

Unterlage für Wasserwirtschaftliche Belange

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	5
Anlagenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Allgemeine Unterlagen.....	9
1.1 Erläuterungsbericht.....	9
1.1.1 Beschreibung des Vorhabens	9
1.1.2 Verfügbare Datengrundlage	10
1.1.3 Begründung wasserwirtschaftlicher Antragsgegenstände	10
1.1.4 Entwässerungsverhältnisse /-anlagen	11
1.1.5 Betroffenheit wasserrechtlich relevanter Schutzgebiete	14
1.1.6 Wassergefährdende Stoffe	16
1.1.7 Altlasten, Industrieanlagen und andere wasserwirtschaftlich relevante Nutzflächen und bauliche Einrichtungen	19
1.1.8 Angaben zur möglichen Beeinträchtigung der Rechte Dritter	19
1.2 Geologische Verhältnisse	19
1.3 Hydrogeologische Verhältnisse	20
1.3.1 hydrogeologische Stockwerksgliederung (unter Bezug zu dem geologischen Schichtenaufbau)	21
1.3.2 Wasserleiter des Quartärs	22
1.3.3 Wasserleiter des Tertiärs	24
1.3.4 Ergebnisse von Stichtagsmessungen	24
1.3.5 Ausbildung, Mächtigkeit und hydraulische Kennwerte der Grundwasserstockwerke	25
1.3.6 Erläuternde Bezugnahme auf hydrogeologische Querschnittsprofile	29
1.3.7 Darstellung, welche Grundwasserstockwerke von einer Baumaßnahme betroffen sind	32
1.3.8 Darstellung der Grundwasserströmungsverhältnisse mind. für die durch die Baumaßnahme unmittelbar betroffenen GW-Stockwerke	32
1.3.9 Ableitung der Bemessungsgrundwasserstände für die Baumaßnahmen	34
1.4 Hydrochemische Verhältnisse.....	42
1.4.1 Beton- und Stahlaggressivität	42
1.4.2 Salinität	43
1.5 Gewässerökologische Verhältnisse	44
1.5.1 Fließgewässer	44
1.5.2 Stillgewässer	45
1.5.3 Küstengewässer	45
1.5.4 Grundwasserkörper	46
1.5.5 Küstenwasserkörper	47
2 Sachverhaltsspezifische Unterlagen	48
2.1 Bauwasserhaltung und grundwassererhebliche Arbeiten	48

2.1.1 Maßnahmen zur Bewertung potenzieller Veränderungen durch Grundwasserabsenkungen ..	48
2.1.2 Beschreibung von Wasserhaltungsmaßnahmen	55
2.1.3 Prognose bauzeitlicher Eingriffe und Auswirkungen geplanter Bestandsbauwerke auf die Grundwasserströmungsverhältnisse und die Grundwasserbeschaffenheit	63
2.1.4 Bodeninjektionen	67
2.2 Dauerhafte Einleitung von Niederschlagswasser in Gewässer	67
2.2.1 Entwässerungssituation	67
2.2.2 Niederschlags-Abfluss-Modellierung (N-A-Modellierung)	71
2.3 Bauzeitliche Einleitung von Niederschlagswasser in Gewässer	72
2.4 Anlagen zur dauerhaften Grundwasserentnahme	72
2.5 Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrunds (Geothermie)	73
2.6 Anlagen an, in, über, unter oberirdischen Gewässer nach § 36 WHG	73
2.7 Einleitung von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen (Indirekteinleitung)	73
2.8 Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	73
2.9 Betroffenheit wasserrechtlich relevanter Schutzgebiete	75
2.9.1 Wasserschutzgebiete im Sinne der §§ 51 ff. WHG	75
2.9.2 Heilquellenschutzgebiete im Sinne des § 53 WHG	75
2.9.3 Überschwemmungsgebiete im Sinne der §§ 76 ff. WHG	75
3 Verwendete Unterlagen und Literatur	77

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Auszug DigitalerAtlasNord - Großenbrode [U54] (entnommen aus PFU 12)	12
Abb. 2:	Auszug DigitalerAtlasNord - Fehmarn [U54] (entnommen aus PFU 12)	13
Abb. 3:	Hochwassergefahrenkarte HW ₂₀₀ [U43].	14
Abb. 4:	Schutzgebiete des Untersuchungsraumes (nach [U43], entnommen aus [U21]) ..	15
Abb. 5:	Trinkwassergewinnungs- und Trinkwasserschutzgebiete des Untersuchungsraumes (nach [U43])	16
Abb. 6:	Vorgesehene Einleitstellen, Bodenlagerflächen und Bauwerke am Festland im Bauzustand (angepasste Abbildung aus [U16])	17
Abb. 7:	Geologische Karte 1:250000, 53 = Geschiebelehm, -mergel über marinen Tonen (Weichsel-Kaltzeit), 56 = Geschiebelehm, -mergel über Ton (Weichsel-Kaltzeit/Eozän), [U43].	20
Abb. 8:	Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	33
Abb. 9:	Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen inkl. Darstellung der Grundwasserscheide ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	34

Abb. 10:	Hochwasserschutzlinie (in Rot) im Bereich des Tunnelportals auf der Festlandseite (Blau – überflutete Flächen bei NHN +3,80 m, Gelb/Grün – Flächen mit einer Geländehöhe größer NHN +3,80 m) (entnommen aus [U25]).	41
Abb. 11:	Hochwasserschutz im Bereich des Tunnelportals auf Fehmarn (Blau – überflutete Flächen bei NHN +3,60 m, Gelb/Grün – Flächen mit einer Geländehöhe größer NHN +3,60 m) (entnommen aus [U25]).	42
Abb. 12:	Grundwasserkörper ‚Kossau/ Oldenburger Graben‘ ST07 und ‚Fehmarn‘ ST08 mit repräsentativen Messstellen nach EU-WRRL (nach [U43]) und Lage des Untersuchungsgebiets (rot) (entnommen aus [U21]).	46
Abb. 13:	Übersicht der Wasserkörper und Lage des Untersuchungsgebietes mit repräsentativen Messstellen nach WRRL (nach [U43]) (entnommen aus [U21]).	47
Abb. 14:	Draufsicht der Leitungen und des Pumpensumpf im Trockendock (gemäß [U16])	57
Abb. 15:	Gebietsentwässerung im Bauzustand, Festland (links) und Fehmarn (rechts). (entnommen aus PFU 12)	59
Abb. 16:	Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	65
Abb. 17:	Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	66
Abb. 18:	Übersicht Entwässerung Großenbrode, graue Ellipse = RRB der Bahn, orange Ellipse = RRB und RBFA der Straße (entnommen aus PFU 12.01).	68
Abb. 19:	Übersicht Entwässerung Fehmarn, graue Ellipse = RRB der Bahn, orange Ellipse = RRB und RBFA der Straße (entnommen aus PFU 12.01).	70
Abb. 20:	Trinkwasserbrunnen (grüne und blaue Punkte) [U55].	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Allgemeine Übersicht der wasserwirtschaftlichen Antragsgegenstände	10
Tabelle 2	Grundwasserstände zur Stichtagsmessung 12.01.2023 (PFU 41.02, 41.04 und [U13])	24
Tabelle 3	Bemessungswasserstände nach unterschiedlichen Bereichen des Absenktunnels (PFU 41.01)	36
Tabelle 4	Bemessungswasserstände nach unterschiedlichen Bereichen der Trogbauwerke (PFU 41.04)	38
Tabelle 5	Bemessungswasserstände nach unterschiedlichen Bereichen des Trockendocks (PFU 41.02)	40
Tabelle 6	technische Daten der GWM	48
Tabelle 7	Messdaten am Förderbrunnen GWM B 122 und Kontrollpegel [U7]	50
Tabelle 8	Messdaten am Förderbrunnen GWM B 123 und Kontrollpegel [U7]	51
Tabelle 9	Wassermengen während der Bauphasen, minimale und maximale Förderraten ..	61

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2022\70-22-087 DB Hydrogeol. Gutachten FSQ_SnI_ScI\Baugrunderkundung\Berichte\70-22-087_Unterlage ww Belange\6. Arbeitsstand\70-22-087_EBA_Stand 25-04-28_Tmü.docx

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtsplan mit Lage des Plangebietes
Anlage 1.1	Übersichtskarte, Bahn und Straße, Maßstab 1:25000 (siehe PFU 02.01.001)
Anlage 1.2	Lagepläne (siehe PFU 03.01)
Anlage 2	Lageplan mit Darstellung der wasserwirtschaftlichen Sachverhalte
Anlage 2.1	Übersichtslagepläne Entwässerungskonzept, Entwässerungsabschnitte und Einleitstellen (siehe PFU 12.04)
Anlage 2.2	Lageplan kommunale Altlastenverdachtsflächen Großenbrode (siehe Anlage 2.2 in PFU 38)
Anlage 2.3	Lageplan kommunale Altlastenverdachtsflächen Fehmarn-Süd (siehe Anlage 2.3 in PFU 38)
Anlage 3	Thematische Karten/Pläne
Anlage 3.1	oberflächennahe Wasserleiter
Anlage 3.2	Schutzwirkung Deckschichten
Anlage 3.3	Sickerwasserraten
Anlage 3.4	Wasserrückhaltevermögen (regional bewertet)
Anlage 3.5	Referenzwasserstände HW ₂₀ , HW ₅₀ , HW ₁₀₀ und HW ₂₀₀ für den Bereich Fehmarnsund (siehe Anlage 11 in PFU 41.02)
Anlage 3.6	Retentionsbodenfilteranlagen und Regenrückhaltebecken (siehe PFU 07.05)
Anlage 3.7	Dükerbauwerke inkl. Durchlässe (siehe PFU 07.06)
Anlage 3.8	Hochwasserschutz Deich (siehe PFU 07.07)
Anlage 3.9	Hydrogeologische Plangrundlagen (siehe PFU 41.28.001)
Anlage 4	(Hydro-) Geologische Schnitte
Anlage 4.1	Absenktunnel (siehe Anlage 4 in PFU 41.01)
Anlage 4.2	Trockendock (siehe Anlage 4 in PFU 41.02)
Anlage 4.3	Tunnel offene Bauweise Fehmarn (siehe Anlage 4 in [U13])
Anlage 4.4	Trogbauwerke Festland und Insel (siehe Anlage 4 in PFU 41.04)
Anlage 5	Ergebnisse hydro(geo)logischer Spezialuntersuchungen
Anlage 5.1	Grundwassermonitoring (Ganglinien) im Bereich des Absenktunnels (siehe Anlage 9 in PFU 41.01)
Anlage 5.2	Grundwassermonitoring (Ganglinien) im Bereich des Trockendocks (siehe Anlage 9 in PFU 41.02)

Anlage 5.3	Grundwassermonitoring (Ganglinien) im Bereich des Tunnels in offener Bauweise (siehe Anlage 9 in [U13])
Anlage 5.4	Grundwassermonitoring (Ganglinien) im Bereich der Trogbauwerke (siehe Anlage 9 in PFU 41.04)
Anlage 5.5.1 – 5.5.9	Pumpversuche [U7]
Anlage 5.6.1 – 5.6.19	Bericht: Klimatische Verhältnisse [U12]
Anlage 5.7	Bericht zur Niederschlag-Abfluss-Modellierung Endzustand Bahn (siehe PFU 49.01)
Anlage 5.8	Bericht zur Niederschlag-Abfluss-Modellierung Endzustand Straße (siehe PFU 49.02)
Anlage 5.9	Bericht zur bauzeitlichen Niederschlag-Abfluss-Modellierung (siehe PFU 49.03)
Anlage 5.10	Bericht zur Niederschlag-Abfluss-Modellierung Endzustand (Fortschreibung) (siehe PFU 49.04)
Anlage 5.11.1 – 5.11.37	Hydrogeologischer Bericht zur Ermittlung der Auswirkung der Baumaßnahme auf die Grundwasserdynamik – 1. Revision
Anlage 5.12.1 – 5.12.38	Hydrogeologischer Bericht zur Berechnung der bauzeitlichen Wasserhaltung
Anlage 6	Ausbauzeichnungen der Grundwassermessstellen
Anlage 6.1	Absenktunnel (siehe Anlage 3 in PFU 41.01)
Anlage 6.2	Trockendock (siehe Anlage 3 in PFU 41.02)
Anlage 6.3	Tunnel offene Bauweise Fehmarn (siehe Anlage 3 in [U13])
Anlage 6.4	Trogbauwerke Festland und Insel (siehe Anlage 3 in PFU 41.04)
Anlage 7	Ergebnisse chemischer Analysen von Grund- und Ostseewasser
Anlage 7.1	Absenktunnel (siehe Anlage 8 in PFU 41.01)
Anlage 7.2	Trockendock (siehe Anlage 8 in PFU 41.02)
Anlage 7.3	Tunnel offene Bauweise Fehmarn (siehe Anlage 8 in [U13])
Anlage 7.4	Trogbauwerke Festland und Insel (siehe Anlage 8 in PFU 41.04)

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Ausbaustrecke
ALVF	Altlastenverdachtsfläche
BKompV	Bundeskompensationsverordnung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BoVEK	Bodenverwertungs- und Entsorgungskonzeptes
BRPHV	Verordnung über die Raumordnung im Bund für einen länderübergreifenden Hochwasserschutz
BSWAG	Bundesschienenwegeausbaugesetz
DEGES	Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
EBA	Eisenbahnbundesamt
FFH	Fauna-Flora-Habitat
GOK	Geländeoberkante
GrwV	Grundwasserverordnung
GW	Grundwasser
GWK	Grundwasserkörper
GWM	Grundwassermessstelle
KWK	Küstenwasserkörper
LBP	Landschaftspflegerische Begleitplan
N-A-Modellierung	Niederschlag-Abfluss-Modellierung
NBS	Neubaustrecke
NHN	Normalhöhennull
PFU	Planfeststellungsunterlage
RBFA	Retentionsbodenfilteranlagen
ROV	Raumordnungsverfahren
RRB	Regenrückhaltebecken
RRR	Regenrückhalteräume
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WBV	Wasser- und Bodenverband
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WG	Wassergesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WSG	Wasserschutzgebiet

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2022\70-22-087 DB Hydrogeol. Gutachten FSQ_SnI_ScI\Baugrunderkundung\Berichte\70-22-087_Unterlage ww Belange\6. Arbeitsstand\70-22-087_EBA_Stand 25-04-28_Tmü.docx

1 Allgemeine Unterlagen

1.1 Erläuterungsbericht

1.1.1 Beschreibung des Vorhabens

Im September 2008 wurde mit einem Staatsvertrag zwischen dem Königreich Dänemark und der Bundesrepublik Deutschland (BRD) der Bau einer „Festen Fehmarnbeltquerung“ beschlossen. Während Dänemark sich zum Bau des Tunnels durch den Fehmarnbelt verpflichtet hat, ist die Bundesrepublik Deutschland verantwortlich für die Herstellung einer leistungsfähigen landseitigen Straßen- und Schienenanbindung für das Bauwerk auf deutscher Seite (Hinterlandanbindung).

Für den Ausbau der Eisenbahnstrecke Lübeck – Puttgarden wurde die DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024 DB Netz AG) im Jahr 2008 auf der Grundlage des Bundesschienenwegeausbaugesetzes (BSWAG) vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, vormals BMVI) beauftragt. Die vorhandene Eisenbahnstrecke Lübeck – Puttgarden (DB-Strecken-Nr. 1100) soll auf ca. 88 km zweigleisig ausgebaut, elektrifiziert und streckenweise auf eine maximale Geschwindigkeit von 200 km/h ertüchtigt werden. Als Ergebnis eines vom Land Schleswig-Holstein durchgeführten Raumordnungsverfahrens (ROV) werden durch Umfahrungen davon 55 km als Neubaustrecke realisiert.

Gemäß Bundesverkehrswegeplan 2030 und dem Gesetz zur Änderung des Fernstraßenausbaugesetzes vom 23.12.2016 wird die B 207 mit einem vierstreifigen Querschnitt zwischen Heiligenhafen-Ost und Puttgarden ausgebaut. Der Planfeststellungsbeschluss für den Ausbau der B 207 wurde 2015 erlassen. Dieser ist seit dem 25.08.2021 bestandskräftig. Die DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (nachfolgend kurz DEGES) wurde im Jahr 2019 vom Land Schleswig-Holstein beauftragt, den Ausbau der B 207 zu realisieren.

Im Zuge der Anbindung des Fehmarnbelt-Tunnels an das deutsche Schienen- und Straßennetz ist ein leistungsfähiger Ersatz bzw. eine Erweiterung für die bestehende Fehmarnsundquerung zwischen der Insel Fehmarn und dem ostholsteinischen Festland notwendig. Im Jahr 2010 durchgeführte Belastungstests haben gezeigt, dass die Fehmarnsundbrücke von 1963 den künftigen Belastungen des Verkehrs von Straße und Schiene nicht mehr gewachsen ist.

Deshalb wurden nachgelagert zum Projektauftrag von 2008 ab dem Jahr 2014 in einem aufwändigen Verfahren zahlreiche Varianten (Bohr- und Absenktunnel sowie kombinierte und getrennte Brücken) für eine leistungsfähigere Sundquerung untersucht. Der auf Ebene der Vorplanung durchgeführte Variantenvergleich hat als Vorzugsvariante einen „Kombinierten Absenktunnel“ für den zukünftigen Straßen- und Eisenbahnverkehr ergeben.

Die Tunnellösung mit Erhalt der Fehmarnsundbrücke trägt den verkehrlichen Erfordernissen im Hinblick auf Leichtigkeit und Sicherheit Rechnung und entspricht zudem der im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung vom „Dialogforum Feste Fehmarnbeltquerung“ erarbeiteten Konsensvariante.

Der kombinierte Absenktunnel für Schiene und Straße wird gemeinsam von den Vorhabenträgerinnen DB InfraGO AG und Bundesrepublik Deutschland, letztgenannte vertreten durch das Land Schleswig-Holstein, vertreten durch die DEGES, geplant und realisiert. Die Ertüchtigung der Fehmarnsundbrücke für die langsamen Verkehre wird durch die DEGES im Auftrag des Landes Schleswig-Holstein als eigenständiges Projekt realisiert.

Die Lage des geplanten Bauvorhabens geht aus PFU 02.01.001 und 03.01 hervor. Der Erläuterungsbericht zur Gesamtmaßnahme ist in PFU 01.01.001 enthalten.

Für das Vorhaben ist die Erstellung der Unterlagen für wasserwirtschaftliche Belange zur hydrogeologischen Beurteilung der Grundwasserverhältnisse, die hydrogeologische Bewertung des Einflusses der Baumaßnahme auf das Grundwasser sowohl während der Bauzeit als auch im Betrieb erforderlich. Im Rahmen dieser hydrogeologischen Bewertung soll der potentielle Einfluss der geplanten Bauwerke, auf die im betrachteten Gebiet vorherrschende Hydrogeologie gutachterlich konkretisiert werden.

1.1.2 Verfügbare Datengrundlage

Das hydrogeologische Gutachten wurde auf Grundlage der vorliegenden Bestandsunterlagen der zuständigen Behörden (geologische Karten, hydrogeologische Karten, o. Ä.) und dem zum Design Freeze im Dezember 2023 vorliegenden Ergebnissen der Baugrunduntersuchungen, des Grundwassermonitorings und bisher vorliegender Planungsunterlagen (Stand 18.09.2024) erarbeitet (Abschnitt 3).

1.1.3 Begründung wasserwirtschaftlicher Antragsgegenstände

Im Folgenden wird eine allgemeine Übersicht zu den wasserwirtschaftlichen Antragsgegenständen gegeben. Detaillierte Angaben liefert die Tabelle zu den wasserrechtlichen Antragsgegenständen in der PFU 01.01.001.

Tabelle 1 Allgemeine Übersicht der wasserwirtschaftlichen Antragsgegenstände

Bauwerk bzw. Art der Maßnahme	wasserrechtlicher Benutzungstatbestand	
	§ WHG	Gesetzestext
z. B. Absenktunnel, ToB, Trockendock, Trogbauwerke, Schlitzwände	§ 9 Abs. 1 Nr. 4	Einbringen und Einleiten von Stoffen in Gewässer
bauzeitliche Grundwasserabsenkung und Einleitung der geförderten Wassermengen	§ 9 Abs. 1 Nr. 4 und Nr. 5	Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser während der Bauzeit

Bauwerk bzw. Art der Maßnahme	wasserrechtlicher Benutzungstatbestand	
	§ WHG	Gesetzestext
Niederschlagswasser	§ 9 Abs. 1 Nr. 4	Dauerhaftes Einleiten von Stoffen in Gewässer
z. B. Absenktunnel, ToB, Trockendock, Trogbauwerke, Schlitzwände	§ 9 Abs. 2 Nr. 1	Aufstauen, Absenken und Umleiten von Grundwasser durch Anlagen, die hierfür bestimmt oder geeignet sind
z. B. Trockendock	§ 9 Abs. 1 Nr. 1	Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern
z. B. Trockendock	§ 9 Abs. 1 Nr. 2	Aufstauen und Absenken von oberirdischen Gewässern
Düker, Gewässer 1 (Kreisverkehr), Gewässer 5 (Straßenverbreiter), Gewässer 7	§ 9 Abs. 1 Nr. 3	Entnehmen fester Stoffe aus oberirdischen Gewässern, soweit sich dies auf die Gewässereigenschaften auswirkt

1.1.4 Entwässerungsverhältnisse /-anlagen

Das folgende Kapitel wurde dem Erläuterungsbericht der wassertechnischen Berechnungen (PFU 12) entnommen. Weitere Informationen zu den Gewässern liefert der Fachbeitrag WRRL (PFU 20).

In den folgenden Abbildungen Abb. 1 und Abb. 2 ist das vorhandene Grabensystem des vorliegenden Planfeststellungsabschnittes dargestellt. Die als offene Gräben geführten Gewässer sind mit einer blauen Linie gekennzeichnet. Die verrohrten Gewässer sind mit einer schwarz-weißen Linie dargestellt.



Abb. 1: Auszug DigitalerAtlasNord - Großenbrode [U54] (entnommen aus PFU 12)



Abb. 2: Auszug DigitalerAtlasNord - Fehmarn [U54] (entnommen aus PFU 12)

Im Bereich des WBV Großenbrode sind die Gewässer Nr. 1, 5.3, 5.3.1, 5.4 und ein verrohrter Teil des Gewässers 5 von der Baumaßnahme betroffen. Für den WBV Avendorf sind es die Gewässer Nr. 7, 7.1.1.1 und 7.9. Im Folgenden werden die Einflüsse und Veränderungen der zuvor genannten Gewässer kurz erläutert.

- Gewässer Nr. 1 (siehe Abb. 1): Kreuzung mit der vorhandenen Bundesstraße B207 / Europastraße E47 mitsamt einer Tankstellenanlage wird zurückgebaut und ein separates Entwässerungssystem für die neuen Verkehrsanlagen, welche das Gewässer in diesem Bereich überbauen, vorgesehen.
- Gewässer Nr. 5.3, 5.31, 5.4, 5 (siehe Abb. 1): Überbauung der Gewässer mit der neuen Bundesstraße B207 und dem Hochwasserschutzdeich

- Gewässer Nr. 7.1.1.1 (siehe Abb. 2): Umverlegung der unterirdischen Verrohrungen und Schächte und Neubau als verrohrtes Gewässer in neuem Korridor. Die neue Gewässerführung ist der Unterlage 11.01.008 zu entnehmen.
- Gewässer 7.9 (siehe Abb. 2): Verlegung des Gewässers aufgrund der Überbauung mit den neuen Verkehrsanlagen, Führung als verrohrtes Gewässer bis zum Düker. Die neue Gewässerführung ist der PFU 12.05.010 zu entnehmen.
- Gewässer 7 (siehe Abb. 2): Der vorhandene Durchlass des Gewässers 7 unterhalb der Bundesstraße B207 / Europastraße E47 wird durch einen neuen Düker weiter nördlich ersetzt. Zudem wird der offene Graben aufgrund der Überbauung durch die neuen Verkehrsanlagen weiter nach Osten verlegt und verrohrt geführt. Der Bauwerksplan des Dükers ist der PFU 07.06.002 und die neue Lage des Gewässers Nr. 7 der PFU 12.05.010 zu entnehmen.

1.1.5 Betroffenheit wasserrechtlich relevanter Schutzgebiete

1.1.5.1 Überschwemmungsgebiet

Das Baugebiet befindet sich gemäß der Hochwasserkarten (HQ₁₀, HQ₁₀₀ und HQ₂₀₀ des 2. Berichtzyklus 2019) [U43] außerhalb von Überschwemmungsgebieten von Flusshochwassern. Maßgebend ist für Flusshochwasser HQ₁₀₀ und für Küstenhochwasser HQ₂₀₀. Gemäß der Hochwassergefahrenkarten für Küstenhochwasser (HW₂₀₀) [U43] befinden sich Abschnitte der Tunnelportale in Überschwemmungsgebieten (siehe Abb. 3, Abb. 10 und Abb. 11).

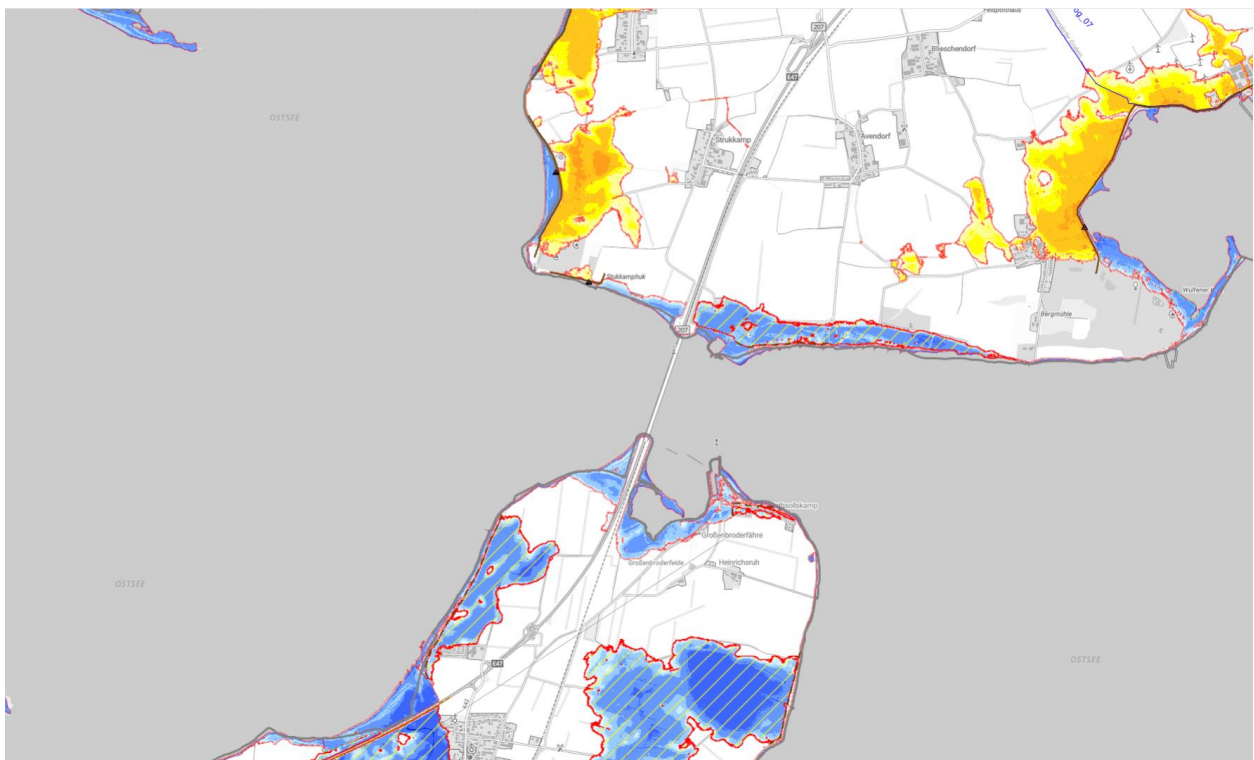


Abb. 3: Hochwassergefahrenkarte HW₂₀₀ [U43].

Bei einem HW₂₀₀-Szenario, das einem Küstenhochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit entspricht, wären bei einem Versagen des Hochwasserschutzes auf dem Festland vor allem die Niederung der Großenbroder Aue (bis an die DB-Bestandstrasse heran) sowie große Teile der Ortslage Großenbrode von Überflutungen betroffen. Überflutet wären außerdem die lagunären Küstenbereiche nordwestlich der B 207 und an der Spitze der Wagrischen Halbinsel (beiderseits der Rampe zur Fehmarnsundbrücke). Auf Fehmarn wären die küstennahen Dünenbereiche westlich und östlich der Fehmarnsundbrücke sowie die Niederungen der Sundwiesen betroffen (gemäß [U22]).

1.1.5.2 Schutzgebiete

Das Bauvorhaben liegt im Naturraum Schleswig-Holsteinischen Hügelland – Einheit Nordoldenburg [U43]. Das Baufeld liegt auf der Landzunge Großenbrode im Landschaftsschutzgebiet Nr. 21 „Nordküste von Großenbrode“ (Abb. 4). Etwa 300 m westlich schließen sich die Natura 2000 Gebiete FFH-Gebiet „Meeresgebiet östlicher Kieler Bucht“ und das SPA „Östliche Kieler Bucht“ an [U43], die sich auf das Küstengewässer „Fehmarn Sund W“ erstrecken. Auf der Insel Fehmarn liegt das Bauvorhaben außerhalb von Schutzgebieten. Das FFH-Gebiet „Sundwiesen Fehmarn“ befindet sich westlich des Bauwerks. (vgl. Abb. 4; gemäß [U21])

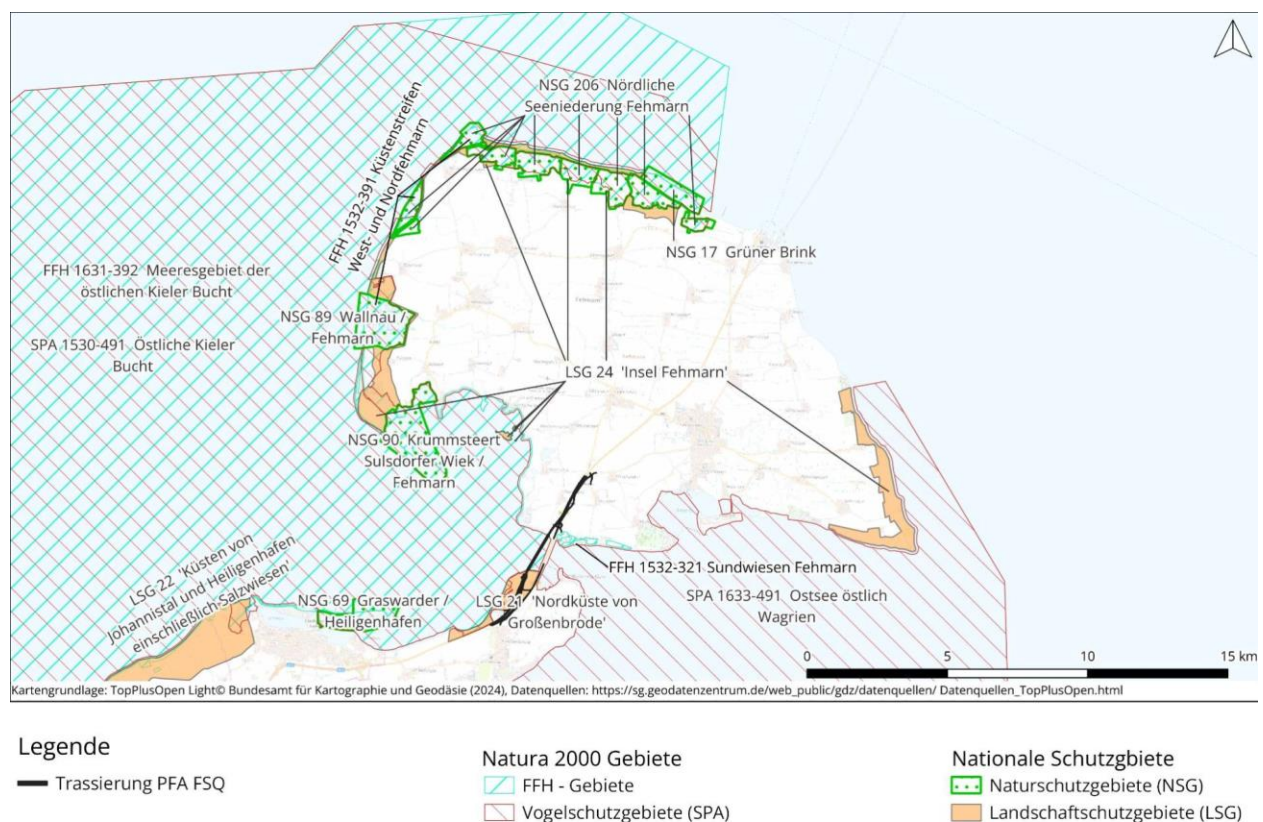


Abb. 4: Schutzgebiete des Untersuchungsraumes (nach [U43], entnommen aus [U21]).

Entsprechend der Unterlage [U43] liegt das Untersuchungsgebiet außerhalb von Trinkwasserschutzgebieten (Abb. 4). Das nächstgelegene Trinkwasserschutzgebiet liegt südlich der Baumaßnahme über 5 km entfernt bei Neukirchen.

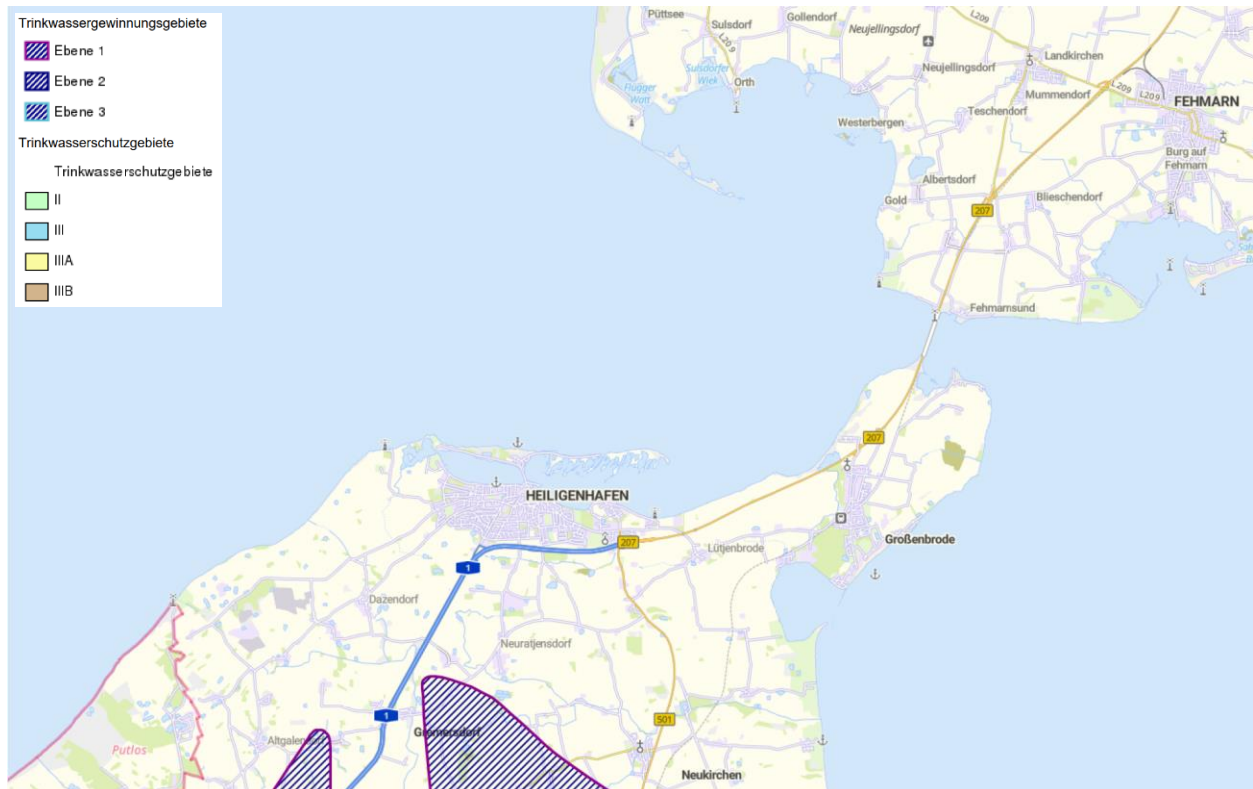


Abb. 5: Trinkwassergewinnungs- und Trinkwasserschutzgebiete des Untersuchungsraumes (nach [U43]).

1.1.6 Wassergefährdende Stoffe

Das BoVEK (PFU 41.01) sieht vor, dass Materialien, die wassergefährdende Stoffe enthalten, bzw. bei denen es nicht ausgeschlossen werden kann, nur auf befestigten Flächen ohne Bodeneinlauf, auf flüssigkeitsdichter Folie oder in flüssigkeitsdichten Container und/oder Behältnisse zu lagern sind. Bei versiegelten Flächen ist die Ableitung von Niederschlagswässern zu überprüfen. Die Flächen sind nach Vorgaben der AwSV (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) herzustellen.

Im folgenden Teil dieses Kapitels werden Auszüge aus dem Erläuterungsbericht des bauzeitlichen Entwässerungskonzeptes [U16] zitiert.

Im Allgemeinen gilt es die Wasserqualität der umliegenden Gewässer der Baumaßnahme nicht zu verschlechtern. Daher ist nachzuweisen, dass von den BE- und Bodenlagerflächen, sowie von den fortschreitenden Bautätigkeiten (Herstellung Baugruben und Trockendock) keine Schadstoffe in die Gewässer eingeleitet werden und die Grenzwerte der Feststoffeintrages in die Gewässer nicht überschritten werden.

Es kann zudem auf Baustellen nicht ausgeschlossen werden, dass z.B. Kraft- und Schmierstoffe durch Leckage und Baumaschinen im Umfeld der Baustelle freigesetzt werden. Auf den Flächen der Baumaßnahme anfallendes Wasser ist daher in geeigneter Regelmäßigkeit zu prüfen.

Dies gilt insbesondere für das Wasser der bauzeitlichen Entwässerung der stark genutzten Baustellen- und Baustelleneinrichtungsflächen (Baugruben, Trockendock, Betonmischwerk, Baustoffumschlagflächen, Baugeräteparkflächen, Hauptbaustraßen). Nachfolgend werden Flächen bzw. Einrichtungen hinsichtlich der Einhaltung der Wasserqualität beleuchtet.

Betonmischwerk Großenbrode

Hinsichtlich der Schadstoffeintrages ist ein Augenmerk auf das Betonwerk, welches auf der Fläche FL-BE-W2 (siehe Abb. 6, roter Kreis) vorgesehen ist, zu legen [U16].

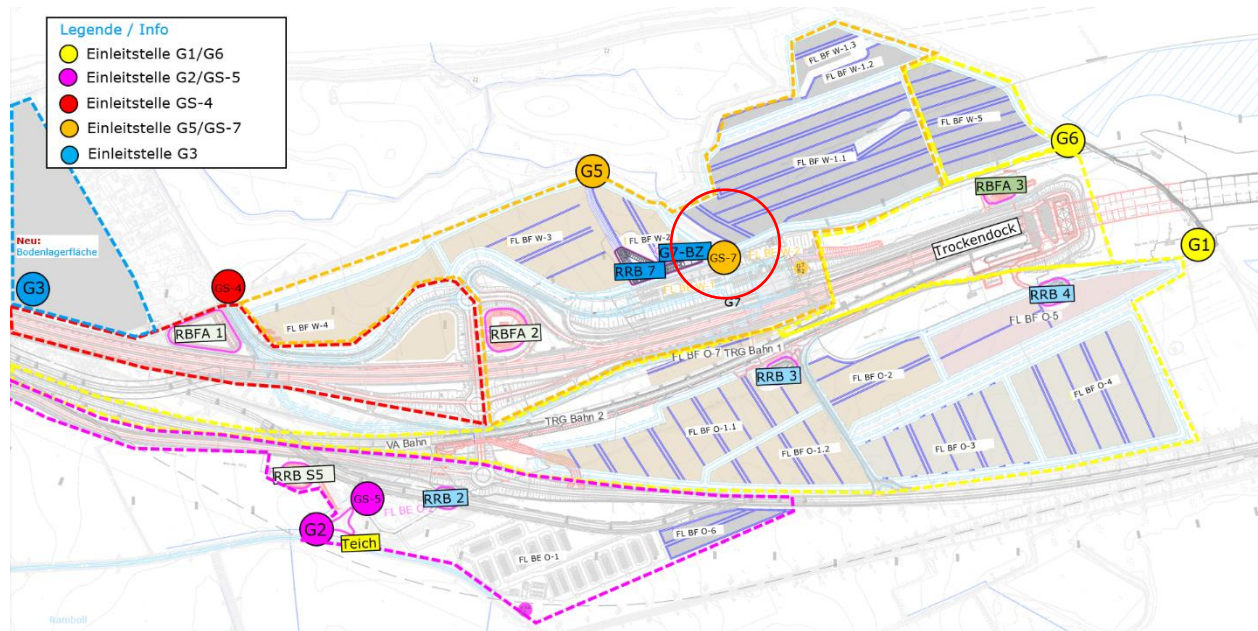


Abb. 6: Vorgesehene Einleitstellen, Bodenlagerflächen und Bauwerke am Festland im Bauzustand (angepasste Abbildung aus [U16])

In diesen Bereichen sind das Niederschlags- und das Prozesswasser bzw. austretende Flüssigkeiten separat zu sammeln und zu entsorgen. Das Prozesswasser, welches oftmals einen erhöhten pH-Wert aufweist, gilt es separat aufzufangen und zu entsorgen. Die dafür erforderlichen technischen Einrichtungen erfassen regelmäßig auch Niederschlagswasser. Um die zu entsorgende Menge gering zu halten, können lokale Überdachungen zur Abtrennung des Niederschlagswasser erfolgen. Zur Vermeidung des Eintrages von Grobbestandteilen in die umliegenden Gewässer wird im Anschluss an die Fläche des Betonwerks bzw. an die Materiallagerfläche einer Sedimentationsanlage vorgeschaltet (gemäß [U16]).

