steinfeld und Partner, 2007)

Aus diesem Grund wurden in dem hier gewählten zweidimensionalen Berechnungsmodell zusätzlich zwei Scherfugen rechnerisch berücksichtigt. Entlang dieser Scherfugen, die sich senkrecht von der Aushubsohle bis zur Unterkante der Weichschicht ausbilden, wird als weitere haltende Kraft die charakteristische undrained Scherfestigkeit angesetzt, die dem Weichboden im Baugrundgutachten (Teil L01.1) zugewiesen wurde. Damit wird die Weichbodendicke berücksichtigt.

Um den abnehmenden Einfluss der Scherfugen mit zunehmender Grabenbreite zu berücksichtigen, wurden die eindimensional ansetzbaren Spannungen nun zweidimensional, als über die Einflussbreite wirkende Kräfte angesetzt. Sicherheitshalber wurde zusätzlich zur Grabenbreite an jedem Böschungsfuß ein Meter Zuschlag angesetzt, der ein Mit-Aufbrechen des unteren Böschungsbereiches berücksichtigt (siehe Skizze in Abbildung 2).

Bei dem gewählten Berechnungsmodell wird demnach berücksichtigt, dass die Gefahr des Aufschwimmens abnimmt, je größer die verbleibende Weichschicht unterhalb der Grabensohle ist und je schmaler der Graben ausgehoben wird.

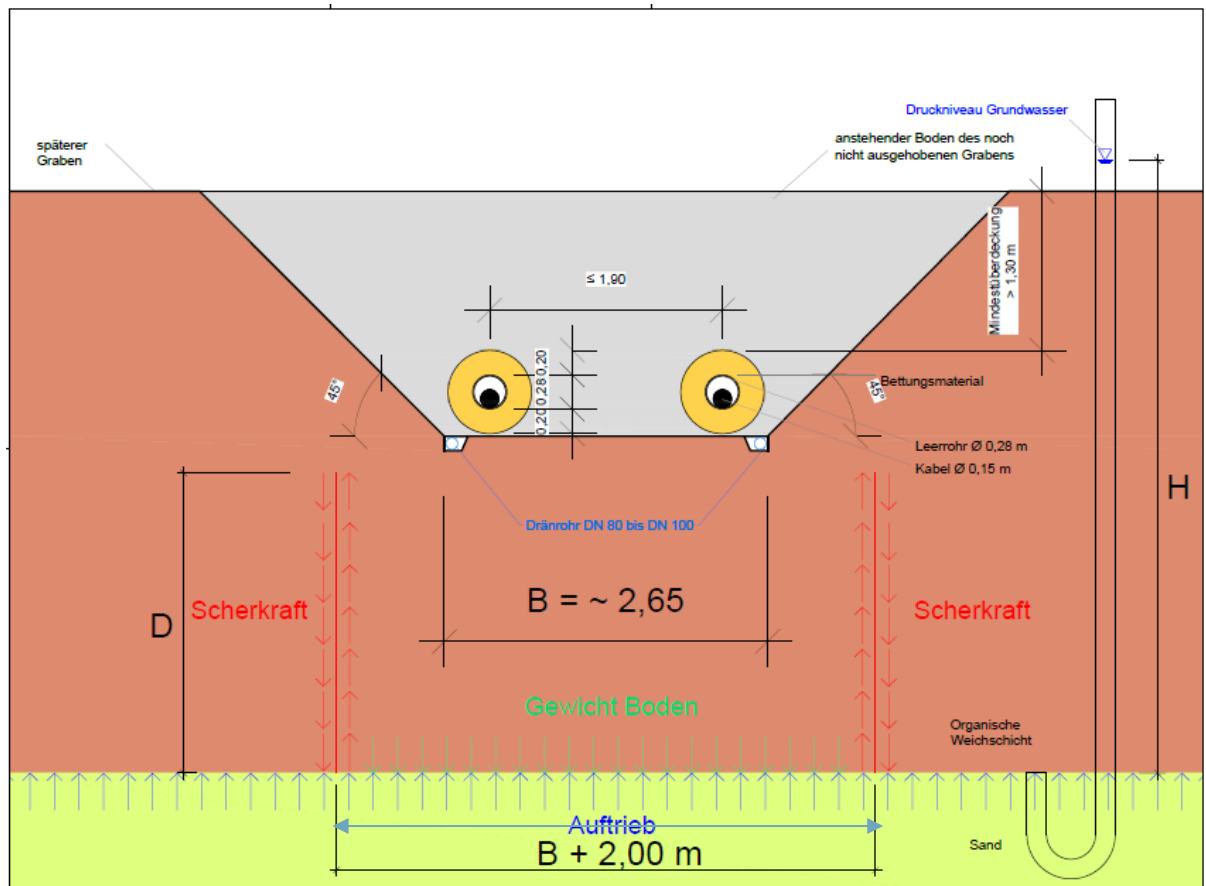


Abbildung 2: Skizze zum Berechnungsmodell unter Berücksichtigung von Scherkräften im Weichboden

Die Berechnungsformeln hierzu ergeben sich unter Berücksichtigung von Teilsicherheits- und Abminderungsfaktoren für haltende und treibende Kräfte gemäß EC7 und DIN 1054:

Haltend:	$G = \sum_{i=1}^n (\gamma_{s,i} \times D_i) \times (B + 2,0 \text{ m})$	(Bodengewicht mit γ_s als gesättigte Bodenwichte, B als Grabensohlenbreite und D als Weichschichtdicke)
	$\eta_z = 0,8$	(Abminderungsfaktor für Scherkraft c_u nach DIN 1054, Abs. A10.2.2 in Bemessungssituation BS-T)
	$\eta_z = 0,9$	(Abminderungsfaktor Scherkraft c_u nach DIN 1054, Abs. A10.2.2 in Bemessungssituation BS-A)
	$S = 2 \times \sum_{i=1}^n (c_{u,i} \times \eta_z \times D_i)$	(Scherkraft mit c_u als undrained Scherfestigkeit)
	$\gamma_{G,stb} = 0,95$	(Teilsicherheitsbeiwert stabilisierend, Bemessungssituationen BS-T und BS-A)
Treibend:	$W = H \times (B + 2,0 \text{ m})$	(Wasserkraft mit H als Wassersäulenhöhe)
	$\gamma_{G,dstb} = 1,05$	(Teilsicherheitsbeiwert destabilisierend, Bemessungssituation BS-T)
	$\gamma_{G,dstb} = 1,00$	(Teilsicherheitsbeiwert destabilisierend, Bemessungssituation BS-A)
Ausnutzungsgrad:	$\mu = \frac{G \times \gamma_{G,stb} + S \times \eta_z}{W \times \gamma_{G,dstb}}$	(zulässig: $\mu \leq 1,0$)

Die Berechnungen wurden jeweils getrennt unter Ansatz der jeweiligen bauzeitlichen Bemessungswasserstände in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 30. März (Bemessungssituation BS-A) und in der sturmflutfreien Zeit vom 01. April bis 14. September (Bemessungssituation BS-T) durchgeführt.

Auf den zusätzlichen Ansatz von Gewölbewirkungen wurde bewusst verzichtet, weil wegen der in der Regel breiigen bis weichen Konsistenz der organischen Weichböden die Ausbildung eines tragfähigen Gewölbes nicht zu erwarten ist.

1.7.3 Setzungsberechnungen

Bei den Setzungsberechnungen wird berücksichtigt, dass der Boden historisch gesehen bereits Belastungen aus natürlichen Grundwasserschwankungen erfahren hat. Das heißt, wurden im Baufeld beispielsweise bereits Wasserstände von NHN - 0,8 m gemessen, so stellt eine Grundwasserabsenkung oder -entspannung bis auf ein Niveau höher als NHN - 0,8 m keine neue Belastungssituation für die Böden dar und es treten somit keine Setzungen auf. Hingegen stellt eine Grundwasserabsenkung oder -entspannung bis auf ein Niveau unter NHN - 0,8 m eine neue Belastungssituation für die Böden dar. Dann kann es zu Setzungen kommen.

Durch die Absenkung oder Entspannung des Grundwassers wird Boden allmählich nicht mehr unter Auftrieb stehen und damit ein höheres effektives Gewicht haben, was auf die darunter liegenden organischen Weichschichten drückt.

Die damit verbundenen Setzungen berechnen sich näherungsweise mit der allgemein in der Geotechnik bekannten Formel zu:

$$S = \frac{\Delta\sigma \times m}{E_s}$$

mit

$$\Delta\sigma = \gamma_w \times h$$

Hierbei bedeuten:

- s = Setzungen in m
- m = Mächtigkeit der organischen Weichschicht unterhalb des Absenkniveaus in m
- E_s = Steifemodul der organischen Weichschicht in kN/m²
- $\Delta\sigma$ = Spannungsdifferenz infolge effektiver Gewichtserhöhung in kN/m²
- h = Absenkhöhe Grundwasser
- γ_w = Wichte Wasser

1.7.4 Berechnungen zur Wasserhaltung

Die Berechnungen der Wasserhaltung wurden mit der Berechnungssoftware GGU-Drawdown, Version 4.15 durchgeführt. Der Berechnungsalgorithmus basiert hierbei auf dem Formelwerk der Unterlage /1/.

Die Berechnungen der Grundwasserabsenkung/-entspannung basieren aufgrund der langgestreckten Baugruben und geringen Absenkungen auf einer Reichweitenberechnung nach Weyrauch. Da die Brunnen oder Vakuumfilterlanzen nicht bis zur Unterkante des rund 20 m bis 40 m mächtigen Grundwasserleiters, sondern als sogenannte unvollkommene Brunnen nur wenige Meter in den Grundwasserleiter einbinden, werden die Wassermengen aufgrund des Zuflusses von unten mit einem erfahrungsgemäß erforderlichen Zuschlag von ca. 50% versehen.

Eine Grundwasserentspannung ist ein Eingriff in den Grundwasserkörper, der erfahrungsgemäß mit einfachen Modellbildungen nur grob abgebildet werden kann. So konnte mit den vorhandenen Eingangswerten zunächst nur ein einfaches stationäres Berechnungsmodell verwendet werden. Das Berechnungsprogramm ermittelt rechnerisch für eine im ersten Ansatz mit einer Formel abgeschätzten Reichweite eine dazugehörige Entnahmemenge. Das Ergebnis der Berechnung ist eine sehr grobe Abschätzung. Eine Verfeinerung des Berechnungsansatzes in Hinblick auf die Reichweitenermittlung ist ohne zusätzliche Eingangswerte nicht sinnvoll, da der Zusammenhang von Reichweite und Pumpmenge allein auf rechnerischem Weg nicht besser dargestellt werden kann. Berechnungsmodelle mit stationären Formeln sind ungeeignet, die Reichweite genauer zu bestimmen.

Eine genauere Reichweitenbetrachtung kann nur unter Zuhilfenahme sorgfältig geplanter Pumpversuche durchgeführt werden. Dabei wird eine Pumpe in einem Bohrloch installiert. Gleichzeitig erfolgt die hochpräzise Aufnahme von Messdaten in einer Galerie von Messstellen, die unterschiedliche Abstände zum Bohrloch haben. Aus solchen Versuchen werden zusätzliche Eingangsparameter wie Transmissivität T , Durchlässigkeitsbeiwert k und Speicherkoeffizient S gewonnen. Diese können dann mit instationären Berechnungen ausgewertet werden, abgeglichen auf die Dauer der Bauzeit.

Bei der Berechnung einer **Grundwasserentspannung bzw. absenkung mit tiefen Absenkbrunnen** werden gemäß Abbildung 3 und Abbildung 4 Brunnen betrachtet, die in Abständen von max. 25 m mittig zwischen beiden Gräben angeordnet werden. Das Absenkziel der Brunnen wird so eingestellt, dass für Bereiche, in denen sich die Aushubsohle innerhalb einer Weichschicht befindet, eine ausreichende Auftriebssicherheit vorhanden ist. Für Bereiche, in denen sich die Aushubsohle unterhalb einer Weichschicht befindet, liegt das Absenkziel der Brunnen 0,5 m unterhalb der Aushubsohle.