Ausgehend von der Sedimentationsanlage wird das Wasser in das RRB 7 (siehe Abb. 7) weitergeleitet.

Weiterhin sollen Absetzbecken zur Behandlung des Wassers auf die Fläche FL BF W-1.1 (siehe Abb. 6) positioniert werden. Mit Hilfe der Absetzbecken können sich wiederrum verbliebene Schwebstoffe setzen und auftretendes Leichtwasser kann aufschwimmen. Außerdem kann es zur Qualitätskontrolle genutzt werden (gemäß [U16]).

Mobile Tankstellen

Ebenso gilt es das Niederschlagswasser, welches auf die Bereiche von mobilen Tankstellen trifft zu sammeln und zu entsorgen [U53]. Eine lokale Überdachung ist zur Reduzierung und Abtrennung der Niederschlagsmengen ebenfalls denkbar. Eine Auffangwanne, die anfallendes Wasser sammelt, kann als technische Einrichtung genutzt werden [U16].

Bodenlagerflächen

Die Qualität des Niederschlagswasser wird maßgeblich durch den zu lagernden Boden auf den BE- bzw. Bodenlagerflächen beeinflusst. Nach [U18], [U19] und [U20] ergeben sich aus der chemischen Untersuchung für die Böden, die zwischengelagert und wiedereingebaut werden sollen (Oberboden, Auffüllungsböden, Geschiebemergel, Sande), oftmals eine Überschreitung des Sulfat- und Chloridgehaltes, sowie der elektrischen Leitfähigkeit. Als mögliche Ursache wird der Einfluss der Ostsee benannt, denn die Ostsee, mit ihrer höheren Salinität, korrespondiert mit den landeinwärts liegenden Grundwasserleitern. Die Grundwasserversalzung hat wiederrum Einfluss auf die Böden im Einzugsgebiet. Niederschlag, der auf die Bodenmieten trifft, kann darin gebundene Sulfate und Chloride auswaschen. Es ist wahrscheinlich, dass das austretende Sickerwasser der Bodenmieten anfangs einen erhöhten Sulfat- und Chloridgehalt aufweist. Eine maximale Belastungshöhe kann anhand der vorliegenden Berichte [U18], [U19] und [U20] nicht bestimmt werden. Mit der Zeit wird jedoch die ausgewaschene Sulfat- und Chloridmenge abnehmen. Der Gehalt wird dabei stets deutlich unter dem natürlichen Gehalt der Ostsee liegen, in den sämtliche Einleitstellen der bauzeitlichen Entwässerung letztlich abschlagen [U16].

Anlagen der Straße

Die Anlagen der Straßen entwässern sowohl während der Bauzeit als auch während des Endzustandes teilweise in vorgesehene Retentionsbodenfilteranlagen (RBFA), wodurch von einer ausreichend guten Wasserqualität zur Einleitung an den jeweiligen Einleitstellen auszugehen ist. Teilweise erfolgt die Behandlung des Niederschlagswasser auch über eine offene Entwässerung, das heißt einer gezielten Führung der Wassermengen durch Mulden, Banketten, Böschungen (gemäß [U16]).

Im Bereich von Altlastverdachtsflächen (Öltank, Tankstellen) ist ebenfalls mit dem Umgang von wassergefährdenden Stoffen auszugehen. Ausführungen hierzu sind dem folgenden Kapitel 1.1.7 zu entnehmen.

1.1.7 Altlasten, Industrieanlagen und andere wasserwirtschaftlich relevante Nutzflächen und bauliche Einrichtungen

Die bekannten Altlastenverdachtsflächen (ALVF) sind den Lageplänen in Anlage 2.2 in PFU 38 zu entnehmen. Weitere Details sind dem BoVEK (PFU 38) zu entnehmen.

Für die Planung von besonderer Bedeutung sind Flächen mit erhöhtem Schadstoffpotential – in der Regel Flächen der Handlungsklasse HK 1.2 oder höher. Auf diesen Flächen wurden im Zuge der durchgeführten Untersuchungen Belastungen nachgewiesen, welche die LAGA-Zuordnungswerte Z 2 überschreiten – dies ist lediglich im Bereich der ALVF B-005072+002 Öltank der Fall (PFU 41.01).

Auf der Fläche befindet sich ein unterirdischer Tank für Heizöl. Aufgrund der MKW-Belastungen (Zuordnungswert gem. LAGA > Z2) wurde die Fläche in die Handlungskategorie HK 1.2 eingestuft. Auswirkungen auf das Projekt ergeben sich nur dadurch, dass im Bereich der Altlastenfläche davon auszugehen ist, dass der Aushub als >Z2/gefährlicher Abfall zu entsorgen wäre. Weitergehende Maßnahmen, beispielsweise öffentlich-rechtliche Sanierungsaufforderungen ergeben sich nicht.

Des Weiteren werden durch die Baumaßnahme die Altlastfläche „017_P1+2 (Tankstellen)“ auf dem Festland tangiert. Da für diese ALVF keine abfalltechnischen Voruntersuchungen (Boden, Bausubstanz) der Tankstellen vorliegen und solche auch im Vorfeld des Rückbaus nicht mehr durchgeführt werden, werden im BoVEK (PFU 41.01) Annahmen getroffen. Ferner wird empfohlen, den ggf. notwendigen Bodenaustausch gutachterlich begleiten zu lassen. Kontaminierter Boden ist vollständig zu entnehmen und zu entsorgen [U17]. Die Vorgaben des BoVEK (PFU 38) sind zu beachten. Bei Einhaltung dieser Vorgaben ist von keiner schädlichen Verunreinigung des Grundwassers auszugehen.

1.1.8 Angaben zur möglichen Beeinträchtigung der Rechte Dritter

Durch die Baumaßnahme betroffen sind Leitungen Dritter (siehe PFU 11). Es müssen Versorgungsleitungen in Abstimmung mit den Leitungsträgern, der B207, dem PFA 5.2 und PFA 6 umverlegt werden. Des Weiteren müssen Tankstellenanschlüsse zurückgebaut werden. Detaillierte Angaben sind dem Kapitel 10 im Erläuterungsbericht (PFU 01.01.001) zu entnehmen.

1.2 Geologische Verhältnisse

Im gesamten Untersuchungsgebiet variieren die Schichtgeometrien und Sedimente stark in ihrer lateralen Verbreitung und horizontalen Tiefenlage und sind daher diskontinuierlich.

Dies ist hauptsächlich auf eine tiefgreifende glazialtektonische Überprägung zurückzuführen, die zu einer starken Diskordanz der Schichten führt. Jüngere und ältere Sedimente sind ineinander verzahnt und verschuppt vorhanden, unabhängig von ihrem eigentlichen Ablagerungszeitpunkt.

Ein genereller Schichtenverlauf ist daher nicht ableitbar und zeichnet sich durch eine hohe kleinräumige Variabilität aus. Oberflächennah dominiert eine Deckmoräne aus sandigem oder tonigem Geschiebemergel, der durch glazialtektonische Prozesse stellenweise mit Tarraston vermischt ist (siehe Abb. 7). Weitere bedeutende Sedimente sind der grüne oder braune eozäne Tarraston. Innerhalb dieser Schichten sind lokal und in variierender Ausprägung Sande und Kiese eingelagert, die gespanntes Grundwasser führen (PFU 01.01.001).

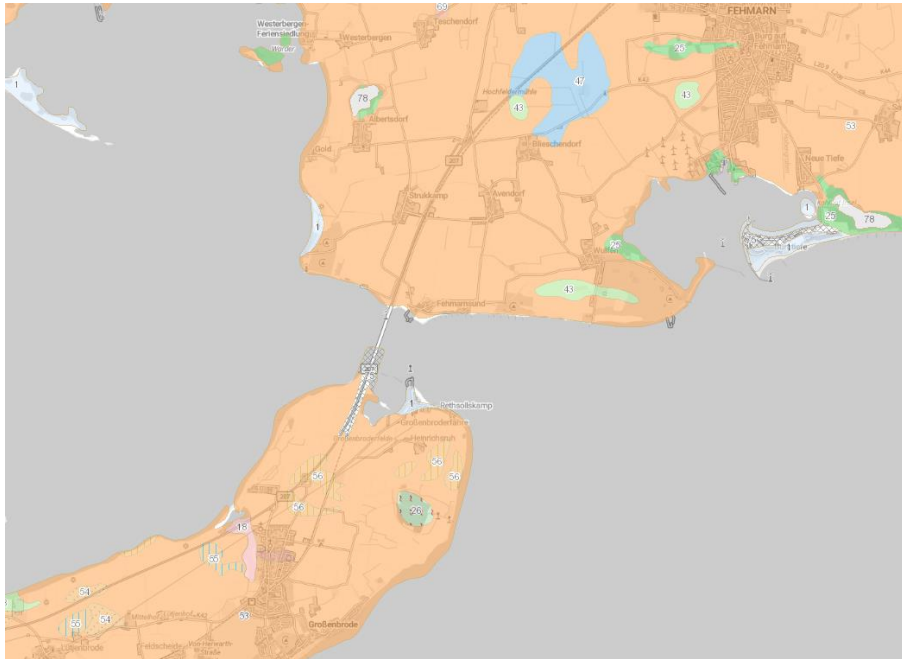


Abb. 7: Geologische Karte 1:250000, 53 = Geschiebelehm, -mergel über marinen Tonen (Weichsel-Kaltzeit), 56 = Geschiebelehm, -mergel über Ton (Weichsel-Kaltzeit/Eozän), [U43].

In den Geotechnischen Berichten (u. A. PFU 41.01 bis 41.04) sind die geologischen Verhältnisse entlang der geplanten Maßnahme detaillierter beschrieben. Die geologischen Schnitte sind in diesen Berichten jeweils als Anlage 4 (Höhenbänder) enthalten und zeigen die geplante Baumaßnahme. Die dazugehörigen Lagepläne sind in den Berichten als Anlage 2 beigefügt und zeigen die Lage der Aufschlüsse und die geplanten Bauwerke.

1.3 Hydrogeologische Verhältnisse

Der Bereich, in den der Neubau eingreift, gliedert sich in die Landzunge Großenbrode und die Insel Fehmarn sowie den Gewässerkörper Fehmarnsund. Für die Betrachtung des hydrologischen Raums wird das Untersuchungsgebiet, da die großräumige Grundwassersituation zu bewerten ist, flächenhaft erweitert und aufgrund seiner inneren Homogenität als hydrogeologischer Teilraum „Wagrien-Fehmarn“ bezeichnet (gemäß Unterlage [U6]).

1.3.1 hydrogeologische Stockwerksgliederung (unter Bezug zu dem geologischen Schichtenaufbau)

Die folgende Ausführung zu den geologischen Rahmenbedingungen, dem sedimentologischen Aufbau sowie den geomorphologischen Strukturformen ist im Hinblick auf die hydrogeologische Relevanz komprimiert.

Der Baugrund wird generalisiert beschrieben. Die detaillierten Ausführungen zum Baugrundaufbau für den Bereich Großenbrode und Fehmarn sind den Geotechnischen Berichten (u. A. PFU 41.01 bis 41.04) zu entnehmen.

Der geologische Aufbau der Region Heiligenhafen bis Oldenburg ist dem Bericht [U29] entnommen. Für den geologischen Überblick zum Bereich des Oldenburger Grabens wird auf die Ausführung von Jakobsen (2004) verwiesen [U30]. Die regionale Hydrogeologie Schleswig-Holsteins und insbesondere Fehmarns ist in Johannsen (1980) beschrieben [U31] (gemäß Unterlage [U6]).

Der quartäre Untergrund des Teilraums „Wagrien-Fehmarn“ wird von den Formungsprozessen der nordeuropäischen Eisvorstöße determiniert. Als landschaftsbildendes Element lagerten während der letzten Hochvereisung des Weichsel-Glazials glaziale Sedimente an; das sind zum einen die Ablagerungen des Gletschers selbst und zum anderen die aus Schmelzwässern abgesetzten Materialien. Die folgenden morphogenetischen Strukturformen sind zur hydrologischen Beschreibung des Untersuchungsgebiets relevant. Sie folgen dem Modell der glazialen Serie der Jungmoränenlandschaft Norddeutschlands (gemäß Unterlage [U6]):

- Grundmoränen bestehend aus Geschiebemergel, z. T. mit aufgearbeitetem Tarras-Ton,
- Endmoränen bestehend aus unsortierten Lockergesteinsmassen an den Eisrandlagen (Heiligenhafener und die Wandelwitzer Höhen),
- Sander bestehend aus glazifluviatilen Ablagerungen,
- Subglaziale Rinnen des Pleistozäns (Oldenburger Graben),
- Beckensedimente sind lediglich untergeordnet im Bereich des Oldenburger Grabens und in zerscherten Einzelschollen verbreitet und werden nicht weiter beschrieben [U29], [U30].

Das Gebiet befindet sich überregional auf der Ostholsteinischen Scholle.

Die Ostholsteinische Scholle ist aus tertiären Sedimenten aufgebaut und von geringer tektonischer Mobilität gekennzeichnet. Die geologischen Einheiten des Tertiärs sind in der Abbildung 1 der Unterlage [U6] dargestellt (gemäß Unterlage [U6]).

Der präquartäre Untergrund des Untersuchungsgebiets endet mit dem tertiären Sedimentationszyklus der miozänen Braunkohlesande (BKS), die in der Oldenburger Mulde abgelagert sind.

Diese Mulde ist in dem oligozänen Glimmerton angelegt und in mitteleozänem Ton eingebettet. Bei Großenbrode grenzt der Ton an den älteren, untereozänen Ton an, der auch den Sockel der Insel Fehmarn bildet (gemäß Unterlage [U6]).

Das Relief ist von geringen Höhenunterschieden und schwach gewölbten Hügeln mit muldenhaften Tiefenbereichen geprägt. Aufsteigend vom Oldenburger Graben bei rd. +5 m NHN beträgt die gemittelte Geländehöhe im Raum Oldenburg ca. +15 m NHN bis +20 m NHN und ebnet sich im Verlauf diverser Talsenken bis zur Niederung Großenbrode (rd. +5 m NHN) zur Gewässerlinie des Fehmarnsunds auf Meeresspiegelhöhe ein. Auf der Insel Fehmarn steigt das Relief von der Küstenlinie bis auf rd. +15 m NHN an. Der Gewässerquerschnitt des Fehmarnsundbodens befindet sich auf einem gemittelten Tiefenniveau von -3 m NHN bis -5 m NHN mit den tiefsten Bereichen zwischen -5 m NHN bis -12 m NHN [U5] (gemäß Unterlage [U6]).

In den Geotechnischen Berichten (u. A. PFU 41.01 bis 41.04) sind die hydrgeologischen Verhältnisse entlang der geplanten Maßnahme detaillierter beschrieben. Die Anlage 4 (Höhenbänder) in diesen Berichten zeigen die während der Erkundung angetroffenen Grundwasserstände. Die dazugehörigen Lagepläne sind in den Berichten als Anlage 2 beigefügt und zeigen die Lage der Aufschlüsse und die geplanten Bauwerke.

Die Sickerwasserrate (Anlage 3.3) wird im Untersuchungsgebiet gemäß [U43] mit besonders gering angegeben. Das Wasserrückhaltevermögen (Anlage 3.4) wird gemäß [U43] auf dem Festland zum Großteil mit besonders hoch und auf Fehmarn mit mittel bis hoch bewertet.

1.3.2 Wasserleiter des Quartärs

Die für hydrologische Prozesse relevanten holozänen Ablagerungen sind äolisch transportierte Dünen im Küstenbereich. Sie sind jedoch unmaßgeblich für den Grundwasserhaushalt des Untersuchungsgebiets und dienen lediglich als Zwischenspeicher für Niederschlagswässer und als Zulieferer für angeschlossene Wasserleiter (vgl. [U31], Tab. 3).

Die pleistozänen Ablagerungen aus den Grundmoränen der drei Hauptvereisungen Elster-, Saale- und Weichsel bilden die primäre Ablagerung des Teilraums „Wagrien-Fehmarn“. Die Eisvorstöße überfuhren oszillierend mehrfach den Untergrund und mächtige Geschiebemergellagen wurden abgelagert.

Der Geschiebeboden ist zum Teil mit aufgearbeitetem Tarras-Ton vermischt. Die Grundmoränen sind kuppig ausgeprägt mit deutlichem Relief. Der Untergrund ist glazialtektonisch gestaucht und verschuppt und kleinere Moränen sind überfahren. Die Grundmoränen haben die hydrogeologische Funktion eines Wasserstauers bzw. Wassergeringleiters und sind per se als Grundwasserkörper ungeeignet (vgl. [U31], Tab. 2). Die Gebiete Großenbrode und Fehmarn sind weitestgehend aus den Geschiebeböden der Grundmoräne aufgebaut (gemäß Unterlage [U6]).

Untergeordnet lagern Glazialschotterdecken, bestehend aus Vorschüttsanden sowie Seiten- und Endmoränenwällen an der Oberfläche [U32]. Die Glazialschotterdecken bieten die hydrogeologische Voraussetzung, um als Grundwasserleiter zu fungieren. Dies ist jedoch abhängig von der Granulometrie, der Abdeckung und der Mächtigkeit (gemäß Unterlage [U6]).

Im Untersuchungsgebiet sind zwei für die Grundwasserführung relevante Endmoränenzüge bekannt: die Heiligenhafener und die Wandelwitzer Höhen [U30], [U33]. Sie bestehen aus unsortierten Lockergesteinsmassen mit einer Teilbedeckung aus Schmelzwasserablagerungen und Vorschüttsanden. Die Endmoränen sind im Untersuchungsgebiet mit Geschiebemergel überschoben, gestaucht und haben deshalb keine durchgehende Wasserwegsamkeit. Die hydrogeologische Funktion ist die eines Wasserleiters bis Wassergeringleiters (gemäß Unterlage [U6]).

Die untergeordnet vorkommenden Sanderflächen bestehend aus glazifluvialen Ablagerungen sind an den Flanken der Endmoränen stellenweise verbreitet und bilden den oberen Wasserleiter (z. B. an der Hanglage Klaustorf bis zur Ostsee). Da dieser oberflächennahe Wasserleiter unbedeckt ansteht, ist er für wasserwirtschaftliche Zwecke weitestgehend ungeeignet, da er vulnerabel gegenüber Schadstoffeinträgen und durch direkten Kontakt mit dem Ostseewasser potenziell versalzen ist [U31] (gemäß Unterlage [U6]).

Die übrigen sandig-kiesigen Moränen sind entweder lediglich kleinräumig vorhanden oder infolge der eiszeitlichen Genese durch Gering- bis Nichtleiter voneinander abgeschnitten. Weiterhin sind die Wasserleiter infolge glazialtektonischer Vorgänge mit den Grundmoränen (Geschiebemergel) und aufgearbeiteten triassischen Tonen verschuppt, weswegen sie in der Tiefenlage und Mächtigkeit diskontinuierlich vorliegen und häufig keine Konnektivität aufweisen. Allenfalls ist die Einzelnutzung als Trink- und Brauchwasserbrunnen unter günstigen hydrogeologischen Gegebenheiten möglich. Wenn in Einzelfällen eine lokale hydraulische und hydrologische Verbindung von Glazialschotterdecken gegeben ist, kann eine zentrale Wasserversorgung kleinerer Ortschaften erfolgen, wie z. B. durch die Wasserwerke Grube [U31] (gemäß Unterlage [U6]).

Die Randbereiche der permischen Salzkissen pausen sich bis in die pleistozäne Landschaftsgenese durch.

So ist der Verlauf der pleistozänen Erosionsrinne Oldenburger Graben entlang des Cismarer Salzkissens angelegt. Die subglazialen Rinnen des Pleistozäns stellen hydrogeologisch potente Wasserleiter dar, wenn sie, wie im Oldenburger Graben größtenteils mit Sand-Kies-Gemisch verfüllt sind [U30], [U31] (gemäß Unterlage [U6]).

1.3.3 Wasserleiter des Tertiärs

Die jungtertiären Braunkohlesande (BKS) bilden die wasserwirtschaftlich bedeutsamen Ablagerungen des Tertiärs und sind weitestgehend von den pleistozänen Glazialprozessen erodiert. In der Oldenburger Mulde ist im betrachteten Gebiet die einzige größere Verbreitung der BKS belegt. Der Glimmerton und andere Tonvorkommen sind hingegen als Wasserstauer weit verbreitet [U30], [U31] (gemäß Unterlage [U6]).

1.3.4 Ergebnisse von Stichtagsmessungen

Anhand der Ganglinien (siehe PFU 41.02, 41.04 und [U13], jeweils Anlage 9) wurden am Stichtag 12.01.2023 exemplarisch die Wasserstände für ausgewählte Grundwassermessstellen auf dem Festland und auf Fehmarn aus den Ganglinien abgelesen und in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt. Dies soll stichpunktartig zeigen, wie sich die gemessenen Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet verteilen. Die Standorte der GWM sind in den Lageplänen der jeweiligen Geotechnischen Berichte zu entnehmen (jeweils Anlage 2 in PFU 41.02, 41.04 und [U13]). Für weitere Details wird auf zuvor genannte Berichte verwiesen.

Tabelle 2 Grundwasserstände zur Stichtagsmessung 12.01.2023 (PFU 41.02, 41.04 und [U13])

Erkundungspunkt	Wasserstand in m NHN	Bebauungsgebiet
GWM B 66	-0,16	Fehmarn
GWM B 75	+0,37	Fehmarn
GWM B 78	+0,66	Fehmarn
GWM B 94	+4,78	Fehmarn
GWM B 106	+4,40	Fehmarn
GWM B 110	+3,98	Fehmarn
GWM B 20	-0,25	Festland
GWM B 49	+1,12	Festland
GWM B 122-1	-0,29	Festland
GWM B 122-2	-0,29	Festland
GWM B 122	-0,06	Festland
GWM B 123	-0,06	Festland
GWM B 125	+3,38	Festland
GWM B 155a	+0,24	Festland
GWM B 165	-0,25	Festland
GWM B 168	-0,22	Festland
GWM B 182	-0,16	Festland

Anhand des Ganglinienverlaufs zeigt sich, dass die im Süden des geplanten Trockendocks liegenden Messstellen B 20, B 122, B 123, B 168 und B 182 etwa auf gleichem Niveau liegen und offensichtlich zum gleichen Grundwasserkörper gehören.

Die Ganglinien der Messstelle B 49 und B 125 zeigen dagegen abweichende Ganglinienverläufe und Wasserstände. Die im Juni 2022 ausgeführten Absenkversuche in den Messstellen sind an den steil abfallenden Ganglinien zu erkennen. Eine Beeinflussung der Grundwasserstände durch das Sundwasser lässt sich – mit Ausnahme der Messstellen B 49 und B 125 – mit schwacher Ausprägung ableiten (PFU 41.02).

Im Messzeitraum fand am 20. und 21. Oktober 2023 ein außergewöhnliches Sturmfluthochwasserereignis an der Ostseeküste statt, wobei beim Pegel Heiligenhafen ein Wasserstand von ca. +1,70 m NHN gemessen wurde. Im Nachlauf des Sturmfluthochwasserereignisses wurde im Bereich des ToB in der Grundwassermessstelle GWM 75 über einen längeren Zeitraum von ca. 3 Monaten ein stetiger Anstieg der Ganglinie verzeichnet mit einem erreichten Maximalwert von +1,35 m NHN. Bei der GWM 78 lag im relevanten Zeitraum zum Teil ein Datenausfall vor. Bei der Parallelität der Ganglinien von GWM 75 und GWM 78 kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der erreichte maximale Grundwasserstand in der GWM 78 etwa bei +1,65 m NHN lag [U13].

Insbesondere in dem GWL auf Fehmarn, der an der westlichen Straßentrogseite erkundet wurde, wurde in diesem Zeitraum ein erheblicher Anstieg des Grundwasserspiegels festgestellt (GWM B 94, GWM B 106). In den Messdaten der GWM B 94 beträgt der Wasserstand zum Zeitpunkt der Sturmflut rd. +3,90 m NHN. Ein Anstieg um rd. 1 m wird im Laufe eines Monats (Stichtag 20.11.2023) erreicht (+4,80 m NHN). Die +5,00 m NHN-Marke wird am 10.12.2023 erreicht, wonach das Spiegelniveau sich erst ab dem 08.01.2024 wieder unter diese Marke absenkt. Am Ende des dargestellten Messzeitraums am 18.01.2004 wurde ein Messwert von +4,80 m NHN gelotet. Nach der Sturmflut wurde ein Wert von +5,19 m NHN am 04.01.2024 gemessen. Der Verlauf der Ganglinie der GWM B 106 verhält sich im Trend synchron, ist jedoch um rd. 0,2 m niedriger (PFU 41.04).

1.3.5 Ausbildung, Mächtigkeit und hydraulische Kennwerte der Grundwasserstockwerke

Folgend wird das Gebiet abgegrenzt, welches für die Bewertung der hydrologischen Wechselwirkung im Umfeld des Bauvorhabens relevant ist. Hierbei wird das Gebiet zum einen anhand der hydrogeologische Raumgliederung [U33] eingegrenzt und zum anderen anhand der systematischen Gruppen der Wasserrahmenrichtlinie untergliedert [U34] (gemäß Unterlage [U6]).

Der Ansatz der hydrogeologischen Raumgliederung nimmt eine Abgrenzung von Gebieten mit ähnlichen hydrogeologischen Eigenschaften vor. Diese Teilräume sind anhand der internen Homogenität zusammengefasst und in ihrer geographischen Lage voneinander abgegrenzt [U33].

Demnach wird das Untersuchungsgebiet als „Teilraum Wagrien-Fehmarn“ zusammengefasst, da die Hydrogeologie einen ähnlichen geologischen Schichtenaufbau und Morphologie sowie eine vergleichbare Grundwasserbeschaffenheit aufweist. Der Teilraum „Wagrien-Fehmarn“ ist Bestandteil des Norddeutschen Lockergesteinsgebiets des Jungpleistozäns. Die räumliche Abgrenzung des Teilraums kann der Abbildung 2 in Unterlage [U6] entnommen werden (gemäß Unterlage [U6]).

Der hydrologische Teilraum „Wagrien-Fehmarn“ gehört gemäß des Bewirtschaftungsplans des MELUR (2016) zur Flussgebietseinheit (FGE) Schlei-Trave und ist aus zwei Grundwasserkörpern zusammengesetzt [U28]. Hierbei umfasst ein Grundwasserkörper die wasserführenden Schichten, die einen vergleichbaren hydrogeologischen Aufbau, eine gewisse hydraulische Konnektivität und eine ähnliche Nutzungs- bzw. Belastungsstruktur aufweisen. Diese Grundwasserkörper sind durch ober- und unterirdische Wasserscheiden voneinander entkoppelt. Weiterhin ist gemäß [U33] der Grundwasserleiter durch lokale, begrenzte Grundwasservorkommen (poröse Glazialschotterdecken) bzw. nicht nennenswerte Grundwasservorkommen (Grundwassergering- und Grundwassernichtleiter aus Geschiebeböden) gekennzeichnet (gemäß Unterlage [U2]).

Zwei Grundwasserkörper des Hauptgrundwasserleiters sind in dem hydrologischen Teilraum „Wagrien-Fehmarn“ verzeichnet [U28] (siehe Abb. 12):

- ST07 Kossau/Oldenburger Graben (folgend Wagrien-Nord),
- ST08 Fehmarn.

Diese Grundwasserkörper gelten als berichtspflichtige Gewässer im Rahmen der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein. Die entsprechenden Wasserkörper-Steckbriefe mit den berichtspflichtigen Informationen sind der Unterlage [U35] und [U36] zu entnehmen (gemäß Unterlage [U6]).

Die Grenzen der Grundwasserkörper sind in der Abbildung 2 der Unterlage [U6] gekennzeichnet. Der tiefe Grundwasserleiter des norddeutschen Tertiärs ist nicht im Untersuchungsgebiet vorhanden [U37] (gemäß Unterlage [U6]).

Entsprechend der hydrogeologischen Karte (HUEK250) werden für das Erkundungsgebiet Schmelzwasserablagerungen der Saale-Kaltzeit (Warthe-Stadium) und Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit als hydrogeologische Einheiten angegeben [U42]. Dabei handelt es sich um einen Poren-Grundwasserleiter mit mittleren Durchlässigkeiten.

Die mittlere jährliche Grundwasserneubildung beträgt gemäß GWN1000 [U42] im Untersuchungsgebiet bis zu 150 mm/a (siehe auch Anlage 5.8).

Eine allgemeine Übersicht basierend auf DigitaleAtlasNord-Daten [U43] zu oberflächennahen Wasserleitern und der Schutzwirkung der Deckschichten sind Anlage 3.1 und Anlage 3.2 zu entnehmen (siehe auch Kapitel 1.5.4). Präzisiert werden konnten diese Angaben durch die Ergebnisse aus PFU 41.02, 41.04 und [U13]. Auf diese Ergebnisse wird auch in Kapitel 1.3.6 eingegangen.

ST07 Wagrien Nord (Kossau/Oldenburger Graben)

Dieser Hauptgrundwasserleiter des Festlands reicht von Ratekau im Süden bis an den Fehmarnsund im Norden und bis an die Kieler Förde im Nord-Westen. In dieser Untersuchung wird die Region Wagrien Nord als nahezu hydraulisch entkoppelter Teilgrundwasserkörper betrachtet. Grund hierfür ist, dass der Grundwasserabstrom auf die markante unterirdische Tiefenlinie des Oldenburger Grabens gerichtet ist und die hydrologischen Verhältnisse der südlichen Grabenseite für die Betrachtung im vorliegenden Fall vernachlässigt werden können [U30]. Weiterhin definiert die Küstenlinie der Ostsee die restlichen Grundwasserkörpergrenzen. Folgend wird der Grundwasserkörper als „ST07 Wagrien Nord“ weitergeführt (gemäß Unterlage [U6]).

Gemäß den Stammdaten [U27] ist der Hauptwasserleiter mit einem Flächenanteil von 78 % von einer günstigen Deckschicht geschützt. Im Bereich Großenbrode reduziert sich dies jedoch lediglich auf ein mittleres Schutzpotenzial [U33]. Dieses Potenzial leitet sich aus der Mächtigkeit und Vollständigkeit der überlagernden Nichtleiter ab (gemäß Unterlage [U6]).

Der geschlossene Grundwasserleiter ist unterhalb des mindestens 10 m mächtigen Geschiebemergels ausgebildet und nicht flächendeckend vorhanden, da er von glazialtektonisch zerscherten Geschiebeböden und untereozyänen Tarras-Tonen durchschnitten wird [U31]. In den Geschiebemergel sind allerdings meist lokal wasserführende Sande eingeschaltet. Eine Nutzbarmachung des Grundwasservorkommens als Zentralversorgung ist nicht möglich (gemäß Unterlage [U6]).

Im Bereich der Oldenburger Mulde (Oldenburg bis zu den Heiligenhafener Höhen) ist ein bedeutendes Grundwasservorkommen kartiert, das im Zusammenhang mit den Braunkohlesanden steht, [U33]. Jedoch ist auch hier ein stark gestörter Schichtenaufbau vorhanden, der den Grundwasserabstrom behindert, der von den Heiligenhafener und Wandelwitzer Höhen in breiter Front zum Oldenburger Graben verläuft [U31]. Die Grundwasserscheide zur Ostsee wird ebenfalls von den beiden Höhenzügen definiert [U29] (gemäß Unterlage [U6]).

Eine qualitative Einschränkung der Grundwasserqualität ist bei in der Küstennähe vorkommenden Grundwasserleitern dokumentiert.

So ist z. B. im Raum Heiligenhafen eine starke Versalzung des Grundwasserleiters durch eindringendes mesohalines Ostseewasser gegeben [U31] (gemäß Unterlage [U6]).

Die Landzunge Großenbrode weist dem hingegen keine nennenswerten Grundwasservorkommen auf. Lediglich punktuelle Vorkommen können für eine örtliche Einzelversorgung durch z. B. lokale Brunnen bewirtschaftet werden. Die Ausbautiefe wird dann in Tiefen von 20 m bis 40 m dokumentiert [U31], das Fördervolumen beträgt meist < 2 l/s [U33]. Größere Vorkommen von mit Wasser gefüllten Sanden sind im Mündungsbereich der Großenbroder Aue bekannt. Dieser Grundwasserleiter steht in direkter Verbindung mit der Ostsee und ist versalzen [U31], [U38] (gemäß Unterlage [U6]).

ST08 Fehmarn

Gemäß den Stammdaten [U27] liegt die äußere Grenze des Grundwasserkörpers an der Küstenlinie zur Ostsee. Fehmarn weist keine hydrogeologisch relevanten Grundwasserleiter auf und ist generell ein Grundwassermangelgebiet [U39]. Geschiebeböden lagern direkt auf dem triassischen Ton auf und bilden einen Nichtleiterblock [U31]. Geschlossene, großräumige Glazialschotterdecken sind nicht vorhanden. Hydraulisch voneinander entkoppelte Sandlagen und -linsen sind lokal bestätigt. Das Schutzpotenzial durch Deckschichten ist im Bereich der Siedlung Fehmarnsund ungünstig, steigt entlang der B 207 bis Avendorf von mittlerer bis zu günstiger Güte [U33] (gemäß Unterlage [U6]).

Es bestehen keine nennenswerten Grundwasservorkommen in dem betrachteten Gebiet. Lediglich punktuelle Vorkommen südlich von Wulfen (siehe Abb. 20) können für eine örtliche Einzelversorgung bewirtschaftet werden. Das Fördervolumen beträgt meist < 2 l/s [U33]. Meist wird eine Brauchwasserförderung über angelegte Sickerwasserbrunnen anvisiert. Insgesamt wird die Stauwasserbildung bis an die Geländeoberkante durch die Geschiebeböden begünstigt. Weiterhin dienen die tonigen Böden als Zwischenspeicher für Niederschläge und die oberflächliche Entwässerung führt das Wasser rasch in die Ostsee ab. Zusätzlich zu den ungünstigen geologischen Bedingungen ist deshalb die Grundwasserneubildungsrate sehr gering [U31] (Unterlage [U6]).

Das Grundwasservorkommen „Strukkamp“ befindet sich in dem Eingriffsbereich des Bauvorhabens und hebt sich quantitativ von der übrigen Situation Fehmarns ab. Es ist jedoch qualitativ unergiebig (bis 1 l/s) und an dem Küstenareal des Fehmarnsunds versalzen. Die Oberkante des Grundwasserleiters „Strukkamp“ liegt in einem Tiefenniveau von 0,5 m bis 10 m unter Flur [U31], [U40].

Dieser wurde im Rahmen der Baugrunduntersuchungen im Zuge der Geotechnischen Berichte [U13] und PFU 41.04 (siehe jeweils Anlage 3 und Anlage 4) auch erschlossen.

Das dazu benachbarte und nicht korrespondierende Grundwasservorkommen „Wulfener Berg“ lässt ebenfalls keine Versorgungsvorhaben zu. Als einziges Gebiet mit höherem Grundwasservorkommen ist eine Sand-Kies-Bank im Raum Burg bekannt, die voraussichtlich jedoch nicht aus dem Bereich, wo die Trasse einschneiden soll, gespeist wird [U31], [U39], [U40].

1.3.6 Erläuternde Bezugnahme auf hydrogeologische Querschnittsprofile

In den PFU 41.01, 41.02, 41.04 und [U13] (darin jeweils Anlage 4) liegen Längsschnitte (Höhenbänder) der Baugrunderkundungen vor, aus denen der geologische Aufbau und die ggf. gemessenen Grundwasserstände im Bereich der geplanten Bauwerke hervorgehen.

Abgeleitet aus der generellen hydrogeologischen Baugrundbeschreibung sind Geschiebeböden, in die teilweise Sandlagen eingeschaltet sind, primär verbreitet. Hierdurch wird das Auftreten von lokalem Stau- und Schichtenwasser [U41] begünstigt. Insgesamt ist die Schichtenabfolge glazialtektonisch stark gestört und Wasserstauer, -leiter und -geringleiter sind kleinräumig ineinander verschaltet (gemäß Unterlage [U2]).

Eine durchgängige Konnektivität der grundwasserleitenden Schichten ist nicht gegeben und durch Aufschlussbohrungen sowie Literaturrecherchen für das gesamte Untersuchungsgebiet Wagrien-Fehmarn gemäß [U6] belegt. Die Lage der Grundwasserscheiden ergab gemäß [U6], dass die Landzunge Großenbrode keine nennenswerte Konnektivität mit den Grundwasserleitern der Oldenburger Mulde aufweist. Deshalb wurde die Region Oldenburger Mulde und Oldenburger Graben in Unterlage [U6] nicht weiter bewertet.

In den PFU 41.01, 41.02, 41.04 und [U13] (darin Kapitel „Grundwasserverhältnisse“) wurde detailliert auf die hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich eines jeden Bauwerkes eingegangen. Ergänzend wird auf die PFU 41.29 verwiesen, welche einen Überblick zu den vorliegenden GWL und den Grundwasserverhältnissen liefert. Im Folgenden sind die hydrogeologischen Verhältnisse zur allgemeinen Übersicht dargestellt.

1.3.6.1 Oldenburger Mulde und Graben

Die Lage der Grundwasserscheiden ergab, dass die Landzunge Großenbrode keine nennenswerte Konnektivität mit den Grundwasserleitern der Oldenburger Mulde aufweist, obwohl beide Regionen dem Grundwasserkörper ST07 zugeschlagen sind. Deshalb werden etwaige Veränderungen des Grundwassergeschehens durch Eingriffe infolge des Bauvorhabens sich unwahrscheinlich auf die Region Oldenburger Mulde und Oldenburger Graben auswirken.

Die Grundwasserleiter werden somit auf Basis aller zur Verfügung stehenden Informationen nicht von der Baumaßnahme betroffen sein (gemäß Unterlage [U6]).

1.3.6.2 Landzunge Großenbrode

Gemäß der Untergrundaufschlüsse aus den Baugrundgutachten und unter Zugrundelegung aller zur Verfügung stehenden Information ist für den Bereich der Landzunge Großenbrode Folgendes gemäß Unterlage [U6], festzustellen:

Die Region Großenbrode ist aufgrund der Grundwasserscheide der Heiligenhafener Höhen und aufgrund des Grundwasserabflusses in den Binnenhafen Großenbrode von der Grundwasserdynamik der Oldenburger Mulde weitestgehend unabhängig. Allenfalls einzelne Sandlagen korrespondieren hydraulisch, ein Grundwasserübertritt zwischen relevanten Grundwasserleitern ist nicht in der einschlägigen Literatur bekannt.

Ein Grundwasserleiter an der Mündung der Großenbroder Aue ist erwähnt. Dieser liegt außerhalb des betrachteten Baufeldes; er ist darüber hinaus hydraulisch isoliert und versalzen.

Der Untergrundaufbau lässt die Abgrenzung von drei Grundwasserleitern zu (siehe Anlage 2 in Unterlage [U6]). Ein isoliertes Vorkommen befindet sich in einer Sandlage in einer Tiefe von etwa -35 m NHN (B 4a). Eine Konnektivität mit anderen Wasserleitern konnte nicht festgestellt werden. Gemäß der vorliegenden Wasserstandsmessungen liegen ungespannte Druckverhältnisse des Grundwasserspiegels vor.

Ein oberflächennaher Wasserleiter wurde auf der Fläche zwischen der Bestandsbrücke B 207 und der Großenbroderfähre identifiziert. Er ist landseitig geringfügig überdeckt (ca. 2 m) und wasserseitig unbedeckt. Das mesohaline Sundwasser kann ungehindert in den kleinräumigen Wasserleiter eindringen und es wird eine deutliche Versalzung angenommen (B 22 bis 6 Mitte). Für den unbedeckten Bereich wird ein ungespannter Grundwasserspiegel angenommen; Wasserstandsmessungen lagen gemäß Unterlage [U6] nicht vor, da es sich bei den Bohrungen im Sund um Altbohrungen aus dem Jahr 1960 handelt. Der gering überdeckte, landseitige Bereich zeigt dem hingegen leicht gespannte Grundwasserstände. So wurde an der Bohrung B 22 der Grundwasserspiegel bei -3,13 m NHN angetroffen, der nach dem Ende der Bohrung auf +0,37 m NHN anstieg.

Ein dritter isolierter Halbleiter, mit stark wasserführenden Sandbändern, wurde in einer Tiefe von -45 m NHN entlang der Achse B 33 bis B 36 festgestellt. Eine Verbindung zu den übrigen Wasserleitern konnte durch den Schichtenverlauf nicht festgestellt werden. Gemäß der Wasserstandsmessungen liegen in dem Grundwasserleiter gespannte Druckverhältnisse vor (siehe Anlage 3 in Unterlage [U6]).

1.3.6.3 Fehmarnsund

Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 6.2 der Unterlage [U6] korrespondiert der Grundwasserleiter ST08 „Fehmarn“ nicht mit dem Grundwasserkörper ST07 „Wagrien Nord“.

In zwei nahezu parallel verlaufenden Achsen ist eine mächtige geologische Barriere aus Geschiebemergel und tertiären Tonen im Untergrund des Fehmarnsunds vorhanden (siehe Anlage 4 in PFU 41.01).

In den überwiegenden Aufschlüssen wurde in unterschiedlichen Tiefen unter Ansatzpunkt Grundwasser angetroffen. Dabei handelt es sich zum einen um Schichtenwasser in innerhalb der bindigen und gemischtkörnigen Schichten eingelagerten rolligen Böden sowie um freies Grundwasser in den Sand-, Kies-, und Geröllschichten. Bei dem angetroffenen Wasser handelt es sich sowohl um druckloses Schichtenwasser als auch um gespanntes Schichtenwasser. Beim Anbohren des Grundwassers wurde überwiegend – insbesondere in den rolligen Böden – ein Anstieg des Grundwassers beobachtet, so dass gespannte Grundwasserverhältnisse vorliegen (gemäß PFU 41.01).

1.3.6.4 Südliches Fehmarn

Die Ergebnisse der Bohrungen belegen eine mächtige Sandbank nahezu parallel zur Küstenlinie Fehmarns (vgl. Anlage 2 in Unterlage [U6]). Der Grundwasserleiter ist teilweise nicht abgedeckt und eine Meerwasserintrusion kann ungehindert stattfinden (vgl. WB 6, WB 7a, WB 9, B 15).