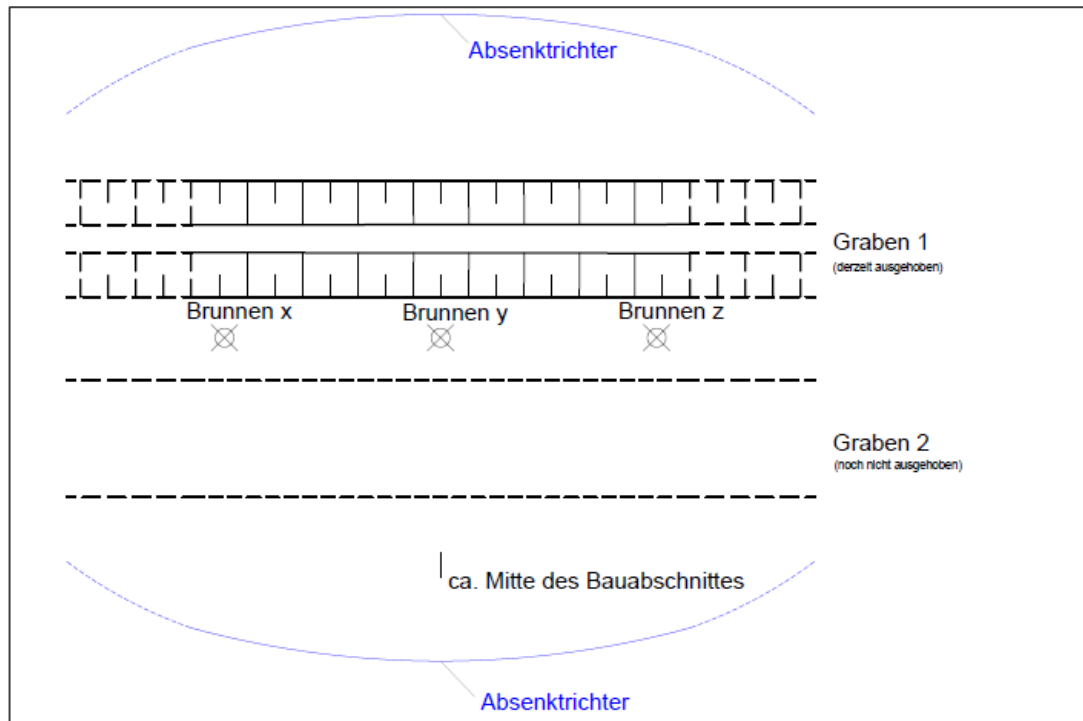


Abbildung 3: Prinzipskizze Grundwasserhaltung/-entspannung mit Brunnen im Grundriss

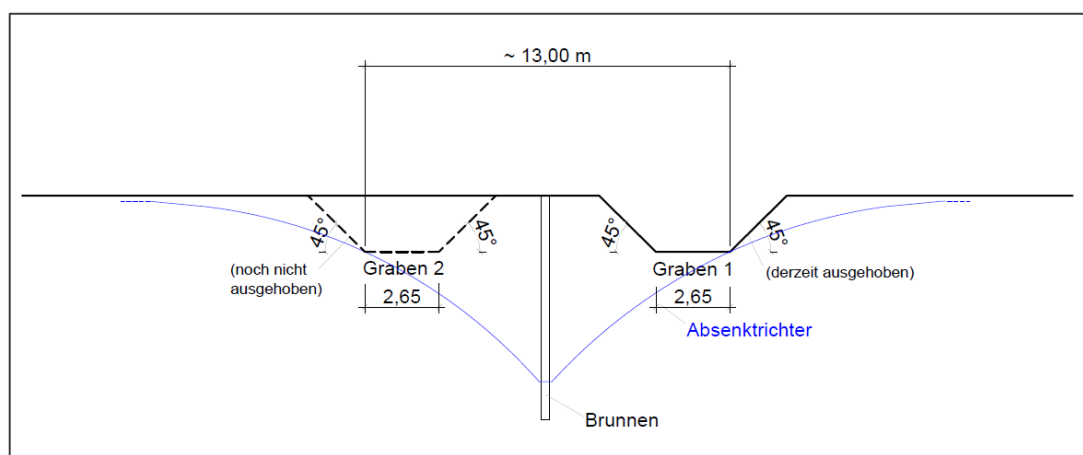


Abbildung 4: Prinzipskizze Grundwasserabsenkung/-entspannung mit Brunnen im Schnitt

Für eine **Grundwasserentspannung mit Vakuumfilterlanzen** werden gemäß Abbildung 5 und Abbildung 6 Vakuumfilterlanzen betrachtet, die in Abständen von max. 2 m und in ca. 1 m Entfernung zum Grabenrand angeordnet werden. Das Absenkziel der Vakuumfilterlanzen wird so eingestellt, dass für Bereiche, in denen sich die Aushubsohle innerhalb einer Weichschicht befindet, eine ausreichende Auftriebssicherheit vorhanden ist. Für Bereiche, in denen sich die Aushubsohle unterhalb einer Weichschicht befindet, liegt das Absenkziel der Lanzen 0,5 m unterhalb der Aushubsohle.

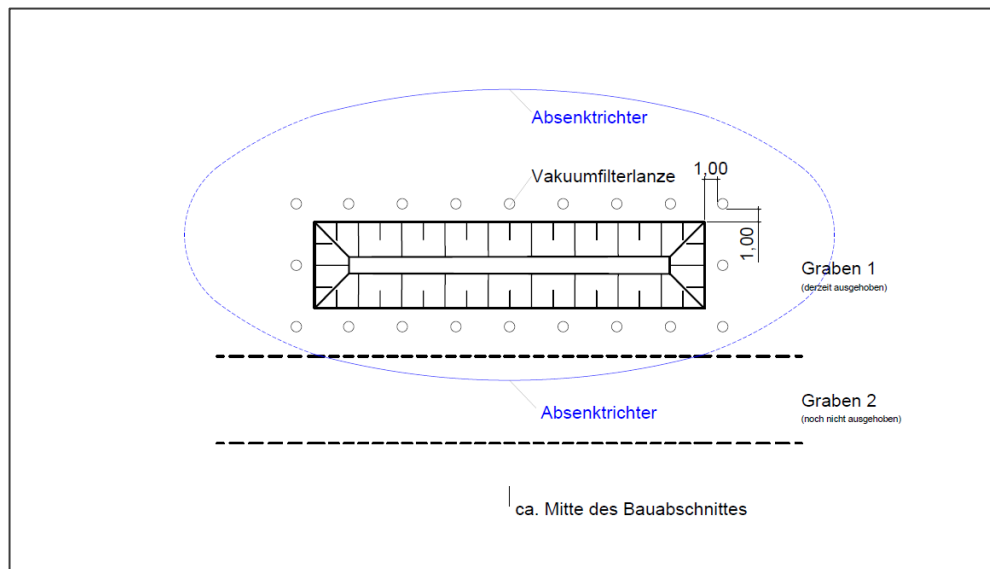


Abbildung 5: Prinzipskizze Grundwasserhaltung/-entspannung mit Vakuumfilterlanzen im Grundriss

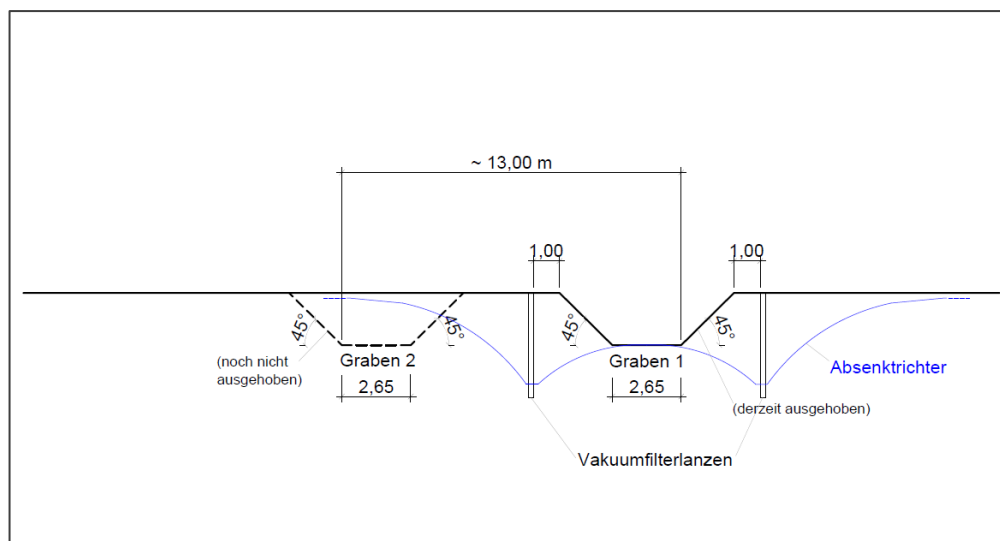


Abbildung 6: Prinzipsskizze Grundwasserabsenkung/-entspannung mit Vakuumfilterlanzen im Schnitt

Die Berechnungen der **offenen Wasserhaltung** basieren auf einem Verfahren nach Davidenkoff. Details zum Formelwerk können der Unterlage /1/ entnommen werden.

Für die Berechnungen für eine offene Wasserhaltung werden gemäß Abbildung 7 und Abbildung 8 Baudränagen betrachtet, die unterhalb der Grabensohle unter den Bettungssanden angeordnet werden. Das Absenkziel der Baudränagen entspricht in etwa der Aushubsohle.

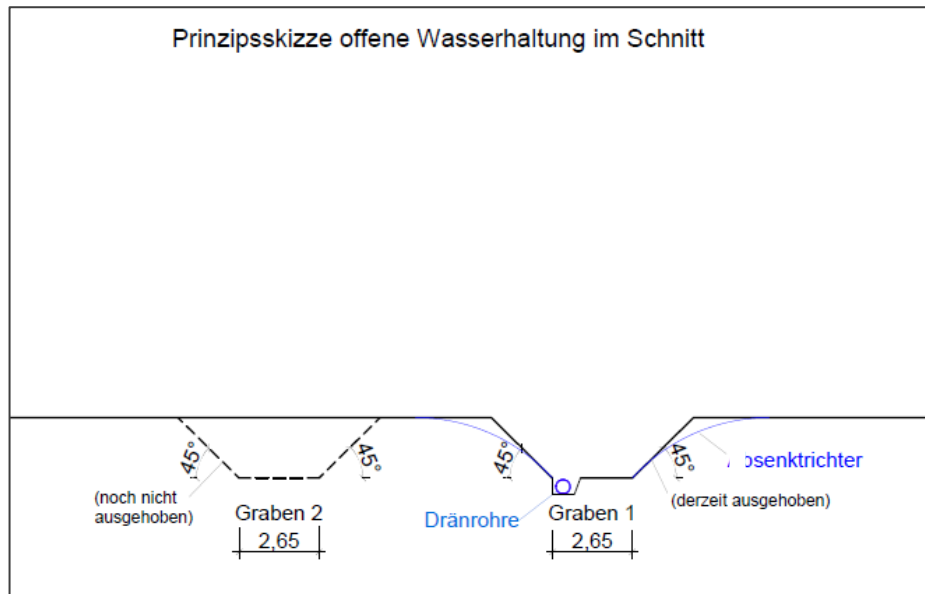


Abbildung 7: Prinzipsskizze offene Wasserhaltung im Schnitt

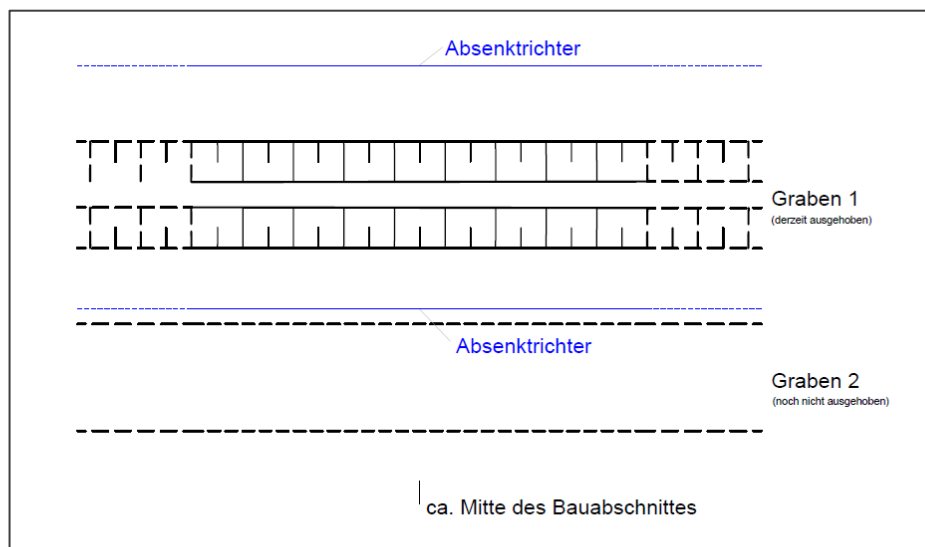


Abbildung 8: Prinzipsskizze offene Wasserhaltung bei Graben 1 im Grundriss

2 Bauzeitliches Wasserhaltungskonzept

2.1 Randbedingungen

2.1.1 Flächennutzung

Die Flächen sind durch eine intensive landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Im Einflussbereich der Wasserhaltungsmaßnahmen sind Intensivgrünland- und Ackerflächen dominierend. Die Entwässerung erfolgt über ein teilweise dichtes Netz an künstlichen Gräben und Drainageleitungen.

Die Baumaßnahme kreuzt mehrere Straßen und liegt im Umfeld mehrerer dörflicher Wohnbebauungen.

2.1.2 Bauvorhaben und Einteilung in Bauabschnitte

Tabelle 2 gibt eine detaillierte Übersicht der geplanten Bauweisen aus Teil C.

Für die Berechnungen dieser Unterlage wurden die einzelnen Abschnitte der offenen Bauweise (Verlegung mit und ohne Schutzrohr) zusammengefasst. In Tabelle 3 ist die Bauabschnittseinteilung dargestellt, die als Grundlage dieser Unterlage dient. Die Elbquerung ElbX ist nicht Bestandteil dieses Berichtes, sie wird in den Unterlagen Teil L06.4, Teil L06.5 und Teil K01 gesondert betrachtet.

Tabelle 2: Übersicht der einzelnen Bauabschnitte mit detaillierter Schilderung der Bauweisen

von KM	bis KM	Bauweise	Besonderheiten
0+000	0+080	offene Bauweise mit Schutzrohr	
0+080	0+190	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr	
0+190	0+340	offene Bauweise mit Schutzrohr	
0+340	0+385	offene Bauweise	Muffengruben V3 und V4
0+385	0+410	offene Bauweise mit Schutzrohr	
0+410	0+910	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr	
0+910	0+935 0+970	offene Bauweise mit Schutzrohr	
0+935	0+950	offene Bauweise	
0+950	0+970	offene Bauweise mit Schutzrohr	
0+970	1+345	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr	
1+345	1+360 1+400	offene Bauweise mit Schutzrohr	
1+360	1+370	offene Bauweise	
1+370	1+400	offene Bauweise mit Schutzrohr	

von KM	bis KM	Bauweise	Besonderheiten
1+400	1+960	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr	
1+960	2+060 2+233	offene Bauweise mit Schutzrohr	
2+060	2+200	offene Bauweise	
2+200	2+233	offene Bauweise mit Schutzrohr	
7+603	8+010	offene Bauweise mit Schutzrohr	
8+010	8+355	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr	
8+355	8+580 8+589	offene Bauweise mit Schutzrohr	
8+580	8+589	offene Bauweise	

Tabelle 3: Übersicht der einzelnen Bauabschnitte als Grundlage der Berechnungen

von KM	bis KM	Bauweise	Hinweise zu Berechnungen
0+000	0+080	offene Bauweise	bei Berechnung der GW-Entspannung Differenzierung zwischen KM 0+000 bis KM 0+034 und KM 0+034 bis KM 0+080 (s. Abschnitt 4.3.1)
0+080	0+190	geschlossene Bauweise	
0+190	0+410	offene Bauweise	bei Berechnung der GW-Entspannung Differenzierung zwischen KM 0+190 bis KM 0+250 und KM 0+250 bis KM 0+410 (s. Abschnitt 4.3.1)
0+410	0+910	geschlossene Bauweise	
0+910	0+970	offene Bauweise	
0+970	1+345	geschlossene Bauweise	
1+345	1+400	offene Bauweise	
1+400	1+960	geschlossene Bauweise	
1+960	2+233	offene Bauweise	
7+603	8+010	offene Bauweise	bei Berechnung der GW-Entspannung bzw. GW-Absenkung Differenzierung zwischen KM 7+603-bis KM 7+725 und KM 7+725 bis KM 8+010 (s. Abschnitt 4.3.1)
8+010	8+355	geschlossene Bauweise	

von KM	bis KM	Bauweise	Hinweise zu Berechnungen
8+355	8+589	offene Bauweise	bei Berechnung der GW-Entspannung bzw. GW-Absenkung Differenzierung zwischen KM 8+355 bis KM 8+539 und KM 8+539 bis KM 8+589 (s. Abschnitt 4.3.1)

2.1.3 Meteorologische Einflüsse

Die meteorologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet werden durch die Lage im maritim geprägten Klimabereich beeinflusst. Die Niederschlagsverteilung ist durch den Wechsel kontinental geprägter und atlantischer Luftmassen gekennzeichnet. Die mittleren korrigierten langjährigen Niederschlagshöhen im fTK für den PFA A2 betragen 800 – 900 mm. Die mittlere langjährige Gras-Referenzverdunstung im fTK für den PFA A2 beträgt beidseitig der Elbe 525 mm bis 550 mm. Weitere Details können Teil L06.2 entnommen werden.

2.2 Hydrogeologische und hydrologische Verhältnisse

2.2.1 Baugrundbeschreibung

- **Holozäne Marschsedimente (Organische Weichschichten)**

Die oberen Bodenschichten bestehen aus feinsandig-schluffigen bis tonigen holozänen Marschsedimenten (Klei) mit hohen Anteilen an organischen Ablagerungen eines brackischen Bildungsmilieus. Die Kleischichten überlagern stellenweise Niedermoorbildungen (Torf) oder lagern diese in Zwischenschichten ein. Die Konsistenz des organischen Weichbodens ist gemäß Angaben in Unterlage Teil L01.1 flüssig bis weich, überwiegend breiig bis weich, vereinzelt örtlich steif. Die Mächtigkeiten sind sehr unterschiedlich ausgeprägt und schwanken gemäß Altbohrungen des LLUR /2/ sowie den tiefreichenden Aufschlussbohrungen der ElbX-Querung (Teil L01.2) zwischen 2 m (nur in elbnahen Teilbereichen in NI) und 20 m.

- **Holozäne Sande**

An der Schichtbasis der organischen Weichböden stehen holozäne Sande (Wattsand) an. Diese bestehen aus Feinsand mit unterschiedlichen Anteilen an Schluff und Mittelsand. Der Wattsand enthält weniger als 30% Kleistreifen in Wechsellagerung. Neben dem Wattsand tritt bereichsweise fein- und mittelsandiger Flusssand mit geringem Schluffgehalt auf.

- **Pleistozäne Sande, Kiese und Geschiebemergel**

Unter den Holozänen Schichten schließen eiszeitliche Ablagerungen unterschiedlicher Vereisungsstadien an. Hierzu zählen Fluss- und Schmelzwassersande mit Kies- und Steineinlagerungen sowie Geschiebemergel. Die Hauptkörnungsanteile der Sande liegen überwiegend im Mittelsandbereich mit wechselnden Anteilen an Grob- und Feinsand sowie untergeordnet Schluff. Zur Tiefe wird die Körnung tendenziell grober. Der darunter anstehende Geschiebemergel ist ein kalkhaltiges bindiges Sand-Schluff-Gemisch mit kiesigen und tonigen Anteilen, das auch Steine bis zur Findlingsgröße enthalten kann.

2.2.2 Charakteristische Bodenkennwerte

Die Bodenkennwerte der organischen Weichschichten wurden der Unterlage Teil L01.1 entnommen. Da die unterhalb der organischen Weichschichten angetroffenen Sande in der Unterlage L01.1 lediglich oberflächennah angebohrt wurden, wurden die Bodenkennwerte der Sande mit den Angaben aus dem Baugrundgutachten zu ElbX (Teil L01.2) ergänzt. Bei dem Bodenkennwert Durchlässigkeit wurde jeweils ein Wert für Schleswig-Holstein und Niedersachsen angegeben. Dies hängt damit zusammen, dass in Schleswig-Holstein mächtige Weichschichten anstehen und die Brunnen der Wasserhaltung in Sande ab einer Tiefe NHN < - 10 m abgesetzt werden, die i.d.R. durchlässiger sind, als die Sande NHN > - 5 m, in denen die Vakuumfilterlanzen oder Brunnen in Niedersachsen abgesetzt werden. Angegeben sind hier die Bodenkennwerte, die auch in den Berechnungen verwendet wurden.

Tabelle 4: Charakteristische Bodenkennwerte

Bodenart	Wichte	Steifemodul	Durchlässigkeit
	γ_s / γ' (kN/m ³)	E_s [MN/m ²]	k_f (m/s)
Klei	16/ 6	0,5	5×10^{-8}
Torf	12/ 1	0,5	1×10^{-6}
Sand	21/ 11	50	Niedersachsen 1×10^{-4} Schleswig-Holstein 5×10^{-4}

2.2.3 Wasserstände

2.2.3.1 Stau-/Grundwasserkörper

Die oberen 2 m bis 20 m bestehen ab GOK durchgängig aus wasserstauenden bindig-organischen Weichböden. Nahe der Geländeoberkante kann sich temporär und niederschlagsabhängig Stauwasser bilden. Ein geschlossener Stauwasserkörper im Untergrund ist nicht vorhanden. Der Weichboden ist wassergesättigt. Der Torf kann beim Anstechen Wasser abgeben.

Der wasserwirtschaftlich relevante Grundwasserkörper ist der unter dem Weichboden anstehende Grundwasserkörper „Stör – Marschen und Niederungen“. Der vorherrschende Grundwasserleitertyp ist als silikatisches Lockergestein klassifiziert. Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters liegt zwischen rund 20 m und 40 m.

Der Grundwasserstand ist tidebeeinflusst. Im Teil L01.1, SH-Seite, liegen keine Grundwassermessstellen vor, die bis unterhalb der anstehende Weichschichten ausgeführt wurden. Für das bauabschnittsbezogene Wasserhaltungskonzept wurden daher für die SH-Seite zur vergleichenden Betrachtung Pegelmessungen aus dem Bereich des Startschachtes der Elbquerung von der GWM B42/19 aus Unterlage Teil L01.2 ausgewertet.

Die Auslesung des Dataloggers im Zeitraum zwischen 17.04.2020 und 02.06.2020 ergab, dass Grundwasserstände zwischen NHN - 0,40 m und NHN + 0,2 m gemessen wurden.

Gemäß Unterlage Teil L01.2 ist auf Grundlage der bisher nur kurzzeitig vorliegenden Pegelmessungen für die ca. 900 m vom Elbufer entfernte GWM B42/19 von einer

Dämpfung von ca. 75% auszugehen. Das bedeutet, dass bei auflaufendem Tidehochwasser je 1 m Elbwasseranstieg nur 0,25 m Grundwasseranstieg eintreten. Die Hochwasserspitze im Grundwasser tritt ebenfalls entfernungsabhängig phasenverschoben und somit später als in der Elbe auf.

Für die ca. 250 m vom Elbufer entfernten GWM B29/19 und GWM B31/19 bzw. für die ca. 600 m vom Elbufer entfernte GWM B35/19 werden Dämpfungswerte von 66% bzw. 70% angegeben.

Im PFA A2, NI-Seite, liegen Dataloggermessungen von den ca. 1.500 m und 2.000 m von der Elbe entfernten Grundwassermessstellen BK-Wis-0002 und BK-Wis-0012 vor.

Weiterhin wurden zur vergleichenden Betrachtung Pegelmessungen aus dem Bereich des Zielschachtes der Elbquerung von der GWM B01/19 und GWM B01a/19 aus Unterlage Teil L01.2 ausgewertet. Beide Grundwassermessstellen sind ca. 900 m von der Elbe entfernt.

Die Auslesung des Dataloggers der BK-Wis-0002 im Zeitraum zwischen 26.07.2021 und 02.03.2022 ergab, dass Grundwasserstände zwischen NHN - 0,74 m und NHN + 0,74 m gemessen wurden. Bei der BK-Wis-0012 ergab die Auslesung des Dataloggers zwischen 13.07.2021 und 02.03.2022, dass Grundwasserstände zwischen NHN - 0,92 m und NHN + 0,35 m gemessen wurden.

An der GWM B01/19 und GWM B01a/19 wurden im Zeitraum zwischen 05.12.2019 und 11.07.2020 Grundwasserstände zwischen NHN + 0,1 m und NHN + 1,7 m gemessen.

Gemäß Unterlage Teil L01.2 ist auf Grundlage der vorliegenden Pegelmessungen für die GWM B01/19 und GWM B01a/19 von einer Dämpfung von ca. 65% auszugehen

Die o.g. Dämpfungen beziehen sich nach Unterlage Teil L01.2 auf einen Elbwasserstand von rd. NHN + 4,1 m (Sturmflut-Hochwasser). Nach den vorliegenden Daten ist während der sturmflutfreien Zeit (01. April bis zum 14. September) mit Elbwasserständen von NHN < + 4,10 m zu rechnen. Während der sturmflutgefährdeten Zeit (15. September bis zum 31. März) hingegen können an einzelnen Tagen Elbwasserstände von NHN > + 4,10 m auftreten. Daher sind in der sturmflutgefährdeten Zeit mehrmals in der Woche Pegelprognosen durchzuführen, um im Bedarfsfall die Baugrube fluten zu können, damit ein Aufschwimmen der Baugrubensohle verhindert wird.

In der Nähe des Planfeststellungsabschnitts A2 befinden sich in ca. 3 km Entfernung der Elbpegel Brokdorf und in ca. 6 km Entfernung der Elbpegel Glückstadt.

Nach Unterlage /3/ wurden im Untersuchungszeitraum am 06.12.2013 das höchste Tidehochwasser mit NHN + 5,28 m am Pegel Glückstadt und mit NHN + 5,07 m am Pegel Brokdorf gemessen.

Gemäß Unterlage /3/ werden für die 10-Jahresreihe von 01.11.2005 bis 31.10.2015 folgende Tidewasserstände genannt:

Glückstadt (NHN ± m)		Brokdorf (NHN ± m)
HThw	+5,28	+5,07 (jeweils am 06.12.2013)
MThw	+1,57	+1,52 (jeweils i.M. im o.g. Messzeitraum)
MTnw	-1,28	-1,27 (jeweils i.M. im o.g. Messzeitraum)

NTnw -2,87

-2,88 (jeweils am 23.02.2015)

2.2.3.2 Oberflächenwasserkörper

Im Trassenbereich werden zahlreiche Oberflächengewässer gequert. Andere liegen im Einflussbereich einer ggf. erforderlichen Grundwasserabsenkung. Hierzu zählt ein tidebeeinflusster Priel auf der NI-Elbuferseite, Sammelgräben (Wettern) beidseitig der Elbe, sowie zahlreiche Entwässerungsgräben. Die Oberflächenwasserkörper haben auf der SH-Seite keine hydraulische Verbindung zum Grundwasserkörper. Aufgrund der geringermächtigen Sperrschichten auf der elbnahen NI-Seite kann eine hydraulische Verbindung nicht generell ausgeschlossen werden. Eine Auflistung und Bewertung der betroffenen Gewässer ist dem Hydrologischen Fachgutachten (Teil L06.2) zu entnehmen.

2.2.3.3 Schutzgebiete

Wasserschutzgebiete sind im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden.

2.2.3.4 Bauzeitl. Bemessungswasserstände

Die bauzeitlichen Bemessungswasserstände der jeweiligen Bauabschnitte können Kapitel 4.1 entnommen werden.

2.3 Wasserbeschaffenheit (Chemische Wasseranalytik)

2.3.1 Stau-/Grundwasserkörper

2.3.1.1 SH Seite

Für den Trassenabschnitt in SH liegt eine Grundwasseranalyse aus dem Stauwasser vor, die aus der Messstelle „Querung 18“ im Bereich der B431 aus der Unterlage Teil L06.1 entnommen wurde.

Weiterhin liegen die Analysenergebnisse von fünf Grundwasserproben unterhalb der bindigen Böden aus vier Messstellen auf schleswig-holsteinischer Seite aus dem Bereich der Elbquerung „ElbX“ aus Unterlage Teil L01.2 vor.

2.3.1.2 NI Seite

Auf der niedersächsischen Seite wurden zwei Proben aus Grundwassermessstellen im Trassenabschnitt sowie vier Proben aus Grundwassermessstellen im ElbX-Bereich entnommen und analysiert (Teil L06.1 und Teil L01.2).

Einzelergebnisse der Analysen sind in der Unterlage Teil L06.1 enthalten.