In NW-Richtung wurden einzelne Sandlagen (B 6 und B 7) und ein schwach abgedeckter Sandkörper (B 8 bis B 9) erkundet. Dieser Wasserleiter ist deutlich mit Tonlagen durchschnitten, was aufgrund der Stauwirkung unterhalb jeder Lage für gespannte Wasserdruckverhältnisse sorgt. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese mit dem „Strukkamp“ Grundwasserleiter korrespondieren; was jedoch gemäß dem derzeitigen Wissenstand nicht belegbar ist (gemäß Unterlage [U6]).

In östlicher Richtung taucht die Oberkante der Sandbank von + 1 m NHN bis ca. - 10 m NHN ab und die Überdeckung verstärkt sich auf ca. 2 bis 3 m. Hier wird ein Sundwasserzufluss angenommen, was sich z. B. aus der eher weichen Konsistenz der Überdeckung ableiten lässt (WB 13). Im Verlauf Richtung Nord entlang der Bestandstrasse B 207 sinkt die Oberkante des Wasserleiters auf rd. - 16 m NHN ab und das Schutzpotenzial ist günstig. In der Aufschlussbohrung B 56 wurde der „Strukkamp“-Grundwasserleiter nicht mehr erkundet (gemäß Unterlage [U6]).

Auf Basis der vorliegenden Erkundungsbohrungen ist die Ost-West-Ausdehnung des Grundwasserleiters rd. 2 km entlang der Küstenlinie (WB 13 bis B 15). Die maximal erkundete Nord-Süd-Ausdehnung beläuft sich auf rd. 2,2 km (WB 6 bis B 29b). Die westliche Breite des Grundwasserleiters beträgt etwa 1,2 km im oberen Bereich und 200 m im unteren Bereich.

Mittig beträgt die Breite etwa 200 m im oberen Bereich und ca. 1 km im unteren Abschnitt. Östlich wurde das größte Volumen des Grundwasserleiters aufgeschlossen.

Etwa 700 m beträgt die Breite im oberen Bereich und im unteren Bereich der Grundwassersohle etwa 500 m (gemäß Unterlage [U6]).

In den meisten Baugrundaufschlüssen wurde in den innerhalb der bindigen und gemischtkörnigen Böden anstehenden Sand- und Kiesschichten Schichtenwasser erbohrt. Die Sande und Kiese sind als mehrere Meter mächtige Schichten, aber auch in Form von Lagen und Bändern mit wenigen Dezimetern bzw. Zentimetern zwischengeschaltet. Bei dem angetroffenen Wasser handelt es sich sowohl um druckloses Schichtenwasser als auch um gespannt bis stark gespannt anstehendes Schichtenwasser (gemäß [U13]).

1.3.7 Darstellung, welche Grundwasserstockwerke von einer Baumaßnahme betroffen sind

Durch die Maßnahme sind Eingriffe bis in die sandigen-kiesigen quartären Wasserleiter innerhalb des Geschiebemergels und Tarrastons zu erwarten. Dies wird anhand der Höhenbänder mit den geplanten Gründungssohlen der unterschiedlichen Bauwerke in den jeweiligen Geotechnischen Berichten (siehe PFU 41.01, 41.02, 41.04 und [U13]) verdeutlicht.

1.3.8 Darstellung der Grundwasserströmungsverhältnisse mind. für die durch die Baumaßnahme unmittelbar betroffenen GW-Stockwerke

Grundwassergleichen- oder Flurabstandskarten sind seitens der Landesämter nicht vorhanden. Zur Ermittlung der Grundwasserströmung wurde basierend auf den Ergebnissen der Baugrunderkundungen und des Grundwassermonitorings (siehe PFU 41.01, 41.02, 41.04, [U13] und [U14]) Modellierungen durchgeführt. Die detaillierten Ergebnisse zur Festland- und Fehmarn-Seite sind der Anlage 5.11.1 – 5.11.37 zu entnehmen.

Anhand der Modellierung aus Abb. 8 wird ersichtlich, dass das Sundwasser auf Festlandseite mit einem sehr flachen hydraulischen Gradienten in Richtung Süden landeinwärts fließt. Diese Korrespondenz bis ins Landinnere wird auch durch das Grundwassermonitoring bestätigt (PFU 41.02). Ebenfalls zeigen diese, dass die Wasserstände der sundwasserbeeinflussten Grundwasserleiter über den Messzeitraum hinweg größtenteils unterhalb des Niveaus des Pegels Heiligenhafen liegen und folglich das Sundwasser nachweislich in das Festland „reindrückt“. Weiterhin zeigen die Modelle auf Basis des Grundwassermonitorings, dass ein sehr kleiner hydraulischer Gradient vorliegt.

Die deutlich über dem Meeresniveau liegenden Grundwasserstände der GWM B 49 und GWM B 125 (PFU 41.02) zeigen, dass diese nicht mit dem Sundwasser und auch nicht untereinander korrespondieren.

Anhand des Ganglinienverlaufes und der oberflächennahen Lage (Flurabstand 0-3,1 m (PFU 41.02)) dieser wasserführenden Schichten werden diese isolierten Sandlinsen als niederschlagsgespeiste Wasserleiter (Schichtwasser) interpretiert, welche nicht mit dem Grundwasser korrespondieren.

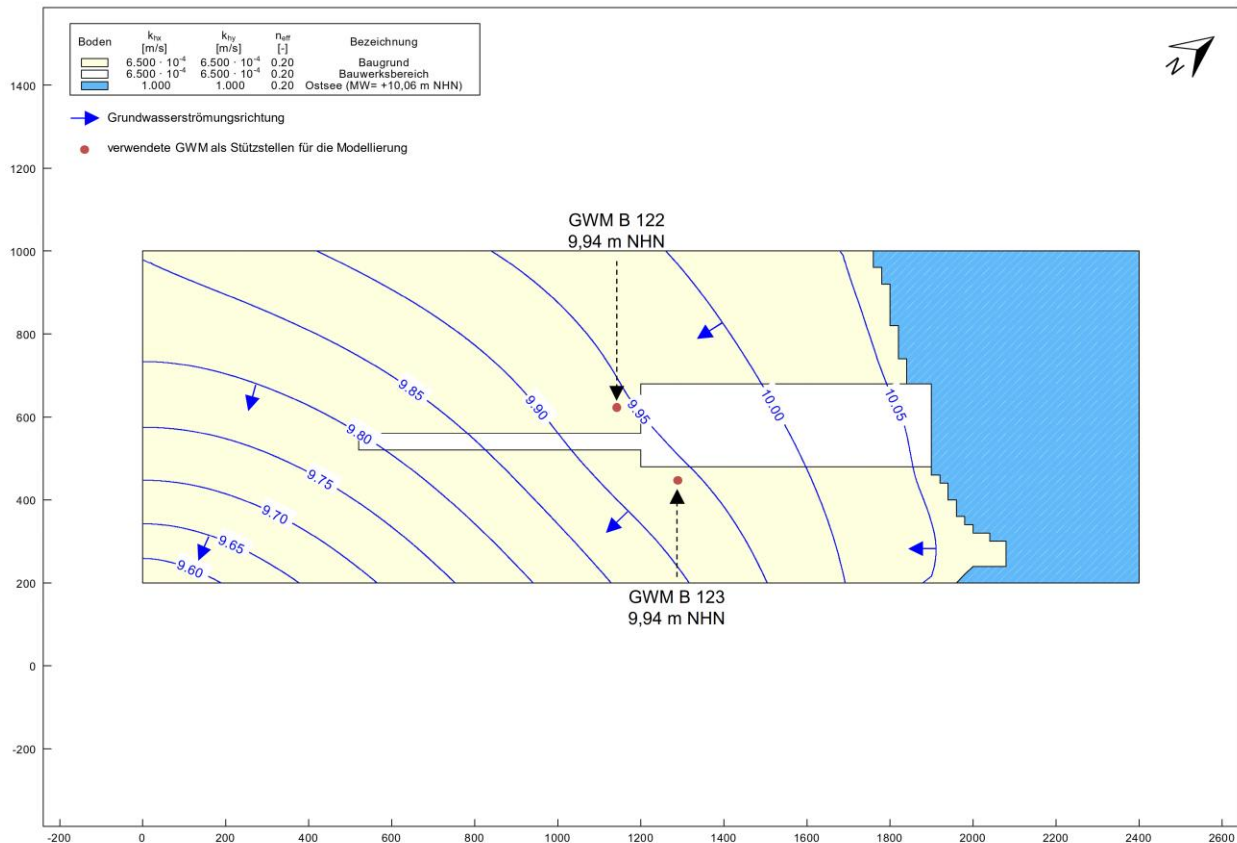


Abb. 8: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

Anhand der Modellierung aus Abb. 9 wird ersichtlich, dass im Bereich der Trogbauwerke eine Grundwasserscheide ermittelt werden konnte. Diese verläuft etwa von Nordwest nach Südost und schneidet das Bauwerk auf Höhe der Tröge nahezu senkrecht. Somit fließt das Grundwasser zum einen in südwestliche Richtung zum Sund und zum anderen in östliche Richtung hin zum Vorfluter. Den Vorfluter stellt das Grabensystem dar, welches zur Bewässerung der Ackerflächen dient. Diese Grundwasserscheide erklärt die nicht vorhandene Korrespondenz zwischen den Wasserständen aus GWM B 106 und B 110 (PFU 41.04).

Des Weiteren spiegelt das Modell die vergleichsweise hohen Ruhewasserstände der GWM B 94 und GWM 106 westlich des Bauwerks wider. Daraus lässt sich ein hydraulisches Gefälle weg vom Bauwerk nach Südwesten bis Westen ableiten.

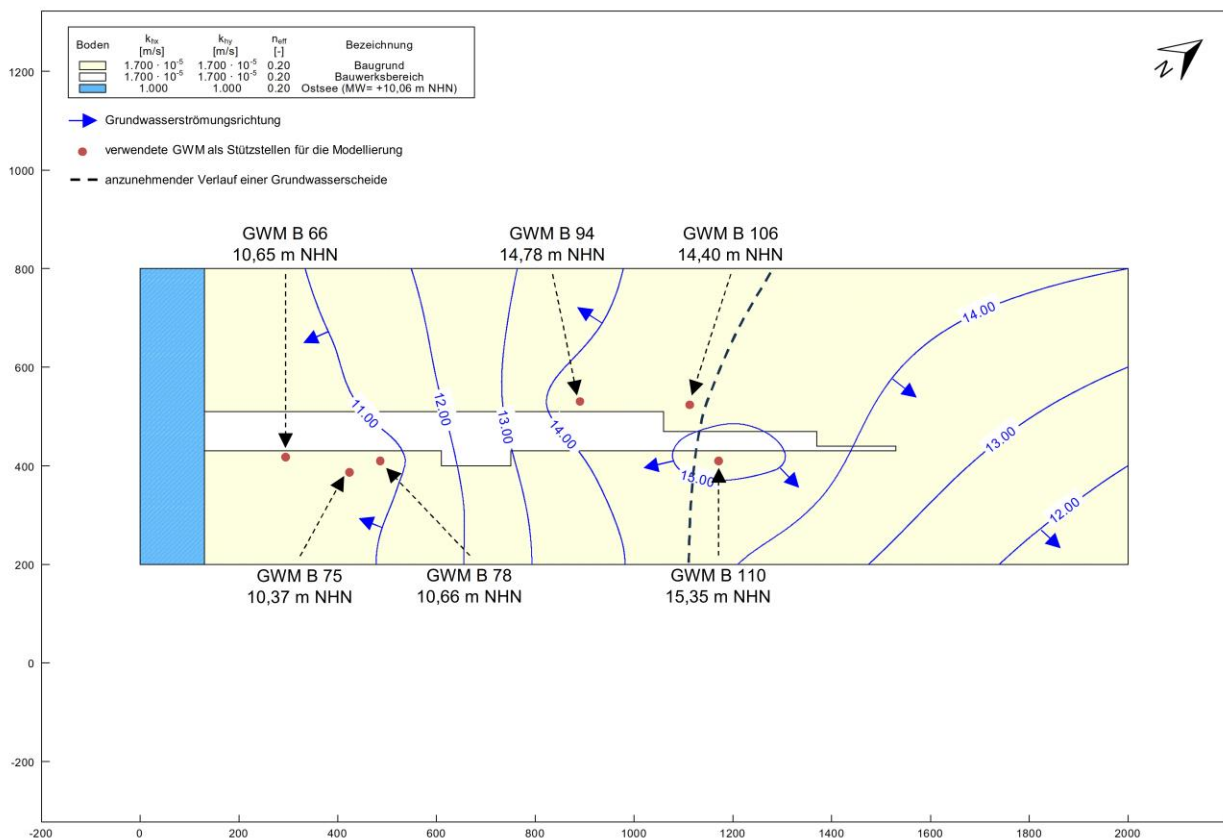


Abb. 9: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen inkl. Darstellung der Grundwasserscheide ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

1.3.9 Ableitung der Bemessungsgrundwasserstände für die Baumaßnahmen

Die Referenzwasserstände HW_{20} , HW_{50} , HW_{100} und HW_{200} gemäß Generalplan Küstenschutz 2012 sind bspw. der Anlage 11 der PFU 41.02 entnehmen. Hieraus können die entsprechenden Referenzhochwasserstände je betrachteten Korridor im Fehmarnsund abgelesen werden. Mithilfe der Ganglinien der GWM in PFU 41.01, 41.02, 41.04 und [U13] lassen sich an Stichtagen Grundwasserstände ablesen und mit geeigneten Parametern entsprechend den saisonalen Schwankungen anpassen, sodass sich daraus ebenfalls Bemessungswasserstände ableiten lassen.

In den Geotechnischen Berichten PFU 41.01, 41.02, 41.04, [U13] und [U14] wurden die Bemessungswasserstände festgelegt.

1.3.9.1 Absenktunnel (Bau-km 172,8+73 bis Bau-km 174,6+82)

Folgende Festlegungen wurden aus in PFU 41.01 entnommen. Für weitere Details wird auf diese PFU verwiesen.

Aus geotechnischer Sicht wird ein bauzeitlicher Bemessungswasserstand für das Festland und Fehmarn bis an die Geländeoberkante bzw. mindestens bis zum Mittleren Hochwasser MHW₂₀₁₀₋₂₀₂₀ von +1,20 m NHN angenommen (siehe Tabelle 3).

Dies gilt für den Absenktunnel im Wesentlichen für die landseitig angeordneten Elemente Nr. 1 und Nr. 2 sowie im Randbereich von Element Nr. 3 und Nr. 12 (siehe PFU 07.02.016 bis 07.02.027). Die Fortschreibung der 10-Jahresreihe des Mittleren Hochwassers, die seitens des WSV [U49] vorgenommen wird, ist bei der weiteren Planung zu beachten.

Unabhängig von eintretenden Hochwasserereignissen kann es auf oberflächennah anstehenden bindigen und gemischtkörnigen Böden nach niederschlagsreichen Zeiten, insbesondere in den Geländesenken, zu einem Aufstau des versickernden Niederschlagswassers kommen. Dies ist bei der Ausführung der Baumaßnahme zu berücksichtigen. Deshalb wird im Bereich von Geländesenken in einer Höhenlage von $> +1,50$ m NHN der bauzeitliche Bemessungswasserstand auf Höhe der Geländeoberkante (GOK) empfohlen. Wenn die aktuelle GOK der Senke zwischen $< +1,5$ m NHN und $> +1,17$ m NHN liegt, ist ebenfalls ein bauzeitlicher Bemessungswasserstand von $+1,5$ m NHN anzusetzen [U10]. Auch diese Angaben sind im Wesentlichen für die Randelemente des Absenktunnels zu berücksichtigen, die in Bereichen außerhalb des Sunds liegen.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass im Bereich durchgängig oberflächlich anstehender bindiger und gemischtkörniger Böden ein Aufstau des Niederschlagswassers bis auf Höhe GOK immer möglich ist, sodass die Bemessung der Bauwerke und Bauteile in diesen Bereichen auch für den Endzustand mit einem Wasserstand auf Höhe der GOK zu führen ist. Zudem sind die Angaben zu den Bereichen mit Senken $< +1,5$ m NHN auch auf den endzeitlichen Wasserstand zu übertragen.

Bei der Festlegung des bauzeitlichen Bemessungswasserstandes für den Sundbereich wird der maximale Hochwasserstand gemäß der 10-Jahresreihe 2010 bis 2020 [U50] von $+1,70$ m NHN angenommen (siehe Tabelle 3). Dieser Bemessungswasserstand gilt für alle Bauteile, die mit einem Unterwasseraushub hergestellt werden (Absenktunnelelemente Nr. 12 bis Nr. 1, siehe PFU 07.02.016 bis 07.02.027). Weiterhin sind für die Anschlussstellen der landseitigen Maßnahmen in Tabelle 3 Angaben zu ansetzbaren endzeitlichen Bemessungswasserständen für sundkorrespondente Grundwasserleiter auf der Festlandseite sowie auf Fehmarn auf Basis verschiedener Hochwassersituationen angegeben.

Da hier nur Bauwerke behandelt werden, die direkt im Sund bzw. direkt angrenzend an den Sund geplant sind (Randelemente Nr. 1-3 sowie Nr. 12) wird davon ausgegangen, dass landseitig anstehende Grundwasserleiter direkt sundkorrespondent sind, wobei aufgrund der räumlichen Nähe zum Sund keine wesentliche Dämpfung berücksichtigt werden sollte.

Es ist zu beachten, dass die in Tabelle 3 angegebenen endzeitlichen Bemessungswasserstände keine Zuschläge infolge Vorsorgemaß etc. enthalten. Etwaige Zuschläge sind entsprechend auf den jeweiligen Bemessungswasserstand zu addieren. Weiterhin ist durch den VHT und den Planer final abzustimmen, welcher Hochwasserfall HW_{xxx} in der Bemessung der Bauwerke zu berücksichtigen ist.

Tabelle 3 Bemessungswasserstände nach unterschiedlichen Bereichen des Absenktunnels (PFU 41.01)

	Festlandseitig	Sundbereich	Fehmarn
Bauzeitlicher Bemessungswasserstand	+1,20 m NHN (MHW ₂₀₁₀₋₂₀₂₀)	+1,70 m NHN (HW _{max2023})	+1,70 m NHN (HW _{maxGWM66})
Senken (h = > +1,17 m NHN u. < +1,50 m NHN)	+1,50 m NHN	-	+1,50 m NHN
Senken (h ≥ +1,5 m NHN)	GOK	-	GOK
Endzeitlicher Bemessungswasserstand¹⁾ mit Bezug zum HW₅₀	+2,15 m NHN ¹⁾	-	+2,00 m NHN ¹⁾
Endzeitlicher Bemessungswasserstand¹⁾ mit Bezug zum HW₁₀₀	+2,30 m NHN ¹⁾	-	+2,10 m NHN ¹⁾
Endzeitlicher Bemessungswasserstand¹⁾ mit Bezug zum HW₂₀₀	+2,45 m NHN ¹⁾	-	+2,25 m NHN ¹⁾
Endzeitlicher Bemessungswasserstand basierend auf HW_{10.000} (gültig für Sund, ohne Vorsorgemaß [U24])	-	+3,15 m NHN [U24]	-
¹⁾ gültig nur für sundkorrespondierendes Grundwasser, ohne Vorsorgemaß [U24] oder Dämpfung für den Bereich Großenbrode [U10]. Für Fehmarn ist keine Dämpfung ansetzbar.			

Weiterhin wird in diesem Abschnitt konkretisiert, dass es jeweils erforderlich ist zu prüfen, inwieweit örtlich ein sundkorrespondierender maßgebender Grundwasserleiter vorhanden ist, für den dann die Angaben zu den verschiedenen vom Hochwasserfall abhängigen Bemessungswasserstände gelten.

Zudem ist zu prüfen, ob örtlich oberflächennah bindige oder gemischtkörnige Böden anstehen, die einen bau- und endzeitlichen Bemessungswasserstand auf Höhe der GOK erfordern.

Abschließend wird angemerkt, dass im Rahmen des Geotechnischen Berichtes PFU 41.01 keine Angaben zur Notwendigkeit einer Berücksichtigung besonderer Havarielastfälle erfolgten, wie zum Beispiel ob ein Versagen der Hochwasserschutzanlagen in der Bemessung zu berücksichtigen ist. Dies ist im Rahmen der konkreten Fachplanungen zwischen Planer und VHT abzustimmen und begründen.

1.3.9.2 Trogbauwerke Festland (Bau-km 171,5+47 bis Bau-km 172,2+03) und Fehmarn (Bau-km 174,8+57 bis Bau-km 175,8+09)

Folgende Festlegungen wurden aus PFU 41.04 entnommen. Für weitere Details wird auf diese PFU verwiesen.

Grundsätzlich überwiegen auf der Festland- und der Inselseite im oberflächennahen Bereich mächtige bindige bzw. gemischtkörnige Böden, sodass es z. B. infolge von Starkregenereignissen zu einem Aufstau des Niederschlagswassers bis zur Geländeoberkante kommen kann. Entsprechend ist für alle Trogbauwerke ein bauzeitlicher und endzeitlicher Bemessungswasserstand auf Höhe der Geländeoberkante anzunehmen (siehe Tabelle 4).

Auf der Festlandseite steht ein leicht gespannter, sundkorrespondierender GWL an, der im Zuge der Baumaßnahme angeschnitten wird. Aufgrund der Lage des Bauwerks innerhalb der bindigen Bodenschichten, wo eine Versickerung sowie Abfluss von Niederschlagswasser nicht möglich ist, prägt sich ein flächendeckendes Stauwasservorkommen aus.

Weiterhin ist der GWL sundkorrespondierend und dessen Spiegelniveau ist direkt abhängig von dem Druckniveau des Sundes. Dieses Druckniveau ist u. a. maßgeblich für das Risiko eines Aufbruchs der Sohle. Hierfür wird aus geotechnischer Sicht ein bauzeitlicher Bemessungswasserstand auf Höhe des Mittleren Hochwassers MHW₁₀ (2010-2020) von +1,20 m NHN angenommen (siehe Anlage 9 in PFU 41.04). Eine Fortschreibung der 10-Jahresreihe des Mittleren Hochwassers, die Seitens des WSV [U49] vorgenommen wird, ist bei der weiteren Planung zu beachten. Für eine örtliche Zuordnung der GWL im Rahmen der Bemessung wird auf die Bemessungsprofile in Abschnitt 11 in PFU 41.04 verwiesen.

Auf der Inselseite sind zwei GWL ausgeprägt. Zum einen ist ein GWL in der Trasse des geplanten Straßentrops vorhanden, zum anderen ein GWL der vorwiegend in der Trasse des Bahntroges angeschnitten wird. Beide GWL weisen gespannte bis stark gespannte Druckverhältnisse auf. Diese GWL werden in der Sohlebene bereichsweise angeschnitten bzw. stehen direkt unterhalb der potenziellen Aushubsohle an, sodass hieraus insbesondere im Bauzustand ein Aufbruch resultieren könnte.

Im Hinblick auf den potenziellen Aufbruch der Sohle ist das Grundwasserdruckniveau in den vorgenannten GWL relevant.

Das von unten drückende Wasserdruckniveau ist abschnittsweise in den Bemessungsprofilen der Anlage 11 in PFU 41.04 angegeben und dort dem jeweiligen Grundwasserleiter zugeordnet. Sollten im Rahmen des fortgeführten Grundwassermonitorings höhere Maximalwerte bzgl. des hydraulischen Druckniveaus gemessen werden, sind die Angaben zu prüfen und ggf. anzupassen.

Im Hinblick auf den potenziellen Aufbruch der Sohle ist das Grundwasserdruckniveau in den vorgenannten GWL relevant. Das von unten drückende Wasserdruckniveau ist abschnittsweise in den Bemessungsprofilen der Anlage 11 in PFU 41.04 angegeben und dort dem jeweiligen Grundwasserleiter zugeordnet. Sollten im Rahmen des fortgeführten Grundwassermonitorings höhere Maximalwerte bzgl. des hydraulischen Druckniveaus gemessen werden, sind die Angaben dieses Berichtes zu prüfen und ggf. anzupassen.

Tabelle 4 Bemessungswasserstände nach unterschiedlichen Bereichen der Trogbauwerke (PFU 41.04)

	Festlandseitig	Fehmarn
Bauzeitlicher und Endzeitlicher Bemessungswasserstand Bauwerk, wasserstauende Böden und Stauwasser in nicht abgedeckten Sanden, gespanntes Grundwasser	GOK	GOK
Bauzeitlicher Bemessungswasserstand Aufbruch der Sohle \triangleq MHW₁₀, sundkorrespondierende Grundwasserleiter ¹⁾	+1,20 m NHN ¹⁾	-
Bauzeitlicher Bemessungswasserstand Aufbruch der Sohle \triangleq max. Druckniveau, sundkorrespondierende Grundwasserleiter ¹⁾	-	siehe Anlage 11 in PFU 41.04
¹⁾ gültig nur für sundkorrespondierendes Grundwasser, ohne Vorsorgemaß [U24] und Dämpfung [U10]		

Ansonsten ist in der Regel davon auszugehen, dass aufgrund der zumeist angetroffenen geringdurchlässigen oberflächennahen Böden immer ein Bemessungswasserstand auf Höhe der Geländeoberkante maßgebend wird. Mit dieser Festlegung geht man auch mit den vergleichsweisen hohen Grundwasserständen der GWM B 94, GWM B 106 und GWM B 110 konform. Dies gilt ebenfalls für Bereiche, in denen rollige Böden oberflächennah anstehen, die offensichtlich keine Sundkorrespondenz aufweisen, deren Porenraum allerdings in der Folge von Niederschlagsereignissen vollständig wassergesättigt vorliegen kann. Stauwasser bis zur Geländeoberkante ist daher die Konsequenz.

Die sandigen Schichten, die direkt unterhalb des Oberbodens vorkommen, sind in den Höhenbändern der Anlage 4.1 bis Anlage 4.3 in PFU 41.04 ersichtlich (z. B. Anlage 4.1, B 158, B 20 und B 23).

Abschließend wird angemerkt, dass im Rahmen des Geotechnischen Berichtes PFU 41.04 keine Angaben zur Notwendigkeit einer Berücksichtigung besonderer Havarielastfälle erfolgen, wie zum Beispiel, ob ein Versagen der Hochwasserschutzanlagen in der Bemessung zu berücksichtigen ist. Dies ist im Rahmen der konkreten Fachplanungen zwischen Planer und VHT abzustimmen und begründen.

1.3.9.3 Trockendock Festland (Bau-km 172,2+03 – Bau-km 172,9+17)

Folgende Festlegungen wurden aus PFU 41.02 entnommen. Für weitere Details wird auf diese PFU und [U26] verwiesen.

Im vorliegenden Fall des Trockendocks handelt es sich um ein temporäres Bauwerk zur Herstellung der Tunnelelemente. Aus diesem Grund kann die Festlegung eines endzeitlichen Bemessungswasserstandes entfallen und es ist ausschließlich ein Bemessungswasserstand für den Bauzustand festzulegen. Aus geotechnischer Sicht wird ein bauzeitlicher Bemessungswasserstand für das Trockendock bis an die Geländeoberkante bzw. mindestens bis zum Mittleren Hochwasser MHW₂₀₁₀₋₂₀₂₀ von +1,20 m NHN angenommen (siehe Tabelle 5 in PFU 41.02). Eine Fortschreibung der 10-Jahresreihe des Mittleren Hochwassers, die seitens des WSV [U48] vorgenommen wird, ist bei der weiteren Planung zu beachten. Für die Bauwerke innerhalb des Trockendocks ist ein endzeitlicher Bemessungswasserstand auf Höhe der Geländeoberkante anzunehmen, wobei dieser signifikant von dem gewählten Verfüllmaterial im Trockendock abhängt, [U26].

Unabhängig von eintretenden Hochwasserereignissen kann es auf den oberflächennah anstehenden bindigen und gemischtkörnigen Böden nach niederschlagsreichen Zeiten, insbesondere in den Geländesenken, zu einem Aufstau des versickernden Niederschlagswassers kommen. Dies ist bei der Ausführung der Baumaßnahme zu berücksichtigen. Deshalb wird im Bereich von Geländesenken in einer Höhenlage von > +1,50 m NHN der bauzeitliche Bemessungswasserstand auf Höhe der GOK empfohlen. Wenn die aktuelle GOK der Senke zwischen < +1,5 m NHN und > +1,20 m NHN liegt, ist ebenfalls ein bauzeitlicher Bemessungswasserstand von +1,5 m NHN anzusetzen [U10].

Bei der Festlegung des bauzeitlichen Bemessungswasserstandes für den Sundbereich wird der maximale Hochwasserstand gemäß der 10-Jahresreihe 2010 bis 2020 [U48] von +1,70 m NHN angenommen (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5 Bemessungswasserstände nach unterschiedlichen Bereichen des Trockendocks (PFU 41.02)

	Festlandseitig	Sundbereich
Bauzeitlicher Bemessungswasserstand MHW₂₀₁₀₋₂₀₂₀	+1,20 m NHN	+1,70 m NHN (HW _{max})
Senken (h = > +1,20 m NHN u. < +1,50 m NHN)	+1,50 m NHN	-
Senken (h ≥ +1,5 m NHN)	GOK	-

1.3.9.4 Tunnel offene Bauweise Fehmarn (Bau-km 174,6+82 – Bau-km 174,8+59)

Folgende Festlegungen wurden aus [U13] entnommen. Für weitere Details wird auf diese Unterlage verwiesen.

Grundsätzlich überwiegen im oberflächennahen Bereich mächtige bindige bzw. gemischtkörnige Böden, sodass es z. B. infolge von Starkregenereignissen zu einem Aufstau des Niederschlagswassers bis zur Geländeoberkante kommen kann. Entsprechend ist für das Tunnelbauwerk ein bauzeitlicher und endzeitlicher Bemessungswasserstand auf Höhe der Geländeoberkante anzunehmen. Im Hinblick auf den potenziellen Aufbruch der Sohle ist das Grundwasserdruckniveau in dem vorgenannten Grundwasserleiter relevant. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Grundwasserstandsmessungen wird für den Nachweis einer ausreichenden Sicherheit gegen Sohlaufbruch ein bauzeitlicher Bemessungswasserstand für das gespannt anstehende Grundwasser von +2,0 m NHN festgelegt.

1.3.9.5 Bemessungswasserstand für RRB, RBFA und Düker

Auf den anstehenden schwach bis sehr schwach durchlässigen, gemischtkörnigen Böden kann es nach niederschlagsreichen Zeiten zu einem Aufstau des versickernden Niederschlagswassers kommen. Daher ist von einem Bemessungswasserstand bis an die Geländeoberkante auszugehen (siehe u. A. PFU 41.08 bis 41.20).

1.3.9.6 Bemessungswasserstand für den Hochwasserschutz

Die folgende Ableitung der Bemessungswasserstände für den Hochwasserschutz wurden der Unterlage [U11] entnommen:

Auf der Grundlage des Generalplanes Küstenschutz [U46] hat das MEKUN folgende Wasserstände HW₂₀₀ für den Planungsbereich definiert.

- Tunnelportal Festland: NHN +2,45 m
- Tunnelportal Fehmarn: NHN +2,25 m

Basierend auf dem IPCC-Bericht 2021 gibt der Generalplan Küstenschutz [U46] Vorsorgemaße für mittlere globale Meeresspiegelprojektionen an, die bei der Bemessung von Hochwasserschutzbauwerken zu berücksichtigen sind. Maßgebend ist hier das Szenario SSP5-8.5.

Folgendes Vorsorgemaß wird bei der Festlegung der Bemessungswasserstände berücksichtigt:

- Vorsorgemaß für 2150: +1,35 m

Für die Planungsbereiche der Tunnelportale am Festland und auf Fehmarn ergeben sich demnach folgende Bemessungswasserstände für HW 2150 (siehe Abb. 10 und Abb. 11):

- Festland: NHN +3,80 m
- Fehmarn: NHN +3,60 m

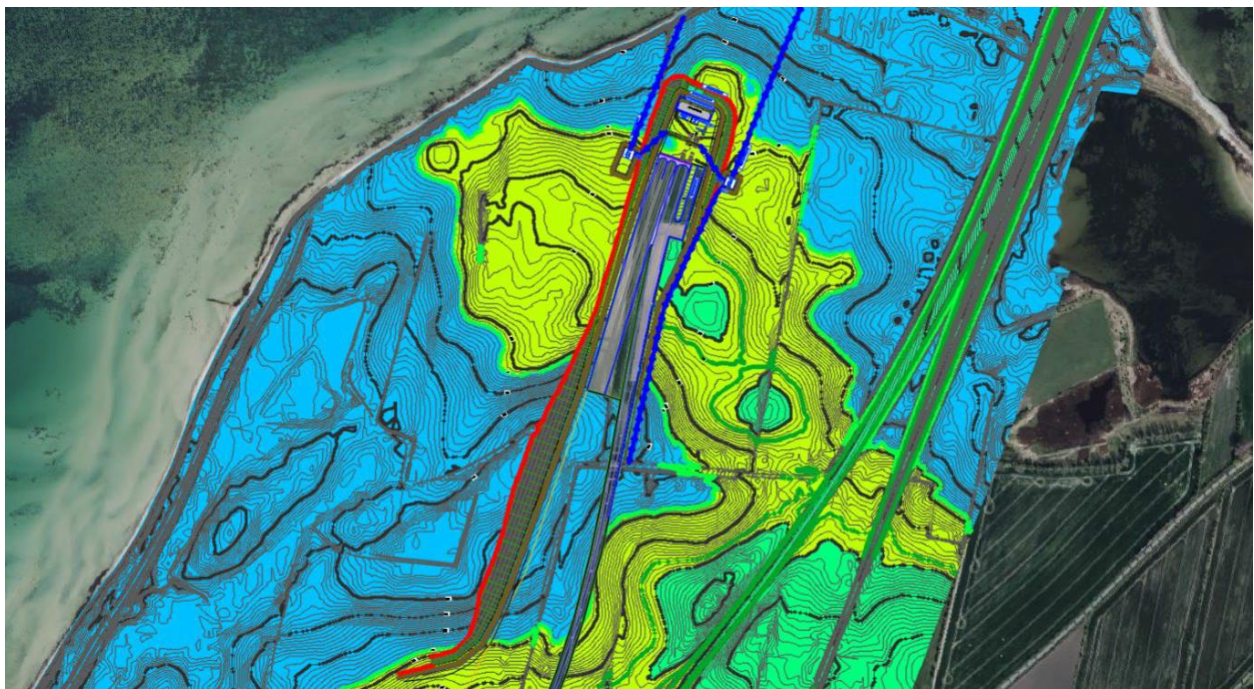


Abb. 10: Hochwasserschutzlinie (in Rot) im Bereich des Tunnelportals auf der Festlandseite (Blau – überflutete Flächen bei NHN +3,80 m, Gelb/Grün – Flächen mit einer Geländehöhe größer NHN +3,80 m) (entnommen aus [U25]).

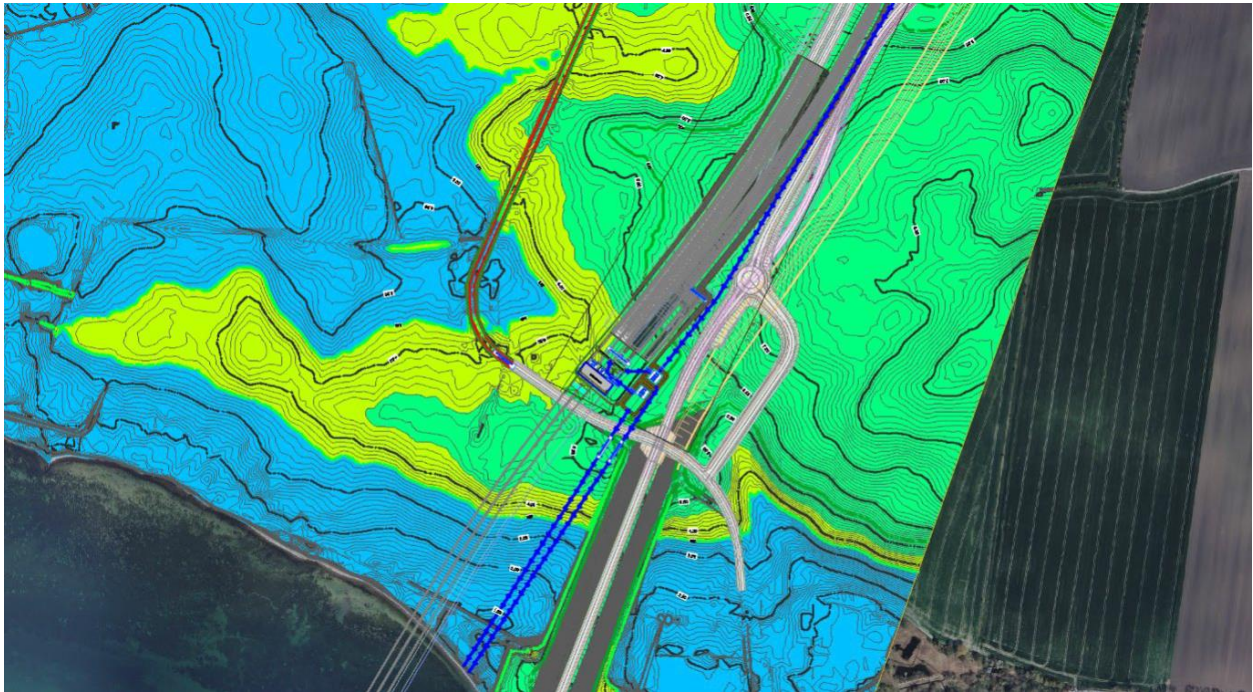


Abb. 11: Hochwasserschutz im Bereich des Tunnelportals auf Fehmarn (Blau – überflutete Flächen bei NHN +3,60 m, Gelb/Grün – Flächen mit einer Geländehöhe größer NHN +3,60 m) (entnommen aus [U25]).

1.4 Hydrochemische Verhältnisse

1.4.1 Beton- und Stahlaggressivität

Zur Ableitung der geogenen Hintergrundwerte im Grundwasser liegen chemische Analyseergebnisse vor, die aus dem geotechnischen Bericht [U3] stammen. Neun Proben des Grundwassers und zwei Proben des Ostseewassers wurden im Untersuchungsgebiet im Zuge der Bohrarbeiten entnommen und u. a. der Gehalt an Chlorid gemessen. Im Ergebnis sind Werte von 104 mg/l bis 4390 mg/l im Grundwasser gemessen worden. Das Ostseewasser weist einen Gehalt von rd. 6400 mg/l Chlorid auf. Die entsprechenden Prüfberichte des Labors sind der Anlage 8 des geotechnischen Berichts [U3] zu entnehmen (gemäß Unterlage [U4]).

Unter Zugrundelegung der LAWA [U44] wird der Geringfügigkeitsschwellenwert von 250 mg/l im Grundwasser in der Hälfte der Grundwasserproben deutlich überschritten. Weiterhin ist in der Publikation „Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer“ [U45] bei der Bestimmung der regionalen Hintergrundwerte für Grundwasser die geographische Lagebeziehung des Grundwassers zu Küsten- oder Binnengewässer als eine der Hauptgründe für eine Anomalie durch Versalzungen angegeben. Deshalb ist der im Boden festgestellte Chlorid-Befund aller Wahrscheinlichkeit nach als geogene Hintergrundbelastung zu interpretieren (gemäß Unterlage [U4]).

Um Angaben zur Beton- und Stahlaggressivität des Grundwassers treffen zu können, wurden während der Vorplanung aus den landseitigen Bohrungen B 4a (2 Stück), B 7, B 8, B 15, B 16, B 24 (2 Stück), B 28, B 31, B 32, B 34, B 36 bis B 39, B 41, B 44, B 53, B 54 und B 63 sowie aus den Wasserbohrungen WB 10 und WB 11A insgesamt 24 Grundwasserproben entnommen. Darüber hinaus wurden während des Abteufens der Wasserbohrungen zwei Wasserproben aus der Ostsee (ost- sowie westseitig der Bestandsbrücke) entnommen (Unterlage [U5]).

Nach den dokumentierten Laborbefunden ist das Grundwasser mit Ausnahme der Grundwasserproben aus der Bohrung B 24 sowie aus den Wasserbohrungen entsprechend als nicht betonangreifende Umgebung nach DIN 4030 einzustufen. Die Grundwasserproben aus der Bohrung B 24, die in unmittelbarer Nähe des Sunds abgeteuft wurde, sind auf Grund des Sulfatgehaltes von 201 mg/l bzw. 533 mg/l in die Expositionsklasse XA1 (schwach betonangreifende Umgebung) einzustufen (Unterlage [U5]).

Für die Wasserproben aus den Wasserbohrungen sowie den Wasserproben aus dem Sund wurden erwartungsgemäß hohe Werte von Sulfat (823 mg/l bis 995 mg/l) sowie Magnesium (399 mg/l bis 517 mg/l) ermittelt. Das Wasser ist in die Expositionsklasse XA2 (sehr stark betonangreifende Umgebung) einzustufen (Unterlage [U5]).

Zusammenfassend ergeben sich anhand der Laborergebnisse für den direkten Sundbereich Expositionsklassen XA2 (sehr stark betonangreifende Umgebung). Für die landseitigen Wasserproben haben sich hinsichtlich der Betonaggressivität des Wassers eine Einstufung als nicht betonangreifende bis schwach betonangreifende Umgebung (XA1) ergeben (Unterlage [U5]).

Bei der Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedrig legierten Stählen ergeben sich gemäß der vorliegenden Laborberichte eine sehr geringe bis hohe Loch- und Muldenkorrosionswahrscheinlichkeit sowie eine sehr geringe bis mittlere Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit (Unterlage [U5]).

Die Laborberichte sind jeweils der Anlage 8 in den PFU 41.01, 41.02, 41.04 und [U13] zu entnehmen.