2.3.2 Oberflächenwasserkörper

2.3.2.1 SH Seite

Für SH liegt eine aktuelle Wasseranalyse aus dem Oberflächengewässer Hollerwettern vom November 2021 aus Unterlage Teil L06.2 vor.

Zudem liegen monatliche Analysedaten für einen Bestandspegel in der Hollerwettern aus dem Zeitraum 2017, 2019 und 2021 aus Unterlage Teil L06.2 vor.

2.3.2.2 NI Seite

Für NI wurde eine Wasserprobe aus dem Druckgraben Polder 27 auf die Bestandsqualität untersucht. Die Messwerte sind in der Unterlage Teil L06.2 enthalten.

2.3.3 Bewertung Analytik zur Einleitung in die öffentliche Vorflut

Eine Bewertung der Analytik erfolgt nach der Ermittlung der Fördermengen (s. Kapitel 4.3) in Abschnitt 4.5.2.

2.4 Grundlegende Konzeptionsvarianten zur Wasserhaltung

2.4.1 Art der Wasserhaltungsmaßnahmen

Grundsätzlich ist zu unterscheiden in die Entwässerung von oberflächennahem Stauwasser, die Absenkung von Grundwasser und die Entspannung von Grundwasser zur Sicherung gegen Aufschwimmen der Grabensohle.

Im PFA A2 sind folgende Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich:

- Vorab laufende Vorbereitung der offenen Wasserhaltung
- Wasserfassung im offenen Graben
- Grundwasserentspannung zur Verhinderung des Aufschwimmens der Grabensohle durch regelmäßig angeordnete Schwerkraftbrunnen oder Vakuumfilterlanzen
- Grundwasserabsenkung zur Trockenlegung der Grabensohle im Bereich geringmächtiger Weichschichten durch regelmäßig angeordnete Schwerkraftbrunnen oder Vakuumfilterlanzen

2.4.1.1 Offene Wasserhaltung

2.4.1.1.1 Grabenwasserhaltung

Die Entwässerung der Baugrube erfolgt hierbei im Zuge des Aushubs. Im Bereich der Aushubsohle wird unter den Bettungssanden eine bauzeitliche Dränageleitung hergestellt, in der das aus den Böschungen oder durch nicht versickernde Niederschläge zulaufende Wasser gesammelt und Pumpensämpfen zugeleitet wird. Von dort aus kann es bei Bedarf gehoben werden. Diese Art der offenen Wasserhaltung ist für die weitestgehend vorhandenen bindigen und organischen (gering durchlässigen) Böden dort einzuplanen, wo keine direkte Grundwasserabsenkung über Vakuumkleinfilteranlagen erfolgt.

Die Pumpensämpfe werden vor der Wiederverfüllung des Grabens zurückgebaut. Zur Vermeidung von späterem Wasserentzug über die Baudränagen werden diese nach Rückbau der Pumpensämpfe dort verdämmt.

2.4.1.2 Geschlossene Wasserhaltung

2.4.1.2.1 Schwerkraftentwässerung mit Absenkbrunnen

Schwerkraftentwässerungen können in gut durchlässigen Böden angewendet werden. Hierzu werden Brunnen (tiefe Absenkbrunnen > 6 m Brunnentiefe) in die grundwasserleitenden Bodenschichten niedergebracht. Im Vorfeld des Aushubs der Baugrube werden die Brunnen in einem festgelegten, vorher berechneten Abstand am Baugrubenrand regelmäßig verteilt angeordnet. Bei der Brunnenherstellung werden im Vorfeld Bohrlöcher hergestellt, die mittels PVC-Rohr ausgebaut werden. Das untere Ende (Länge variiert) des PVC-Rohres ist geschlitzt. Der Ringraum zwischen Bohrlochwand und Rohr wird im GWL zur Gewährleistung der Filterstabilität mit Filterkies verfüllt, im GWST mit Ton abgedichtet.

In der Regel werden Pumpen innerhalb der Brunnen knapp über der Brunnensohle verbaut, die Wasserförderung erfolgt über Druckleitungen.

Da diese tiefen Absenkbrunnen vergleichsweise teuer sind, werden sie vorzugsweise zwischen den zwei in offener Bauweise geplanten Gräben angelegt, wobei ihre Wirkung sowohl für den ersten als auch für den zweiten Graben genutzt wird.

2.4.1.2.2 Unterdruckentwässerung mit Kleinfiltervakuumanlagen

Spülfilterlanzen werden ohne Bohrung direkt mittels Wasser in den Boden eingespült. Die Länge der Spülfilterlanzen beträgt max. 6 m, wodurch die Einsatzmöglichkeiten begrenzt sind. Die Spülfilterlanzen können nur in den Bereichen sinnvoll eingesetzt werden, in denen die Basis der organischen Weichschichten nicht tiefer als 3 bis 4 m unter Geländeoberfläche liegt.

Die feinen Filter der Spülfilterlanzen sind sehr anfällig gegenüber Verstopfen durch Feinbodenanteile, weshalb solche Anlagen in schluffigen Sanden sehr wartungsintensiv sind und oft ausgetauscht werden müssen. Die Lanzen werden allerdings mit der Wanderbaustelle mitgeführt, so dass jeweils neue Lanzen neben dem neu auszuhebenden Bereich gesetzt und alte Lanzen nach der Verfüllung gezogen werden.

Die Lanzen werden mit PVC-Saugschläuchen an eine Ringleitung angeschlossen. Mittels Vakuumpumpe wird ein Unterdruck erzeugt, der einen Zustrom des Grundwassers herbeiführt.

Vakuumfilterlanzen werden im Gegensatz zu tiefen Absenkbrunnen immer nur für Einzelgräben, nicht für mehrere Gräben gleichzeitig eingebracht. Sie werden dicht neben der Böschungsoberkante eingebracht und mit der Baustelle wandernd immer wieder versetzt.

2.4.2 **Voraussichtliche Dauer der Wasserhaltungsmaßnahmen**

Die Einrichtung der Wasserhaltung ist gemäß Unterlage Teil C vor Abtrag der Oberboden- und Unterbodenhorizonte bzw. im Bereich von Muffengruben vor Einbringung von Baugrubensicherungen vorgesehen. Die Deinstallation der Wasserhaltung ist nach Abtransport der Muffencontainer bzw. beim Rückverfüllung der Kabelgräben/Gruben vorgesehen.

Die Wasserhaltung wird für beide Kabelgräben verwendet. Für die Verlegung der Kabel in beiden Kabelgräben, inkl. Aushub und Rückverfüllung ist mit einer Bauzeit von 2 Monaten je Wasserhaltungsabschnitt zu rechnen.

3 Offene Wasserhaltung an Verkehrs- und BE-Flächen

Die Baustellenzufahrt und BE-Flächen werden gemäß Unterlage Teil L02.1 in Abhängigkeit von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten durch Baggermatratzen, Bodenplattensysteme oder durch Einbau von Tragschichten auf Geokunststoffen gesichert.

Das im Bereich von Baustellenzufahrten und Baustraßen witterungsabhängig anfallende Niederschlagswasser wird an den Rändern der Flächen überwiegend diffus versickern.

Für Flächen von Baustellenzufahrten und Baustraßen, die sich bis zu einer Entfernung von 10 m zu den Grabenaußenkanten befinden, wird gemäß Abschnitt 4.3.4.1 angenommen, dass diese der Grabenwasserhaltung zufließen.

Die Wasserableitung der durch die Baumaßnahmen zwangsläufig unterbrochenen Gruppen und Gräben muss gewährleistet bleiben.

4 Bauabschnittsbezogene Wasserhaltungskonzepte

4.1 Bemessungsprofile mit Bemessungswasserständen

Für die bauabschnittsbezogenen Wasserhaltungskonzepte liegen aus der Unterlage Teil L01.1 nur vereinzelt Baugrundaufschlüsse vor, die bis unterhalb der anstehenden Weichschichten ausgeführt wurden. Daher wurden zur vergleichenden Betrachtung auch tiefere Baugrundaufschlüsse aus der Unterlage Teil L01.2 oder /2/ ausgewertet. In Tabelle 5 sind die maßgebenden Bemessungsprofile für die Auftriebs- und Wassermengenberechnungen dargestellt. Für die Bauabschnitte, in denen zusätzlich Setzungsrechnungen ausgeführt wurden, sind zusätzlich die maßgebenden Bemessungsprofile für die Setzungsrechnungen in der Tabelle 6 dargestellt. Die nachstehenden Bemessungsprofile basieren auf den für die jeweilige Fragestellung ungünstigsten und somit auf der sicheren Seite liegenden Baugrundprofilen im Bereich der einzelnen Bauabschnitte.

Die einzelnen organischen Weichböden wie Klei und Torf wurden hierbei der Einfachheit halber zur Bodenart organische Weichschicht zusammengefasst. Da die Bodenart Sand unterhalb der organischen Weichschichten überwiegend nur angebohrt wurde, basieren die Angaben zur Schichtbasis der Bodenart Sand aus dem Baugrundgutachten zu ElbX (Teil L01.2).

Tabelle 5: Bemessungsprofile für Auftriebs- und Wassermengenberechnungen in Bereichen mit offener Bauweise

KM	Bodenart	Schichtbasis
	[-]	[NHN ± m]
0+000 bis 0+080	Organische Weichschicht	-9,7
0+190 bis 0+410	Sand	< -25,0
0+910 bis 0+970	Organische Weichschicht	-10,7
	Sand	< -25,0

KM	Bodenart	Schichtbasis
	[-]	[NHN ± m]
1+345 bis 1+400	Organische Weichschicht	-9,8
	Sand	< -25,0
1+960 bis 2+233	Organische Weichschicht	-11,7
	Sand	< -25,0
7+603 bis 7+725	Organische Weichschicht	0,05
	Sand	< -25,0
7+725 bis 8+010	Organische Weichschicht	-1,61
	Sand	< -25,0
8+355 bis 8+539	Organische Weichschicht	-1,81
	Sand	< -25,0
8+539 bis 8+589	Organische Weichschicht	-1,31
	Sand	< -25,0

Tabelle 6: Bemessungsprofile für Setzungsberechnungen in Bereichen mit Absenkungen / Grundwasserentspannungen

KM	Bodenart	Schichtbasis
	[-]	[NHN ± m]
0+190 bis 0+410	Organische Weichschicht	-13,37
	Sand	< -25,0
7+603 bis 7+725	Organische Weichschicht	-4,9
7+725 bis 8+010		
8+355 bis 8+539	Organische Weichschicht	-3,1
	Sand	< -25,0

KM	Bodenart	Schichtbasis
	[-]	[NHN ± m]
8+539 bis 8+589	Organische Weichschicht	-4,3
	Sand	< -25,0

In Unterlage Teil L01.2 wurden die Pegelmessungen von mehreren Grundwassermessstellen bei einem Elbwasserstand von NHN +4,1 m ausgewertet und ein Dämpfungsfaktor ermittelt. Die Dämpfungswerte der Grundwassermessstellen und die jeweilige Entfernung der Grundwassermessstellen sind im Abschnitt 2.2.3 beschrieben.

In Tabelle 7 sind die maßgebenden bauzeitlichen Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März dargestellt. Je nach Entfernung der einzelnen Bauabschnitte zur Elbe stehen die gespannten Grundwasserstände unterschiedlich gedämpft an. Der Dämpfungsfaktor wurde aus dem Vergleich der Entfernung der Bauabschnitte zur Elbe mit der Entfernung der Grundwassermessstellen zur Elbe anschließend abgeleitet.

Beispielsweise wurde für den ca. 1.000 m vom Elbufer entfernten Bauabschnitt 0+000 bis 0+080 eine Dämpfung von 76% abgeleitet.

Für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen auf Basis eines Elbwasserstandes von NHN +4,1 m und eines Dämpfungsfaktors von 76% wurde der zugehörige maximale bauzeitliche Bemessungswasserstand bestimmt. Dieser liegt unterhalb der Weichschichten als gespannt anstehender Grundwasserstand mit einer Druckhöhe von NHN +0,98 m vor:

$$\text{NHN } +4,1 \text{ m} \times (100\% - 76\%) / 100\% = \text{NHN } +0,98 \text{ m}$$

Tabelle 7: Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März

KM	Entfernung Elbe zum Bauabschnitt	Dämpfungsfaktor	Maßgebender bauzeitlicher Wasserstand für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März
	[m]	[%]	[NHN ± m]
0+000 bis 0+080	ca. 1.000	ca. 76	0,98
0+190 bis 0+410	ca. 900	ca. 75	1,03
0+910 bis 0+970	ca. 1.150	ca. 78	0,90
1+345 bis 1+400			

KM	Entfernung Elbe zum Bauabschnitt	Dämpfungsfaktor	Maßgebender bauzeitlicher Wasserstand für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März
	[m]	[%]	[NHN ± m]
1+960 bis 2+233	ca. 900	ca. 75	1,03
7+603 bis 7+725	ca. 900	ca. 65	1,44
7+725 bis 8+010			
8+355 bis 8+539	ca. 1.600	ca. 74	1,07
8+539 bis 8+589			

In Tabelle 8 sind in der 2. Spalte die maßgebenden bauzeitlichen Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September dargestellt.

Hierzu wurden für die SH-Seite die Grundwasserstände der Grundwassermessstelle GWM B42/19 aus Unterlage Teil L01.2 ausgewertet. In der sturmflutfreien Zeit (1. April bis 14. September) war dort ein max. Wasserstand von ca. NHN +0,2 m zu verzeichnen.

Für die NI-Seite wurden die Grundwasserstände der Grundwassermessstelle GWM B01/19 und GWM B01a/19 aus Unterlage Teil L01.2 ausgewertet. In der sturmflutfreien Zeit (1. April bis 14. September) war hier ein max. Wasserstand von ca. NHN +0,4 m zu verzeichnen.