1.4.2 Salinität

Um Angaben zur Salinität des Ostseewassers treffen zu können, wurde ufernah aus dem Fehmarnsund inselseitig und festlandseitig jeweils eine Wasserprobe geschöpft. Darüber hinaus wurde aus insgesamt 6 Grundwassermessstellen (GMW B 49, GWM B 122, GWM B 123 und GWM B 125 (festlandseitig) sowie GWM B 94 und GWM B 106 (inselseitig)) jeweils eine Grundwasserprobe entnommen (gemäß [U23]).

Die Wasserproben wurden auf nachfolgend genannte Parameter untersucht:

- Chlorid
- Natrium
- Sulfat
- Magnesium
- Calcium
- Kalium
- Bromid
- Borat
- Strontium
- Hydrogencarbonat

Die Ergebnisse der chemischen Analysen zur Salinität der untersuchten Grundwasserproben sowie der Ostseewasserproben sind in der Anlage 2 der Stellungnahme [U23] beigefügt. Erwartungsgemäß sind die salinitätsbestimmenden Stoffe in den Meerwasserproben in deutlich höherer Konzentration anzutreffen als in den Grundwasserproben. Dennoch sind auch in den Grundwasserproben teilweise vergleichsweise hohe Konzentrationen v. a. hinsichtlich der Parameter Natrium und Chlorid vorhanden. Dies deutet darauf hin, dass das Grundwasser in gewissem Maße mit dem Sundwasser in Korrespondenz steht. Weiterhin kann anhand der Analysewerte der verschiedenen Grundwassermessstellen zudem erkannt werden, dass die Salinitätskonzentrationen mit wachsender Entfernung der Grundwassermessstelle zum Fehmarnsund abnehmen. Auch dies lässt den Rückschluss zu, dass eine Korrespondenz zwischen Grund- und Sundwasser vorliegt, wobei mit wachsender Entfernung zum Sund eine natürliche Filterung des Grundwassers zur Reduktion der Salinität führt (gemäß [U23]).

1.5 Gewässerökologische Verhältnisse

Das Schutzgut Wasser besteht im terrestrischen Bezugsraum aus den Teilschutzgütern Grundwasser und Oberflächengewässer. Der marine Bezugsraum besteht aus dem marinen Wasserkörper. Weitere Details zu den betroffenen Gewässern sind im Fachbeitrag zur WRRL und der UVP enthalten. Auszüge daraus werden im folgenden Kapitel zitiert.

1.5.1 Fließgewässer

Natürliche Fließgewässer sind auf dem Festland (Großenbrode) nicht vorhanden. Die Entwässerung erfolgt im Wesentlichen über Gräben und Grabensysteme, die das Wasser entweder direkt oder über den Hauptvorfluter, die Großenbroder Aue, der Ostsee zuführen. Die Großenbroder Aue hat ihren Ursprung als offenes Fließgewässer im Bereich der DB-Bestandstrasse nördlich des Pomosin-Werkes.

Sie fließt von hier zunächst in nordöstlicher, dann in nördlicher Richtung am westlichen Siedlungsrand von Großenbrode vorbei und durchströmt dabei einen Niederungsbereich, der ehemals zum Großenbroder Haff gehörte und nun teilverlandet ist.

Die Großenbroder Aue besitzt keine direkte Verbindung mehr zu dem nördlich der B 207 gelegenen Strandseebereich an der Ostseeküste und erfüllt damit nicht die Voraussetzungen eines natürlichen Fließgewässers. Ihr Wasser wird in ein Schöpfwerk eingeleitet und über eine unter der B 207 hindurchgeführte Rohrleitung in die Ostsee gepumpt (gemäß [U22]).

Natürliche Fließgewässer sind auf Fehmarn nicht vorhanden. Beidseits der B 207 und der Bahntrasse sind kleinere Gräben angelegt. Das verzweigte Grabennetz stellt die Vorflut für die landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie für die Einleitung von Oberflächenwasser sicher. Die meisten der im Rahmen der terrestrischen Biotoptypenkartierung erfassten Straßen- und Bahnseitengräben sowie landwirtschaftlichen Gräben weisen nur eine temporäre Wasserführung auf (gemäß [U22]).

Es befinden sich keine Gewässer I., II. Ordnung (gem. §2 WG) bzw. WRRL-berichtspflichtige Gewässer innerhalb des Untersuchungsraums. Entsprechend liegen keine Abflussdaten, Informationen zur Gewässer- und Strukturgüte sowie dem ökologischen Zustand der Gewässer vor (gemäß [U22]).

1.5.2 Stillgewässer

Auf dem Festland befinden sich eine Reihe von Acker- und Grünlandweihern, Kleingewässern und Tümpeln in naturnahen sowie naturfernen Ausprägungen. Ihre Genese kann teilweise als natürlich (Sölle in glazialen Toteislöchern; Ansammlung von Oberflächenwasser in Mulden und Senken über wasserstauender Grundmoräne) angenommen, teils auch mit der früheren Anlage von Mergelkuhlen, Torfstichen oder sonstigen Abgrabungen in Verbindung gebracht werden. Außerdem befinden sich technische Gewässer wie z. B. (geplante) Regenrückhaltebecken an der B 207 sowie innerhalb des angrenzenden PFA 5.2. Alle Stillgewässer sind aufgrund der landwirtschaftlichen Umgebung als eutroph einzustufen (gemäß [U22]).

1.5.3 Küstengewässer

Auf dem Festland befinden sich Strandseen bei Großenbroderfähre (östlich der Rampe zur Fehmarnsundbrücke) und am Großenbroder Weststrand („Großenbroder Lagune“, nordwestlich der B 207 und südlich des Ortsteils Orthfeld). Diese Strandseen stellen eine Besonderheit dar, da sie im Vergleich zu anderen Binnenseen mit einer Wassertiefe zwischen 0,3 und 0,7 m sehr flach sind. Aus produktionsbiologischer Sicht sind sie daher eher im polytrophen Bereich einzustufen. Auf Fehmarn befinden sich keine Strandseen (gemäß [U22]).

1.5.4 Grundwasserkörper

Dem festlandseitigen Untersuchungsraum liegt der Grundwasserkörper (GWK) „Kossau/ Oldenburger Graben“ (DE_GB_DESH_ST07) zugrunde (siehe Abb. 12). Die Mächtigkeit wird mit 10 bis 20 m (abgedeckt) angegeben.

Es handelt sich um einen silikatischen Porengrundwasserleiter mit Trinkwassernutzung. Im dritten Bewirtschaftungszeitraum befindet sich der GWK in einem guten mengenmäßigen Zustand und guten chemischen Zustand [U52] (gemäß [U22]).

Dem inselseitigen Untersuchungsraum liegt der GWK „Fehmarn“ (DE_GB_DESH_ST08) zugrunde (siehe Abb. 12). Die Mächtigkeit wird im südlichen Bereich östlich der Fehmarnsundbrücke mit 20 bis 30 m (nicht abgedeckt) angegeben. Im restlichen Bereich beträgt die Mächtigkeit 5 bis 20 m (abgedeckt). Es handelt sich um einen silikatischen Porengrundwasserleiter mit Trinkwassernutzung. Im dritten Bewirtschaftungszeitraum befindet sich der GWK in einem guten mengenmäßigen Zustand und guten chemischen Zustand [U52] (gemäß [U22]).

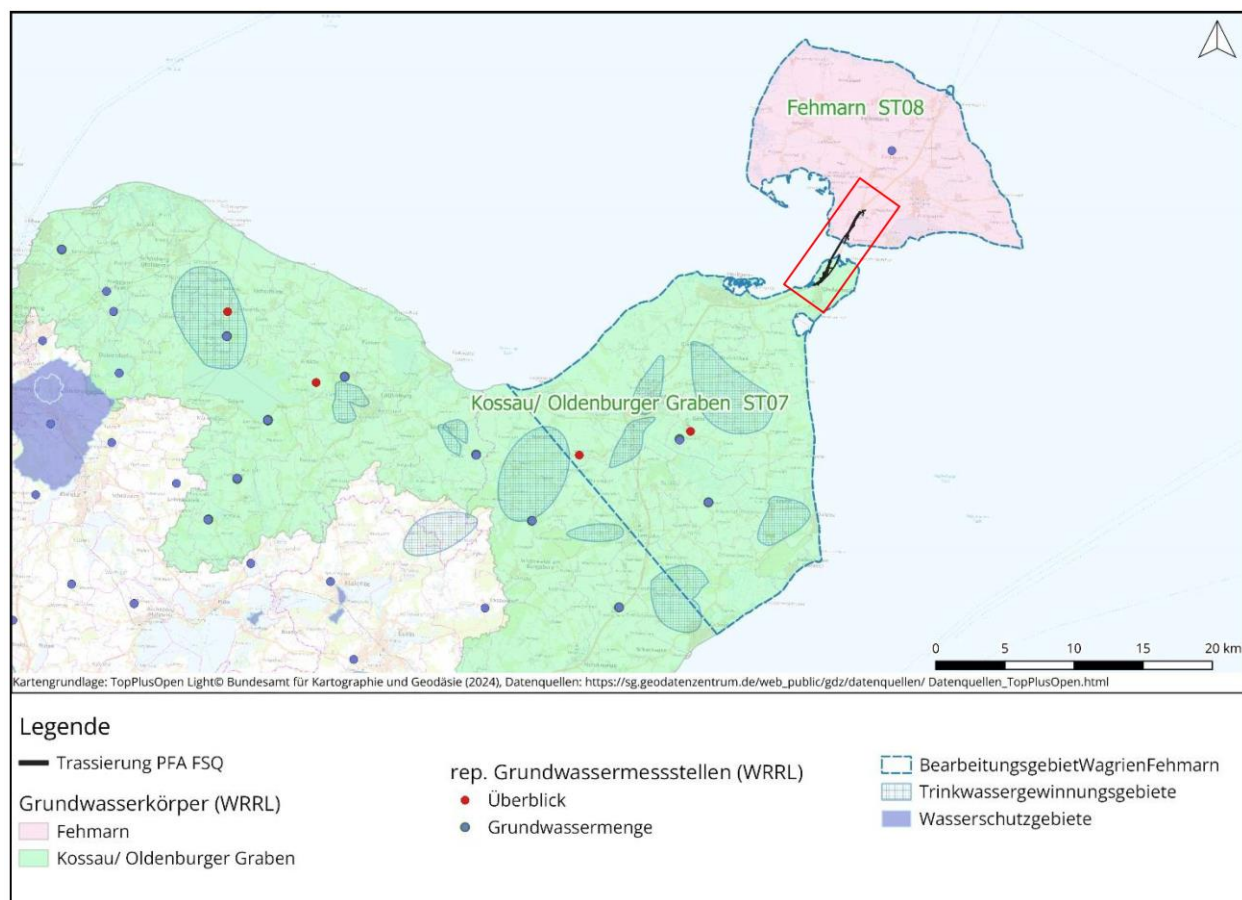


Abb. 12: Grundwasserkörper „Kossau/ Oldenburger Graben“ ST07 und „Fehmarn“ ST08 mit repräsentativen Messstellen nach EU-WRRL (nach [U43]) und Lage des Untersuchungsgebiets (rot) (entnommen aus [U21]).

1.5.5 Küstenwasserkörper

Im Fachbeitrag WRRL werden die Auswirkungen des Bauvorhabens auf Gewässer mit einem Einzugsgebiet von mehr als 10 km² betrachtet. Dies betrifft im Untersuchungsgebiet die Küstenwasserkörper. Dies ist zum einen der KWK „Fehmarn Sund W“ und zum anderen die „Orther Bucht“.

In vier weiteren KWK kann eine Beeinflussung meist durch Meeresströmungen stattfinden („Fehmarn Sund E“, „Fehmarn Sund Ost“, „Fehmarn Belt W“ und „Fehmarn Belt E“). Das geborgene Baggergut des Absenkgrabens soll im „Küstenmeer Schlei/Trave“ verbracht werden (siehe Abb. 13).

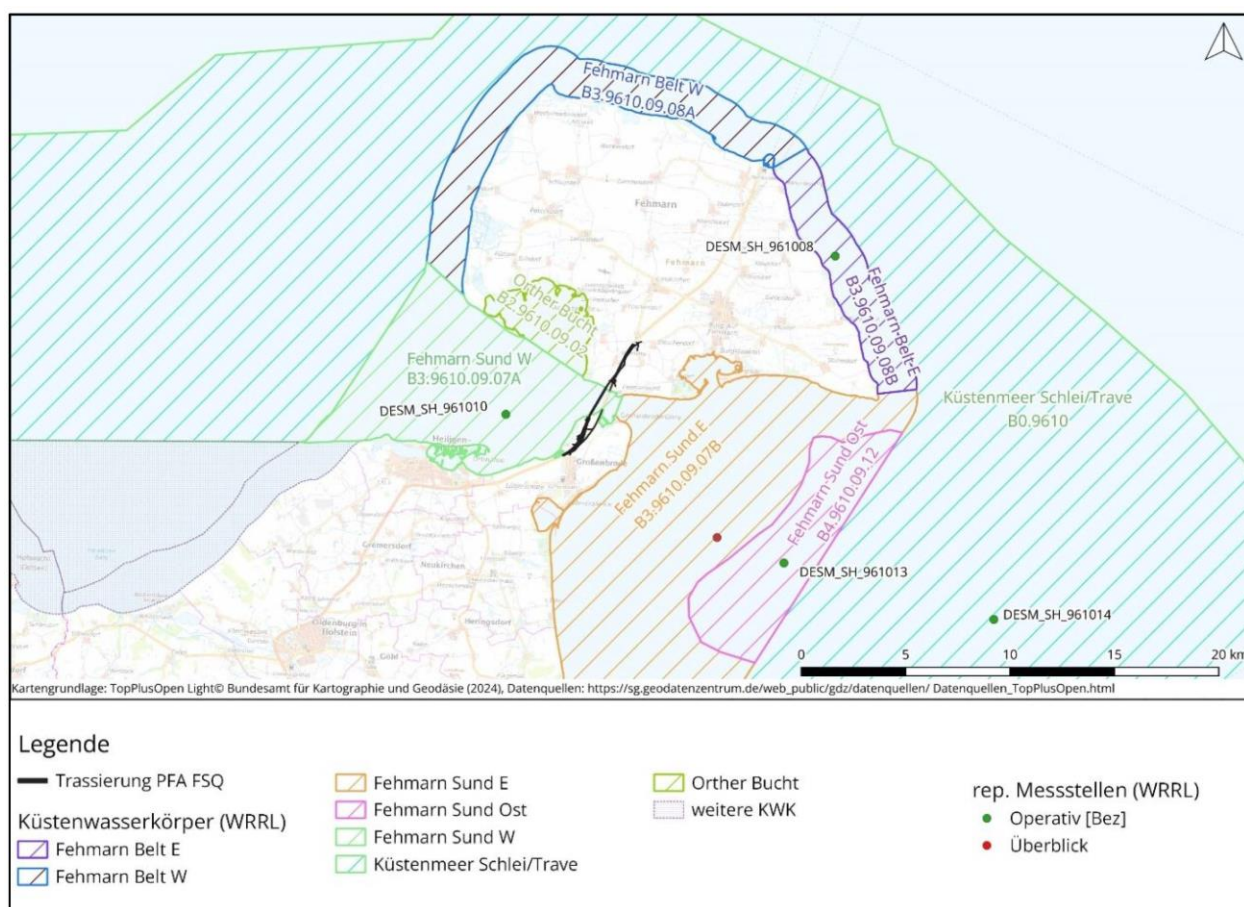


Abb. 13: Übersicht der Wasserkörper und Lage des Untersuchungsgebietes mit repräsentativen Messstellen nach WRRL (nach [U43]) (entnommen aus [U21]).

Eine Übersicht zur einzelnen Bewertung dieser Küstenwasserkörper ist dem Fachbeitrag zur WRRL [U21] zu entnehmen. Daraus geht hervor, dass die betroffenen Küstenwasserkörper hinsichtlich ihres ökologischen Zustandes als mäßig und hinsichtlich ihres chemischen Zustandes als schlecht zu bewerten sind.

2 Sachverhaltsspezifische Unterlagen

2.1 Bauwasserhaltung und grundwassererhebliche Arbeiten

2.1.1 Maßnahmen zur Bewertung potenzieller Veränderungen durch Grundwasserabsenkungen

2.1.1.1 Technische Daten von GWM in tabellarischer Form

Im Zuge der Aufschlussarbeiten wurden Grundwassermessstellen (GWM) errichtet. Technische Details sind Tabelle 6 zu entnehmen. Die Daten zum Ausbau der GWMs gehen aus den Geotechnischen Berichten PFU 41.01, 41.02, 41.04 und [U13] (jeweils Anlage 3) hervor. Die Lage der GWM ist in der Anlage 2 verzeichnet und die dazugehörigen Ganglinien sind als Anlage 9 der zuvor genannten Berichte beigelegt.

Tabelle 6 technische Daten der GWM

GWM Bezeichnung	Koordinaten (x;y) DB REF -eingemessen-		Höhe GOK [m NHN] - eingemessen-	Filter OK [m u. GOK]	Filter UK (= Ausbautiefe) [m u. GOK]	Ausbau- durch- messer PVC
Inselseitige Grundwassermessstellen						
GWM B66	4442533,328	6031115,308	2,32	9,6	11,6	DN100
GWM B75	4442650,936	6031278,575	4,73	12,0	18,0	DN100
GWM B78	4442682,667	6031319,130	5,13	22,0	25,0	DN100
GWM B94	4442813,277	6031637,176	5,65	11,0	14,0	DN100
GWM B106	4442958,926	6031891,380	5,81	11,0	15,0	DN100
GWM B110	4443079,801	6031877,526	6,58	7,0	11,0	DN100
Festlandseitige Grundwassermessstellen						
GWM B1	4440321,560	6027766,040	-0,63	14,0	20,0	DN100
GWM B2b	4440351,440	6027782,970	-0,41	17,0	22,0	DN100
GWM B20	4441459,582	6029081,123	1,94	8,0	12,0	DN100
GWM B49	4441524,419	6029534,882	4,03	15,0	18,0	DN100
GWM B122	4441395,933	6029132,668	1,65	6,0	11,0	DN100
GWM B122-P1 ¹⁾	4441391,177	6029137,336	1,75	4,0	9,0	DN100
GWM B122-P2 ¹⁾	4441384,770	6029141,113	1,79	4,0	7,0	DN100
GWM B123	4441504,064	6029170,741	3,85	5,0	7,0	DN100
GWM B125	4441631,258	6029445,797	4,19	3,0	6,0	DN100

GWM Bezeichnung	Koordinaten (x;y) DB REF -eingemessen-		Höhe GOK [m NHN] - eingemessen-	Filter OK [m u. GOK]	Filter UK (= Ausbautiefe) [m u. GOK]	Ausbau- durch- messer PVC
GWM B155a	4441419,790	6028832,960	3,68	25,0	29,0	DN100
GWM B165	4441386,850	6029019,140	1,47	5,0	10,0	DN100
GWM B168	4441415,039	6029108,088	1,46	10,0	15,0	DN100
GWM B182	4441432,286	6029174,308	2,51	6,0	11,0	DN100
¹⁾ hergestellt als Kontrollpegel für den Pumpversuch an der GWM B 122						

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden Pumpversuche durchgeführt und die Ergebnisse in Form von Ganglinien [U7] bereitgestellt und liegen diesem Bericht als Anlage 5.5.1 – 5.5.9 bei. Hierbei handelt es sich um Auszüge der Ganglinien aus den Geotechnischen Berichten PFU 41.01, 41.02, 41.04 und [U13] (jeweils Anlage 9).

Im Bereich Großenbrode werden 13 GWM betrachtet. Hiervon wurden zwei GWM zur Durchführung von Pumpversuchen vorgesehen (GWM B 122 und GWM B 123, siehe PFU 25.02.001). Zwei dieser GWM sind im Nahbereich der GWM B 122 als Kontrollpegel installiert (GWM B 122-P1 und GWM B 122-P2). Für die Durchführung von Absenkversuchen wurden die GWM B 49 und GWM B 125 eingerichtet. Die GWM B 5, GWM B 20, GWM B 155a, GWM B 165 und GWM B 168 GWM und B 182 wurden zusätzlich als Kontrollpegel mit Datenloggern ausgestattet (gemäß Unterlage [U7]).

Inselseitig werden nördlich des Fehmarnsunds sechs GWM betrachtet. Hiervon wurden für einen Absenkversuch GWM B 75, GWM B 94 und GWM B 106 ausgewählt (siehe auch PFU 41.04 und [U13]). Weiterhin wurde die GWM B 78 als Kontrollpegel für den Absenkversuch in der GWM B 75 vorgesehen (gemäß Unterlage [U7]). Die GWM B 66 und GWM B 110 wurden zusätzlich als Kontrollpegel mit Datenloggern ausgestattet.

Der Ausbau der Bohrungen erfolgte mit Brunnenrohren DN 100, so dass die Messstellen als Förderbrunnen für die Absenkversuche geeignet sind. Die Kontrollpegel wurden ebenfalls mit Brunnenrohren DN 100 als Peilstellen ausgebaut (gemäß Unterlage [U7]). Dabei wurden 4“-Grundwassermessstellen mit in Tabelle 6 genannten Filterstrecken ausgebaut.

Im Zuge der hydraulischen Erkundung wurden insgesamt zwei Pumpversuche und fünf Absenkversuche ausgeführt. Die Grundwassermessstellen GWM B 122 und GWM B 123 auf der Festlandseite des Sunds wurden für die Durchführung eines Pumpversuchs als Förderbrunnen gewählt.

Die im Nahbereich zur GWM B 122 errichteten Messstellen GWM B 122-P1 und GWM B 122-P2 sowie umliegenden vorhandenen Grundwassermessstellen GWM B 20, GWM B 123, GWM B 168 und GWM B 182 werden während der Pumpversuche als Kontrollpegel genutzt. Folgende fünf Grundwassermessstellen, die auf beiden Seiten des Fehmarnsunds gelegen sind, wurden zur orientierenden Bestimmung des k_f -Wertes der wasserführenden Sande für Absenkversuche des anstehenden Grundwassers ausgewählt: GWM B 49, GWM B 75, GWM B 94, GWM B 106 sowie GWM B 125 (gemäß Unterlage [U7]).

Langzeit-Pumpversuch im Brunnen GWM B 122

Der Förderzeitraum betrug ca. 24 Stunden, wovon mehr als 20 Stunden mit der höchsten Förderleistung von 2,5 m³/h gefördert wurde. Insgesamt konnten drei Stufen mit den Förderraten 0,55 m³/h, 1,1 m³/h und 2,5 m³/h gefahren werden. Die Ergebnisse des Pumpversuches sind in der Anlage 3.1 und 3.2 in Unterlage [U7] (siehe Anlage 5.5.1 – 5.5.9) in Form von Ganglinien für den Förderbrunnen GWM B 122 sowie die Kontrollpegel (GWM B 122-P1, GWM B 122-P2, GWM B 20, GWM B 123, GWM B 168 und GWM B 182) dargestellt. Es stellten sich in Tabelle 7 dokumentierte Wasserspiegel am Ende der Förderstufen bzw. die maximale Absenkung nach Ende der Wasserförderung (bis zu 2,5 m³/h) ein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ausgangswasserstände im Förderbrunnen und den unmittelbar benachbarten Peilstellen um bis zu etwa 0,25 m abweichen (gemäß Unterlage [U7]).

Tabelle 7 Messdaten am Förderbrunnen GWM B 122 und Kontrollpegel [U7]

		Förderstufe [m³/h]			
		0,0	0,55	1,1	2,5
GWM bzw. Pegel (Entfernung zum Förderbrunnen)	UK Pegel [m NHN]	Wasserspiegel [m NHN]			
GWM B 122	-7,95	-0,19	-0,33	-0,43	-1,08
GWM B 122-P1 (ca. 6,5 m)	-6,45	-0,37	-0,47	-0,53	-0,81
GWM B 122-P2 (ca. 13,5 m)	-4,30	-0,44	-0,47	-0,53	-0,80
GWM B 20 (ca. 82 m)	-8,74	-0,40	-0,44	-0,48	-0,66
GWM B 123 (ca. 115 m)	-2,09	-0,24	-0,26	-0,29	-0,51
GWM B 168 (ca. 31 m)	-12,54	-0,38	-0,40	-0,46	-0,69
GWM B 182 (ca. 55 m)	-7,49	-0,39	-0,44	-0,53	-0,69

Danach ergeben sich bei einer angenommenen konstanten Grundwassersohle von -7,95 m NHN in Abhängigkeit von den Förderleistungen des Brunnens folgende Durchlässigkeitsbeiwerte k_f :

Förderleistung: mittlerer k_f -Wert:

1,1 m³/h: $2,9 \cdot 10^{-4}$ m/s

2,5 m³/h: ($6,5 \cdot 10^{-4}$ m/s)

Die unterschiedlichen Durchlässigkeitsbeiwerte resultieren aus inhomogenen Baugrundverhältnissen zwischen dem Brunnen und den Peilstellen. Der Porenwasserleiter ist demnach stark durchlässig (gemäß Unterlage [U7]).

Pumpversuch im Brunnen GWM B 123

Der Förderzeitraum betrug ca. 4 Stunden, wovon mehr als 2 Stunden mit der höchsten Förderleistung von 2,5 m³/h gefördert wurde. Insgesamt wurden vier Stufen mit den Förderraten von 0,50 m³/h, 1,1 m³/h, 2,5 m³/h und 2,0 m³/h gefahren. Da im Förderbrunnen bei einer Pumpleistung von 2,5 m³/h auch nach zwei Stunden kein Beharrungszustand eintrat, wurde die Förderleistung auf etwa 2,0 m³/h reduziert, um ein Leerpumpen des Brunnens zu vermeiden. Die Ergebnisse des Pumpversuches sind in der Anlage 3.1 und 3.3 in Unterlage [U7] (siehe Anlage 5.5.1 – 5.5.9) in Form von Ganglinien für den Förderbrunnen GWM B 123 sowie die Kontrollpegel (GWM B 20, GWM B 122, GWM B 122-P1, GWM B 122-P2, GWM B 168 und GWM B 182) dargestellt. Es stellten sich in Tabelle 8 dokumentierte Wasserspiegel am Ende der Förderstufen bzw. die maximale Absenkung nach Ende der Wasserförderung (bis zu 2,5 m³/h) ein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ausgangswasserstände im Förderbrunnen und den Peilstellen um bis zu etwa 0,25 m abweichen (gemäß Unterlage [U7]).

Tabelle 8 Messdaten am Förderbrunnen GWM B 123 und Kontrollpegel [U7]

		Förderstufe [m ³ /h]				
		0,0	0,55	1,1	2,5	2,0
GWM bzw. Pegel (Entfernung zum Förderbrunnen)	UK Pegel [m NHN]	Wasserspiegel [m NHN]				
GWM B 123	-2,09	-0,18	-0,38	-0,66	-1,61	-1,35
GWM B 122 (ca. 115 m)	-7,95	-0,16	-0,17	-0,21	-0,27	-0,25
GWM B 122-P1 (ca. 118 m)	-6,45	-0,39	-0,39	-0,41	-0,49	-0,50
GWM B 122-P2 (ca. 123 m)	-4,30	-0,39	-0,40	-0,41	-0,50	-0,52
GWM B 20 (ca. 100 m)	-8,74	-0,35	-0,36	-0,40	-0,54	-0,54
GWM B 168 (ca. 109 m)	-12,54	-0,33	-0,34	-0,36	-0,46	-0,47
GWM B 182 (ca. 72 m)	-7,49	-0,33	-0,33	-0,35	-0,45	-0,46

Rechnerisch ergibt sich bei einer geförderten Wassermenge von $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer Schichtdicke der grundwasserführenden Schicht von $2,3 \text{ m}$ sowie einem Absenkmaß von $1,17 \text{ m}$ ein Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Der Porenwasserleiter wird als stark durchlässig beurteilt (gemäß Unterlage [U7]).

Absenkversuch im Brunnen GWM B 49

Bei dem Absenkversuch im Förderbrunnen GWM B 49 wurde mit einer sehr geringen Förderrate von $0,07 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $0,11 \text{ m}^3/\text{h}$ begonnen, um ein schnelles Leerpumpen der Messstelle zu verhindern.

Der Wasserstand im Brunnen fiel bei der genannten geringen Förderleistung über insgesamt mehr als vier Stunden kontinuierlich weiter ab, ohne einen Beharrungszustand zu erreichen. Zu Versuchsende, nach einer Förderzeit von 4 Stunden und 15 Minuten, war der Wasserstand auf $-11,99 \text{ m}$ NHN abgefallen, was einer Absenkung von $12,87 \text{ m}$ entspricht. Der Wiederanstieg des Wasserspiegels wurde zunächst für 30 Minuten bis zum Ausbau der Förderpumpe mit dem Lichtlot von Hand gemessen, wobei ein Anstieg von lediglich $0,64 \text{ m}$ festgestellt wurde. Es wurde mit Hilfe der Datenloggeraufzeichnung weiter dokumentiert. Noch etwa 10 Tage nach Ausführung des Absenkversuchs war der Wasserstand in der Messstelle um ca. 2 m niedriger als der Ausgangswert (gemäß Unterlage [U7]).

Die Ergebnisse des Absenkversuches sind in der Anlage 3.4 in Unterlage [U7] (siehe Anlage 5.5.1 – 5.5.9) in Form einer Ganglinie über den Zeitraum des Pumpenbetriebes und den anschließenden Wiederanstieg für den Förderbrunnen dargestellt.

Rechnerisch ergibt sich bei einer geförderten Wassermenge von $0,08 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer Schichtdicke der grundwasserführenden Schicht von $3,0 \text{ m}$ (ab UK Brunnenfilter) sowie einem Absenkmaß von 11 m ein Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $5,6 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. Da der Brunnen in kurzer Zeit leer gepumpt wurde, konnte mit der o. g. Fördermenge kein Beharrungszustand erreicht werden. Die tatsächliche Durchlässigkeit der verfilterten Sandschicht ist demnach wesentlich geringer. Der Porenwasserleiter ist demnach als schwach durchlässig zu beurteilen (gemäß Unterlage [U7]).

Absenkversuch im Brunnen GWM B 75

Bei dem Absenkversuch im Förderbrunnen GWM B 75 konnten insgesamt drei Stufen mit den Förderraten von $0,20 \text{ m}^3/\text{h}$, $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ und $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ durchgeführt werden. Bei der ersten Förderstufe von $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ wurde eine Absenkung von ca. $1,3 \text{ m}$ (entspricht $-0,76 \text{ m}$ NHN) festgestellt bei einer Förderleistung von $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$ wurde eine Absenkung von etwa 7 m (entspricht $-6,46 \text{ m}$ NHN) festgestellt und bei der abschließenden Förderrate von $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ wurde eine Absenkung von etwa $9,3 \text{ m}$ (entspricht $-8,76 \text{ m}$ NHN) aufgezeichnet. In der GWM B 78, die ca. 50 m nördlich des Förderbrunnens liegt, konnte keine Absenkung des Wasserspiegels festgestellt werden.

Der Wiederanstieg des Wasserspiegels wurde zunächst für 30 Minuten bis zum Ausbau der Förderpumpe mit dem Lichtlot von Hand gemessen, wobei ein zügiger Wiederanstieg von etwa 9 m in diesem Zeitraum festgestellt wurde. Anschließend wurde eine Datenloggeraufzeichnung geführt (gemäß Unterlage [U7]).

Die Ergebnisse des Absenkversuches sind in der Anlage 3.5 in Unterlage [U7] (siehe Anlage 5.5.1 – 5.5.9) in Form einer Ganglinie über den Zeitraum des Pumpenbetriebes (ca. 4 h) und den anschließenden Wiederanstieg für den Förderbrunnen sowie die GWM B 78 dargestellt.

Rechnerisch ergibt sich bei einer geförderten Wassermenge von 1,0 m³/h und einer Schichtdicke der grundwasserführenden Schicht von 5,7 m (ab UK Brunnenfilter) sowie einem Absenkmaß von 9,3 m ein Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $5,2 \cdot 10^{-6}$ m/s. Der Porenwasserleiter ist demnach schwach durchlässig (gemäß Unterlage [U7]).

Absenkversuch im Brunnen GWM B 94

Bei dem Absenkversuch im Förderbrunnen GWM B 94 wurde mit einer sehr geringen Förderrate von 0,2 m³/h bis 0,3 m³/h begonnen, um ein schnelles Leerpumpen der Messstelle zu verhindern. Im Laufe des Absenkversuch musste die Pumpleistung weiter bis auf etwa 0,1 m³/h reduziert werden, um ein Leerpumpen des Brunnes zu verhindern. Der Wasserstand im Brunnen fiel bei der genannten geringen Förderleistung über den gesamten Förderzeitraum kontinuierlich weiter ab, ohne einen Beharrungszustand zu erreichen. Zu Versuchsende nach einer Förderzeit von 3 Stunden und 40 Minuten war der Wasserstand auf -5,42 m NHN abgefallen, was einer Absenkung von 9,82 m entspricht. Der Wiederanstieg des Wasserspiegels wurde für die ersten 60 Minuten bis zum Ausbau der Förderpumpe mit dem Lichtlot von Hand gemessen, wobei ein Anstieg von nur 2,14 m festgestellt wurde. Wegen eines Defekts des Datenloggers konnte der Wiederanstieg des Wasserspiegels nicht wie vorgesehen weiter dokumentiert werden (gemäß Unterlage [U7]).

Die Ergebnisse des Absenkversuches sind in der Unterlage [U7] (darin Anlage 3.6; siehe Anlage 5.5.1 – 5.5.9) in Form einer Ganglinie über den Zeitraum des Pumpenbetriebes und den Beginn des anschließenden Wiederanstiegs für den Förderbrunnen dargestellt.

Rechnerisch ergibt sich bei einer geförderten Wassermenge von 0,1 m³/h und einer Schichtdicke der grundwasserführenden Schicht von 4,0 m sowie einem Absenkmaß von 9,8 m ein Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $7,1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Da der Brunnen leer gepumpt wurde, konnte mit der o.g. Fördermenge kein Beharrungszustand erreicht werden. Die tatsächliche Durchlässigkeit der verfilterten Sandschicht ist demnach wesentlich geringer. Der Porenwasserleiter ist demnach schwach durchlässig (gemäß Unterlage [U7]).

Absenkversuch im Brunnen GWM B 106

Bei dem Absenkversuch im Förderbrunnen GWM B 106 wurde aufgrund des anstehenden Kieises und kiesigen Sandes im Filterbereich nur mit einer Förderstufe mit einer Förderrate von 2,9 m³/h gefahren. Dabei wurde über einen Förderzeitraum von 4 Stunden eine Absenkung von 12,17 m (entspricht -8,01 m NHN) festgestellt. Es konnte jedoch keine deutliche Verlangsamung der Absenkung festgestellt werden oder ein Beharrungszustand erreicht werden. Der Wiederanstieg des Wasserspiegels wurde zunächst für 70 Minuten bis zum Ausbau der Förderpumpe mit dem Lichtlot von Hand gemessen, wobei ein Wiederanstieg von fast 8 m in diesem Zeitraum festgestellt wurde, und anschließend mit Hilfe der Datenlogger weiter aufgezeichnet.

Am folgenden Morgen um 9:30 Uhr wurde der Wasserspiegel auf einem Niveau von 3,01 m NHN festgestellt, was noch 1,15 m unterhalb des Ausgangswasserstands liegt. Zur besseren Abschätzbarkeit der Ergiebigkeit wurde daraufhin ein weiterer Absenkversuch durchgeführt. Dafür wurde eine deutlich niedrigere Förderrate von etwa 0,8 m³/h als Startförderrate gewählt. Der Wasserstand im Brunnen fiel jedoch bei der genannten Förderleistung über den gesamten Förderzeitraum von 4 Stunden kontinuierlich weiter ab, ohne einen Beharrungszustand zu erreichen. Zu Versuchsende war der Wasserspiegel auf +0,91 m NHN abgefallen, was einer Absenkung von 2,1 m entspricht (gemäß Unterlage [U7]).

Die Ergebnisse der Absenkversuche sind in der Anlage 3.7 in Unterlage [U7] (siehe Anlage 5.5.1 – 5.5.9) in Form einer Ganglinie über den Zeitraum des Pumpenbetriebes und den anschließenden Wiederanstieg für den Förderbrunnen dargestellt.

Rechnerisch ergibt sich bei einer geförderten Wassermenge von 2,8 m³/h und einer Schichtdicke der grundwasserführenden Schicht von 3,7 m sowie einem Absenkmaß von 12,2 m (ab UK Brunnenfilter) ein Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $1,7 \cdot 10^{-5}$ m/s. Im Brunnen konnte mit der o.g. Fördermenge kein Beharrungszustand erreicht werden. Die tatsächliche Durchlässigkeit der verfilterten Sandschicht ist demnach geringer. Der Porenwasserleiter wird als durchlässig beurteilt (gemäß Unterlage [U7]).

Absenkversuch im Brunnen GWM B 125

Bei dem Absenkversuch im Förderbrunnen GWM B 125 wurden insgesamt 2 Stufen mit den Förderraten von 0,20 m³/h bis 0,3 m³/h und 0,35 m³/h bis 0,50 m³/h gefahren. Bei der ersten Förderstufe von 0,20 m³/h bis 0,3 m³/h war der Förderstrom schwerlich auf ein konstantes Niveau einstellbar. Es wurde über einen Zeitraum von ca. 3,5 Stunden eine Absenkung von ca. 1,88 m (entspricht +0,8 m NHN) festgestellt. Nach Erhöhung der Förderleistung auf 0,35 m³/h bis 0,50 m³/h wurde eine Absenkung von etwa 3,15 m (entspricht -0,47 m NHN) aufgezeichnet.

Der Wiederanstieg des Wasserspiegels wurde zunächst für 40 Minuten bis zum Ausbau der Förderpumpe mit dem Lichtlot von Hand gemessen, wobei ein Wiederanstieg von etwa 2 m in diesem Zeitraum festgestellt wurde, und anschließend mit Hilfe der Datenlogger weiter aufgezeichnet (gemäß Unterlage [U7]).

Die Ergebnisse des Absenkversuches sind in der Anlage 3.8 in Unterlage [U7] (siehe Anlage 5.5.1 – 5.5.9) in Form einer Ganglinie über den Zeitraum des Pumpenbetriebes (ca. 4,5 h) und den anschließenden Wiederanstieg für den Förderbrunnen dargestellt.

Rechnerisch ergibt sich bei einer geförderten Wassermenge von 0,5 m³/h und einer Schichtdicke der grundwasserführenden Schicht von 4,5 m sowie einem Absenkmaß von 3,25 m (ab UK Brunnenfilter) ein Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $9,5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Der Porenwasserleiter wird als durchlässig bis schwach durchlässig beurteilt (gemäß Unterlage [U7]).

2.1.2 Beschreibung von Wasserhaltungsmaßnahmen

Im Folgenden werden die Wasserhaltungsmaßnahmen auf Basis der zitierten Geotechnischen Berichte detaillierter erläutert. In Kapitel 8.7 in PFU 01.01.001 werden diese Maßnahmen zusammengefasst beschrieben.

2.1.2.1 Trogbauwerke Festland (Bau-km 171,5+47 bis Bau-km 172,2+03) und Fehmarn (Bau-km 174,8+59 bis Bau-km 175,7+42)

Es sind zum Großteil wasserdichte Baugrubenumschließungen (Schlitzwände) für die Trogbereiche vorgesehen (PFU 41.04).

Gemäß PFU 41.04 ist zur Fassung und Ableitung von Niederschlagswasser im Bereich der Sohle der Tröge eine offene Wasserhaltung einzurichten und zu betreiben. Eine unterste Lage aus einer Dränageschicht (Dicke ca. 30 cm) sollte hergestellt werden. Es wird empfohlen, in diese Schicht Dränageleitungen und Pumpensümpfe einzubauen und zu betreiben. Über diese offene Wasserhaltung kann gleichzeitig das Restwasser, das über die Böschungen und über die Sohle dem Trogbereich zufließt, gefasst und abgeleitet werden.

Weiterhin sind die in Abschnitt 10.2.2 der PFU 41.04 genannten Empfehlungen zur Grundwasserentspannung bei oberflächennah anstehenden gespannten Grundwasserleitern in den entsprechenden Abschnitten zu beachten.

Die Herstellung des Trogbauwerkes auf Fehmarn mit denen vorab herzustellenden Schlitzwänden gestaltet sich aufgrund des Grundwasserspiegels, welcher sich unmittelbar unterhalb der Geländeoberkante und in zu erwartenden, ausgedehnten Sandlinsen im Bereich der Baugrube mit gespanntem Grundwasser befindet, als problematisch. Ein Durchstechen dieser Sandlinsen ist unbedingt zu vermeiden [U16].

Um den Bauablauf durch die Problematik von austretendem Wasser nicht zu gefährden, sind gemäß [U16] die folgenden Maßnahmen vorgesehen:

- Zu Beginn wird der bestehende Bestandsdamm auf Fehmarn rückgebaut und Baustraßen zur Erschließung der jeweiligen Spundwandtrasse hergestellt.

Es werden zur Ableitung von Stauwasser im Anschluss an die Baustraßen, sowie in Mitte der Schlitzwände 2,00 m tiefe Gräben hergestellt.

- Daran anschließend werden Schlitzwände fortlaufend aus Süden in Richtung Norden gebaut. Abschnittsweise (Abschnittslänge von 90,00 m) werden Dichtwände zwischen den Schlitzwänden hergestellt, um hydraulisch abgetrennte Baugruben zu schaffen. In den einzelnen 90,00 m langen Baugruben werden Testbrunnen abgesetzt, der Innenwasserspiegel auf maximal +1,00 m NHN gehalten und mittels Brunnen werden tieferliegende Sandschichten entspannt bzw. dauerhaft oder einmalig entwässert.
- Im Weiteren können die Aussteifungselemente eingebaut und der Aushub innerhalb der Baugruben fortgeführt werden, um das finale Trogbauwerk in der hergestellten Baugrube zu errichten.

Das in den Entwässerungsgräben aufgefangene Stauwasser soll mittels Gräben und Drainagerohren in den Sund eingeleitet werden, weshalb eine Drosselung bzw. eine Rückhaltung nicht erforderlich ist.

2.1.2.2 Trockendock Festland (Bahn Bau-km 172,2+03 – Bau-km 172,9+17)

Gemäß PFU 41.02 ist zur Fassung und Ableitung von Niederschlagswasser im Bereich der Sohle des Trockendocks eine offene Wasserhaltung einzurichten und zu betreiben. Die Sohle des Trockendocks wird als unterste Lage aus einer Dränageschicht hergestellt. Es wird empfohlen, in diese Schicht Dränageleitungen und Pumpensümpfe einzubauen und zu betreiben. Über diese offene Wasserhaltung kann gleichzeitig das Restwasser, das über die Böschungen und über die Sohle dem Trogbereich zufließt, gefasst und abgeleitet werden. Entlang der Böschungsoberkante ist eine Dichtwand geplant, um einen Zutritt von Grundwasser über die Böschungsflächen zu unterbinden. Für weitere Details wird auf Unterlage PFU 41.02 verwiesen.

Die Sohlschicht des Trockendocks, welche als Sauberkeits- und Stabilitätsschicht dient, soll 2,00 m mächtig sein und sich aus Kies/Schotter sowie einem Geotextil zusammensetzen. Wie der Abb. 14, welche einen Ausschnitt des Trockendocks zeigt, zu entnehmen ist, soll anfallendes Wasser mittels Drainageleitungen (blau markiert) zu einem Pumpensumpf, welcher sich am Ausgang des Trockendocks in nordöstlicher Ecke befindet, geleitet werden. Für ein gerichtetes Abfließen des Wassers sollen perforierte Rohre in die Sohlschicht eingelegt werden und mit einem Gefälle von 3 ‰ das Niederschlags- und Sickerwasser in Richtung des Pumpensumpfes führen.

Eine ausreichende Überdeckung der Rohre ist dabei im Hinblick auf den Baustellenverkehr und auf Frostschutz zu gewährleisten. Vom Pumpensumpf aus, soll mit Hilfe von Pumpen, das anfallende Wasser in den Sund eingeleitet werden.

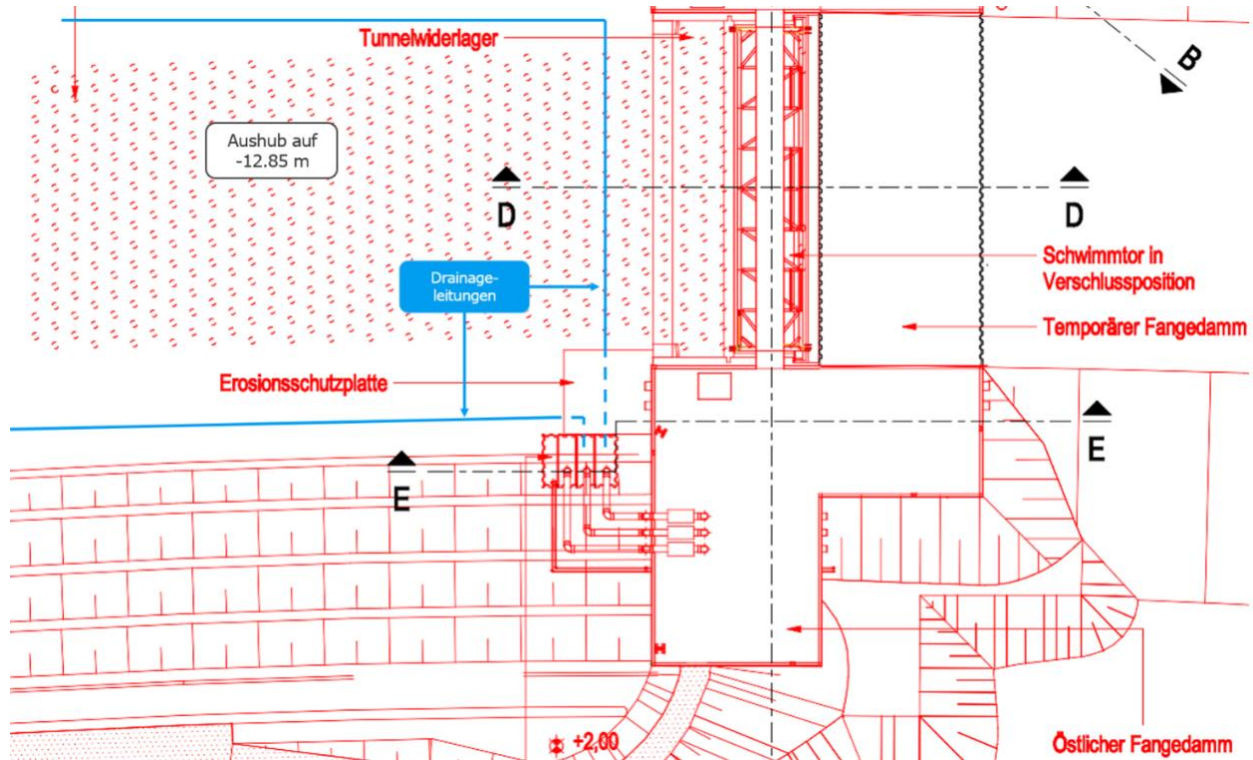


Abb. 14: Draufsicht der Leitungen und des Pumpensumpf im Trockendock (gemäß [U16])

Das Trockendock muss während seines Bestehens insgesamt fünf Mal vollständig gelenzt werden. Der erste Lenzvorgang geschieht nach dem Aushub und dem ersten temporären Verschluss des Trockendocks. Dieser wird mit temporären Pumpen durchgeführt, da die Einbauten im Trockendock noch nicht hergestellt werden konnten. Die übrigen vier Lenzvorgänge werden über leistungsstarke Pumpen, welche am nordöstlichen Ende des Trockendocks im Pumpensumpf positioniert werden, durchgeführt. Vorgesehen ist es das Trockendock innerhalb von 72 h zu entleeren. Um das Risiko von zeitkritischen Verzögerungen durch den Ausfall von einer Pumpe zu verringern, sollen hierfür mindestens drei Pumpen gewählt werden (gemäß [U16]).

2.1.2.3 Tunnel offene Bauweise Fehmarn (Bau-km 174,6+82 – Bau-km 174,8+59)

Gemäß [U14] ist zur Fassung und Ableitung von Niederschlagswasser im Bereich der Baugrubensohle eine offene Wasserhaltung einzurichten und zu betreiben. Dazu ist eine mineralische Flächendränge einzubauen und es sind in erforderlichem Umfang Dränleitungen und Pumpensümpfe herzustellen. Über die offene Wasserhaltung kann gleichzeitig das Restwasser, das über die Böschungen, die Sohle und die Verbauwände der Baugrube zufließt, gefasst und abgeleitet werden.

Östlich der Baufläche wurden in den Bohrungen B 75 und B 78 ausgeprägte Sandschichten angetroffen, die gespanntes Grundwasser führen, vgl. Anlagen 3.4.1 und 3.4.2 des 1. Berichtsteils [U13]. Diese Aufschlüsse liegen etwa 25 m entfernt von der Baufläche. Falls sich diese Sande bereichsweise bis in die Baufläche erstrecken, können lokal ergänzende Maßnahmen zur Grundwasserentspannung erforderlich werden, um einen Zutritt von Grundwasser über die Baugrubensohle zu unterbinden.

Für weitere Details wird auf Unterlage [U14] verwiesen.

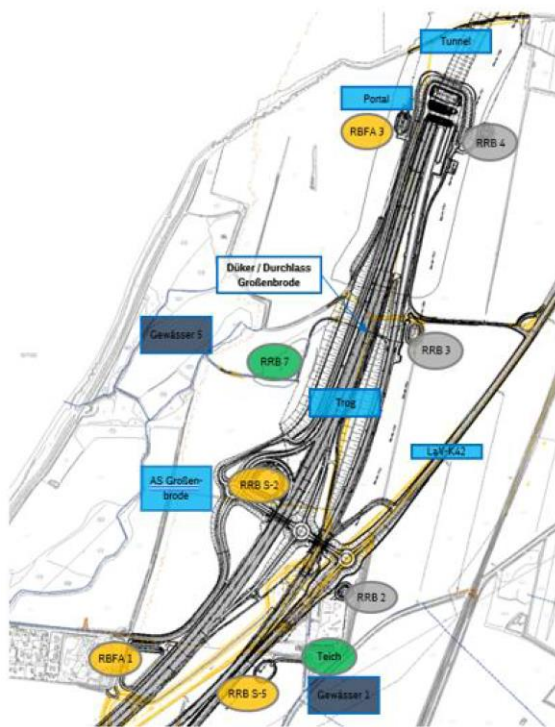
2.1.2.4 Einleitung in oberirdische Gewässer

Die in diesem Kapitel genannten Informationen wurden aus dem Erläuterungsbericht der wassertechnischen Berechnungen (PFU 12) entnommen. Zur Ermittlung der Wassermengen aus Einzugsflächen wurde eine N-A-Modellierung (PFU 49.03) durchgeführt. Für Berechnungsergebnisse und Datentabellen wird auf die zuvor genannten Unterlagen verwiesen.

Das während der Bauzeit anfallende Oberflächenwasser wird gesammelt und verzögert in das einzuleitende Gewässer (Einleitstellen mit Koordinaten, siehe Tabelle 3-1 in PFU 12) abgeleitet.

Die Drosselung ergibt sich aus der Vorgabe der Einleitung in das Verbandsgewässers von 1,2 l/(s·ha) durch den Wasser- und Bodenverband. Das Oberflächenwasser wird soweit möglich, im Freigefälle durch entsprechend angeordneter Entwässerungsgräben und Rohrleitungen bzw. mit temporären Pumpen abgeleitet. Für die erforderliche Verzögerung der Einleitung und eine dadurch erforderliche Rückhaltung des Oberflächenwassers sollen die im Endzustand geplanten Entwässerungselemente, wie die RBFA oder die RRB, bereits bestehende Entwässerungselemente, sowie zusätzliche für die Bauzeit vorgesehene Regenrückhalteräume (RRB 7 und RRB 8, siehe Abb. 15 (grün markiert)) genutzt werden. Außerdem ist eine Führung des anfallenden Regenwassers über Bankette, Dammböschungen oder Mulden vorgesehen.

Temporäre Gebietsentwässerung Festland:



Temporäre Gebietsentwässerung Fehmarn:

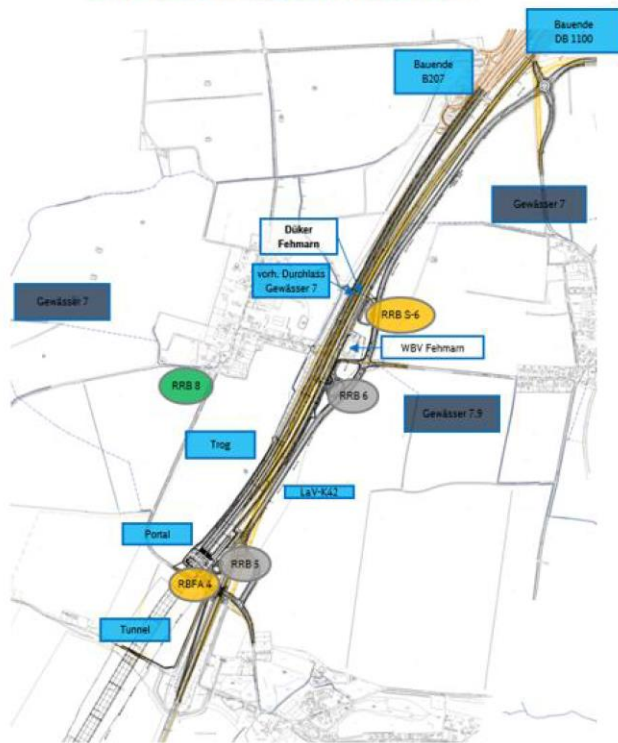


Abb. 15: Gebietsentwässerung im Bauzustand, Festland (links) und Fehmarn (rechts).
(entnommen aus PFU 12)

Die im Zuge der Baumaßnahme zu errichtenden Bauwerke (Trockendock, Tröge etc.) und die dafür erforderlichen Baugruben leiten das anfallenden Oberflächenwasser ebenfalls über ein freies Gefälle mittels Drainageleitungen in Pumpensümpfe. Von dort aus wird das Oberflächenwasser in benachbarte Gräben und Rohrleitungen gepumpt, damit es abschließend in den Sund eingeleitet werden kann. Anders als für die Verbandsgewässer, bestehen für den Sund keine Vorgaben zur Drosselung des einzuleitenden Oberflächenwassers.

Es wird weitestgehend von unbehandelt abgeleitetem Wasser ausgegangen. Ausnahmen ergeben sich für das Betonwerk, mobile Tankstellen oder auch Bereiche wo bspw. das Trockendock, Tröge, etc. errichtet werden. Anfallendes Oberflächenwasser auf der Betonwerksfläche bzw. der Fläche der mobilen Tankstellen ist separat zu sammeln und zu entsorgen.

Zur Vermeidung des Eintrages von Grobbestandteilen in die umliegenden Gewässer wird im Anschluss an die Fläche des Betonwerks bzw. an die Materiallagerfläche eine Sedimentationsanlage vor Einleitung in das RRB 7 vorgeschaltet.

Weiterhin sind im Bereich des Betonwerks sowie in denen der mobilen Tankstellen lokale Überdachungen zur Reduzierung und Abtrennung der Niederschlagsmengen vorgesehen. Ebenfalls kann eine Auffangwanne, die anfallendes Wasser sammelt, als technische Einrichtung genutzt werden.

Sofern Leichtflüssigkeiten und Sedimente in das Niederschlags- und Sickerwasser während der Baumaßnahme eingetragen werden können, erfolgt die Vorhaltung in mobilen Absetzcontainern. Dies ist beispielsweise im Bereich der Tröge, des Trockendocks und beim Tunnel in offener Bauweise der Fall. Anstelle der mobilen Absetzbecken ist weiterhin die Verwendung bauzeitlicher, ortsfester Absetzbecken möglich. Im Fall nahe unterhalb der Aushubsohle vorhandener Sandlinsen, werden Maßnahmen zur Grundwasserentspannung in der Baugrube für die Trogbauwerke und den Tunnel in offener Bauweise erforderlich. Es werden Testbrunnen in den Baugruben abgesetzt, der Innenwasserspiegel (auf maximal +1,00 m NHN) gehalten und mittels Brunnen werden tieferliegende Sandschichten entspannt bzw. dauerhaft oder einmalig entwässert.

Vor Herstellung der endgültigen Inbetriebnahme der RRB und RBFA im Endzustand werden diese nochmals geräumt und aufbereitet.

Während der Bauphase kann, neben der Nutzung als Setzungsbecken, das Absetzbecken auch als Kontrollstation für die Wasserqualität genutzt werden. Diese ist während der Bauzeit regelmäßig zu überprüfen, um die Einleitung von Schadstoffen in den Sund zu vermeiden (gemäß [U16]).

Wasserchemische Analysen des während der Wasserhaltung zu förderndem Grundwasser wurden durchgeführt und liegen den Geotechnischen Berichten (u. A. PFU 41.01 bis 41.04) bei.

2.1.2.5 Wassermengen aus den Wasserhaltungen

Um die anfallenden Wassermengen während der bauzeitlichen Wasserhaltung zu ermitteln, wurden entsprechende Berechnungen (Bericht liegt als Anlage 5.12.1 – 5.12.38 bei) durchgeführt. Details zu den ermittelten Wassermengen aus dem Gebietsniederschlag und der Wasserhaltung sind diesem Bericht zu entnehmen.

Im Untersuchungsgebiet werden wasserdichte und nicht wasserdichte (geböscht oder teilweise geböscht) Baugruben betrachtet. Aufgrund der Baugrubengestaltung und der erkundeten Wasserstände wurde sich für die Berechnungen (siehe Anlage 5.12.1 – 5.12.38) nach Davidenkoff (nicht wasserdichte Baugruben) und Borchert (wasserdichte Baugruben) entschieden. Weitere Berechnungen erfolgten für das Niederschlagswasser und den statischen Wasservorrat.

Die Berechnungen wurden auf Grundlage der PFU 41.02, 41.03, 41.04 und 41.06 sowie den Abstimmungen mit dem Planungsbüro [U8] und den aktuellen Planungsunterlagen durchgeführt (PFU 07.02.028, 07.03.005, 07.03.009 und 07.03.010).

Die Tabelle 9 gibt eine Übersicht der Gesamtwassermenge, welche im Zeitraum der jeweilig bestehenden Baugrube zu fördern ist (Niederschlag nicht berücksichtigt). Des Weiteren sind die minimale Förderrate (Trockenwetter) und maximale Förderrate (Regenwetter) enthalten.

Daraus geht hervor, dass die Niederschlagsmenge gegenüber den Wassermengen während der Wasserhaltung (nach Davidenkoff bzw. Borchert) dominiert. Der statische Wasservorrat ist vergleichsweise gering und beeinflusst die einzuplanende Gesamtwassermenge nur unwesentlich.

Tabelle 9 Wassermengen während der Bauphasen, minimale und maximale Förderraten

Bauwerk	Dauer der Baugrube [d] ¹⁾	Wassermenge bauzeitlicher Wasserhaltung (Trockenwetter) [m³/h] ²⁾	Gesamtwassermenge während der Bauphase [m³]	Gesamtwassermenge während der Bauphase + statischer Wasservorrat [m³] ²⁾	Wassermenge aus bauzeitlicher Wasserhaltung + Niederschlagsmenge (Regenwetter) [m³/h] ²⁾
Großenbrode Offene Bauweise	430	Keine Berechnung der Grundwasserabsenkungsanlage notwendig, da kein Grundwasser oberhalb oder im Bereich der geplanten Aushubsohle angetroffen wurde.			214
Großenbrode Trog Schlitzwand	650	20,18	314.808	323.250	218
Großenbrode Trockendock ³⁾	1.450	290,50	10.109.400	10.109.400	3.189
Fehmarn Tunnel offene Bauweise (ToB)	370	25,13	223.154	230.393	265
Fehmarn Gemeinsamer Trog Straße & Bahn	220	28,16	148.685	158.601	299
Fehmarn Trog Straßenstrecke	650	23,14	360.984	366.175	249
Fehmarn Trog Bahnstrecke	820	23,92	470.746	483.364	242
Fehmarn Stützwand	150	7,72	27.792	27.792	90
¹⁾ gemäß [U15] ²⁾ Berechnungsgrundlage ist in Anlage 5.12.1 – 5.12.38 enthalten ³⁾ gezielte Flutung und Leerung während der Bauzeit vorgesehen (siehe auch Kapitel 4.3.2.2 in Anlage 5.12.1 – 5.12.38); diese Wassermengen werden hier nicht berücksichtigt					

Allgemein wurden die bauzeitlichen Bemessungswasserstände sehr hoch, meist geländegleich, festgelegt, obwohl teilweise nur Schichtwasser vorliegt (siehe PFU 41.02, 41.03, 41.04 und 41.06). Die komplette Wassersättigung, von der die Berechnungen ausgehen, ist daher wahrscheinlich nicht gegeben. Der Zufluss aus der Sohle setzt dies ebenfalls voraus, was ebenfalls zum Teil nicht gegeben sein wird. Die Annahmen beruhen auch hierbei auf den bauzeitlichen Bemessungswasserständen. Es kann weiterhin nicht ausgeschlossen werden, dass es ggf. gar keinen Zufluss aus der Sohle geben könnte.

Die berechneten Wassermengen der Restwasserhaltung nach Borchert werden deutlich höher sein als tatsächlich vorhanden.

Allerdings entspricht die Restwassermenge nur ca. 10 % der Wassermenge aus dem Bemessungsregen, so dass die Dimensionierung der Pumpen ohnehin auf einen Bemessungsregen ausgerichtet werden muss.

Die errechneten Wassermengen sind sehr hoch, da alle für die Berechnung verwendeten Parameter auf der sicheren Seite gewählt wurden.

Für die Baugruben sind seitens der Planung die Drainagen und Pumpen so zu wählen, dass das anfallende Restwasser aus den Baugruben gefördert werden kann. Ein abschnittsweises Ausheben der Baugruben wie z. B. bei der Stützwand auf Fehmarn (PFU 41.06; hier: 5-10 m) kann die Wasserhaltungsmaßnahmen reduzieren.

Im Zuge des Fachbeitrages WRRL (PFU 20.01) wurden basierend auf dem Baugrubenzeitenplan [U15] die kumulierten maximalen Jahresmengen für die Grundwasserentnahme separat für Großenbrode und Fehmarn ermittelt. So ergibt sich rechnerisch für Großenbrode eine zu entnehmende Grundwassermenge von 2.617.488 m³ und für Fehmarn 473.040 m³. Dies ergibt eine Spitzenentnahme/-einleitung für Großenbrode von 86,3 l/s und für Fehmarn 20,80 l/s. Gemäß des Fachbeitrages WRRL (PFU 20.01) ist für die Entnahme und Einleitung des Spülwassers mit einer Wassermenge von 18.500.000 m³/a bei einer Spitzenentnahme/-einleitung von 583 l/s zu rechnen. Eine Zusammenfassung der wasserrechtlichen Antragsgegenstände mit Wassermengen und Einleitstellen ist in der PFU 01.01.001 enthalten.

2.1.2.6 Lage und Dauer von Wasserhaltungen

Pläne zu den Baugruben sind in den PFU 07.12.005 bis 07.12.007 enthalten. Die für berechneten Wassermengen maßgebenden Baugruben sind in Anlage 1 der Anlage 5.12.1 – 5.12.38 dargestellt. Eine detaillierte Übersicht der geplanten Baugruben mit hydrogeologischen Informationen zeigt die PFU 41.28.

Gemäß dem Planer [U15] ist von den in Tabelle 9 dargestellten Baugrubenzeiten auszugehen.

2.1.2.6.1 Reichweiten der Wasserhaltungen, Beeinflussung der Grundwasserkörper in Quantität (Menge) und Fläche (Bauzustand und Betrieb)

Für die bauzeitlichen Wasserhaltungen wurde ein separater Hydrogeologischer Bericht mit entsprechenden Berechnungen verfasst, welcher diesem Bericht als Anlage 5.12.1 – 5.12.38 beiliegt.

Detaillierte Erläuterungen sind diesem Bericht zu entnehmen.

Die Bemessungsreichweite (R) nach Sichardt beträgt im Bereich der Stützwand auf Fehmarn (Bahn-km 175,6+07 bis Bahn-km 175,8+09) für die Wasserhaltung ca. 30 m.

Innerhalb dieser Bemessungsreichweite sind keine Bebauungen vorhanden, wodurch eine Beeinflussung durch abgesenktes Grundwasser nicht zu erwarten ist. Ferner ist davon auszugehen, dass das Schichtenwasser ausbluten wird und somit kein dauerhafter Wasserandrang stattfinden wird.

Im Bereich dieser Bemessungsreichweite ist seitens der Umweltplanung zu prüfen, ob dies negative Auswirkungen auf möglicherweise vorhandene Ökosysteme haben könnte.

Im Bereich außerhalb wasserdicht verbauter Baugruben sind keine Grundwasserabsenkungen zu erwarten, welche sich negativ auf z. B. Nachbarbebauungen oder Ökosysteme auswirken können.

Eine mengenmäßige und chemische Beeinflussung der Trinkwasserbrunnen in der Ortschaft Wulfen und des Campingplatzes Wulfener Hals, welche mindestens 2,5 km entfernt von der Baumaßnahme liegen, ist aus gutachterlicher Sicht auszuschließen. Dies wird zusätzlich durch den geplanten Verbau und die nicht lateral aushaltenden Grundwasserkörper begünstigt.

2.1.3 Prognose bauzeitlicher Eingriffe und Auswirkungen geplanter Bestandsbauwerke auf die Grundwasserströmungsverhältnisse und die Grundwasserbeschaffenheit

2.1.3.1 Auswirkungen des geplanten Absenktunnels auf die Grundwasserströmungsverhältnisse

Der Absenktunnel stellt eine oberflächennahe, linienhafte Barriere (Abmessungen ca. 1000 m x 45 m, gemäß Tabelle 1 in Unterlage [U6]) dar. Bei einer angenommenen Gründungsebene von ca. -15 m NHN im Festlandbereich und von ca. -20 m NHN in der Tiefenlinie des Sundes durchschneidet die Baugrube den Grundwasserleiter „Strukkamp“ im oberflächennahen Bereich. Bei der angenommenen Kubatur des Absenktunnels von rd. 63 x 2 m wird der Grundwasserleiter partiell im oberen Abschnitt durchdrungen. Da der Grundwasserleiter jedoch in einer Länge von rd. 2 km entlang der Küstenlinie vorliegt, ist der Einschnitt marginal bezogen auf die Gesamtausdehnung des Grundwasserleiters (gemäß Unterlage [U6]). Bei einer Herstellung der Baugrube würde der breiteste Bereich des Grundwasserkörpers im westlichen Sundbereich durchdrungen werden.

Weiterhin liegt in unmittelbarer Küstennähe der Grundwasserleiter in ungeschützter bis mäßig geschützter Form vor, was bedeutet, dass eine kontinuierliche Meerwasserintrusion stattfindet. Weiter nördlicher liegt der Grundwasserleiter abgedeckt und somit geschützt vor. Zu beachten ist, dass der Grundwasserleiter bei günstiger Überdeckung und bei tiefer abtauchenden wasserführenden Schichten sehr wahrscheinlich gespannt vorliegt. Dies ist bei der weiteren Planung des Absenktunnels (z. B. Baugrube) entsprechend zu beachten [U6].

Eine Umströmung des Bauwerkes ist anzunehmen. Jedoch ist ein geringfügiger Grundwasseraufstau vor dem Linienbauwerk nicht gänzlich auszuschließen. Er ist aber voraussichtlich so gering, dass er als untergeordnet bewertet werden kann. Demnach ist von einer relevanten Veränderung der Grundwasserdynamik durch den Absenktunnel nicht auszugehen (gemäß Unterlage [U6]).

Der isolierte Wasserleiter mit ungespannten Verhältnissen auf dem Festland bei Bohrung B 4a würde im Bereich des Absenktunnels liegen. Anhand der dokumentierten Tiefenlage von -35 m NHN sollte bei aktuellem Planungsstand (Aushubsohle Trockendock: ca. -13,0 m NHN und Schlitzwand bis ca. -20,0 m NHN [U8]) dieser Wasserleiter nicht betroffen werden.

Es wird daher bei einer fachgerechten Herstellung des Absenktunnels von keiner weiteren qualitativen und quantitativen Verschlechterung des Grundwasserleiters im Zuge der Herstellung ausgegangen [U6].

2.1.3.2 Auswirkungen der geplanten land- und inselseitigen Bauwerke auf die Grundwasserströmungsverhältnisse

Für die Auswirkungen der Bauwerke auf die Grundwasserströmungsverhältnisse wurde ein separater Hydrogeologischer Bericht mit entsprechenden Modellierungen verfasst, welcher diesem Bericht als Anlage 5.11.1 – 5.11.37 beiliegt. Die Grundlagen und Erläuterungen u den Modellierungen sind diesem Bericht zu entnehmen.

Das Berechnungsergebnis für die Grundwasserströmungsverhältnisse auf dem Festland mit dem Bauwerk als wasserundurchlässiges Hindernis zeigt, dass es anstromseitig primär im Südwesten des Bauwerkes (Trogbauwerk) zum Aufstau kommt, wodurch sich der natürliche Grundwasserspiegel im nördlichen Bereich um ca. 2 cm und im südlichen Areal um ca. 3 cm erhöht (siehe Abb. 16, orangener Kreis). Dies bewirkt eine Verschiebung der Isohypsen von ca. 200 m in Richtung Süden. Der Aufstau des Grundwassers befindet sich dabei innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers (Vergleich, siehe Ganglinien in PFU 41.02).

Abstromseitig (im Südosten) ist eine Absenkung von bis zu ca. 5 cm vor allem im Bereich des Trogbauwerkes zu verzeichnen (siehe Abb. 16, grüner Kreis), was ebenfalls innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers (Vergleich, siehe Ganglinien in PFU 41.02) liegt. Die Auswirkungen der Absenkungen erstrecken sich über die gesamte Länge des Trogbauwerkes bis hin zum Trockendock, wo etwa noch 500 m des Teilbauwerks betroffen sind.

Im südwestlichen Flankenbereich des Bauwerkes (südlicher Teil des Trogbauwerkes) ist ein erhöhtes hydraulisches Gefälle zu verzeichnen, welches zur Umströmung des Bauwerkes führt. Im südöstlichen Flankenbereich des Bauwerkes flacht das hydraulische Gefälle ab.

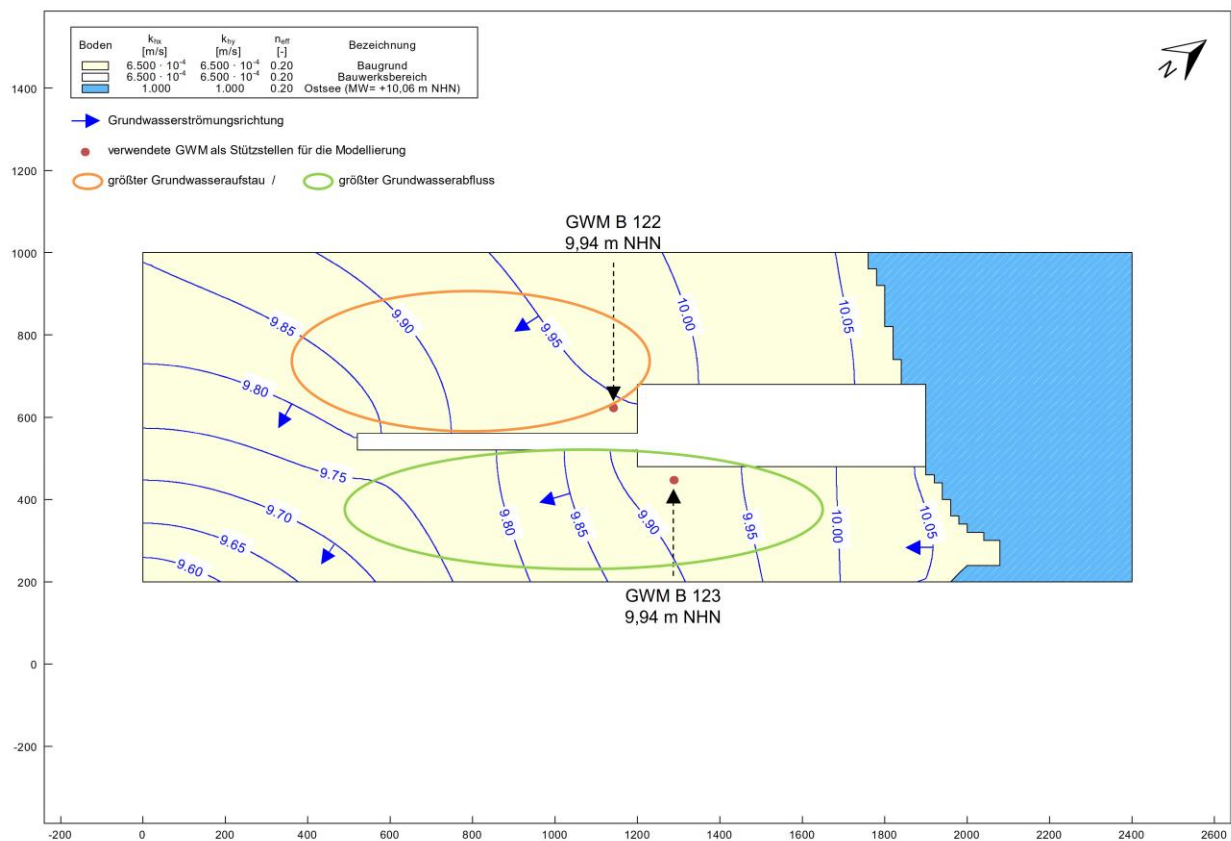


Abb. 16: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

Die Berechnungsergebnisse für Fehmarn zeigen, dass es anstromseitig primär im Südwesten des Bauwerks zum Aufstau kommt, wodurch sich der natürliche Grundwasserspiegel in diesem Baubereich um ca. 0,2 m erhöht (siehe Abb. 17, orangener Kreis). Die Aufstauhöhe befindet sich innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers (Vergleich, siehe Ganglinien in Gutachten [U13]). Diese wasserseitige Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse ist gemäß der Modellierung im Bereich der Tröge und des Tunnels in offener Bauweise zu verzeichnen.

Grund für den vergleichsweisen hohen Aufstau gegenüber dem Festland ist das Vorliegen eines sundwasserkorrespondierenden Grundwasserleiters (GWM B 94 und GWM 106), welcher deutlich über dem Meeresniveau liegt. Dadurch stellt sich ein höheres hydraulisches Gefälle als auf dem Festland ein. Die Grundwasserscheide schneidet das Bauwerk im Bereich der Tröge, sodass das Bauwerk einen geringen Einfluss durch das nach Osten strömende Grundwasser erfährt. Das Grundwasser südlich der Grundwasserscheide fließt nahezu parallel zum Bauwerk, sodass dieses für das Grundwasser kein zentrales Hindernis darstellt.

Abstromseitig ist östlich des Bauwerkes eine Absenkung von bis ca. 0,5 m zu verzeichnen (siehe Abb. 17, grüner Kreis).

Diese wasserseitige Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse ist gemäß der Modellierung im Bereich des gemeinsamen Trogbauwerks bis zum mittleren Teil des Bahntroges zu verzeichnen. Im nordöstlichen Bereich des Bauwerks kommt es zu einer geringen Absenkung des Grundwassers von ca. 0,1 m als Folge der Umströmung um das Bauwerk.

Das hydraulische Gefälle bleibt annähernd gleich. Es ist lediglich eine Verschiebung der Grundwassergleichen aufgrund des Aufstaus und der Absenkung im Anstrom- und Abstrombereich von ca. 50 m zu verzeichnen. Da das Bauwerk im nördlichen Bereich (Trog der Bahn) auf der kurzen Bauwerksseite angeströmt wird ist die Beeinflussung des Bauwerks auf die Grundwasserströmung insgesamt gering.

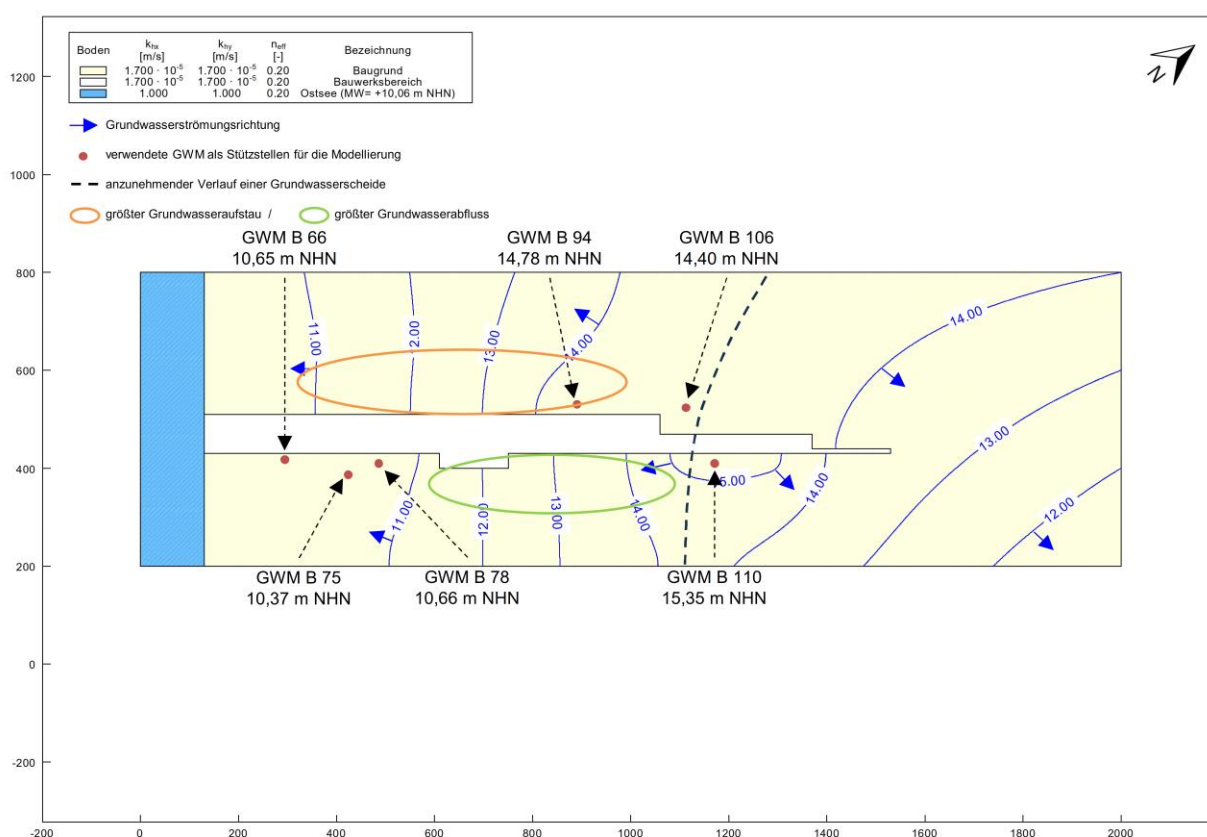


Abb. 17: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

Insgesamt sind durch die Baumaßnahme geringe Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten. Die Veränderungen hinsichtlich des Aufstaus und der Absenkung des Grundwassers werden innerhalb des natürlichen Grundwasserschwankungsbereichs liegen und die hydrogeologischen Verhältnisse werden nicht signifikant verändert. Folglich sind keine Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und das Ökosystem zu erwarten.

Für weitere Ausführungen hinsichtlich der Auswirkungen wird auf den Fachbeitrag WRRL (PFU 20), die Umweltverträglichkeitsstudie (PFU 16) und den Landschaftspflegerischen Begleitplan (PFU 17) verwiesen.

2.1.4 Bodeninjektionen

Bodeninjektionen sind im Zuge der Baumaßnahme nicht vorgesehen.

2.2 Dauerhafte Einleitung von Niederschlagswasser in Gewässer

2.2.1 Entwässerungssituation

Im Planfeststellungsabschnitt FSQ von Bau-km 170,422 bis Bau-km 176,733 werden neue Entwässerungseinrichtungen sowie Anpassungen an den vorhandenen Anlagen erforderlich (gemäß PFU 12).

Die Entwässerung ist in die folgenden Systeme unterteilt:

1. Entwässerung Verkehrsanlage (VA) Bahn (s. Unterkapitel 2.2 in PFU 12)
2. Entwässerung Verkehrsanlage (VA) Straße (s. Unterkapitel 2.3 in PFU 12)
3. Übergeordnete Entwässerungsflächen (s. Unterkapitel 2.4 in PFU 12)

Detaillierte Erläuterungen zu den wassertechnischen Berechnungen für die Entwässerung im Endzustand sind der PFU 12.01 entnehmen. Im Folgenden werden lediglich Auszüge aus PFU 12.01 zur Übersicht geliefert. Die hydraulischen Bemessungen sind der PFU 12.02 und 12.03 und die Übersichtslagepläne der PFU 12.04 zu entnehmen.

Die geplanten Einleitstellen für den Endzustand mit Koordinaten sind in der Tabelle 2-13 in PFU 12.01 enthalten.

2.2.1.1 Festland

Im Bereich Großenbrode, welcher sich vom Beginn des Planfeststellungsabschnittes FSQ südlich der Anschlussstelle Großenbrode bis zum Portal Süd und der Küstenlinie des Sundes erstreckt, werden fünf neue Regenrückhaltebecken (RRB) und zwei Retentionsbodenfilteranlagen (RBFA) errichtet.

Im Betriebsfall werden diese Becken über Heber / Pumpwerke mit Abwässern aus den Verkehrsanlagen gespeist. Eine Übersicht ist in Abb. 18 dargestellt sowie der Unterlage 12.04.001 zu entnehmen. Ein besonderer Aspekt dieses Bereiches ist das RRB 15.

Dieses Becken wird im Planfeststellungsabschnitt FSQ mit genutzt, ist jedoch im Planfeststellungsabschnitt 5.2 enthalten. Die aus dem Gebiet FSQ an dieses Becken angeschlossene Verkehrsanlagenfläche entspricht dem im PFA FSQ liegenden überplanten Abschnitt des PFA 5.2.

Daher ergeben sich an diesem Punkt keine nennenswerten Änderungen gegenüber dem im PFA 5.2 bereits enthaltenen Bedingungen für das RRB 15 (PFU 12.01).