Der in der 3. Spalte der Tabelle 8 aufgeführte bauzeitliche Bemessungswasserstand für die Abschätzung der Wasserfördermengen basiert auf der Annahme, dass in der sturmflutfreien Zeit (1. April bis 14. September) nicht dauernd die Wassermengen für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen gefördert werden, sondern wegen des ständig wechselnden Tideeinflusses i.M. nur 70% dieses Maximalwertes anzusetzen sind.

D.h. wenn für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September von einem maßgebenden bauzeitlichen Wasserstand von NHN +0,2 m auszugehen ist, so ist von einer mittleren Förderrate von 70% dieses Wertes, also NHN +0,14 m, auszugehen.

Der in der 4. Spalte aufgeführte bauzeitliche Bemessungswasserstand für die Setzungsberechnungen basiert auf der Annahme, dass der Boden bereits Belastungen aus früheren natürlichen Grundwasserschwankungen erfahren hat.

Hierzu wurden für die SH-Seite die Grundwasserstände der Grundwassermessstelle GWM B42/19 aus Unterlage Teil L01.2 ausgewertet.

Die Auslesung des Dataloggers im Zeitraum zwischen 17.04.2020 und 02.06.2020 ergab, dass minimale Grundwasserstände von NHN - 0,40 m gemessen wurden.

Im PFA A2, NI-Seite, liegen Dataloggermessungen von den Grundwassermessstellen GWM B01/19, GWM B01a/19, BK-Wis-0002 und BK-Wis-0012 vor.

An der GWM B01/19 und GWM B01a/19 wurden im Zeitraum zwischen 05.12.2019 und 11.07.2020 minimale Grundwasserstände von NHN + 0,1 m gemessen.

Die Auslesung des Dataloggers der BK-Wis-0002 im Zeitraum zwischen 26.07.2021 und 02.03.2022 ergab, dass minimale Grundwasserstände von ca. NHN - 0,7 m gemessen wurden. Bei der BK-Wis-0012 ergab die Auslesung des Dataloggers zwischen 13.07.2021 und 02.03.2022, dass minimale Grundwasserstände von ca. NHN -0,9 m gemessen wurden.

Bei der Festlegung der bauzeitliche Bemessungswasserstände der jeweiligen Bauabschnitte für die Setzungsberechnungen wurde auf der NI-Seite die Entfernung zu den einzelnen Grundwassermessstellen berücksichtigt und teilweise zwischen den Werten zweier Messstellen gemittelt (z.B. bei Abschnitt 8+538 bis 8+589).

In den Berechnungen der offenen Wasserhaltung wurde ein Bemessungswasserstand in Form eines in den Weichschichten anstehenden Stauwasserstandes auf Geländeoberkante angesetzt.

Tabelle 8: Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen und Wassermengen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September und für die Setzungsberechnungen

KM	Maßgebender bauzeitlicher Wasserstand für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September	Maßgebender bauzeitlicher Wasserstand für die Abschätzung der Wassermengen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September	Maßgebender bauzeitlicher Wasserstand für die Setzungsberechnung
	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[NHN ± m]
0+000 bis 0+080	0,2	0,14	-0,4
0+190 bis 0+410			
0+910 bis 0+970			
1+345 bis 1+400			
1+960 bis 2+233			
7+603 bis 7+725	0,4	0,28	0,1
7+725 bis 8+010			
8+355 bis 8+539	0,4	0,28	-0,7
8+539 bis 8+589	0,4	0,28	-0,8

4.2 Absenkziele

Für Bauabschnitte, in denen sich die Aushubsohle innerhalb einer Weichschicht befindet und eine **Grundwasserentspannung** betrieben werden muss, wird das Absenkziel so berechnet, dass für die Aushubsohle eine ausreichende Auftriebssicherheit vorhanden ist.

Für Bereiche, in denen sich die Aushubsohle unterhalb einer Weichschicht befindet und eine **Grundwasserabsenkung** betrieben werden muss, liegt das Absenkziel der Brunnen oder Vakuumfilterlanzen 0,5 m unterhalb der Aushubsohle.

Für eine offene Wasserhaltung beträgt das Absenkziel der Baudrönanlagen in etwa der Aushubsohle.

Die Absenkziele der einzelnen Bauabschnitte werden im Kapitel 4.3 berechnet.

4.3 Hydraulische Berechnungen

4.3.1 Auftriebssicherheit

In der Tabelle 9 sind die Datengrundlagen der einzelnen Bauabschnitte zur Berechnung der Auftriebssicherheit zusammengestellt. In den Berechnungen wird zunächst das erforderliche maximale Absenkniveau des Grundwassers berechnet, damit eine ausreichende Sicherheit gegen Aufschwimmen für die jeweilige Aushubsohle des Bauabschnittes vorhanden ist.

Tabelle 9: Datengrundlage der Berechnungen: OK Gelände, OK Leerrohr/ OK Kabel und Aushubsohle

KM	OK Gelände		OK Leerrohr/ OK Kabel		Aushubsohle
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[NHN ± m]
0+000 bis 0+080	-0,62	-0,43	-2,85	-2,24	-3,63
0+190 bis 0+410	-0,96	-0,30	-3,26	-1,97	-3,99
0+910 bis 0+970	-0,92	-0,35	-2,99	-2,98	-3,77
1+345 bis 1+400	-0,37	0	-2,63	-2,62	-3,41
1+960 bis 2+233	0,14	0,97	-2,99	-0,42	-3,77
7+603 bis 7+725	1,16	1,30	-0,33	0,28	-0,81
7+725 bis	1,03	1,69	-0,47	-0,07	-1,25

KM	OK Gelände		OK Leerohr/ OK Kabel		Aushubsohle
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
8+010					
8+355 bis 8+539	0,89	1,05	-0,66	-0,46	-1,44
8+539 bis 8+589	0,82	0,85	-0,69	-0,67	-1,47

Die Berechnungen wurden jeweils getrennt unter Ansatz der jeweiligen bauzeitlichen Bemessungswasserstände in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 30. März (Bemessungssituation BS-A) und in der sturmflutfreien Zeit vom 01. April bis 14. September (Bemessungssituation BS-T) durchgeführt.

Die max. zulässige GW-Druckhöhe kann der Tabelle 10 entnommen werden.

Für die Abschnitte km A2 0+000 bis km A2 0+080 und A2 0+190 bis km A2 0+410 wurden zusätzlich Bereiche berechnet, für die gerade noch **keine Grundwasserentspannung** erforderlich wäre. Dies gilt grob in den Bereichen ca. km A2 0+034 bis km A2 0+080 und km A2 0+190 bis km A2 0+250. Daher wird in der nachfolgenden Tabelle 10 in diesen Bereichen differenziert.

Für die restlichen Bereiche mit offener Bauweise war eine Differenzierung nicht erforderlich, da nach internen Berechnungen entweder die kompletten Bauabschnitte auftriebssicher bzw. nicht auftriebssicher waren.

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse der Auftriebsberechnungen

KM	Bauzeitlicher Bemessungswasserstand, Bemessungssituation		Max. zulässige GW-Druckhöhe, Bemessungssituation:		GW-Ab-senkung oder-ent-spannung erforderlich
	BS-A,	BS-T,	BS-A,	BS-T,	
	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[-]
0+000 bis 0+080	0,98	0,20	0,75	0,00	Ja, KM 0+000 – KM 0+034
0+190 bis 0+410	1,03	0,20	0,20	-0,50	Ja, KM 0+250 – KM 0+410
0+910 bis 0+970	0,90	0,20	3,0	2,0	Nein

KM	Bauzeitlicher Bemessungs- wasserstand, Bemessungssi- tuation		Max. zulässige GW-Druck- höhe, Bemessungssitua- tion:		GW-Ab- senkung oder-ent- spannung erforder- lich
1+345 bis 1+400	0,90	0,20	3,1	2,1	Nein
1+960 bis 2+233	1,03	0,20	2,60	1,60	Nein
7+603 bis 7+725	1,44	0,40	-1,31	-1,31	Ja
7+725 bis 8+010	1,44	0,40	-0,95	-1,00	Ja
8+355 bis 8+539	1,07	0,40	-1,15	-1,15	Ja
8+539 bis 8+589	1,07	0,40	-1,97	-1,97	Ja

4.3.2 Absenkung des gespannten Grundwassers

Damit die Aushubsohle eine ausreichende Auftriebssicherheit aufweist, sind im Vorfeld der Baumaßnahme ggf. eine Grundwasserentspannung oder -absenkung bis auf die in Abschnitt 4.3.1 berechneten Niveaus erforderlich.

4.3.2.1 Randbedingungen

Es ist davon auszugehen, dass die beiden nebeneinander laufenden Kabelgräben nicht zeitgleich hergestellt werden. Zur effektiven Nutzung der Schwerkraftentwässerung sowohl für den zuerst hergestellten als auch für den später hergestellten Graben können die Schwerkraftbrunnen daher mittig zwischen beiden Grabentrassen in gegenseitigen Abständen von max. 25 m hergestellt werden.

In den Berechnungen wurde zur Dimensionierung der Grundwasserentspannung von Schwerkraftbrunnen mit einem Radius von 0,16 m ausgegangen, die bis ca. 3 m unterhalb der Weichschichten verfiltert werden.

Zur effektiven Nutzung der Unterdruckentwässerung sowohl für den zuerst hergestellten als auch für den später hergestellten Graben können die Vakuumfilterlanzen ca. 1,0 m von der Böschungsoberkante entfernt in gegenseitigen Abständen von max. 2 m um die Baugrube hergestellt werden.

In den Berechnungen wurde zur Dimensionierung der Grundwasserentspannung- und -absenkung von Vakuumfilterlanzen mit einem Radius von 0,025 m ausgegangen, die bis ca. 3 m unterhalb der Weichschichten verfiltert werden.

Für die weitere Abschätzung der Reichweite und der potenziellen Förderrate bei einer Grundwasserentspannung bzw. -absenkung wird auf Basis der Unterlage Teil C von

folgenden Annahmen ausgegangen. Aus programmtechnischen Gründen der GGU-Software kann die Grundwasserdruckhöhe dabei nie oberhalb der Geländeoberkante liegen. Daher wird in den Berechnungen immer die Geländeoberkante in Höhe des (artesisch gespannten) bauzeitlichen Bemessungswasserstandes gesetzt. Dies hat aber keine Auswirkungen auf die Ergebnisse. In Tabelle 11 und Tabelle 12 sind die relevanten Eingangsdaten für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März bzw. sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September dargestellt. Tabelle 13 enthält die relevanten Eingangsdaten zur Wassermengenberechnung. Die für die Wasserhaltungsberechnungen verwendeten Bodenkennwerte können der Tabelle 4 und die Bemessungsprofile der Tabelle 5 entnommen werden.

Die in den nachfolgenden Tabellen dargestellten Baugrubenbreiten entsprechen im Falle der Schwerkraftentwässerung dem Abstand zwischen den beiden Grabenaußenkanten. Dieser ist im Regelfall ca. 13 m. Im Bereich der Aufsplittung in Einzelgräben kann dieser Abstand auch deutlich größer sein wie beispielsweise bis zu ca. 29 m im Bereich (ca. KM 7+725 bis KM 8+010). Im Falle der Unterdruckentwässerung entspricht die Baugrubenbreite 2,65 m der Grabensohlbreite der hier vorherrschenden Verlegungsweise im Schutzrohr.

Tabelle 11: Eingangsdaten für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März

KM	Bauzeitlicher Bemessungswasserstand	Absenkziel	Baugrubenlänge	Baugrubenbreite	Brunnenradius
	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[m]	[m]	[m]
0+000 bis 0+034	0,98	0,75	34	22	0,16
0+250 bis 0+410	1,03	0,20	160	42	0,16
7+603 bis 7+725	1,44	-1,31	122	2,65	0,025
7+725 bis 8+010	1,44	-0,95	285	29	0,16
8+355 bis 8+539	1,07	-1,15	184	2,65	0,025
8+538 bis 8+589	1,07	-1,97	50	2,65	0,025

Tabelle 12: Eingangsdaten für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September

KM	OK Gelände = bauzeitli- cher Be- messungs- wasser- stand	Absenkziel	Baugru- benlänge	Baugru- benbreite	Brunnenra- dius
	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[m]	[m]	[m]
0+000 bis 0+034	0,20	0,00	34	22	0,16
0+250 bis 0+410	0,20	-0,50	160	42	0,16
7+603 bis 7+725	0,40	-1,31	122	2,65	0,025
7+725 bis 8+010	0,40	-1,00	285	29	0,16
8+355 bis 8+539	0,40	-1,15	184	2,65	0,025
8+539 bis 8+589	1,07	-1,97	50	2,65	0,025

Tabelle 13: Eingangsdaten für die Wassermengenberechnung in der sturmflut-freien Zeit vom 1. April bis 14. September

KM	OK Gelände = bauzeitli- cher Be- messungs- wasser- stand	Absenkziel	Baugru- benlänge	Baugru- benbreite	Brunnenra- dius
	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[m]	[m]	[m]
0+000 bis 0+034	0,14	0,00	34	22	0,16
0+250 bis 0+410	0,14	-0,50	160	42	0,16
7+603 bis 7+725	0,28	-1,31	122	2,65	0,025
7+725 bis 8+010	0,28	-1,00	285	29	0,16
8+355 bis 8+539	0,28	-1,15	184	2,65	0,025
8+538 bis 8+589	0,28	-1,97	50	2,65	0,025

4.3.2.2 Ergebnisse der Untersuchungen

In Tabelle 14 und Tabelle 15 sind die Berechnungsergebnisse für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März bzw. sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September dargestellt.