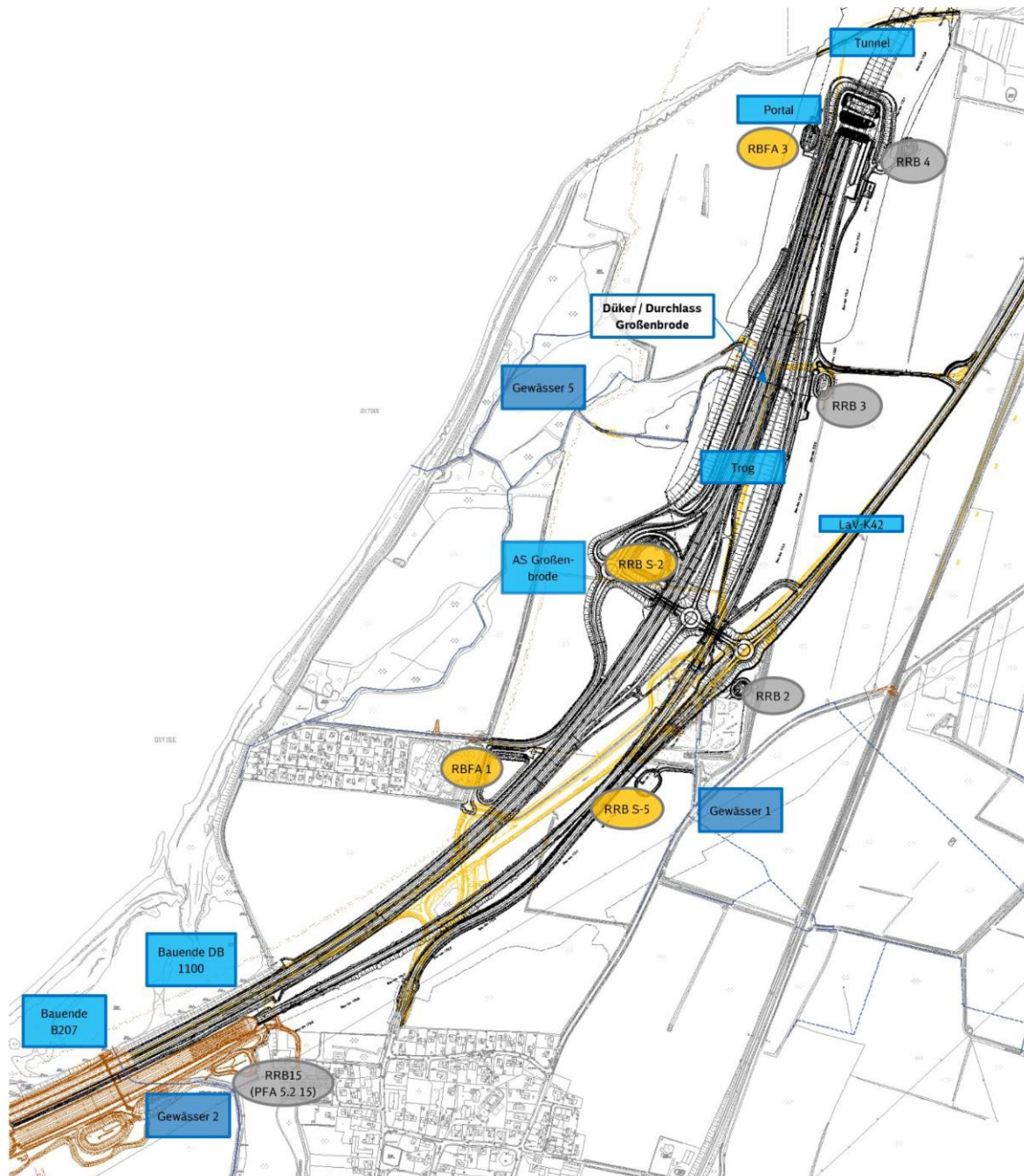


Abb. 18: Übersicht Entwässerung Großenbrode, graue Ellipse = RRB der Bahn, orange Ellipse = RRB und RBFA der Straße (entnommen aus PFU 12.01).

Das Projekt FSQ beeinflusst durch die neu zu errichtenden Verkehrsanlagen des zukünftigen Langsamverkehrs (LaV) Straße über die bestehende Fehmarnsundbrücke im Bereich des WBV Großenbrode hauptsächlich das Gewässer 5.

Darüber hinaus wird in das Gewässer 1 direkt und in das Gewässer 2 indirekt über RRB 15 des PFA 5.2 entwässert. PFU 12.04 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Einzugsgebiete inklusive Größe und Wassermenge.

2.2.1.2 Fehmarn

Auf Fehmarn erstreckt sich der Abschnitt von der Küstenlinie des Sundes und dem Tunnelportal Fehmarn bis zur Anschlussstelle Avendorf / Blieschendorf L 216. Auf dieser Höhe wird an die ursprünglichen Planungen des vierspurigen Ausbaus der B 207 und den PFA 6 der Bahnstrecke 1100 angeschlossen. Der Großteil des Projektgebietes wird nach Westen in die Orther Bucht über das Gewässersystem 7 des WBV Avendorf entwässert. In Abb. 19 ist eine Übersicht der Entwässerung und der geplanten Becken dargestellt. Es sind drei RRB sowie eine RBFA vorgesehen. Im Betriebsfall werden diese Becken über Heber / Pumpwerke mit Abwässern aus den Verkehrsanlagen gespeist. Der vorhandene Durchlass auf Fehmarn wird durch einen neuen Düker ersetzt (PFU 12.01).

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2022\70-22-087 DB Hydrogeol. Gutachten FSQ_SnI_ScI\Baugrunderkundung\Berichte\70-22-087_Unterlage ww Belange\6. Arbeitsstand\70-22-087_EBA_Stand 25-04-28_Tmü.docx

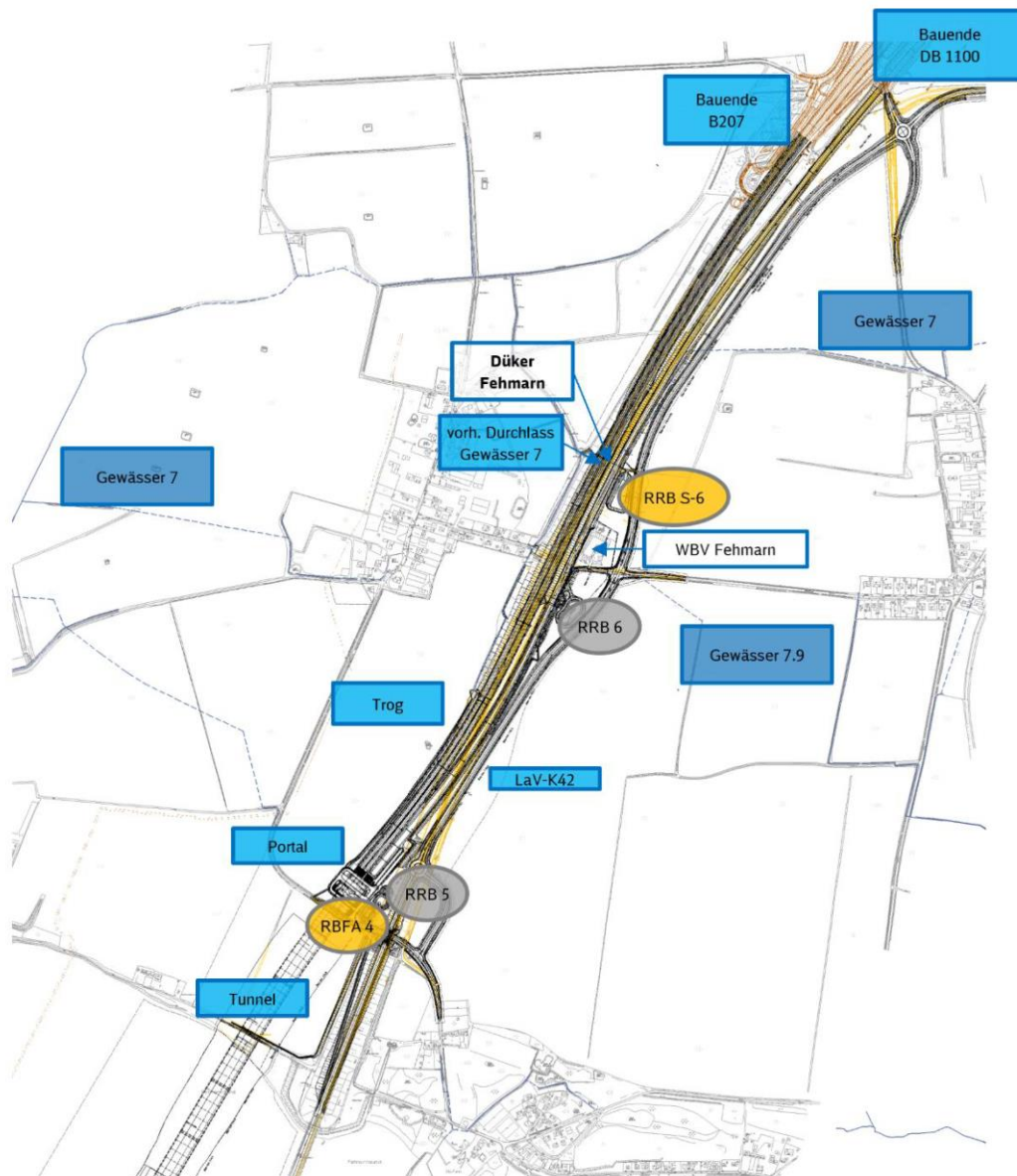


Abb. 19: Übersicht Entwässerung Fehmarn, graue Ellipse = RRB der Bahn, orange Ellipse = RRB und RBFA der Straße (entnommen aus PFU 12.01).

Zusätzlich zu den RRR werden Mulden-Rigolen-Systeme (s. Bauwerksverzeichnis, PFU 04.01) in Teilabschnitten entlang der Bahntröge zur Entwässerung der umliegenden Flächen vorgesehen.

PFU 12.04.002 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Einzugsgebiete inklusive Größe und Wassermenge. Zur Ermittlung der Wassermengen aus Einzugsflächen wurden N-A-Modellierungen (PFU 49.01, 49.02 und 49.04) durchgeführt.

2.2.1.3 Geokoordinaten der Einleitstellen

Eine zusammengefasste Auflistung der Entwässerungsabschnitte ist den Übersichtslageplänen des Entwässerungskonzeptes (Unterlagen 12.04) zu entnehmen. Die Koordinaten der Einleitstellen sind in PFU 12.01 (darin Tabelle 2-13) enthalten.

2.2.1.4 Wasserqualität

Im Planungsgebiet liegen auf freier Strecke Gleisanlagen mit Schotteroberbau vor. Nur in Teilbereichen der Tröge, kurz vor den Portalen und im Tunnel selbst liegen Gleisanlagen mit fester Fahrbahn vor. Gemäß DWA-A 102 Teil 2 Anhang A [U47] fallen bezüglich der Belastungsklassen der Bahnanlagen sämtliche vom Regenabfluss betroffene Gleisanlagen mit Schotteroberbau auf freier Strecke in die Flächengruppe BG1 und deren Regenwässer können als gering belastetes Niederschlagswasser (Belastungskategorie I) ohne Behandlung eingeleitet werden. Gleisanlagen mit fester Fahrbahn fallen in die Flächengruppe BG2 und die Belastungskategorie II, somit benötigen diese eine Behandlung (gemäß PFU 12.01). Die Emissionsbezogene Bewertung nach DWA-A 102 Teil 2 ist den hydraulischen Berechnungen der Bahn (PFU 12.02.001) zu entnehmen.

2.2.2 Niederschlags-Abfluss-Modellierung (N-A-Modellierung)

Im Zuge der Planungsarbeiten für die Fehmarnsundquerung sind Informationen zu den Abflüssen bzw. Durchflüssen notwendig, die im Bereich des Bauwerks im Starkregenfall auftreten. Von Interesse sind hier die Spitzendurchflüsse im Zusammenhang mit der Frage der schadlosen Abführbarkeit des fließenden Wassers, sowie die Durchflusssummen im Hinblick auf die Bemessung der Rückhalteräume. Es wurden sowohl für die Entwässerungseinrichtungen der Deutschen Bahn als auch für das Straßennetz Niederschlag-Abfluss-Modellierungen im Bau- und Endzustand durchgeführt (siehe PFU 49). Der Bericht zu den klimatischen Verhältnissen im Umfeld des geplanten Absenktunnels liegt als Anlage 5.6.1 – 5.6.19 bei.

Das Modell liefert als Ergebnis die Durchflussganglinie. Daraus können die Menge des abfließenden Wassers und die Bemessung von Rückhalteräumen ermittelt werden.

Für die Modellierung werden Wiederkehrintervalle angesetzt. Für die Bahn wird ein Intervall von $t = 10$ a angenommen, für die Straße werden entsprechend der Entwässerungseinrichtungen Wiederkehrintervalle von $t = 1$ a bis $t = 100$ a angesetzt. Das N-A-Modell wird für den Betriebs- bzw. Endzustand erstellt und enthält sowohl die Flächen der Straße als auch die der Bahn.

Sowohl für die Modellierung der Entwässerungseinrichtung der Bahn als auch der Straße wurde die Berechnung für den Mid Case und ein Worst Case berechnet. Anhand der Modellierung ergibt sich für den Worst Case ein bis zu 30 % höherer Scheiteldurchfluss als für den Mid Case. Für die Übersichtlichkeit zeigt ein Abflussschema bzw. Flussplan, wie Teilgebiete miteinander verknüpft sind (PFU 49.02). Des Weiteren wurde das minimal notwendige Speichervolumen der vier Regenrückhaltebecken unter Berücksichtigung der Wiederkehrintervalle bestimmt. Auf Fehmarnseite beträgt der Unterschied des minimal notwendigen Speichervolumens zwischen Mid Case und Worst Case 15 %, auf Festlandseite liegt der Wert deutlich höher bei 30 bis 47 % (PFU 49.02).

Am Modell der Entwässerungseinrichtung der Bahn wird deutlich, wie stark der Einfluss der Parameter Vorgeuchte und KOSTRA-Regentoleranz auf die Scheiteldurchflüsse ausfällt. Im Worst Case sind die Scheiteldurchflüsse nahezu doppelt so hoch, wie beim Mid Case (PFU 49.01). Für die Übersichtlichkeit zeigt ein Abflussschema bzw. Flussplan, wie Teilgebiete miteinander verknüpft sind (PFU 49.01). Des Weiteren wurde das minimal notwendige Speichervolumen für den Fall eines Durchlassstopps bei einem inselseitigen und einem landseitigen Düker ermittelt. Bei der Modellierung wurden höhere Regendauern einbezogen als es für die Berechnung des Scheiteldurchflusses der Fall sind. Das Ergebnis der Berechnungen zeigt, dass eine Regendauer von 72 bis 92 Stunden maßgebend in Bezug auf die Maxima der Überflutungsvolumina ist. Zu den Dükern wurde auch das minimal notwendige Speichervolumen für die Drosselabgabe der Regenrückhaltebecken auf Festlandseite und Fehmarnseite bestimmt. Hierfür sind die aus den Einzugsgebieten zufließenden Wasservolumina maßgebend, welche durch die Regendauer beeinflusst werden und folglich das Speichervolumen für verschiedene Regendauern berechnet werden müssen (PFU 49.01).

2.3 Bauzeitliche Einleitung von Niederschlagswasser in Gewässer

Erläuterungen zur bauzeitlichen Einleitung von Niederschlagswasser sind im Kapitel 2.1.2.4 enthalten.

2.4 Anlagen zur dauerhaften Grundwasserentnahme

Neu geplante dauerhafte Grundwasserentnahmen sind nicht vorgesehen. Lediglich die bereits vorhandenen Trinkwasserbrunnen (Ortschaft Wulfen und der Campingplatz Wulfener Hals) auf Fehmarn sind bekannt (siehe Abb. 20).

Eine mengenmäßige und chemische Beeinflussung dieser Trinkwasserbrunnen, welche mindestens 2,5 km entfernt von der Baumaßnahme liegen, sind aus gutachterlicher Sicht auszuschließen. Dies wird zusätzlich durch den geplanten Verbau und die nicht lateral aushaltenden Grundwasserkörper begünstigt.

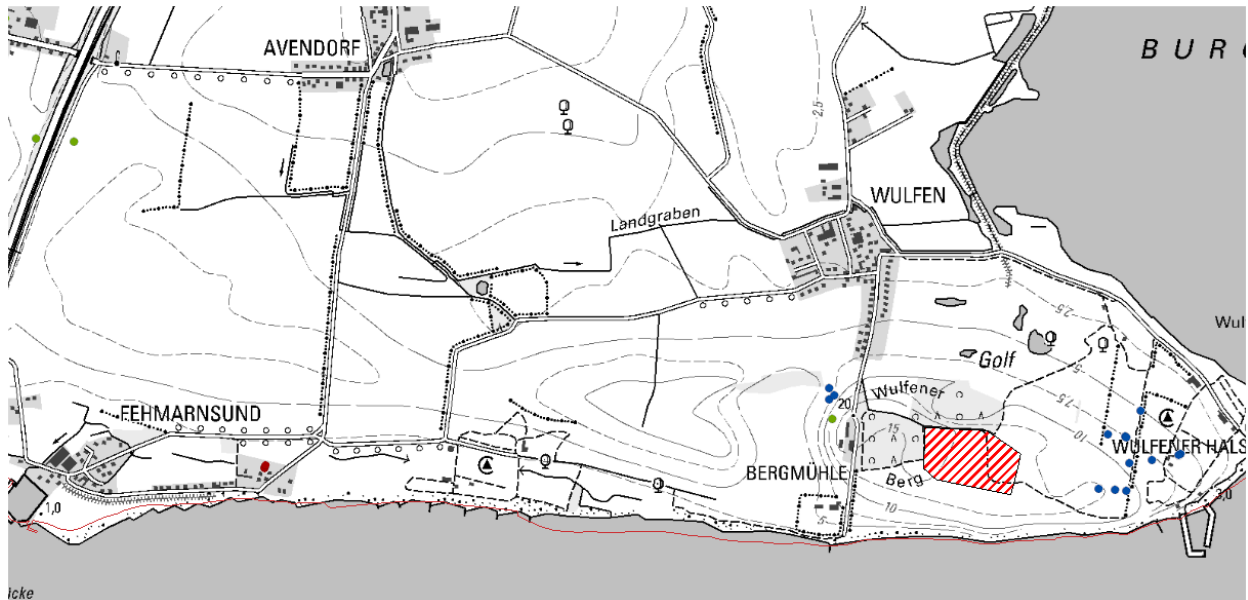


Abb. 20: Trinkwasserbrunnen (grüne und blaue Punkte) [U55].

2.5 Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrunds (Geothermie)

Im Rahmen des Vorhabens ist keine Errichtung von Anlagen zur geothermischen Nutzung vorgesehen.

2.6 Anlagen an, in, über, unter oberirdischen Gewässer nach § 36 WHG

Im Zuge der Baumaßnahme sind Düker am Gewässer 1 (Kreisverkehr) und Gewässer 5 (Straßenverbreiter) vorgesehen (siehe PFU 12). Die Lage ist der Abb. 18 und Abb. 19 und die Modellierung/Bemessung der PFU 49.01 zu entnehmen. Die Bauwerkspläne zu den Dükern liegen als PFU 07.06 vor.

2.7 Einleitung von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen (Indirekteinleitung)

Im Rahmen des Vorhabens ist keine Einleitung von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen vorgesehen.

2.8 Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Auf Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen wurde bereits im Kapitel 1.1.6 näher eingegangen.

Folgende Maßnahmen für den Havariefall werden im Bericht [U16] genannt:

Während des Baubetriebes kann es zu Havariefällen kommen, bei denen beispielsweise verstärkt Leichtflüssigkeiten wie z.B. Öl, Schmiermittel oder Treibstoffe austreten. Durch Regen oder während des Flutens des Trockendocks würden sie sich großflächig verteilen. Damit eine Ausbreitung der Stoffe vermieden werden kann, ist es erforderlich ein Konzept für den Umgang mit Havariefällen zu entwickeln.

Die beschriebenen Ansätze sollen einen orientierenden Charakter haben, das Havariekonzept für die Situation von umweltschädlichen Substanzen muss vom Auftragnehmer entwickelt werden.

Vorbeugende Maßnahmen können bspw. sein:

- Überwachung der Lagerung und Handhabung von Treibstoffen, um den Austritt zu vermeiden
- regelmäßige Wartung der Ausrüstung und Überprüfung der Dichtigkeit, um Lecks zu erkennen und zu vermeiden
- Schulung des Personals über sichere Handhabung und Lagerung von Treibstoffen

Eine Alarmierung kann wie folgt ablaufen:

- Sobald ein Austritt von Öl oder Treibstoff bemerkt wird, sollte sofort ein Alarm ausgelöst werden, um das Personal und die Umgebung zu warnen und zu informieren.
- Zuständige Behörden werden in Kenntnis gesetzt.

Die Eindämmung kann wie folgt ablaufen:

- Das betroffene Gebiet muss abgesperrt werden, um eine weitere Ausbreitung des Öls oder Diesels zu verhindern.
- Absorbermaterialien (Sand, Stroh oder Ölbindematten) sollten vorgehalten und verwendet werden, um das ausgetretene Öl oder den Treibstoff aufzunehmen. Für Gewässer sollten Ölsperren vorgehalten werden.

Die Reinigung und Entsorgung können wie folgt ablaufen:

- Die Reinigung des betroffenen Gebiets muss sorgfältig durchgeführt werden, um eine weitere Ausbreitung und Schädigung der Umwelt zu vermeiden z.B. durch den Aushub des betroffenen Abschnittes, Auskoffern und Beweissicherung der Sole.
- Das aufgenommene Material muss sicher und gemäß den geltenden Umweltvorschriften entsorgt werden.

Die Überwachung und Nachsorge können wie folgt erfolgen:

- Das betroffene Gebiet muss regelmäßig überwacht werden, um sicherzustellen, dass keine weitere Ausbreitung stattfindet.
- Die Auswirkungen auf die Umwelt und das Ökosystem müssen bewertet werden, um gegebenenfalls Maßnahmen zur Wiederherstellung zu treffen.

Für Havariefälle gelten die jeweiligen Konzepte der FGSV [U56].

Während der Baumaßnahme wird es u. A. zum Einsatz von Beton (Betonmischanlage), Asphalt, etc. kommen. Welche Anlagen genau zum Einsatz kommen werden, wird erst durch die bauausführende Firma festgelegt.

Die entsprechenden Regelungen zum Umgang mit den wassergefährdenden Stoffen sind seitens der bauausführenden Firma einzuhalten. Die Baustelleneinrichtungspläne und Baustellenerschließungspläne sind der PFU 10.01.001 bis 10.01.011 zu entnehmen.

2.9 Betroffenheit wasserrechtlich relevanter Schutzgebiete

2.9.1 Wasserschutzgebiete im Sinne der §§ 51 ff. WHG

Das Vorhaben liegt in keinem Wasserschutzgebiet.

2.9.2 Heilquellenschutzgebiete im Sinne des § 53 WHG

Das Vorhaben liegt in keinem Heilquellenschutzgebiet.

2.9.3 Überschwemmungsgebiete im Sinne der §§ 76 ff. WHG

Das Vorhaben tangiert ein Überschwemmungsgebiet, welches bei einer Sturmflut mit einem Wiederkehrintervall von 200 Jahren (HW₂₀₀) überflutet wäre (siehe Abb. 3).

Es sind die Ziele und Grundsätze der Verordnung über die Raumordnung im Bund für einen länderübergreifenden Hochwasserschutz (BRPHV) [U51] zu beachten.

National setzt das WHG diese Vorgaben um und regelt auch darüber hinaus umfassend den Hochwasserschutz in Deutschland. Die Vorschriften zum Hochwasserschutz finden sich in Abschnitt 6 WHG. Ergänzt werden diese Vorgaben durch das Wassergesetz des Landes Schleswig-Holstein (LWG), dem vor allem auch die Vollzugsaufgaben zum Hochwasserschutz obliegen.

Auf der Festlandseite sind die geplanten Trogbauwerke, das Tunnelportal und das Betriebsgebäude aufgrund der vorhandenen Topografie ohne weiteren Schutz nicht hochwassersicher (siehe Abb. 10 und Abb. 11). Aus diesem Grund ist entlang des hochwassergefährdeten Bereichs die Errichtung eines Hochwasserschutzdeiches geplant (gemäß PFU 01.01.001).

Für die Ermittlung der Höhe des Hochwasserschutzdeiches wurde analog zur Bemessung von Landesschutzdeichen gemäß Generalplan Küstenschutz [U46] ein Hochwasser mit einer Jährlichkeit von 200 Jahren (HW_{200}) zugrunde gelegt. Für den Planungsbereich hat das Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein (MEKUN) einen Wasserstand HW_{200} von NHN +2,45 m definiert.

Aufgrund der geplanten Lebensdauer des Tunnels von 130 Jahren wurde ein Vorsorgemaß zur Berücksichtigung des zukünftigen Meeresspiegelanstieges bis 2150 von 1,35 m eingerechnet (siehe auch Kapitel 1.3.9.5 und bspw. der Anlage 11 in PFU 41.02). Darüber hinaus wurden zusätzliche Freibordhöhen für den bemessungsrelevanten Seegang von 1,90 m berücksichtigt.

Die notwendige Höhe des Hochwasserschutzdeiches ergibt sich demzufolge mit NHN +5,70 m (gemäß PFU 01.01.001).

Im Gegensatz zum Festland liegt das Tunnelportal auf Fehmarn ausreichend hoch, so dass dort auf eine Hochwasserschutzanlage verzichtet werden kann (gemäß PFU 01.01.001).

Der auf der Festlandseite geplante Hochwasserschutzdeich ist etwa 1.080 m lang und beginnt bei Bau-km 171,8+00. Er verläuft parallel zur Straßentrasse in nordöstliche Richtung und umschließt das Tunnelportal sowie das Betriebsgebäude, bis er auf der Ostseite des Tunnelportals an ausreichend hoch gelegenes natürliches Gelände anschließt (gemäß PFU 01.01.001).

Die Breite des geplanten Hochwasserschutzdeiches variiert in Abhängigkeit der vorhandenen Topografie zwischen 20 m und 55 m. Die relative Höhe bezogen auf das umliegende Gelände beträgt wenige Dezimeter bis zu ca. 5 m. Die Deichabdeckung ist als 1,0 m starke mineralische Dichtung geplant (gemäß PFU 01.01.001).

Auf der Binnenseite des Deiches ist ein Deichverteidigungsweg angeordnet, der im Norden an die Betriebsfläche des Tunnelportals anschließt und im Hochwasserfall die Erreichbarkeit und Verteidigung des Deiches gewährleistet. Auf der Außenseite des Deiches ist zudem ein Außendeichweg zur Treibselräumung vorgesehen (gemäß PFU 01.01.001).

Bei dem neu zu errichtenden Deich handelt es sich um einen Objektschutz in der Unterhaltungspflicht der Betreiber des Tunnels (gemäß PFU 01.01.001).

Die Bauwerkspläne zum Deich/Hochwasserschutz liegen in PFU 07.07 vor.

3 Verwendete Unterlagen und Literatur

Projektbezogene Unterlagen:

- [U1] Eisenbahn-Bundesamt: Leitfaden zur einheitlichen Gestaltung von Antragsunterlagen für Infrastrukturvorhaben der Eisenbahn des Bundes, Bonn, 2020.
- [U2] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: Fehmarnsundquerung (FSQ) RV-Trasse; Hier: Kalibrierung der Ergebnisse von Drucksondierungen und Trockenbohrungen, Geotechnische Stellungnahme, Hamburg, 26.04.2017.
- [U3] BBI, Fehmarnsundquerung (FSQ) RV-Trasse Variantenuntersuchung im Rahmen einer Vorplanung; Hier: Neubau einer Kombinierten Brücke, Neubau zweier getrennter Brücken, Geotechnischer Bericht, 16.02.2018.
- [U4] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: Fehmarnsundquerung (FSQ) RV-Trasse; Variantenuntersuchung im Rahmen einer Vorplanung; Orientierende Schadstofferkundung, Hamburg, 28.02.2018.
- [U5] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: Fehmarnsundquerung (FSQ) RV-Trasse Variantenuntersuchung im Rahmen einer Vorplanung; Hier: Neubau eines Absenktunnels, Geotechnischer Bericht, Hamburg, 20.04.2018.
- [U6] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: Fehmarnsundquerung (FSQ) RV-Trasse Variantenuntersuchung im Rahmen einer Vorplanung, Hydrogeologischer Bericht, Hamburg, 21.01.2020.
- [U7] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Pump- und Absenkversuche, Stellungnahme, Vorabzug, Hamburg, 14.09.2022.
- [U8] Ingenieurgemeinschaft fehmarlink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH: Planungsunterlagen zu Baugruben, per E-Mail vom 29.09.2023 und 14.12.2023.
- [U9] Ingenieurgemeinschaft fehmarlink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH: Planungsunterlagen und Lagepläne, per E-Mail vom 04.07.2023.
- [U10] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Konkretisierungen zum vorläufigen landseitigen Bemessungswasserstand unter Berücksichtigung der aktuellen Grundwassermessdaten (Stand 01/2022), Fachtechnische Kurzstellungnahme, Vorabzug, Hamburg, 16.03.2022.
- [U11] Ingenieurgemeinschaft fehmarlink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH: Planungsstand Hochwasserschutz (Stand: 26.09.2022). per E-Mail vom 28.09.2022.
- [U12] Hydro? logol: Zuarbeit zum hydrogeologischen Gutachten für den Absenktunnel Fehmarnsundquerung - Klimatische Verhältnisse im Umfeld des geplanten Absenktunnels Fehmarnsundquerung (Entwurf), Brand-Erbisdorf, 15.12.2022.

- [U13] PFU 41.03 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Tunnel offene Bauweise Bau-km 174,6+82 – Bau-km 174,8+59, Baugrundbeurteilung, Hamburg
- [U14] PFU 41.03 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Tunnel offene Bauweise Bau-km 174,6+82 – Bau-km 174,8+59, Gründungsbeurteilung, Hamburg
- [U15] Ingenieurgemeinschaft fehmarklink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH: Baugrubenzeitenplan, per E-Mail vom 11.10.2024.
- [U16] Ingenieurgemeinschaft fehmarklink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH: BIM Planung Fehmarnsundquerung – Erläuterungen bauzeitl. Entwässerungskonzept, 21.03.2024 (Entwurf) und aktualisierte Abbildung vom 16.07.2024.
- [U17] DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024, DB Netz AG), Kundenteam Altlasten-/Entsorgungsmanagement, Vorabinformation zum BoVEK, Tankstellenrückbau, per E-Mail vom 26.04.2024.
- [U18] Orientierender Schadstoffbericht LAGA & GÜBAK für die Bahn- und Straßentrasse, BBI-Ingenieur-Gesellschaft mbH vom 31.05.2023.
- [U19] Orientierender Schadstoffbericht LAGA M20 & Ersatzbaustoffverordnung für AS Großenbrode, BBI-Ingenieur-Gesellschaft mbH vom 01.02.2024.
- [U20] Orientierender Schadstoffbericht LAGA M20 & Ersatzbaustoffverordnung für freie Strecke Fehmarn, BBI-Ingenieur-Gesellschaft vom 23.01.2024.
- [U21] AKVO GmbH: Vorabinformationen zur Gewässerökologie, per E-Mail vom 09.04.2024.
- [U22] FROELICH & SPORBECK Umweltplanung und Beratung: Vorabinformationen aus der Umweltverträglichkeitsstudie, per E-Mail vom 11.04.2024.
- [U23] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Salinität und Betonaggressivität Ostseewasser/Grundwasser, Stellungnahme, Hamburg, 24.01.2023 (Vorabzug).
- [U24] Ingenieurgemeinschaft fehmarklink2 Absenktunnel: BIM Planung Fehmarnsundquerung Planungsrandbedingungen für den Hochwasserschutz – 2.2. Wasserstände, 26.09.2022
- [U25] Ingenieurgemeinschaft fehmarklink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH: BIM Planung Fehmarnsundquerung – Planungsrandbedingungen für den Hochwasserschutz, vom 27.09.2022.
- [U26] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Trogbauwerk und Tunnel innerhalb des Trockendocks, Angabe von Bemessungsprofilen, Bahn Bau-km 172,2+03 – Bau-km 172,9+17, Stellungnahme St 14/24, Hamburg, 09.08.2024 (Vorabzug).

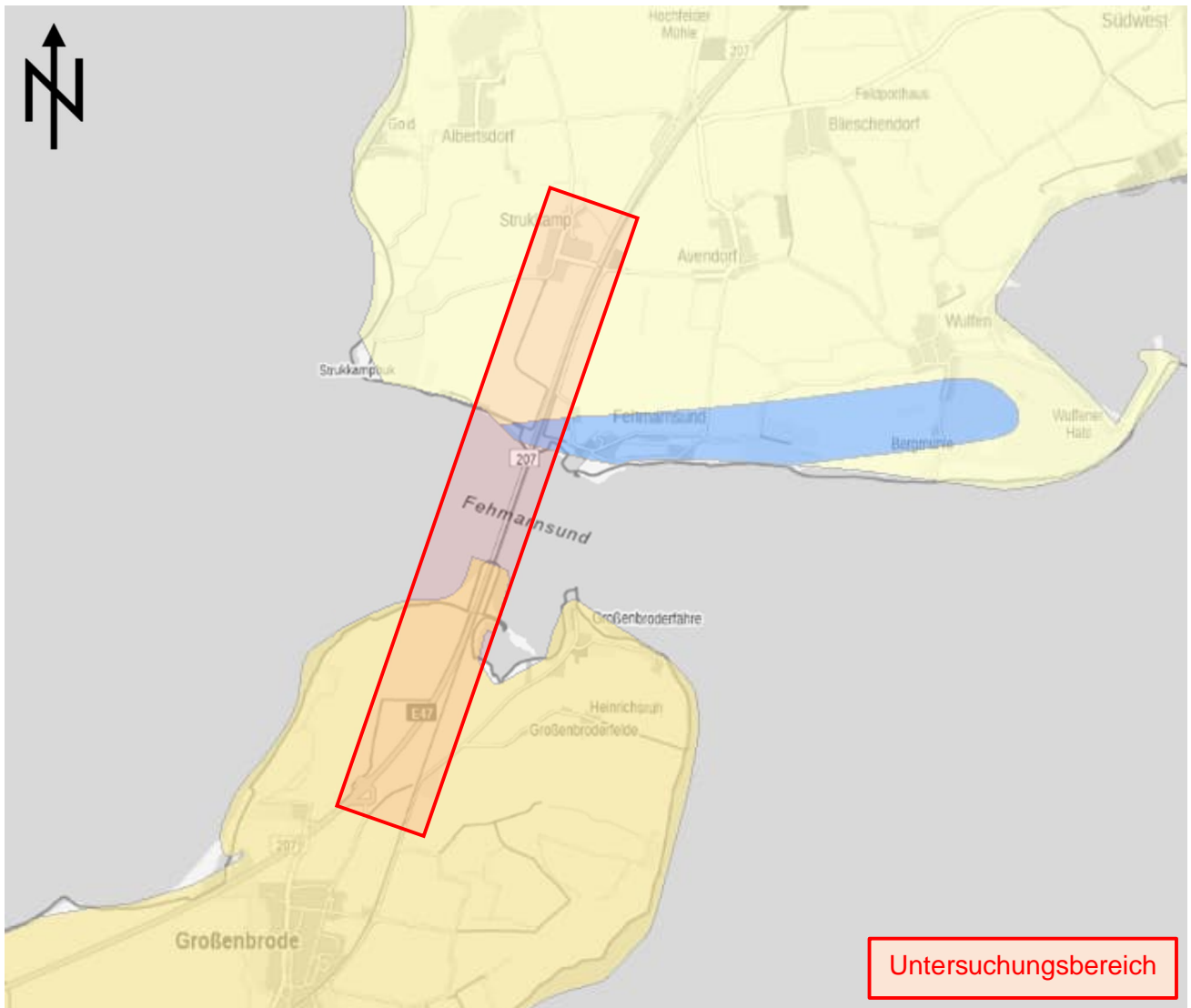
Allgemeine Unterlagen:

- [U27] LLUR - Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (o. D.):
Landwirtschafts- und Umweltatlas - Grundwasserkörper-Stammdaten, Kiel.
- [U28] MELUR - Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume
(2015): Bewirtschaftungsplan (gem. Art. 13 EG-WRRL bzw. § 83 WHG), FGE
Schlei/Trave, 2. Bewirtschaftungszeitraum 2016 – 2021, Kiel.
- [U29] Ingenieurgesellschaft Dr. Reinsch mbH (2012): Hydrogeologisches Sondergutachten zur
Raumordnerischen Umweltverträglichkeitsuntersuchung (RO-UVS / RVU) -
Schienenhinterlandanbindung Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ), Sukow bei Schwerin.
- [U30] Jakobsen, O. (2004): Die Grube-Wesseker Niederung (Oldenburger Graben,
Ostholstein): Quartärgeologische und geoarchäologische Untersuchungen zur
Landschaftsgeschichte vor dem Hintergrund des anhaltenden postglazialen
Meeresspiegelanstiegs, Kiel.
- [U31] Johannsen, A. (1980): Hydrogeologie von Schleswig-Holstein. In: BGR- Bundesanstalt
für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.] (1980): Geologisches Jahrbuch Reihe C,
Heft 28, Hydrogeologie - Ingenieurgeologie, Hannover.
- [U32] Toloczyki, M.; Trurnit, P.; Voges, A.; Wittekindt, H.; Zitzmann, A. (2006): Geologische
Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (GK1000). BGR- Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Hannover.
- [U33] BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2002): Geoviewer -
Hydrogeologie Deutschland (Sammlung 9 Hydrologische Karten), Hannover.
- [U34] WRRL - EU Wasserrahmenrichtlinie (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen
Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines
Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- [U35] Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (2015):
Wasserkörper-Steckbrief ST07 Kossau/ Oldenburger Graben, o. O.
- [U36] Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (2015):
Wasserkörper-Steckbrief ST08 Fehmarn, o. O.
- [U37] LLUR - Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (O. D.):
Landwirtschafts- und Umweltatlas - Grundwasser - Tiefe Grundwasserkörper, Kiel.
- [U38] BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016): Regionale
Hydrogeologie von Deutschland - Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gesteine,
Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung, Hannover.
- [U39] TGP/KfL (2017): Vierspuriger Ausbau der B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und
Puttgarden - Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie, o. O.

- [U40] Johannsen, A. (1958): Insel Fehmarn - 3. Hydrogeologie 1:50 000. In: Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein [Hrsg.] (1958): Geologische Landesaufnahme von Schleswig-Holstein, Kiel.
- [U41] TGP/KfL (2017): Vierspuriger Ausbau der B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und Puttgarden - Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie, o. O.
- [U42] BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Geoviewer (<http://geoviewer.bgr.de>), abgerufen September 2022.
- [U43] Schleswig-Holstein – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und Digitalisierung (<https://danord.gdi-sh.de>), 2023.
- [U44] LAWA - Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Januar 2016.
- [U45] Ad-hoc "Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer" des Ständigen Ausschusses „Grundwasser und Wasserversorgung“ der LAWA und der Ad-hoc-AG Hydrogeologie des BLA-GEO: Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft, September 2015.
- [U46] Ministerium für Energie-wende, Klimaschutz, Umwelt und Natur, Generalplan Küstenschutz, Fortschreibung 2022.
- [U47] Arbeitsblatt DWA-A/M 102/BWK-A/M3: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall/Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau, Dezember 2020.
- [U48] WSV Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Stammdaten des Pegels Heiligenhafen. In: www.pegelonline.wsv.de, Stand: 10.05.2023, abgerufen 11.05.2023.
- [U49] WSV Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Stammdaten des Pegels Heiligenhafen. In: <https://www.pegelonline.wsv.de/gast/stammdaten?pegelnr=9610070>, Stand: 17.10.2023, abgerufen 17.10.2023.
- [U50] WSV Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Stammdaten des Pegels Heiligenhafen. In: www.pegelonline.wsv.de, abgerufen 01.03.2024
- [U51] Verordnung über die Raumordnung im Bund für einen länderübergreifenden Hochwasserschutz, vom 19.08.2021.
- [U52] Geoportal Bafg, WasserBLiCK (https://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/WKSB_2021/index.html?lang=de&vm=2D&s=4622333.67897759&r=0&c=563594.9039036152%2C5676998.40659268&l=gwk%2C-owk) abgerufen April 2024.
- [U53] Arbeitsblatt DWA-M 799: Betankung von Fahrzeugen, Flurförderzeugen und Arbeitsmaschinen auf Baustellen, in der Land- und Forstwirtschaft, in Sand oder Kiesgruben oder in ähnlichen Einrichtungen, April 2023 (Entwurf).

- [U54] Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein (LVermGeo SH): Amtliches Wasserwirtschaftliches Gewässerverzeichnis, URL: https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Wasserland_AWGV, zuletzt abgerufen am 18.03.2024.
- [U55] Kreis Ostholstein, Fachdienst Natur und Umwelt, Bodenschutz, Grundwasser: Informationen zu Trinkwasserbrunnen auf Fehmarn, per E-Mail vom 10.06.2024.
- [U56] Forschungsgruppe für Straßenbau- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau: M WRRL – Merkblatt zur Berücksichtigung der Wasserrahmenrichtlinie in der Straßenplanung R2, Ausgabe 2021, FGSV Verlag GmbH, 71 Seiten.