Tabelle 16 enthält die Berechnungsergebnisse zur Wassermengenberechnung. Mit den Eingangsdaten wurden die Tabelle 17 zusammengestellten Gesamtfördermen-gen berechnet. Hierfür wird davon ausgegangen, dass die Wasserhaltung in jedem Bauabschnitt jeweils 2 Monate betrieben werden muss. Für den Abschnitt KM 8+355 bis KM 8+539 beinhalten die dargestellten Fördermengen bereits einen Zuschlag von 20%. Sie sind mit Z in den Tabellen gekennzeichnet. Der Zuschlag wurde gewählt, da im Bereich KM 8+355 bis KM 8+388 eine Aufsplittung in Einzelgräben erfolgt und es hier ggf. zu Mehrmengen an Förderwasser kommen kann.

Tabelle 14: Berechnungsergebnisse für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15. September bis 31. März

KM	Brunnen-(B) / Vakuumfil- teranzahl (V)	Brunnen-/ Vakuum- filterab- stand	Brunnen-/ Vakuumfil- tertiefe	Rechneri- sche Reich- weite	Max. För- derraten
	[-]	[m]	[NHN ± m]	[m]	[m³/h]
0+000 bis 0+034	2 B	25	-12,7	697	3,6
0+250 bis 0+410	8 B	23	-12,7	699	18,7
7+603 bis 7+725	138 V	2	-4,5	138	37,2
7+725 bis 8+010	13 B	24	-4,6	326	22,3
8+355 bis 8+539	198 V	2	-4,8	318	17,6 Z
8+538 bis 8+589	64 V	2	-5,0	134	24,5

Tabelle 15: Berechnungsergebnisse für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September

KM	Max. För- derraten
	[m³/h]
0+000 bis 0+034	3,1
0+250 bis 0+410	15,8
7+603 bis 7+725	22,3
7+725 bis 8+010	13,3

KM	Max. Förderraten
8+355 bis 8+539	12,2 Z
8+538 bis 8+589	18,4

Tabelle 16: Berechnungsergebnisse für die Wassermengenberechnung in der sturmflutfreien Zeit vom 1. April bis 14. September

KM	Max. Förderraten
	[m³/h]
0+000 bis 0+034	2,2
0+250 bis 0+410	14,4
7+603 bis 7+725	20,5
7+725 bis 8+010	12,0
8+355 bis 8+539	11,1 Z
8+539 bis 8+589	17,2

Tabelle 17: Wassermengenabschätzung bei einer Betriebsdauer von 2 Monaten in der sturmflutfreien Zeit 1. April bis 14. September

KM	Max. Förder- raten	Dauer	Gesamtfördermenge
	[m³/h]	[h]	[m³]
0+000 bis 0+034	2,20	1.440	3.168
0+250 bis 0+410	14,35	1.440	20.664
7+603 bis 7+725	20,52	1.440	29.549
7+725 bis 8+010	12,03	1.440	17.323
8+355 bis 8+539	11,11 Z	1.440	16.001 Z
8+538 bis 8+589	17,24	1.440	24.826

4.3.3 Absenkung von oberflächennahem Grundwasser

4.3.3.1 Randbedingungen

Für die weitere Abschätzung der Reichweite und der potenziellen Förderrate bei einer Grabenwasserhaltung wird auf Basis Unterlage Teil C von folgenden Annahmen ausgegangen.

Der Stauwasserstand wird max. an der Geländeoberkante angesetzt. In Tabelle 18 sind die relevanten Eingangsdaten für die Grabenwasserhaltung dargestellt. Die für die Wasserhaltungsberechnungen verwendeten Bodenkennwerte können Tabelle 4 und die Bemessungsprofile Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 18: Eingangsdaten für die Wassermengenberechnung der offenen Wasserhaltung

KM	Ok Gelände = Stauwasser- stand	Min. Aus- hubsohle	Baugruben- länge	Baugrubensohl- breite
	[NHN ± m]	[NHN ± m]	[m]	[m]
0+000 bis 0+080	-0,43	-3,63	80	2,65

KM	Ok Gelände = Stauwasser- stand	Min. Aus- hubsohle	Baugruben- länge	Baugrubensohl- breite
0+190 bis 0+410	-0,3	-3,99	220	2,65
0+910 bis 0+970	-0,35	-3,77	60	1,0
1+345 bis 1+400	0	-3,41	55	1,0
1+960 bis 2+233	0,97	-3,77	273	2,65
7+725 bis 8+010	1,69	-1,25	285	2,65
8+355 bis 8+539	1,05	-1,44	184	2,65

4.3.3.2 Ergebnisse der Untersuchungen

In der nachfolgenden Tabelle 19 sind die Berechnungsergebnisse zur Wassermengenberechnung der Grabenwasserhaltung dargestellt. Abschließend wurde in Tabelle 20 die Gesamtfördermengen berechnet, unter der Annahme, dass die Wasserhaltung 2 Monate betrieben werden muss.

Für die überwiegenden Abschnitte beinhalten die dargestellten Förderraten bereits Zuschläge. Sie sind mit Z in den Tabellen gekennzeichnet. Der Zuschlag wurde gewählt, da in Teilbereichen der Abschnitte eine Aufsplittung in Einzelgräben erfolgt und es hier zu Mehrmengen an Förderwasser kommen kann.

Tabelle 19: Berechnungsergebnisse Wassermengenberechnung der offenen Wasserhaltung

KM	Rechneri- sche Reich- weite	Max. Förder- raten	Zuschlag	Max. Förder- raten inkl. Zuschlag
	[m]	[m³/h]	[%]	[m³/h]
0+000 bis 0+080	2,15	0,09	75	0,16 Z
0+190 bis 0+410	2,48	0,22	30	0,29 Z

KM	Rechnerische Reichweite	Max. Förder-raten	Zuschlag	Max. Förder-raten inkl. Zuschlag
0+910 bis 0+970	2,29	0,06	200	0,18 Z
1+345 bis 1+400	2,29	0,07	200	0,21 Z
1+960 bis 2+233	3,18	0,58	40	0,81 Z
7+725 bis 8+010	1,97	0,49	10	0,54 Z
8+355 bis 8+539	1,67	0,35	10	0,31 Z

Tabelle 20: Wassermengenabschätzung bei einer Betriebsdauer von 2 Monaten

KM	Max. Förder-raten	Dauer	Gesamtförder-rate
	[m³/h]	[h]	[m³]
0+000 bis 0+080	0,16 Z	1.440	226,8 Z
0+190 bis 0+410	0,29 Z	1.440	412 Z
0+910 bis 0+970	0,18 Z	1.440	259 Z
1+345 bis 1+400	0,21 Z	1.440	302 Z
1+960 bis 2+233	0,81 Z	1.440	1.169 Z
7+725 bis 8+010	0,54 Z	1.440	776 Z
8+355 bis 8+539	0,31 Z	1.440	444 Z

4.3.4 Ableitung von Niederschlagswasser

4.3.4.1 Randbedingungen

Für die weitere Abschätzung der potenziellen Förderrate bei einer offenen Wasserhaltung für Niederschlagswasser, das der Grabenwasserhaltung zufließt, wird von folgenden Annahmen ausgegangen.

Die mittleren langjährigen Niederschlagshöhen für den PFA A2 betragen 900 mm bzw. 0,90 m. Die Niederschläge innerhalb des Grabens fließen zu 100% der Grabenwasserhaltung zu. Im Anschluss fließen die Niederschläge bis zu einer Entfernung von 10 m zu den Grabenaußenkanten unter Berücksichtigung eines Abflussbeiwertes 30% in den Graben. D.h. es wird angenommen, dass 70% dieser Niederschläge versickern oder verdunsten. Die Niederschläge ab 10 m Entfernung zum Graben werden diffus von den befestigten Flächen in Randbereiche abgeleitet und versickern entsprechend bzw. laufen in die vorhandenen Felddrainagen auf den Flächen.

Nur kurzzeitig kommt es bei Starkniederschlägen zu erhöhten Abflussmengen. Für die Berechnung des Spitzenwertes wurde ein 5-jährliches Starkregenereignis mit einer Dauer von 180 min gemäß KOSTRA-Atlas [33,0 l/(s×ha)] als maßgebliches Bemessungsereignis angesetzt. Bei den Niederschlagshöhen handelt es sich um rechnerisch exakte Werte aus der extremwertstatistischen Analyse.

In der nachfolgenden Tabelle 21 sind die relevanten Eingangsdaten für die Niederschlagsmengenberechnung dargestellt.

Tabelle 21: Eingangsdaten für die Wassermengenberechnung der Niederschlagsmengen

KM	Nieder-schlag pro Jahr	5-jährliches Starkregenereignis mit einer Dauer von 180 min	Baugrubenlänge	Einflussbreite Zufluss ab Grabenaußenkante	Abflussbeiwert Zufluss innerhalb Grabens	Abflussbeiwert Zufluss ab Grabenaußenkante
	[m]	[l/(s×ha)]	[m]	[m]	[-]	[-]
0+000 bis 0+080	0,9	33	80	20	1,0	0,3
0+190 bis 0+410	0,9	33	220	20	1,0	0,3
0+910 bis 0+970	0,9	33	60	20	1,0	0,3
1+345 bis 1+400	0,9	33	55	20	1,0	0,3
1+960 bis 2+233	0,9	33	273	20	1,0	0,3
7+725 bis 8+010	0,9	33	285	20	1,0	0,3
8+355 bis 8+539	0,9	33	184	20	1,0	0,3

4.3.4.2 Ergebnisse der Untersuchungen

In der nachfolgenden Tabelle 22 sind die Berechnungsergebnisse zur Niederschlagsberechnung der Grabenwasserhaltung dargestellt. Die Gesamtfördermengen wurden unter der Annahme berechnet, dass die Wasserhaltung 2 Monate betrieben werden muss.

Für die Wahl der Förderpumpen für die Grabenwasserhaltung wurden in

Tabelle 23 die Förderraten der offenen Wasserhaltung gemäß Tabelle 19 und die möglichen Förderraten bei Starkregenereignissen angegeben.

Allerdings ist hierbei zu beachten, dass bei Dauerregen und Starkregenereignissen üblicherweise ganze Landstriche der Marsch kurzzeitig komplett unter Wasser stehen. Diese trocknen allmählich mit nachlassenden Niederschlägen infolge von Flächendrängen und Verdunstung wieder ab. In solchen Fällen ist davon auszugehen,

dass auch eine lokale Beherrschung des Niederschlagswassers eine kurzzeitige Störung des Bauablaufs (Stillstand, Pumpeneinsatz, ggf. örtliches Nacharbeiten von Böschungen etc.) nicht sicher verhindern kann.

Tabelle 22: Berechnungsergebnisse Wassermengenberechnung der Niederschläge

KM	Max. Förder- raten	Dauer	Gesamtför- derrate
	[m³/h]	[h]	[m³]
0+000 bis 0+080	0,11	1.440	162
0+190 bis 0+410	0,31	1.440	444
0+910 bis 0+970	0,07	1.440	107
1+345 bis 1+400	0,07	1.440	98
1+960 bis 2+233	0,38	1.440	551
7+725 bis 8+010	0,40	1.440	576
8+355 bis 8+539	0,26	1.440	372

Tabelle 23: Übersicht Förderraten

KM	Max. Förder- raten bei Starkregen	Max. Förder- raten bei of- fener Was- serhaltung Graben
	[m³/h]	[m³/h]
0+000 bis 0+080	13,0	0,16 Z
0+190 bis 0+410	35,7	0,29 Z

KM	Max. Förder- raten bei Starkregen	Max. Förder- raten bei of- fener Was- serhaltung Graben
0+910 bis 0+970	8,6	0,18 Z
1+345 bis 1+400	7,8	0,21 Z
1+960 bis 2+233	44,3	0,81 Z
7+725 bis 8+010	46,2	0,54 Z
8+355 bis 8+539	29,8	0,39 Z

4.4 Erforderliche Wasserhaltungsmaßnahmen

Eine Übersicht der erforderlichen Wasserhaltungsmaßnahmen der jeweiligen Bauabschnitte ist in Tabelle 24 dargestellt. In Anhang AH01 sind die wesentlichen Daten für die Wasserhaltung steckbriefartig dargestellt.

Tabelle 24: Art der erforderlichen Entwässerung bei offener Bauweise

KM	Graben- wasser- haltung	Diffuse Versicke- rung für- Baustra- ßen und BE-Flä- chen	Schwerkraftentwässe- rung		Unterdruckentwässe- rung	
			Absenkung	Entspan- nung	Absenkung	Entspan- nung
0+000 bis 0+080	Ja	Ja	Nein	Ja, von KM 0+000 – KM 0+034	Nein	Nein
0+190 bis 0+410	Ja	Ja	Nein	Ja, von KM 0+250 – KM 0+410	Nein	Nein
0+910 bis 0+970	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein

KM	Graben- wasser- haltung	Diffuse Versicke- rung für- Baustra- ßen und BE-Flä- chen	Schwerkraftentwässe- rung		Unterdruckentwässe- rung	
1+345 bis 1+400	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
1+960 bis 2+233	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
7+603 bis 7+725	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein
7+725 bis 8+010	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein
8+355 bis 8+539	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja
8+539 bis 8+589	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein

4.5 Einleitung in Vorflut/Siel/Re-Infiltration

4.5.1 Wassermengen der gesamten Wasserhaltungsmaßnahmen

Im Folgenden werden die gesamten Wassermengen aus Kapitel 4.3 zusammengefasst.

Bei der Ermittlung der nachfolgend zusammengefassten Fördermengen wurde eine 2-monatige Förderdauer im 24 h Betrieb angesetzt.

4.5.1.1 SH Seite

In der nachfolgenden Tabelle 25 sind die einzelnen Wassermengen aus offener Wasserhaltung, geschlossener Wasserhaltung und Niederschlägen je Bauabschnitt dargestellt.

Auf der SH-Seite werden insgesamt nur geringfügige Absenkmaßnahmen erforderlich. Die Gesamtwassermengen betragen rund 27.563 m³.

Tabelle 25: Wassermengen der einzelnen Wasserhaltungsmaßnahmen in SH

Abschnitt	Wassermengen		
	Offene Wasserhaltung [m³]	Geschlossene Wasserhaltung [m³]	Niederschläge [m³]
Schleswig-Holstein			
KM 0+000 bis 0+080	227	3.168	162
KM 0+190 bis 0+410	412	20.664	444
KM 0+910 bis 0+970	259	-	107
KM 1+345 bis 1+400	302	-	98
KM 1+960 bis 2+233	1.169	-	551
Summe	2.369	23.832	1.362
Gesamtsumme	27.563		

4.5.1.2 NI Seite

In der nachfolgenden Tabelle 26 sind die einzelnen Wassermengen aus offener Wasserhaltung, geschlossener Wasserhaltung und Niederschlägen je Bauabschnitt dargestellt.

Auf der NI-Seite werden aufgrund der deutlich geringeren Weichschichtmächtigkeiten umfangreichere Absenkmaßnahmen erforderlich. Die Gesamtmengen betragen rund 89.867 m³.

Tabelle 26: Wassermengen der einzelnen Wasserhaltungsmaßnahmen in NI

Abschnitt	Wassermengen		
	Offene Wasserhaltung [m³]	Geschlossene Wasserhaltung [m³]	Niederschläge [m³]
Niedersachsen			
KM 7+603 bis 8+010	776	46.872	576
KM 8+355 bis 8+589	444	40.827	372
Summe	1.220	87.699	948
Gesamtsumme	89.867		

4.5.2 Bewertung Analytik

4.5.2.1 SH Seite

Für eine Einleitung in die im PFA A2 liegenden Oberflächengewässer in SH liegen keine behördlich vorgegebenen Einleitwerte vor.

Die aus den Jahresreihen 2017, 2019 und 2021 ermittelten 34 Analysen aus der Hollerwettern wurden zu einem Mittelwert zusammengefasst. Die 6 Grund- und Stauwasseranalysen aus Querung 18 und ElbX (SH) wurden zu einem weiteren Mittelwert zusammengefasst. Die Mischwasserberechnung basiert auf folgender Formel:

$$k_{Mw} = \frac{M_H \times V_H + M_G \times V_G}{V_H + V_G}$$

Mit

k_{Mw} = Mischwasserkonzentrationswert

M_H = Mittelwert Analysen Hollerwettern

V_H = mittlerer Abflusswert Hollerwettern

M_G = Mittelwert Analysen Grund – und Stauwasser

V_G = Mittlerer Volumenstrom Einleitung

Unter Zugrundelegung einer auf Mittelwerten basierenden Mischberechnung wird daher eine Einleitung von Grund- und Stauwasser in die Hollerwettern ohne vorlaufende Aufreinigung weiterverfolgt. Aufgrund der weitgehenden Vermischung des geförderten Wassers ist davon auszugehen, dass nicht einzelne Spitzenwerte, sondern Mittelwerte zur Beurteilung maßgebend sind.

Für die Mischberechnung wurden die in Kapitel 4.5.1.1 ermittelten Einleitmengen aus der Grundwasserentspannung in SH dem Abflusswert der Hollerwettern gegenübergestellt. Dem gegenüber stehen die Abflussverhältnisse der Hollerwettern. Hierfür wurden die regionalisierten Abflussdaten aus dem Agrar- und Umweltatlas des Landes Schleswig-Holstein herangezogen. Für eine Gegenüberstellung wurde hier der Abfluss-Wert für einen mittleren Abfluss gewählt. Die prozentuale Einleitmenge in die Hollerwettern beträgt etwa 5% des Abflusses aus der Hollerwettern.

Für diese Herangehensweise auf Grundlage von Mittelwerten kann nach Tabelle 30 angenommen werden, dass bei der Berechnung einer Mischkonzentration alle Parameter anschließend innerhalb der Schwankungsbreite der minimalen und maximalen Werte liegen. Die entsprechenden Werte sind in der Tabelle 30 grün markiert.

Tabelle 27: Mischwasserkalkulation zur Einleitung in die Hollerwettern

Menge Einleitung	Abfluss Holler- wettern	Einheit	Parameter	Einheit	Mittelwert GW aus 6 Analysen (SH)	Misch- Konzentration mit GW- und Hollerwetter	Holler- wettern ¹ Min 2017+2019+2 021	Holler- wettern ¹ Mittelwert 2017+2019+ 2021	Holler- wettern ¹ Max 2017+2019+ 2021
0,0053	0,106	m³/s	Eisen ges.	mg/l	21	3,30	0,895	2,43	6,76
0,0053	0,106	m³/s	Magnesium	mg/l	88	44,35	12,9	42,16	160
0,0053	0,106	m³/s	Blei	mg/l	0,0011	0,0019	0,0009	0,0019	0,0028
0,0053	0,106	m³/s	Cadmium	mg/l	0,00015	0,00012	0,0002	0,00012	0,00028
0,0053	0,106	m³/s	Nickel	mg/l	0,004	0,017	0,0038	0,0175	0,053
0,0053	0,106	m³/s	Quecksilber	mg/l	0,0001	0,000011	0,0000023	0,000007	0,000016
0,0053	0,106	m³/s	Calcium	mg/l	201	117,36	71,4	113,2	209
0,0053	0,106	m³/s	Chlorid	mg/l	870	311	54	283,2	2200
0,0053	0,106	m³/s	Kalium	mg/l	23	14,20	8,44	13,76	52,1
0,0053	0,106	m³/s	Natrium	mg/l	513	185	33	168,4	1380
0,0053	0,106	m³/s	Stickstoff ges.	mg/l	25	4,0	1,4	3	6,1
0,0053	0,106	m³/s	Ammonium-N	mg/l	24	1,51	0,013	0,39	1,9
0,0053	0,106	m³/s	Nitrat-N	mg/l	0,1	1,27	0,025	1,33	4,34
0,0053	0,106	m³/s	Nitrit-N	mg/l	0,0015	0,029	0,0005	0,03	0,104
0,0053	0,106	m³/s	Schwefel ges.	mg/l	184	85,59	4,33	80,67	251
			ortho-Phosphat-P	mg/l			0,0025	0,012	0,073
0,0053	0,106	m³/s	Phosphor ges.	mg/l	3,3	0,326	0,045	0,177	0,94
0,0053	0,106	m³/s	TOC	mg/l	43	18,60	11	17,38	34
0,0053	0,106	m³/s	pH-Wert		6,96	7,47	6,76	7,5	8,09
0,0053	0,106	m³/s	Wassertemperatur	°C	12,3	11,3	0,6	11,3	22,7
0,0053	0,106	m³/s	Leitfähigkeit	µ S/cm	41450	3787	664	1903,4	10130
0,0053	0,106	m³/s	Sauerstoff		0,19	8,27	2,62	8,67	14,83

¹ Quelle: LLUR Schleswig-Holstein ² unterhalb Bestimmungsgrenze, daher halbe Bestimmungsgrenze, Vorschlag aus MU Teil J

Max / Min - Wert nicht über-/unterschritten

Eine Verschlechterung der Gewässerwerte hinsichtlich bereits bekannter Analysenwerte ist nicht zu erwarten.

4.5.2.2 NI Seite

Für NI lagen keine Abflussdaten für den Druckgraben Polder 27 vor, so dass eine Mischkalkulation der Einleitwässer zur Gegenüberstellung mit den Bestandsgewässerdaten nicht weiterverfolgt wurde.

Unabhängig davon liegen für NI behördlich vorgegebene Einleitparameter für den Druckgraben Polder 27 vor.

Die Grundwasseranalysen wurden zu Mittelwerten zusammengefasst. Diese sind in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 28: Vergleich Mittelwert GW-Analysen mit behördlich vorgegebenen Einleitwerten

Parameter	Einheit	Mittelwert GW aus 2-6 Analysen (NI)	Einleitwerte UWB Stade ¹
Absetzbare Stoffe	mL/L	0,058	2
Abfiltrierbare Stoffe	mg/L	100	50
Eisen (II)	mg/L	13	
Eisen, ges.	mg/L	16	2
Ammonium	mg/L	12,1	
Sulfat	mg/L	94,8	
CSB	mg/L	43	50
Kohlenwasserstoffe	mg/L	0,05	2
AOX	mg/L	0,055	0,15
Magnesium	mg/L	75	
Arsen	mg/L	0,0027	0,05
Blei	mg/L	0,002	0,05
Cadmium	mg/L	0,00015	0,005
Chrom ges.	mg/L	0,0015	0,05
Kupfer	mg/L	0,027	0,1
Nickel	mg/L	0,0017	0,05
Quecksilber	mg/L	0,0001	0,001
Zink	mg/L	0,0843	0,3
Mangan	mg/L	2,8	
Calcium	mg/L	148	
Chlorid	mg/L	453	
Barium	mg/L	0,057	
Kalium	mg/L	55	
Natrium	mg/L	344	
Stickstoff ges. (CFA)	mg/L	8,3	10
Ammonium-N	mg/L	9,4	5
Chrom (VI)	mg/L	0,0025	0,01
Cobalt	mg/L	0,0012	
Silber	mg/L	0,0005	
Selen	mg/L	0,0005	
Cyanid I. freis. (CFA)	mg/L	0,0005	
Cyanid ges.	mg/L	0,0005	
Fluorid	mg/L	0,65	
Nitrat	mg/L	0,58	
Nitrat-N	mg/L	0,13	
Nitrit	mg/L	0,1475	
Nitrit-N	mg/L	0,045	0,1
Schwefel ges.	mg/L	62,4	
Sulfid (gelst)	mg/L	0,02	
ortho-Phosphat	mg/L	5,5	
Phosphor ges.	mg/L	4,3	0,5
TOC	mg/L	25	
Calcitlösekapazität	mg/L	-50,040	
pH-Wert		7,3	6,5-8,5
Sauerstoff	mg/l	0,100	6
Leitfähigkeit	µS/cm	2833	beobachten
Temperatur	°C	11,1	3-30
BSB5	mg/L	-	15
Zinn	mg/L	-	40

Legende
¹ Quelle, Behörde
² teils unterhalb Bestimmungsgrenze, daher halbe Bestimmungsgrenze, Vorschlag aus MU Teil J
Einleitwert überschritten

Im Vergleich der Grundwasseranalysen mit den vorgegebenen Einleitwerten ist festzustellen, dass folgende Parameter gemäß Tabelle 28 überschritten werden:

- Abfiltrierbare Stoffe
- Eisen (gesamt)
- Ammonium-N
- Phosphor (gesamt)

Daher ist einzukalkulieren, dass das einzuleitende Grundwasser aufbereitet werden muss. Insbesondere für den Parameter Ammonium-N muss eine biologische Aufbereitungsanlage bereitgestellt werden, die jedoch bei Nutzung allein durch den Trassenabschnitt im A2 einen unverhältnismäßig hohen Aufwand bedeutet.

Für die Elbquerung (Teil L06.5) wird bereits eine Wasseraufbereitung inklusive biologischer Reinigungsstufe vorgesehen. Da der niedersächsische Trassenabschnitt unmittelbar nach Fertigstellung der Elbquerung bearbeitet werden soll, wird für das hier anfallende Förderwasser abstimmungsgemäß die Reinigungsanlage des ElbX-Projektes weiter genutzt.

Die Wirkung der Reinigungsanlage ist in regelmäßigen Abständen nach Vorgaben der Behörde zu warten und ggf. nachzujustieren.

Die Entsorgung des aufbereiteten Grundwassers erfolgt über die ebenfalls weiter genutzte Druckrohrleitung in die Wischhafener Süderelbe.

4.5.3 Einleitstellen

4.5.3.1 SH Seite

SH:

In SH ist für das gefasste Wasser sowohl aus der Grundwasserentspannung als auch der Grabenwasserhaltung jeweils eine zu den jeweiligen Grabenbereichen ortsnahe Einleitstelle vorgesehen. Dabei wird das Wasser über einen Sandfang laufend direkt in die Oberflächengewässer Schinkel Wettern bzw. Hollerwettern sowie in Gruppen eingeleitet.

Für den Bereich von ca. **KM 0+000 bis 0+080** soll das Wasser in die Schinkel Wettern im Bereich des Arbeits- und Dienstbarkeitsstreifens der Querung Schinkel Wettern / B431 eingeleitet werden. Nach einer Vorortbegehung ist hierbei die Einleitstelle auf dem Flurstück 83 vorgesehen (s. Anlage 01). Die Koordinaten der Einleitstelle können ebenfalls der Anlage 01 entnommen werden.

Für den Bereich von ca. **KM 0+190 bis 0+410** soll das Wasser in die Hollerwettern im Bereich des Arbeits- und Dienstbarkeitsstreifens der Querung Hollerwettern eingeleitet werden. Nach einer Vorortbegehung ist hierbei die in Anlage 01 dargestellte Einleitstelle auf dem Flurstück 43/3 vorgesehen. Die Koordinaten der Einleitstelle können ebenfalls der Anlage 01 entnommen werden.

Die Wässer aus der Grabenwasserhaltung in den Abschnitten von ca. **KM 0+910 bis 0+970**, **KM 1+345 bis 1+400** und **KM 1+960 bis 2+233** sollen ebenfalls über temporäre Einleitstellen in die ortsnahen Gruppen eingeleitet werden. Die geplanten Einleitstellen sind inklusive Koordinaten in Anlage 01 dargestellt.

Für die Einleitung sind Einleitbauwerke mit diffuser Wassereinleitung vorzusehen, um Ausspülungen und Erosionen in den Gewässern zu vermeiden.

Die Einleitwässer fließen letztlich in der Hollerwettern zusammen und über das Schöpfwerk Hollerwettern in die Elbe.