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2022\70-22-087 DB Hydrogeol. Gutachten FSQ_SnI_ScI\Baugrunderkundung\Berichte\70-22-087_Unterlage ww Belange\6. Arbeitsstand\70-22-087_EBA_Stand 25-04-28_Tmü.docx



Legende

Oberflächennahes Wasserleitsystem

Oberflächennahe Wasserleiter

- 10 - 20m (nicht abgedeckt)
- >20 - 30m (nicht abgedeckt)
- >30m (nicht abgedeckt)
- 5 - 10m (abgedeckt)
- >10 - 20m (abgedeckt)
- >20 - 30m (abgedeckt)
- >30m (abgedeckter)
- kein oberflächennaher Wasserleiter

Karte hergestellt aus DigitaleAtlasNord-Daten | Lizenz: Lenkungsgrremium Geodateninfrastruktur Schleswig-Holstein
Ministerium für Inneres, ländliche Räume, Integration und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein

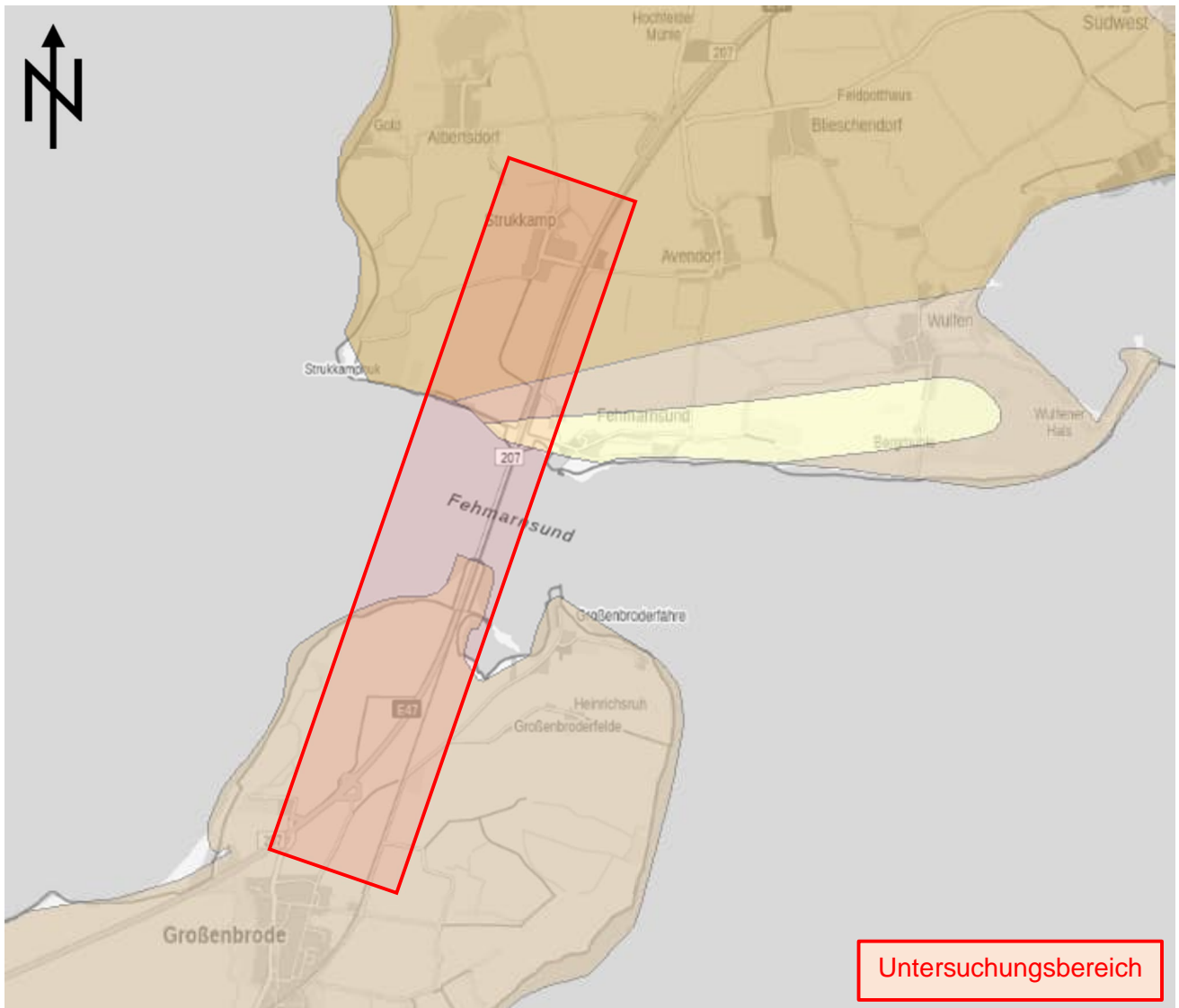
Projekt: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden
(Hinterlandanbindung FBQ)
Neubau der B 207
PFA Fehmarnsundquerung (FSQ)
**Unterlage für Wasserwirtschaftliche
Belange**



IBES Baugrundinstitut
Freiberg GmbH
Waisenhausstraße 10
09599 Freiberg
www.ibes-freiberg.de

Lageplan zum Thema oberflächennahe Wasserleiter

Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087
Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	3.1
Geprüft:	Scandolo	Datum:	02.09.2024



Legende

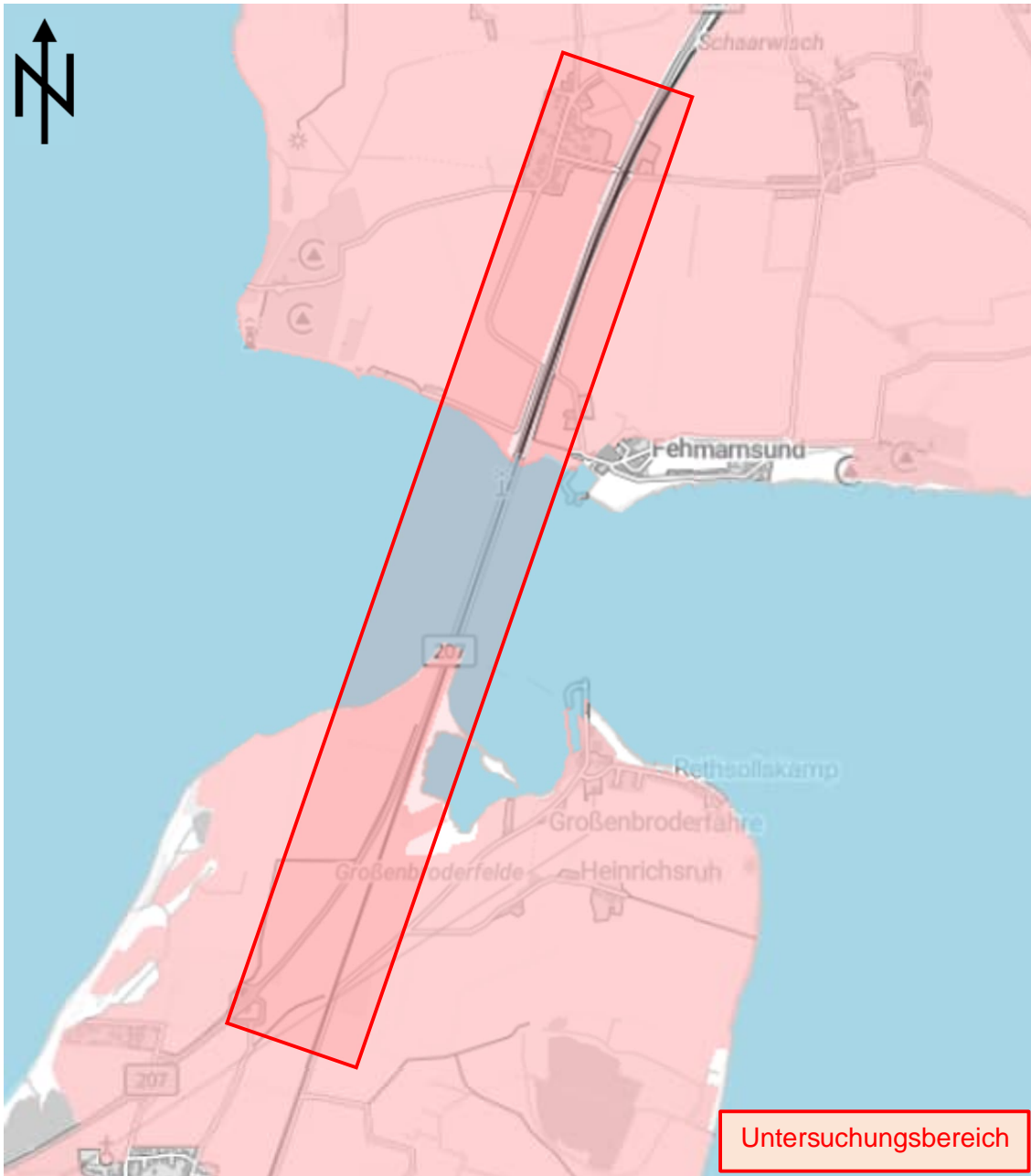
Oberflächennahes Wasserleitsystem

Schutzwirkung Deckschichten

- günstig Fall a): Mächtigkeit der bindigen Deckschichten vorwiegend 5-10m und erhöhtes Rückhalte-/Abbauvermögen von Schadstoffen
- günstig Fall b): Mächtigkeit der bindigen Deckschichten vorwiegend > 10m
- günstig Fall c): kein oberflächennaher Wasserleiter, bis 50m unter Gelände vorwiegend bindige Schichten
- mittel
- ungünstig

Karte hergestellt aus DigitaleAtlasNord-Daten | Lizenz: Lenkungsgremium Geodateninfrastruktur Schleswig-Holstein
Ministerium für Inneres, ländliche Räume, Integration und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein

Ministerium für Inneres, Landbau, Raum-, Integration und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein				
<div>Projekt: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) Neubau der B 207 PFA Fehmarnsundquerung (FSQ) Unterlage für Wasserwirtschaftliche Belange</div>	<div></div>	<div>IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de</div>		
<div>Lageplan zum Thema Schutzwirkung Deckschichten</div>	Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087
	Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	3.2
	Geprüft:	Scandolo	Datum:	02.09.2024

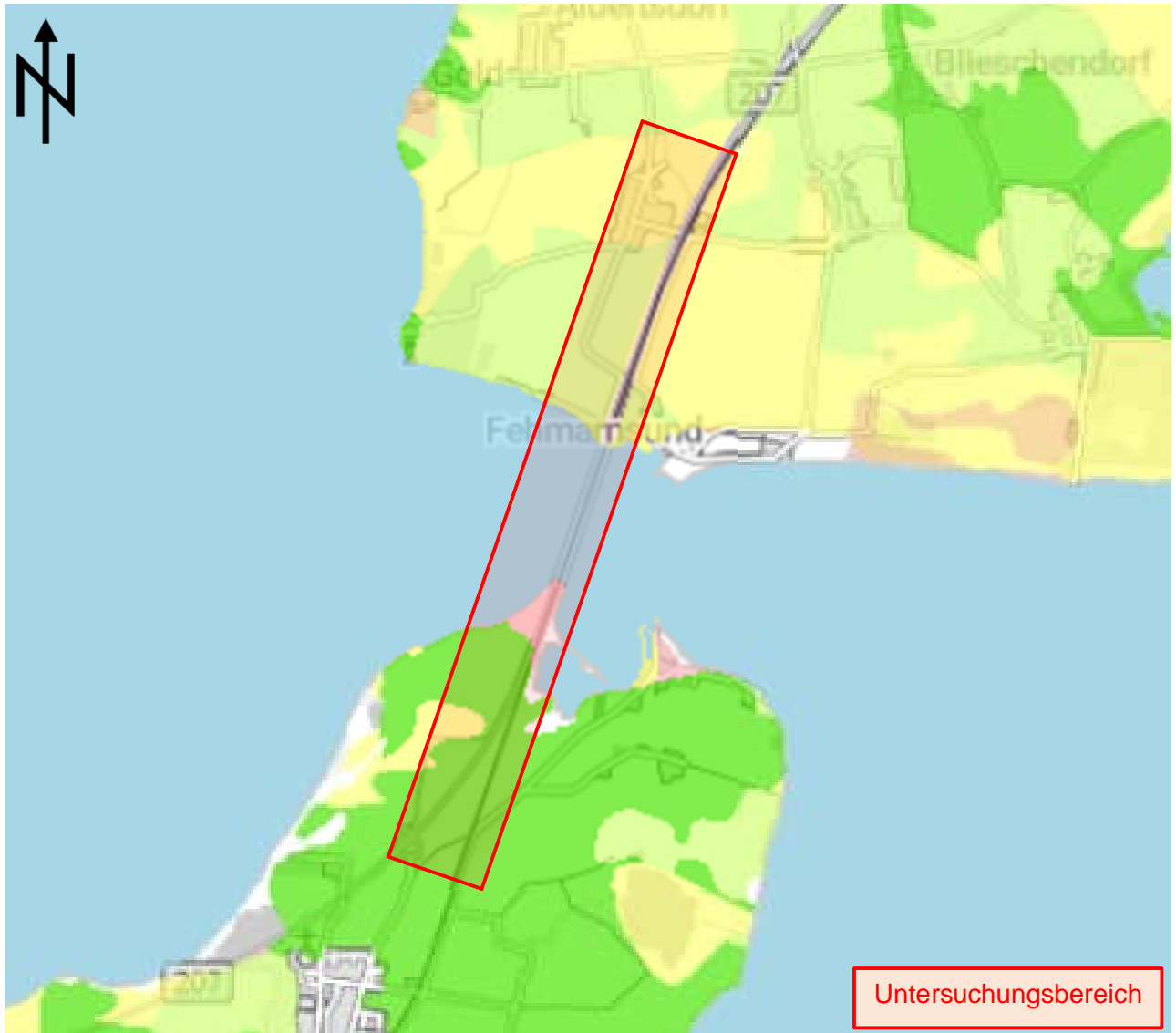


Legende

- Sickerwasserrate (SWR)
- besonders hoch (90er Perzentil)
- höher (75er-90er Perzentil)
- mittel (25er-75er Perzentil)
- gering (10er-25er Perzentil)
- besonders gering (<10er Perzentil)
- Gewässer
- Watt
- nicht bewertet (z.B. Wald, Siedung, Datenlücken)

Karte hergestellt aus Umweltportal Schleswig-Holstein | Lizenz: Dienstleistungszentrum des Bundes für Geoinformation und Geodäsie, Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein

<div>Projekt: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) Neubau der B 207 PFA Fehmarnsundquerung (FSQ) Unterlage für Wasserwirtschaftliche Belange</div>	<div><div>IBES BAUGRUNDINSTITUT</div></div>		<div>IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de</div>	
<div>Lageplan zum Thema Sickerwasserrate (regional bewertet)</div>	Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087
	Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	3.3
	Geprüft:	Scandolo	Datum:	02.09.2024



Karte hergestellt aus Umweltportal Schleswig-Holstein | Lizenz: Dienstleistungszentrum des Bundes für Geoinformation und Geodäsie, Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein

<p>Projekt: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) Neubau der B 207 PFA Fehmarnsundquerung (FSQ)</p> <p>Unterlage für Wasserwirtschaftliche Belange</p>			<p>IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de</p>	
<p>Lageplan zum Thema</p> <p>Wasserrückhaltevermögen (regional bewertet)</p>	Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087
	Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	3.4
	Geprüft:	Scandolo	Datum:	02.09.2024

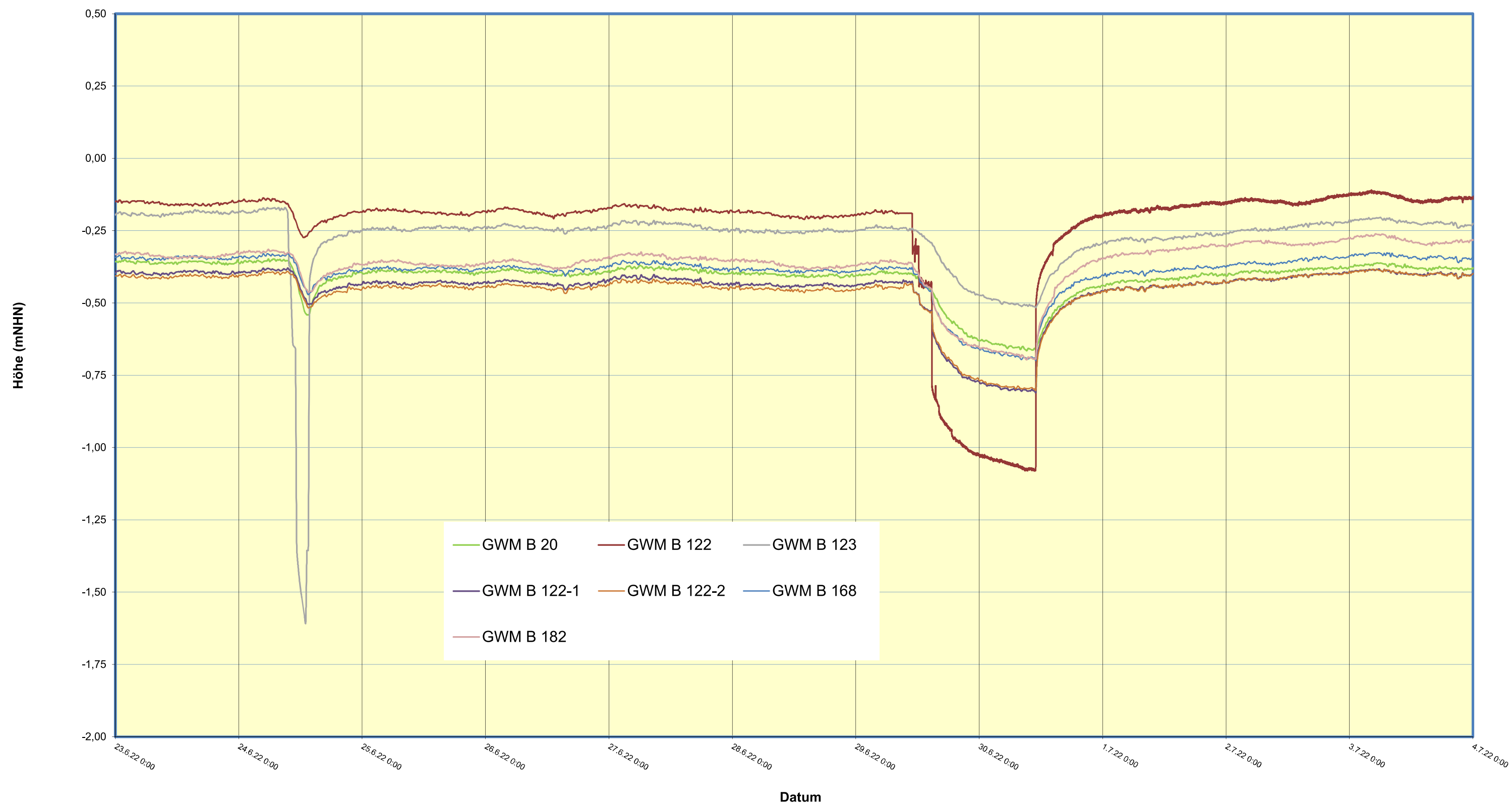
Pumpversuche

(BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH)

<p>Projekt: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) Neubau der B 207 PFA Fehmarnsundquerung (FSQ)</p> <p>Unterlage für Wasserwirtschaftliche Belange</p>			<p>IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de</p>	
<p>Pumpversuche</p>	Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087
	Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	5.5.1 – 5.5.9
	Geprüft:	Scandolo	Datum:	02.09.2024

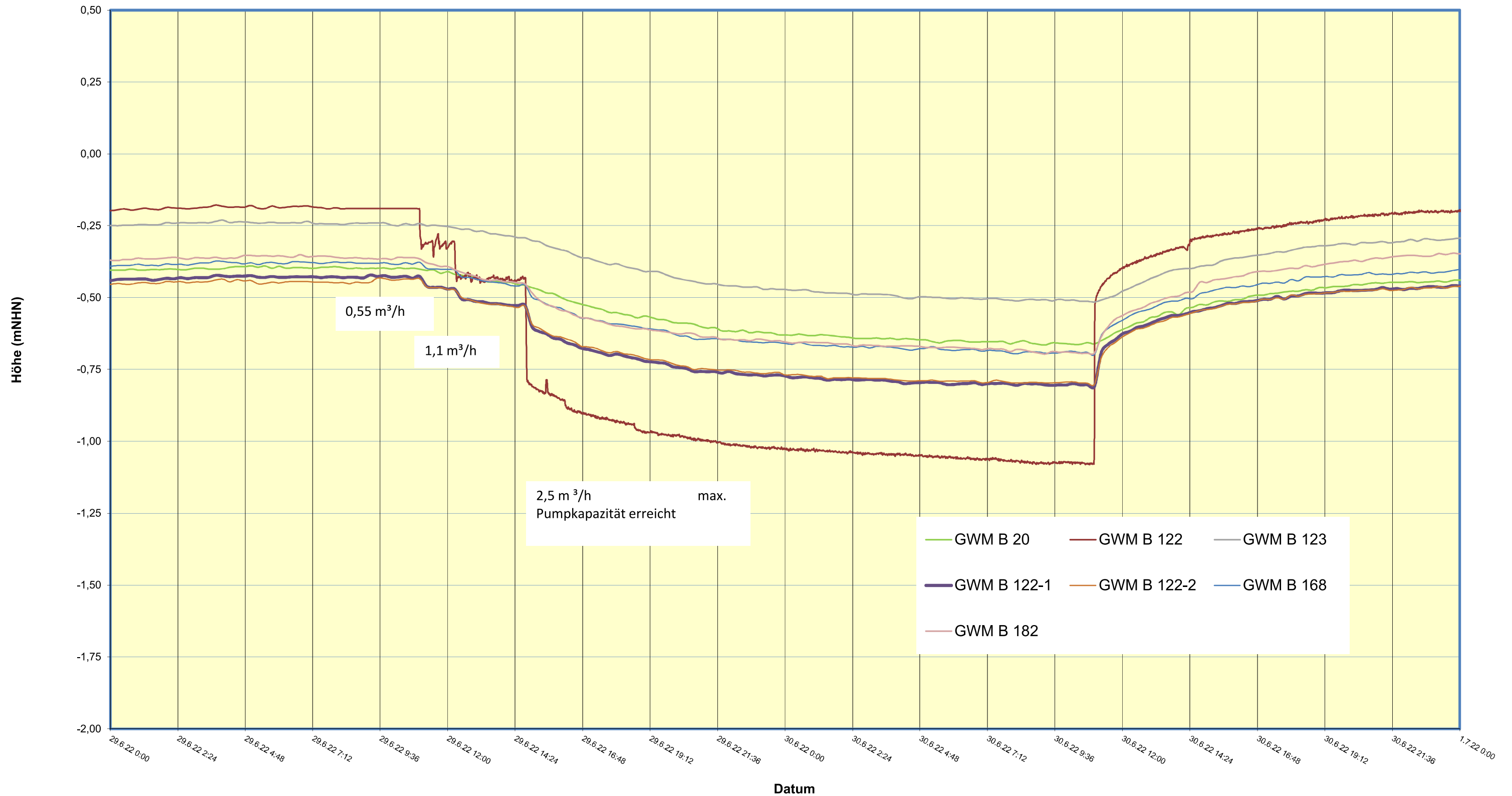
Pumpversuche GWM B 122 und GWM B 123
Grundwasserganglinien Zeitraum 23.06.2022 bis 04.07.2022

VORABZUG

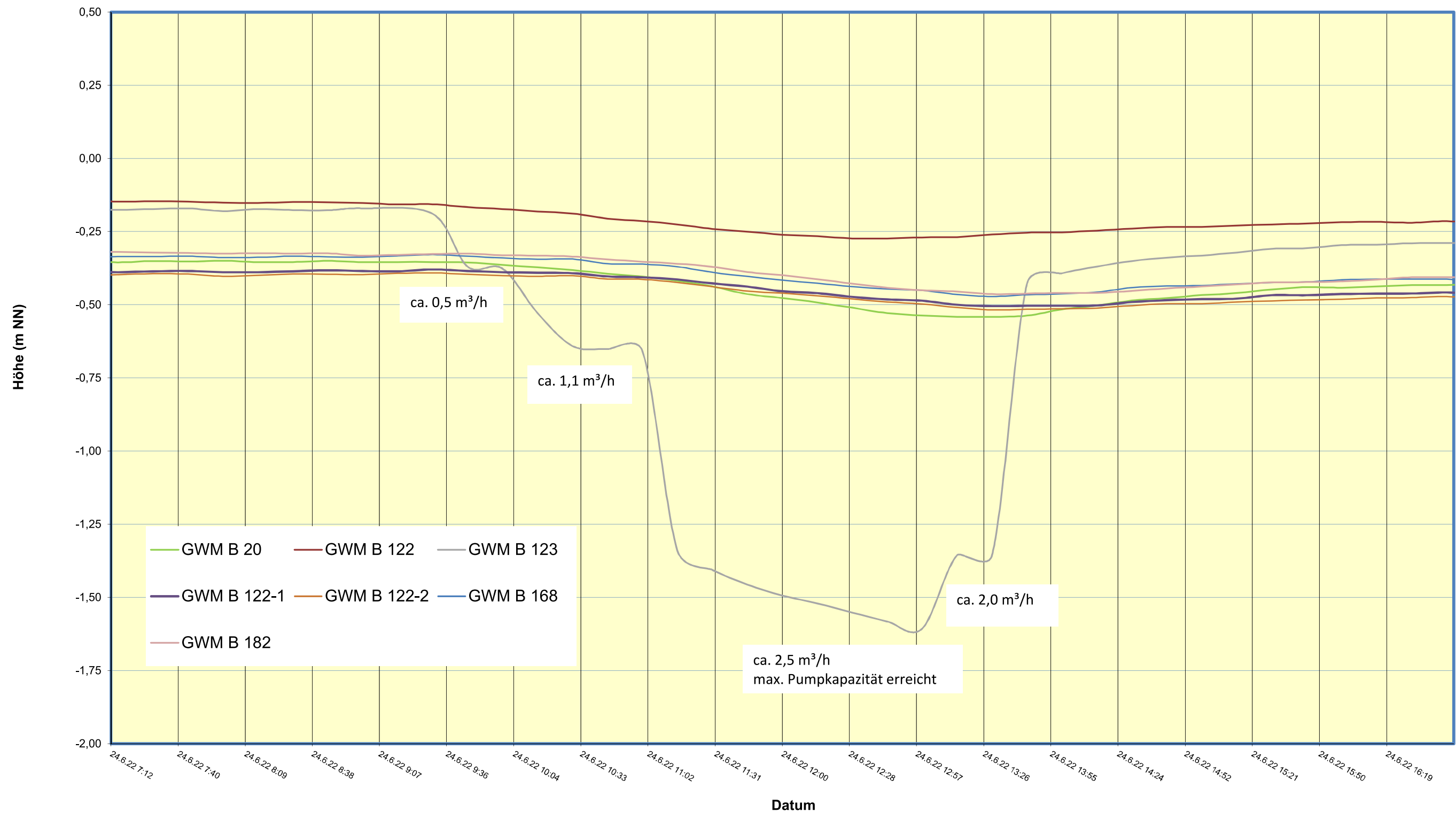


Pumpversuch GWM B 122
Grundwasserganglinien Zeitraum 29.06.2022 bis 01.07.2022

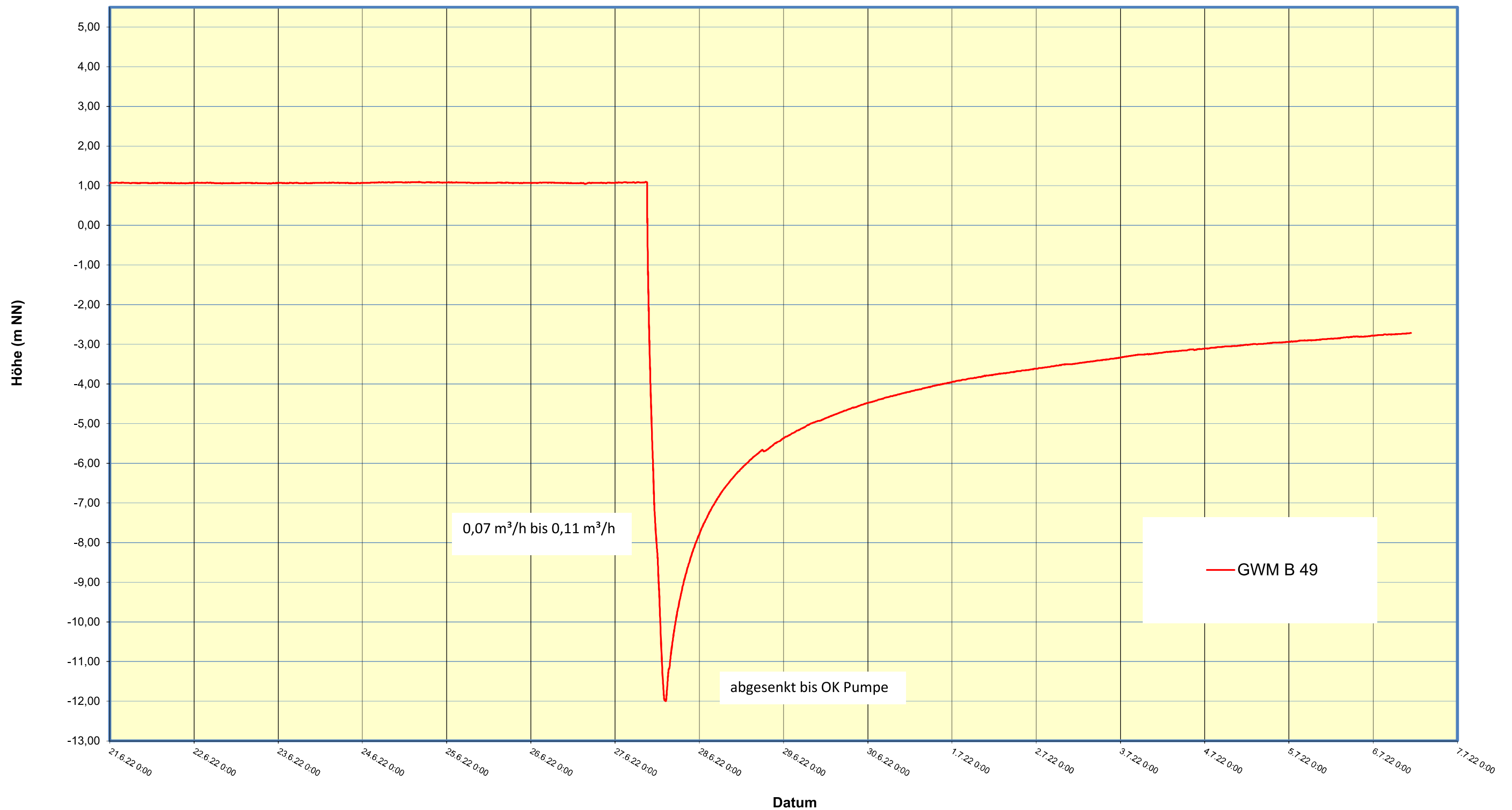
VORABZUG



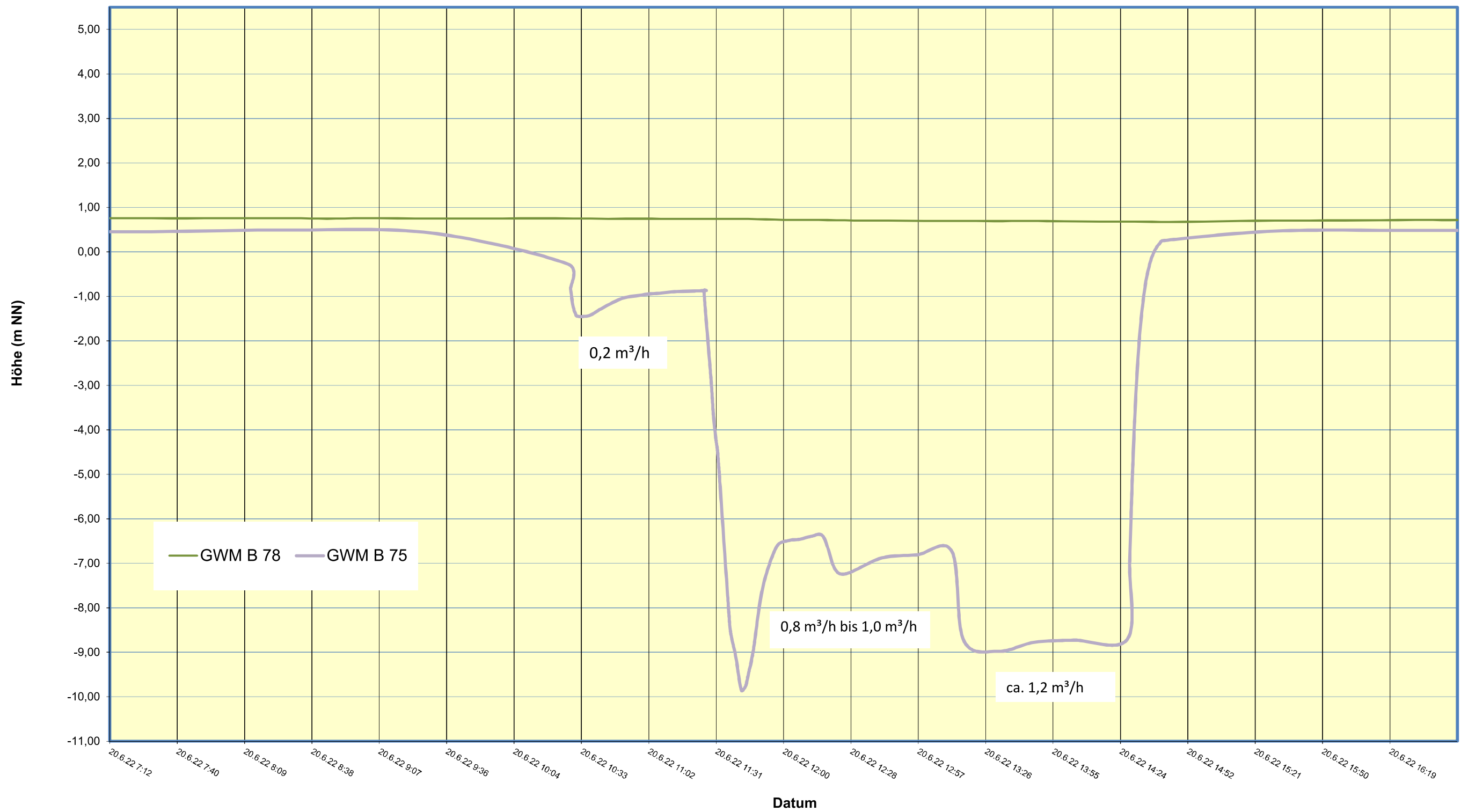
VORABZUG



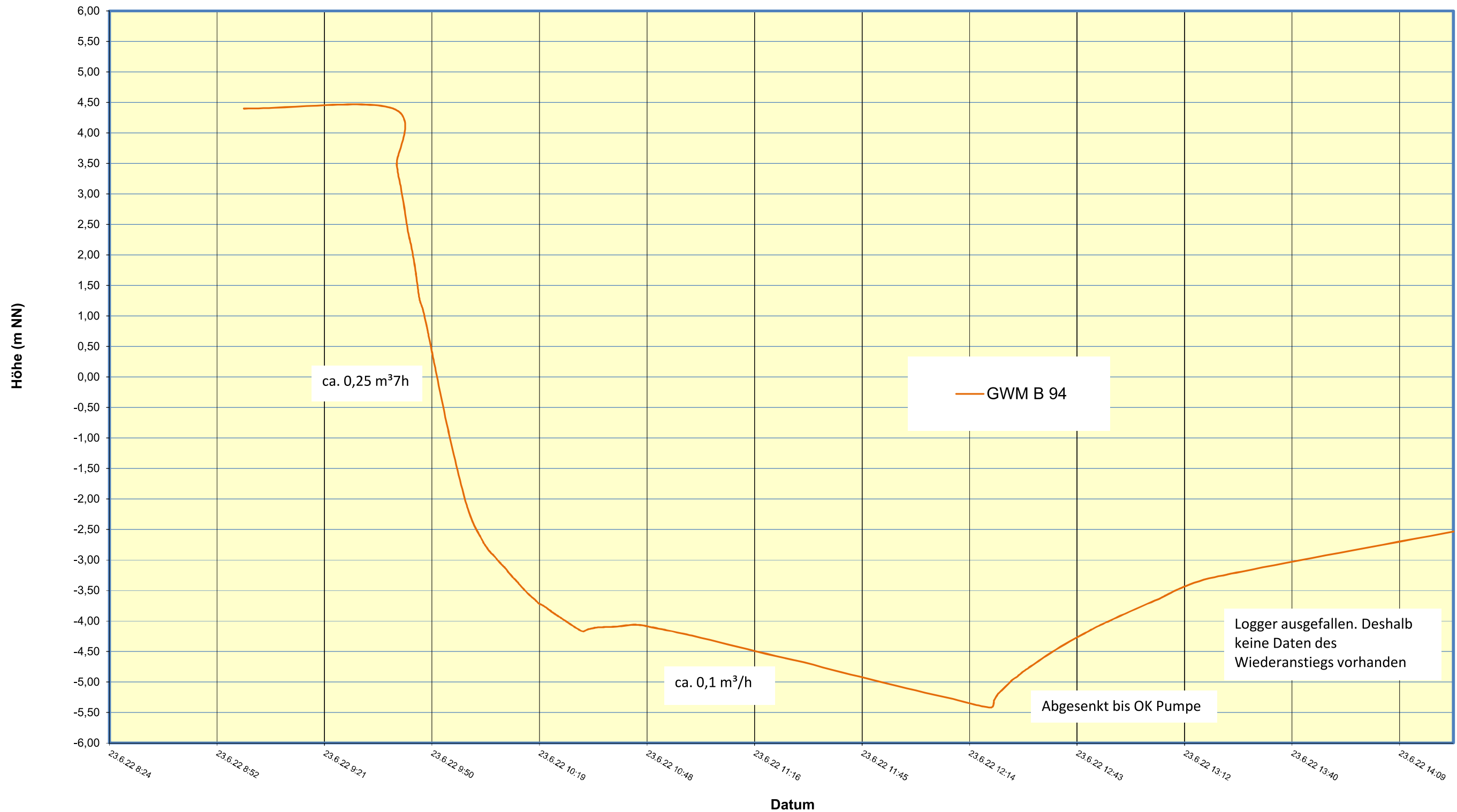
VORABZUG



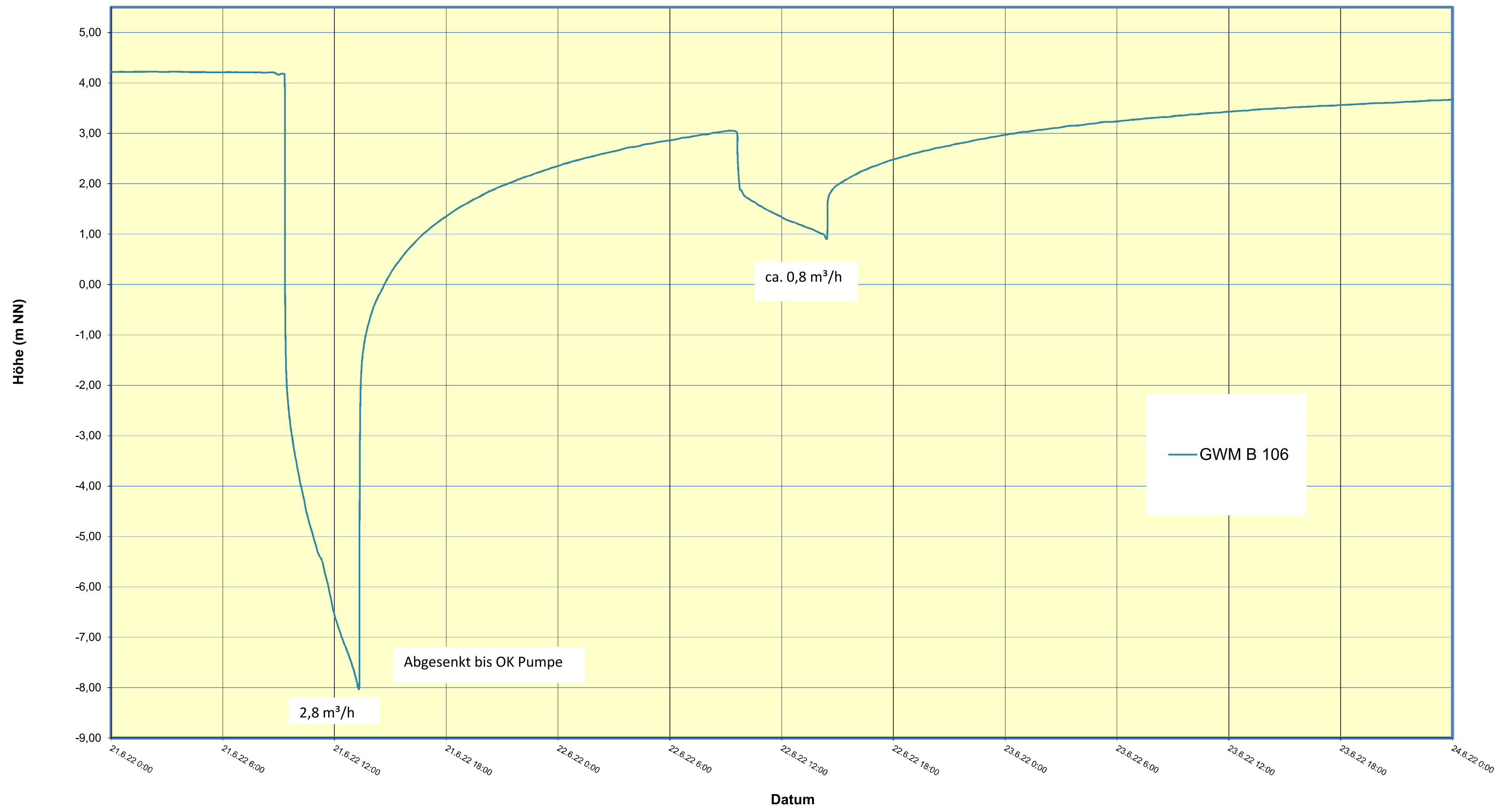
VORABZUG



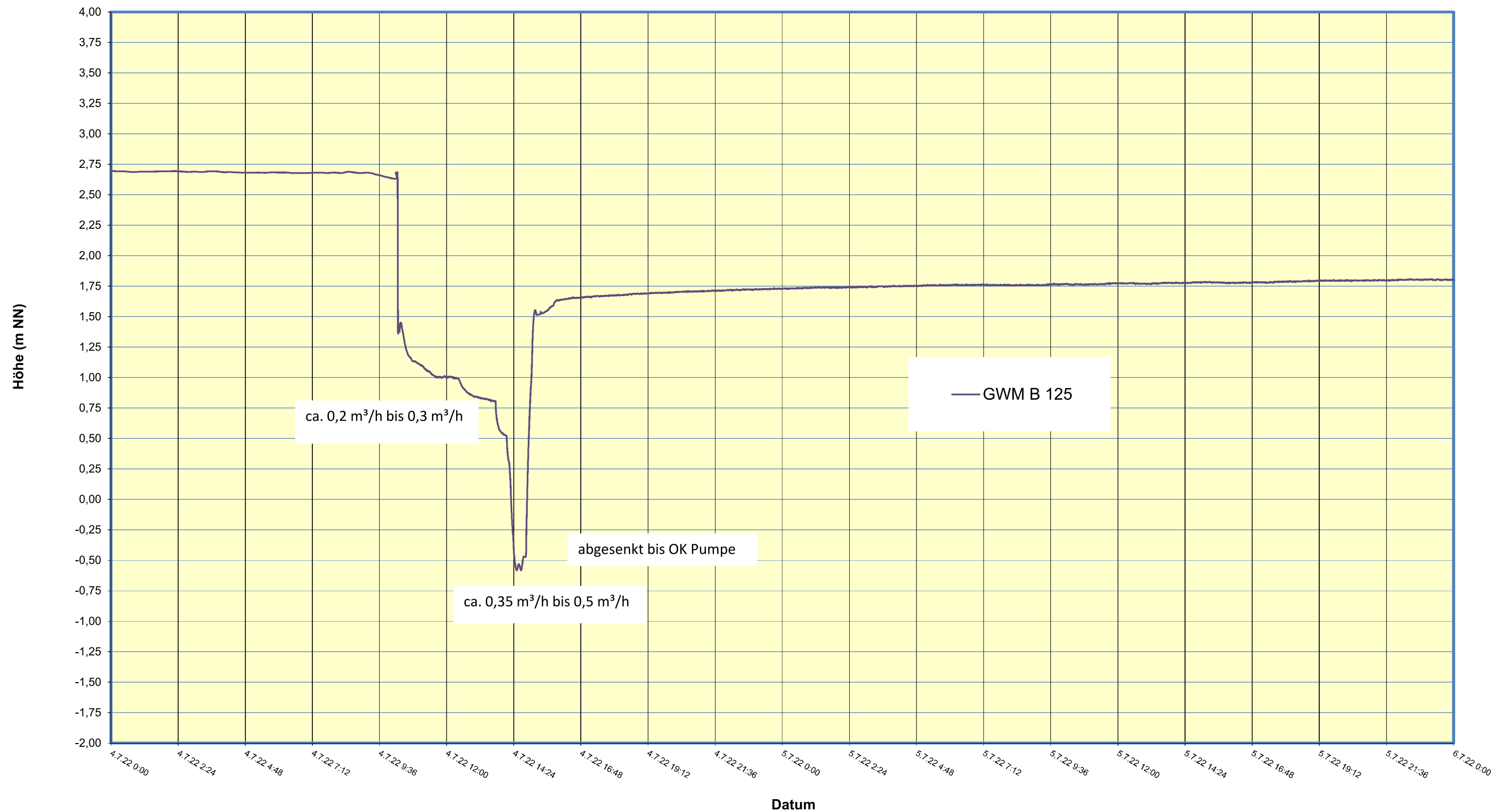
VORABZUG



VORABZUG



VORABZUG



Bericht: Klimatische Verhältnisse

(Hydro? logo!)