Das Schöpfwerk Hollerwettern ist mit der Pumpenleistung für eine Kapazität von 1,5 m³/s bzw. 5.400 m³/h ausgelegt, die ggf. als Puffer für das im Einzugsgebiet anfallende Oberflächen- und Dränagewasser freigehalten werden müssen.

Bei den zu erwartenden Förder- und damit auch Einleitraten werden voraussichtlich keine Schwierigkeiten erwartet.

4.5.3.2 NI Seite

In NI wird das gefasste Wasser aus der Grundwasserabsenkung und -entspannung sowie der Grabenwasserhaltung vor einer Einleitung aufbereitet. Dabei wird insbesondere eine biologische Aufbereitung erforderlich. Hierfür wird die bereits für das

ElbX-Bauwerk vorgesehene Reinigungsanlage für den Kabeltrassenbau weitergenutzt. Dabei ist zu beachten, dass die Wassermengen des Trassenbaus an die maximal mögliche Reinigungsleistung der Aufbereitungsanlage abzustimmen sind.

Dies sind 820 m³/d bzw. ca. 34 m³/h. Gemäß 4.3 liegen die Förderraten aus der offenen, geschlossenen und den Niederschlägen deutlich unterhalb von ca. 34 m³/h.

Die Zuleitung der geförderten Wassermengen erfolgt im Abschnitt ca. KM 7+603 bis 8+010 innerhalb der Arbeits- und Schutzstreifenbreite in Richtung der Reinigungsanlage.

Analog erfolgt die Zuleitung im Abschnitt ca. KM 8+355 bis KM 8+589, muss jedoch in geeigneter Weise die Landesstraße L111 queren (Rohrbrücke).

Entsprechend dem Vorgehen beim ElbX-Bauwerk wird das Wasser nach Durchlaufen der Aufbereitung mittels Druckleitung in die Wischhafener Süderelbe eingeleitet.

4.6 Auswirkungen auf das Umfeld der Baumaßnahme

4.6.1 Nachbarbebauung

Auswirkungen auf die Nachbarbebauung sind nur zu erwarten, wenn im Bereich der Gebäude das Grundwasser unterhalb eines Niveaus gesenkt wird, das der Boden noch nicht aus historischen natürlichen Grundwasserschwankungen erfahren hat. In

Tabelle 29 sind die Auswirkungen der Wasserhaltung in Form von Setzungen auf die Nachbarbebauung für die jeweiligen Bauabschnitte für unterschiedliche Entfernungen zum Graben zusammengefasst. Für die jeweiligen Bauabschnitte sind auch jeweils die Reichweiten eines möglichen Setzungseinflusses gegeben. Zellen, in denen keine Eintragungen vorhanden sind, sind so zu interpretieren, dass keine Auswirkungen in diesem Abschnitt oder in dieser Entfernung zum Graben mehr auf die Umgebung zu erwarten sind.

Tabelle 29: Übersicht der Auswirkungen auf die Nachbarbebauung in einer Entfernung x zum Graben

KM	Min. Grundwasserstand im Baufeld	Reichweite des Setzungseinflusses	Setzungen in x m Entfernung zum Graben			
			25	50	100	200
	[NHN ± m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
0+000 bis 0+080	-0,4	0	-	-	-	-
0+190 bis 0+410	-0,4	70	2,6	1,3	-	-
0+910 bis 0+970	-0,4	0	-	-	-	-
1+345 bis 1+400	-0,4	0	-	-	-	-

KM	Min. Grundwasserstand im Baufeld	Reichweite des Setzungseinflusses	Setzungen in x m Entfernung zum Graben			
1+960 bis 2+233	-0,4	0	-	-	-	-
7+603 bis 7+725	0,1	98	9,9	6,0	-	-
7+725 bis 8+010	0,1	246	10,3	9,1	6,7	1,9
8+355 bis 8+539	-0,7	89	2,2	1,4	-	-
8+539 bis 8+589	-0,8	38	2,5	-	-	-

4.6.2 Grundwasserströmung

Im Allgemeinen sind im fTK beidseitig der Elbe aufgrund der Geländemorphologie nur geringe hydraulische Gefälle und somit niedrige Grundwasserströmungsgeschwindigkeiten vorhanden. Auf der SH-Seite ist die Strömungsrichtung von der Elbe ausgehend landeinwärts in Richtung Nordost gerichtet. Auf der NI-Elbseite ist die Strömung von der Elbe ausgehend landeinwärts in Richtung Südwest gerichtet.

Durch die ggf. erforderliche Grundwasserentspannung kann lokal innerhalb des Absenktrichters die Strömungsrichtung des Grundwassers auf die Brunnen ausgerichtet sein und daher die generelle Strömungsrichtung leicht beeinflussen. In Hinblick auf die geringen Strömungsgeschwindigkeiten und niedrigen hydraulischen Gefälle im Ausgangszustand wird im Bereich der Grabentrasse bauzeitlich eine hydraulische Senke erzeugt, zu der das Grundwasser hinströmt.

Die oberflächennahen Entwässerungsmaßnahmen haben dagegen keine Auswirkungen auf den GWL unterhalb des GWSt.

In der nachfolgenden Tabelle 30 sind die Bereiche dargestellt, in denen lokal innerhalb des Absenktrichters die Strömungsrichtung des Grundwassers auf die Brunnen bzw. Vakuumfilteranlagen ausgerichtet sein kann und daher die generelle Strömungsrichtung leicht beeinflussen kann.

Tabelle 30: Übersicht der Auswirkungen auf die Grundwasserströmung

KM	Beeinflussung der Strömungsrichtung möglich
0+000 bis 0+080	ja

KM	Beeinflussung der Strömungsrichtung möglich
0+190 bis 0+410	ja
0+910 bis 0+970	nein
1+345 bis 1+400	nein
1+960 bis 2+233	nein
7+603 bis 7+725	ja
7+725 bis 8+010	ja
8+355 bis 8+589	ja

4.6.3 Einfluss auf Flora und Fauna

Angaben zur Beeinflussung des Bodens und von Flora und Fauna durch die in Teilbereichen erforderliche Grundwasserentspannung bzw. -absenkung bzw. der Absenkung von oberflächennahem Grundwasser sind dem Bodenschutzkonzept (Teil L02.1) und Fachbeiträgen (Teil F und Teil J) zu entnehmen.

4.6.4 Grundwasserentnahmen

Im Einflussbereich der in Teilbereichen der Bauabschnitte erforderlichen Grundwasserentspannung bzw. -absenkung sind gemäß Angaben der Behörden weder zur Trinkwasser- noch zur Brauchwasserversorgung Grundwasserentnahmen vorhanden.

4.7 Monitoringkonzept

An den Einleitungsstellen für Abwässer aus Wasserhaltungsanlagen des offenen Kabelgrabens erfolgt im Zusammenhang mit der temporären Entnahme von Grundwasser eine:

- regelmäßige Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Entnahme sowie der installierten Bestandteile und
- regelmäßige Überprüfung der Einleitungsstellen im Hinblick auf nachteilige Auswirkungen für das benutzte Gewässer, z. B. im Zusammenhang mit der Benutzung auftretende Erosionen, Eintrag von absetzbaren Stoffen, etc.

- Ermittlung der geförderten und eingeleiteten Wassermengen über Wasserzähler
- Chemische Kontrollanalysen auf die relevanten Einleitparameter vor sowie nach Wasseraufbereitung

Zur Ermittlung der geförderten Wassermengen wird im Regelfall stichprobenartig an einem Förderaggregat der Wasserhaltungsanlage eine Messeinrichtung installiert, die werktäglich abgelesen und in einem Wasserbuch dokumentiert wird.

Soweit infolge der installierten Förderkapazität eine Überschreitung der berechneten maximalen Einleitungsmengen zu erwarten ist bzw. die geförderten Gesamtmengen an Abwasser die berechnete Gesamteinleitungsmenge vorzeitig überschreitet, ist die zuständige Behörde unverzüglich zu unterrichten.

Weiterhin werden die Einleitmengen an jeder Einleitstelle in einem Wasserbuch dokumentiert.

In den Abschnitten von KM 0+000 bis 0+080, KM 0+190 bis 0+410, KM 7+603 bis 8+010 und von KM 8+355 bis 8+589 sollen zur Kontrolle des jeweiligen Absenkzieles, zur Dokumentation von Absenktrichtern und zur Beobachtung kritischer Wasserdrücke Grundwassermessstellen im Umfeld der Baugruben errichtet werden.

Zudem sollten insbesondere in der sturmflutgefährdeten Zeit vom 15. September bis 31. März mehrmals in der Woche Pegelprognosen erstellt werden, um rechtzeitig auf tidebedingte kritische Grundwasserstände reagieren zu können.

In Tabelle 31 sind die zu empfehlenden Maßnahmen für eine Beweissicherung der Umgebung zusammengefasst. Hierbei wird zwischen einer grundsätzlichen und detaillierten Situationsaufnahme unterschieden.

In den Bauabschnitten, in denen keine Auswirkungen auf die Umgebung zu erwarten sind, ist keine detaillierte Beweissicherung erforderlich. Allerdings sollte trotzdem vorsorglich eine grundsätzliche Situationsaufnahme mit beweissichernden Fotos erfolgen.

Aufgrund der Grundwasserabsenkung und -entspannung wird für einige Bauabschnitte aber eine detaillierte Situationsaufnahme in Form einer Ortsbegehung mit Fotodokumentation und umfassender Aufnahme vorhandener Risse für Gebäude, Straßen, Kanalisationsanlagen und schutzwürdigen Bäumen empfohlen. Grundleitungen an Gebäuden neigen durch Setzungen zur Umkehr der Fließrichtung und an tief gegründeten Gebäuden zum Abreißen.

Der Umfang dieser Maßnahmen sollte auf den Bereich der Reichweite des Setzeinflusses gemäß Abschnitt 4.6.1 beschränkt werden.

In der Anlage 01 sind die Einwirkungsbereiche der Grundwasserhaltung dargestellt, in denen mit Bauwerkssetzungen zu rechnen ist.

Die Beweissicherungsmaßnahmen werden im Rahmen der Ausführungsplanungen konkretisiert.

Tabelle 31: Übersicht der Beweissicherungsmaßnahmen

KM	Maßnahme
0+000 bis 0+080	grundsätzliche Situationsaufnahme
0+190 bis 0+250	grundsätzliche Situationsaufnahme
0+250 bis 0+410	detaillierte Situationsaufnahme im Umkreis von 70 m
0+910 bis 0+970	grundsätzliche Situationsaufnahme
1+345 bis 1+400	grundsätzliche Situationsaufnahme
1+960 bis 2+233	grundsätzliche Situationsaufnahme
7+603 bis 7+725	detaillierte Situationsaufnahme im Umkreis von 100 m
7+725 bis 8+010	detaillierte Situationsaufnahme im Umkreis von 250 m
8+355 bis 8+539	detaillierte Situationsaufnahme im Umkreis von 90 m
8+539 bis 8+589	detaillierte Situationsaufnahme im Umkreis von 40 m

4.8 Empfehlungen und Hinweise

Hinweis 1:

Nach den vorliegenden Daten können während der sturmflutgefährdeten Zeit (15. September bis zum 31. März) an einzelnen Tagen Elbwasserstände von $NHN > +4,10$ m auftreten. Daher sind in der sturmflutgefährdeten Zeit mehrmals in der Woche Pegelprognosen durchzuführen, um im Bedarfsfall die Baugrube zusätzlich sichern zu können, damit ein Aufschwimmen der Baugrubensohle verhindert wird. Zusätzliche Sicherungsmaßnahmen könnten eine Beschwerung der Sohle durch Ballastierung oder Flutung sein bzw. zusätzliche Entspannungen von Wasser.

Es wird daher für diese Bauabschnitte der Bau von Grundwassermessstellen empfohlen, die unterhalb der vorhandenen Weichschichten verfiltert werden.

Innerhalb der Grundwassermessstellen ist für Beweissicherungs- und Kontrollzwecke eine dauerhafte Dataloggermessung bis zum Ende der Bauzeit zu empfehlen.

Im Vorfeld der Ausführungsplanung ist zudem die Durchführung von Pumpversuchen zu empfehlen, da anhand dieser eine genauere Reichweitenbetrachtung erfolgen kann.

Hinweis 2:

In Teilbereichen einiger Bauabschnitte befindet sich die Aushubsohle unterhalb der Weichschichten. Diese Bereiche wurden von uns anhand der vorliegenden Baugrundaufschlüsse grob abgeschätzt. Um diese Bereiche zu präzisieren, sind im Vorfeld der Baumaßnahme engmaschigere Baugrundaufschlüsse erforderlich.

Nachfolgende Tabelle 32 enthält eine Übersicht der Empfehlungen und Hinweise.

Tabelle 32: Übersicht der Empfehlungen und Hinweise

KM	s. Hinweis Nr.
0+000 bis 0+080	1
0+190 bis 0+410	1
0+910 bis 0+970	keine
1+345 bis 1+400	keine
1+960 bis 2+233	keine
7+603 bis 8+010	1+2
8+355 bis 8+589	1+2

5 Verzeichnisse

5.1 Literaturverzeichnis

- /1/ **Civilserve GmbH**, GGU-DRAWDOWN, Version 4, Berechnung von Mehrbrunnenanlagen mit Optimierungsroutinen, Stand Mai 2021

5.2 Quellenverzeichnis

- /2/ **Landesamt für Landwirtschaft**, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein: Landwirtschafts- und Umweltatlas. <http://www.umweltdaten.landsh.de/>, zuletzt abgerufen am 02.03.2022
- /3/ **Pegelonline**, Daten der Pegel Glückstadt und Brokdorf, Wasserstandsmessungen <https://www.pegelonline.wsv.de>, Aufruf am 02.03.2022