<p>Projekt: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) Neubau der B 207 PFA Fehmarnsundquerung (FSQ)</p> <p>Unterlage für Wasserwirtschaftliche Belange</p>			<p>IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de</p>	
<p>Bericht: Klimatische Verhältnisse</p>	Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087
	Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	5.6.1 – 5.6.19
	Geprüft:	Scandolo	Datum:	02.09.2024



**Zuarbeit zum hydrogeologischen Gutachten
für den Absenktunnel Fehmarnsundquerung**

**Klimatische Verhältnisse im Umfeld des geplanten
Absenktunnels Fehmarnsundquerung**

Auftraggeber: IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH
Waisenhausstraße 10
09599 Freiberg

Ansprechpartner: Herr M. Sc. Janko Scandolo
Abteilungsleiter Fachbereich Wasser

Auftragnehmer: **Hydro? logo!**
Dr. Volkmar Dunger
Neue Hauptstraße 150 a
09618 Brand-Erbisdorf, ST Langenau

Brand-Erbisdorf, den 15. Dezember 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'v. für', is written over a horizontal line.

.....
Dr. habil. V. Dunger
- Dipl.-Hydrologe –

Zuarbeit zum hydrogeologischen Gutachten für den Absenktunnel Fehmarnsundquerung:

Klimatische Verhältnisse im Umfeld des geplanten Absenktunnels Fehmarnsundquerung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zielstellung	3
2. Niederschlagshöhe	3
2.1. Vorbemerkungen	3
2.2. Langjährig mittlere Jahressummen	3
2.3. Über- und innerjährliche Niederschlagsschwankungen	6
2.4. Charakterisierung der Schneeverhältnisse	7
2.5. Starkregelmengen	9
3. Grundwasserneubildung	10
4. Weitere Klimagrößen	11
5. Literaturverzeichnis	12
6. Anlagenverzeichnis	12

Anlagen

Klimatische Verhältnisse im Umfeld des geplanten Absenktunnels Fehmarnsundquerung

1. Zielstellung

Entsprechend des Leitfadens zur einheitlichen Gestaltung von Antragsunterlagen für Infrastrukturvorhaben der Eisenbahn des Bundes umfassen die hydrologischen Untersuchungen u. a. Untersuchungen zu den klimatischen Verhältnissen im Bereich von Baumaßnahmen vor allem in Bezug auf den Niederschlag und die Grundwasserneubildung. Diese werden im Folgenden für den geplanten Absenktunnel im Zuge der Fehmarnsundquerung dargestellt.

2. Niederschlagssituation

2.1. Vorbemerkungen

In Bezug auf den Niederschlag sind zunächst die langjährigen Jahressummen für dessen Charakterisierung wichtig. Auch Aussagen zu den über- und innerjährlichen Niederschlagsschwankungen, zu den Schneeverhältnissen und zu den Starkregensmengen sind wesentlich.

Als ein erster Ansatzpunkt zur Charakteristik der gegenwärtigen klimatischen Situation im Untersuchungsraum können die Angaben Verwendung finden, die sich im HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland (BFG-FACHPORTAL, 2020) finden. Zu beachten ist dabei, dass als Grundlage zur Erstellung des HAD Datenreihen des Zeitraums 1961 – 1990 verwendet wurden. Diese geben auf Grund klimatischer Veränderungen, die nach 1990 zunehmend sichtbar werden, nur begrenzt Aufschluss über die derzeitige klimatische Situation.

Aktueller sind hingegen die Primärdaten des Deutschen Wetterdienstes DWD. Diese gestatten nach entsprechender Aufbereitung (Aggregation zu Monats-, Jahres- und langjährigen Werten) Aussagen zur gegenwärtigen Situation. Seitens des DWD wird hierfür der Bezugszeitraum 1991 – 2020 empfohlen. DWD-Stationen sind im Umfeld der Baumaßnahme mehrfach vorhanden. Besonders zu empfehlen ist die Niederschlagsmessstation Großenbrode, die sich innerhalb des Untersuchungsgebiets befindet.

2.2. Langjährig mittlere Jahressummen

Jedwede Niederschlagsmessung ist mit systematischen Messfehlern behaftet, die dazu führen, dass zu wenig Niederschlag gemessen wird. Die Messfehler beinhalten den durch Wind verursachten Fehler sowie die Verluste durch Benetzung und Verdunstung. Für Werte, die aus Messungen mit dem HELLMANN-Regenmesser (Standardniederschlagsmesser in Deutschland) resultieren, wurde von RICHTER (1995) ein Korrekturverfahren für Deutschland entwickelt, das auch heute noch Stand der Technik ist.

Einen Überblick über die langjährig mittleren Jahressummen der unkorrigierten, d. h. nicht messfehlerkorrigierten Niederschläge vermittelt die Abbildung 1. In der Abbildung 2 sind die messfehlerkorrigierten Jahressummen dargestellt, die sich im langjährigen Mittel ergeben. Zur Ermittlung langjähriger Mittelwerte im Zusammenhang mit klimatischen bzw. wasserhaushaltlichen Untersuchungen werden i. d. R. Daten von 30-jährigen Messreihen verwendet. Die Primärdaten der in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Jahresniederschläge beziehen sich auf den Zeitraum 1961 – 1990. Mit dem Ziel, die grafische Erkennbarkeit zu erhöhen, sind die Karten der Abbildungen 1 und 2 (sowie alle folgenden Karten) mit und ohne Transparenz dargestellt.

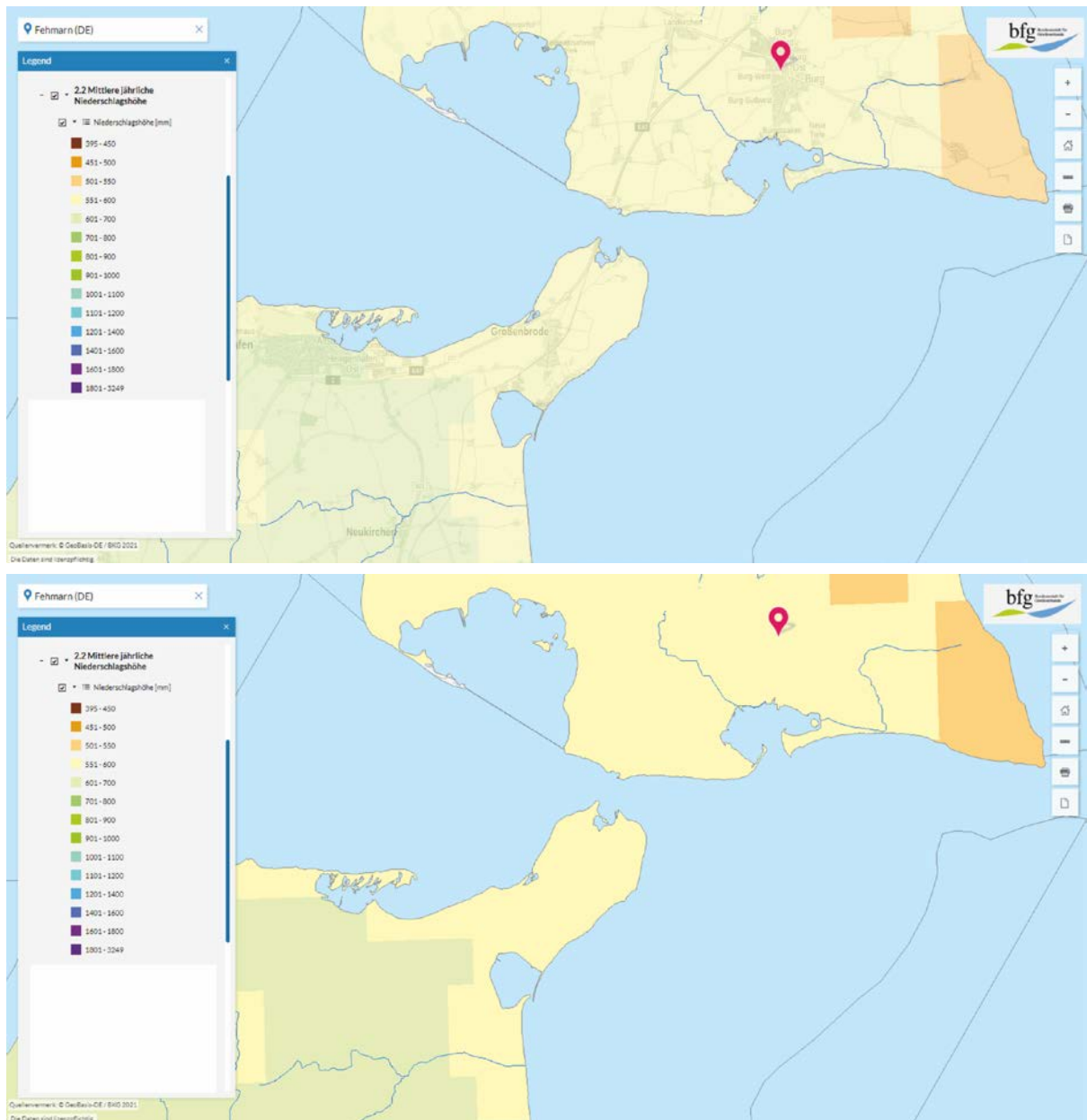


Abb. 1: Langjährig mittlere Jahressummen der unkorrigierten Niederschläge für den Zeitraum 1961 – 1990 (HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland, BFG-FACHPORTAL, 2020)

Wie den Abbildungen 1 und 2 zu entnehmen ist, liegen die langjährig mittleren Jahresniederschläge bei etwa 550 – 600 mm/a (unkorrigiert) bzw. 600 – 700 mm/a (korrigiert).

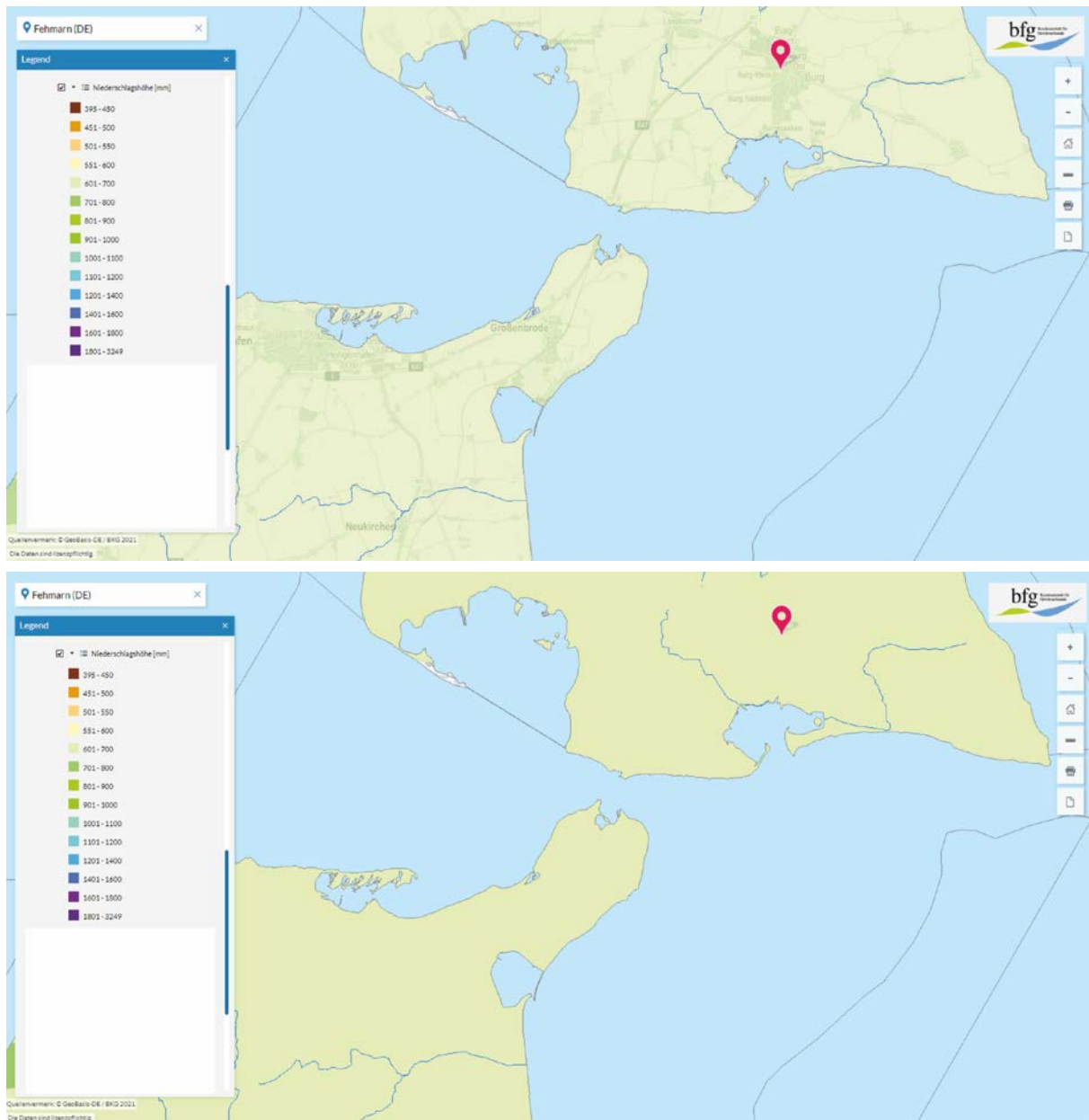


Abb. 2: Langjährig mittlere Jahressummen der messfehlerkorrigierten Niederschläge für den Zeitraum 1961 – 1990 (HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland, BFG-FACH-PORTAL, 2020)

Analysiert man die Messdaten des Deutschen Wetterdienstes DWD, so ergeben sich die folgenden mittleren Jahresniederschlagssummen (Grundlage: Niederschlagsmessstation Großbrode, Datenquelle: DWD CDC Climate Data Centre, via Internet abgreifbar unter <https://www.dwd.de/DE/leistungen/cdc/climate-data-center>:

- unkorrigierter Niederschlag 1961 – 1990: 583 mm/a
- unkorrigierter Niederschlag 1991 – 2020: 599 mm/a
- messfehlerkorrigierter Niederschlag 1961 – 1990: 654 mm/a
- messfehlerkorrigierter Niederschlag 1991 – 2020: 667 mm/a

Man kann gut erkennen, dass die DWD-Werte innerhalb der im HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland angegebenen Grenzen liegen. Ebenfalls gut erkennbar ist, dass sich die Jahresniederschläge der beiden 30-jährigen Reihen kaum voneinander unterscheiden.

Auf Basis der beiden regionalen Klimaprognosemodelle EPISODES-2018 (gewählt: RCP-Szenario 4.5 – mittleres Szenario, Realisierung 1) und WETTREG-2018 (gewählt: RCP-Szenario 8.5 – extremes Szenario, ebenfalls Realisierung 1) können Aussagen zu den zukünftig infolge des Klimawandels möglichen Veränderungen der Niederschläge abgeleitet werden.

Wie für Klimaprognosen üblich, sind die jeweils 30-jährigen Zeiträume 2021 – 2050 (zukunftsnaher Zeitraum) und 2071 – 2100 (zukunftsferner Zeitraum) ausgewählt worden. Für die Gitterpunkte GP 13_41 (EPISODES) bzw. GP 041_08 (WETTREG), die sich in der Nähe des Untersuchungsgebiets befinden, ergeben sich folgende langjährig mittlere Werte (Primärdatenquelle: ReKIS-Datenbank des LfULG Sächsisches Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie, <https://rekisviewer.hydro.tu-dresden.de/fdm/ReKISExpert.jsp#menu-5>):

EPISODES, mittleres RCP-Szenario:

- unkorrigierter Niederschlag 2021 – 2050: 657 mm/a
- unkorrigierter Niederschlag 2021 – 2050: 637 mm/a

WETTREG, extremes RCP-Szenario:

- messfehlerkorrigierter Niederschlag 2071 – 2100: 675 mm/a
- messfehlerkorrigierter Niederschlag 2071 – 2100: 697 mm/a

Unter Zugrundelegung der beiden Klimaprognosemodelle würde sich für das Untersuchungsgebiet eine tendenzielle Zunahme der Niederschläge bis 2100 um etwa 10 – 20 % ergeben. Zu beachten ist dabei, dass im Sinne der Aufwandsminimierung nur zwei Klimaprognosemodelle, zwei RCP-Szenarien mit jeweils nur einer Realisierung betrachtet worden sind.

2.3. Über- und innerjährliche Niederschlagsschwankungen

Betrachtet man die 30-jährige Reihe 1991 – 2020 hinsichtlich des überjährigen Schwankungsverhaltens der Niederschläge (Nass- und Trockenjahre), so ergibt sich folgendes Bild:

- nassestes Jahr der Datenreihe: Jahr 2010 mit 815 mm/a unkorrigiertem Niederschlag,
- trockenstes Jahr der Datenreihe: Jahr 2003 mit 399 mm/a unkorrigiertem Niederschlag.

Abweichungen der Jahresniederschlagsmengen um das 1,5 bis 1,6-fache nach oben bzw. nach unten sind folglich bezogen auf 30 Jahre denkbar.

Die Schwankungen der Monatssummen (unkorrigierte Werte) gestalten sich wie folgt:

- Monat mit der höchsten Niederschlagssumme: August 2010 mit 187 mm,
- Monat mit der geringsten Niederschlagssumme: Januar 1996 mit 1 mm.

2.4. Charakterisierung der Schneesverhältnisse

Die Zwischenspeicherung von Niederschlägen in einer Schneedecke spielen im Untersuchungsgebiet erwartungsgemäß kaum eine Rolle. Die Abbildungen 3 und 4 untersetzen diese Aussage. In der Abbildung 3 ist die mittlere Dauer des Vorhandenseins einer geschlossenen Schneedecke (Bedeckungsgrad > 50 %, Schneehöhe ≥ 1 cm, Messung morgens 7:00 Uhr) dargestellt. Die Abbildung 4 vermittelt ein Bild zum maximalen Äquivalentwassergehalt, den die Schneedecke über den Winter im Mittel der 30 Jahre von 1961 – 1990 aufgewiesen hat. Unter Äquivalentwassergehalt versteht man die Wassermenge, die nach der Schmelze des Schnees entspricht. Analog der Abbildungen 1 und 2 sind die Schneesverhältnisse mit und ohne Transparenz dargestellt.

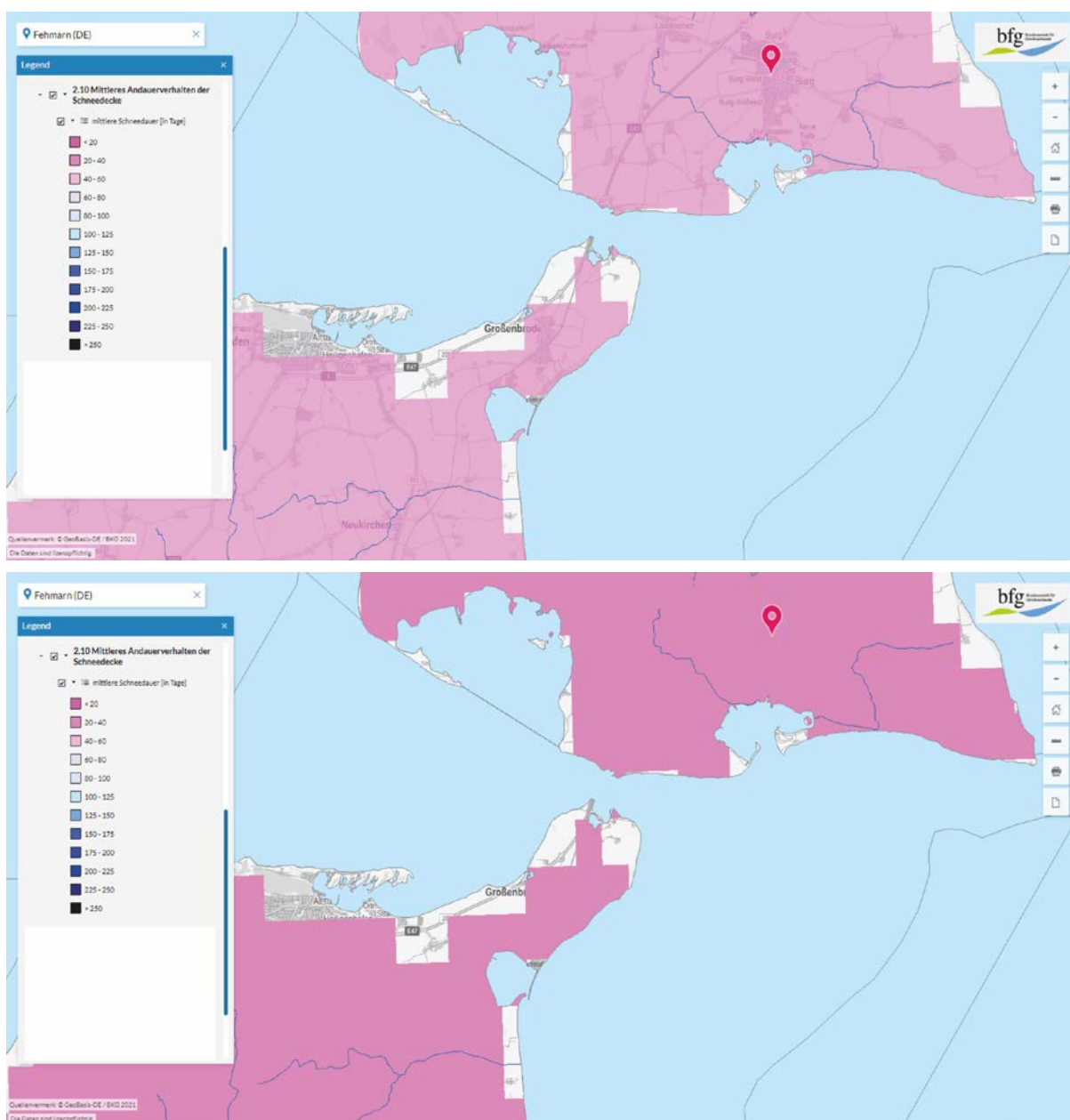


Abb. 3: Mittlere Dauer des Vorhandenseins einer geschlossenen Schneedecke für den Zeitraum 1961 – 1990 (HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland, BFG-FACHPORTAL, 2020)

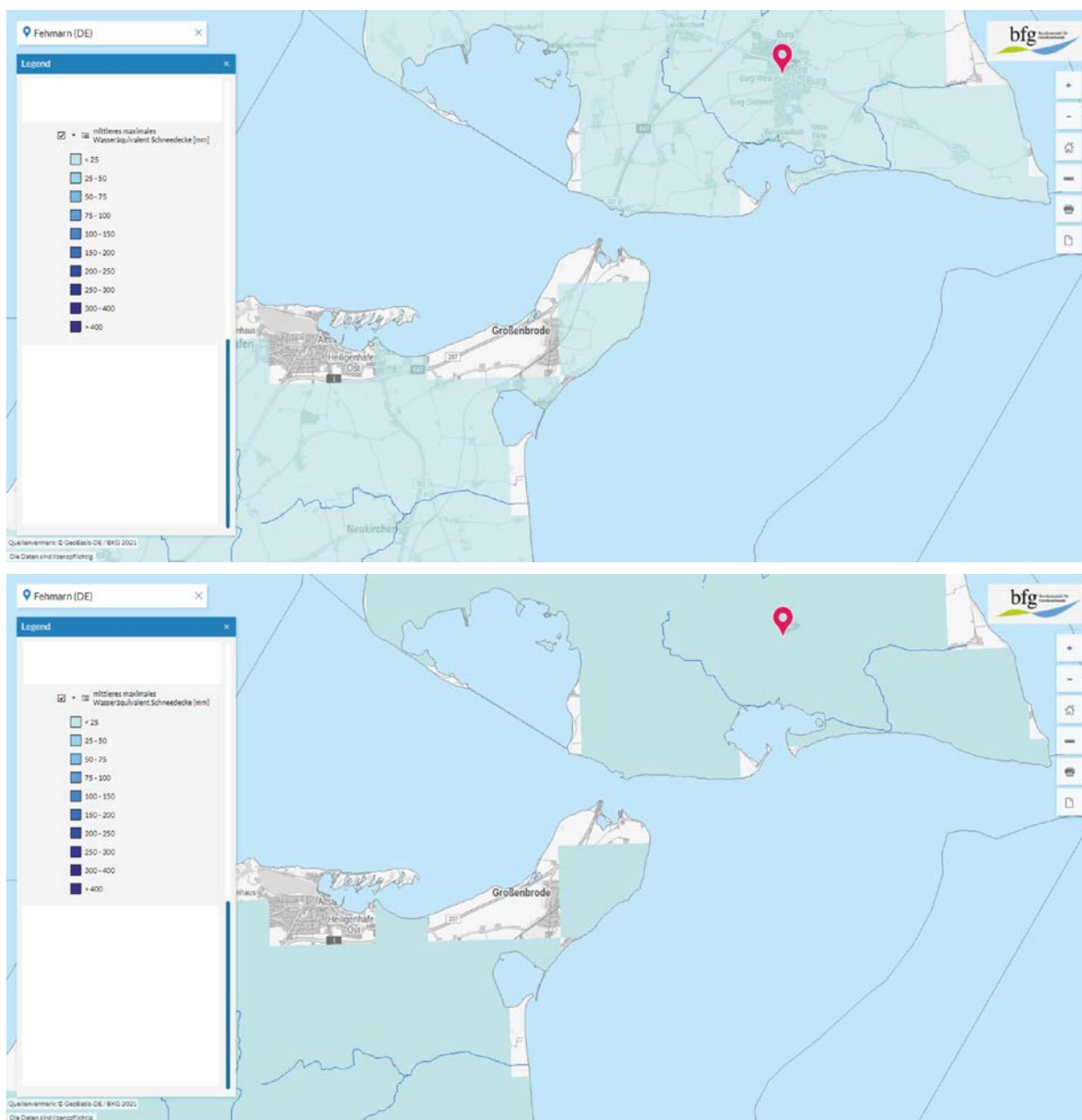


Abb. 4: Maximaler Äquivalentwassergehalt, den die Schneedecke über den Winter im Mittel der 30 Jahre von 1961 – 1990 aufgewiesen hat (HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland, BFG-FACHPORTAL, 2020)

In einem durchschnittlichen Winter gibt es im Untersuchungsgebiet lediglich 20 – 40 Tage, an denen in den Morgenstunden eine Schneedecke vorhanden ist. Dies ist eine Spannweite, wie sie für weite Teile des norddeutschen Tieflandes normal ist. Der in einem durchschnittlichen Winter auftretende Wert des maximalen Äquivalentwassergehalts ist mit weniger als 25 mm vernachlässigbar.

Ferner ist in Bezug auf die Schneesverhältnisse zu vermerken, dass der erste Tag mit einer geschlossenen Schneedecke im Mittel in der ersten Dezemberdekade auftritt. Der Zeitraum mit der höchsten Schneedecke ist meist Mitte Februar zu verzeichnen. Mitte März wird i. d. R. der letzte Tag mit einer geschlossenen Schneedecke beobachtet.

2.5. Starkregenmengen

Zur Analyse der Regenmengen im Starkregenfall wird der KOSTRA-Starkregenatlas KOSTRA-2010R des DWD (JUNGHÄNEL U. A., 2017) herangezogen, der es gestattet, Regenmengen für Regendauern zwischen 5 Minuten und 72 Stunden sowie für Wiederkehrintervalle zwischen 1 Jahr und 100 Jahren abzuleiten. Die standortbezogenen Ergebnisse dieser Analyse sind in der Anlage 1 dokumentiert. Für das Wiederkehrintervall von 20 Jahren, das den Untersuchungen zur Niederschlag-Abfluss-Transformation (N-A-Modell) zugrunde gelegt werden soll, sind die Ergebnisse in der Tabelle 1 aufgelistet.

Zu vermerken ist, dass ab Januar 2023 der Datensatz KOSTRA-DWD-2020 den bisherigen Datensatz KOSTRA-DWD-2010R ablösen wird und das davon auszugehen ist, dass sich dadurch die Bemessungsniederschläge ändern werden.

Tabelle 1: Starkregenmengen für ein Wiederkehrintervall von 20 Jahren auf der Basis des Datensatzes KOSTRA-DWD-2010R (JUNGHÄNEL U. A., 2017)

Dauerstufe	Rasterfeld (Index_rc)			
	10043	10044	11043	11044
5 min	9,7	9,8	10,0	10,1
10 min	14,3	14,4	14,4	14,5
15 min	17,5	17,7	17,5	17,5
20 min	20,1	20,2	19,8	19,8
30 min	23,8	24,0	23,2	23,2
45 min	27,9	28,0	26,7	26,7
60 min	30,9	31,1	29,3	29,2
90 min	33,4	34,1	32,9	32,6
2 h	35,3	36,5	35,6	35,3
3 h	38,2	40,0	39,9	39,5
4 h	40,4	42,8	43,3	42,7
6 h	43,7	47,0	48,6	47,8
9 h	47,2	51,6	54,4	53,4
12 h	49,9	55,1	59,0	57,8
18 h	54,0	60,5	66,2	64,7
24 h	57,1	64,7	71,8	70,0
48 h	66,9	72,5	80,3	78,8
72 h	73,3	77,6	85,8	84,5

Es ist gut zu erkennen, dass die Starkregenmengen auf Fehmarn etwas geringer ausfallen als auf dem Festland.

3. Grundwasserneubildung

Generell ist zwischen Sickerwasser und Grundwasserneubildung zu unterscheiden. Die Sickerwassermenge bezieht sich auf die im Boden unter dem Einfluss der Schwerkraft versickernden Wassermengen an der Basis des Wurzelraums. Die Grundwasserneubildung hingegen ist nach DIN 4049-3 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1994) als „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“ definiert. Dies bedeutet, dass nicht alles Sickerwasser auch Grundwasserneubildung wird. Befinden sich wasserstauende Schichten zwischen Bodenoberfläche und Grundwasserspiegel, so wird ein Teil des Sickerwassers (ggf. auch alles) lateral als sog. Interflow abgeführt. Dieser Teil kann folglich nicht zur Grundwasserneubildung beitragen. Für das Untersuchungsgebiet sind die langjährig mittleren Sickerwasser- und Grundwasserneubildungsmengen in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt.

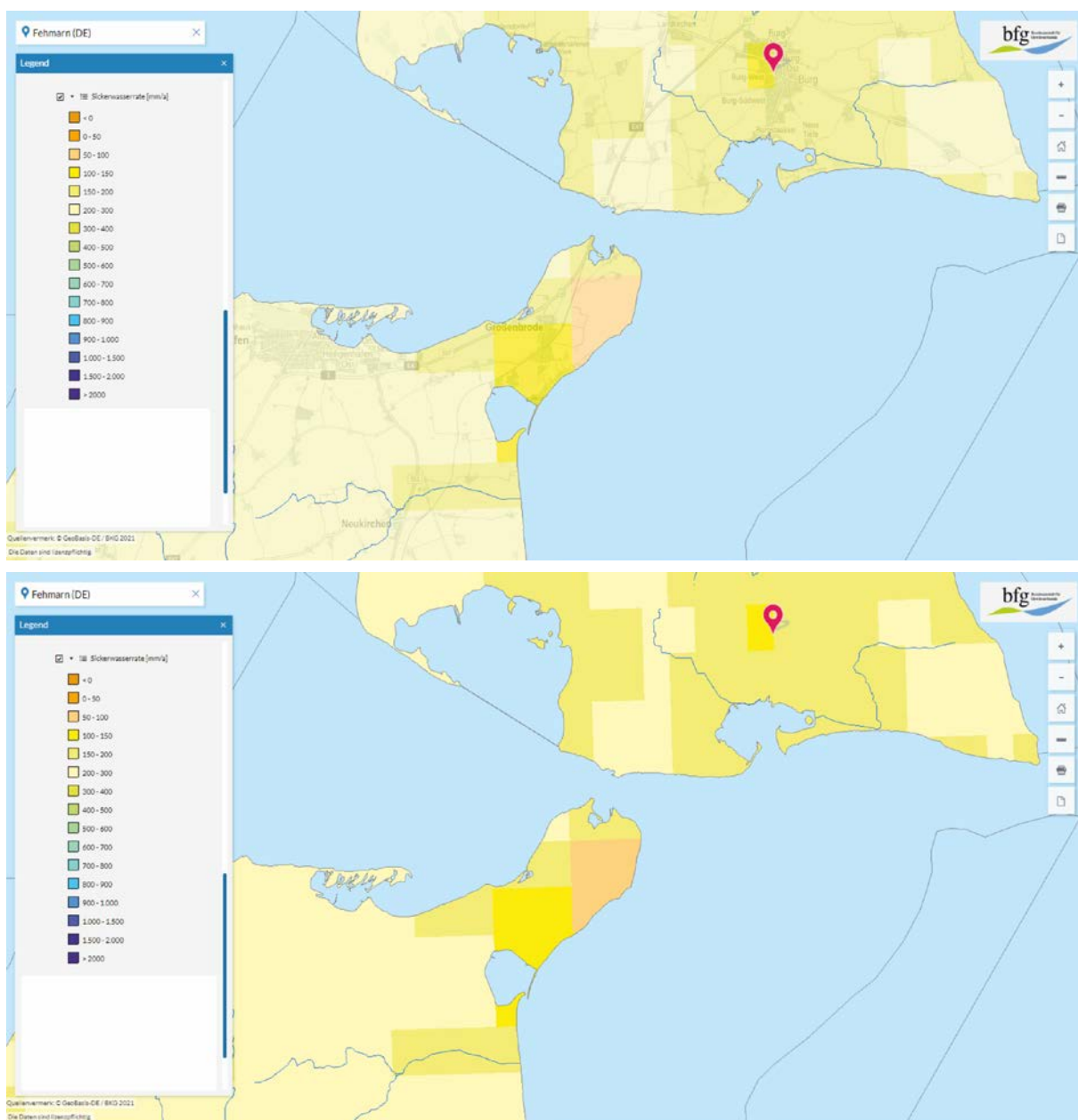


Abb. 5: Langjährig mittlere Sickerwassermengen für den Zeitraum 1961 – 1990 (HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland, BFG-FACHPORTAL, 2020)

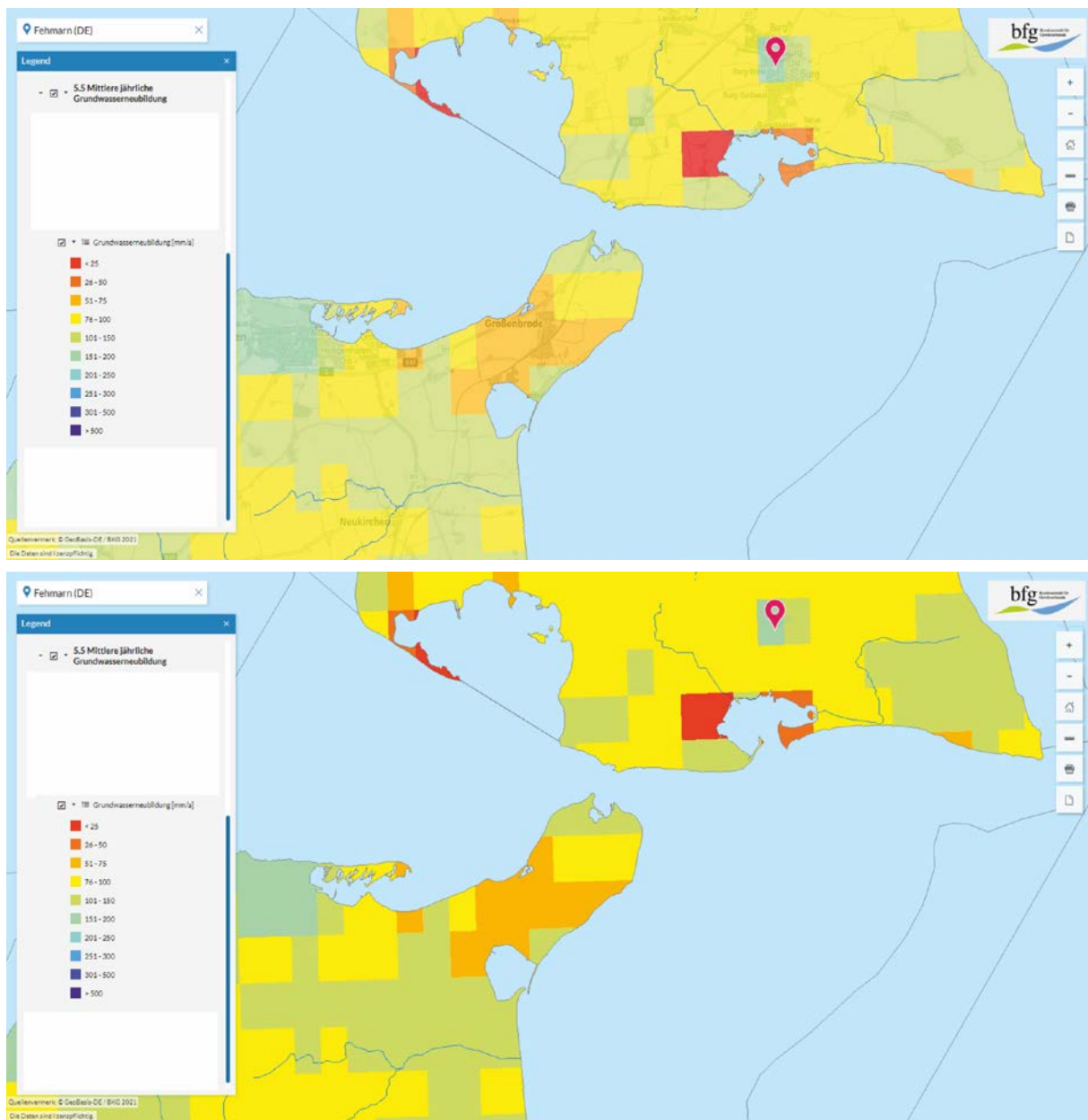


Abb. 6: Langjährig mittlere Grundwasserneubildungsmengen für den Zeitraum 1961 – 1990 (HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland, BFG-FACHPORTAL, 2020)

Die langjährig mittleren jährlichen Sickerwassermengen bewegen sich im Untersuchungsgebiet zwischen etwa 50 und 200 mm/a. Die Grundwasserneubildungsmengen liegen zwischen etwa 50 und 150 mm/a. Dies bedeutet, dass der überwiegende Teil des Sickerwassers zur Grundwasserneubildung beiträgt und Interflow nur eine untergeordnete Rolle spielt.

4. Weitere Klimagrößen

Aus dem HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland (BFG-FACHPORTAL, 2020) lassen sich weitere klimatisch interessante Größen abgreifen:

- langjährig mittlere potenzielle Verdunstung ETP = 550 – 575 mm/a,

- langjährig mittlere tatsächliche Verdunstung $ETR = 525 - 550 \text{ mm/a}$,
- langjährig mittlere klimatische Wasserbilanz $KWB = +50 \dots +100 \text{ mm/a}$ und
- langjährig mittlerer Abfluss $R < 200 \text{ mm/a}$.

Den Datenbanken des Deutschen Wetterdienstes DWD, CDC Climate Data Centre (Datenquelle <https://www.dwd.de/DE/leistungen/cdc/climate-data-center>) lassen sich langjährig mittlere Werte für die Klimaelemente Temperatur und Sonnenscheindauer für die Station Fehmarn entnehmen (Riehe 1991 – 2020):

- Jahresmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe: $9,5 \text{ °C}$ und
- mittlere Jahressumme der Sonnenscheindauer: $1\,808 \text{ h}$.

5. Literaturverzeichnis

BfG-Fachportal (2020): HAD Hydrologischer Atlas von Deutschland, https://www.bafg.de/DE/05_Wissen/01_InfoSys/HAD-Seite/HAD.html

DIN Deutsches Institut für Normung (1994): DIN 4049-3 – Hydrologie: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. Beuth-Verlag Berlin.

Junghänel, T., H. Ertel und T. Deutschländer (2017): KOSTRA-DWD-2010R, Bericht zur Revision der koordinierten Starkregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach a. M., Juli 2017, Selbstverlag.

Richter, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 194; Offenbach.

6. Anlagenverzeichnis

Anlage 1: KOSTRA-Starkregenhöhen für den Untersuchungsstandort

Anlage

Anlage 1:

KOSTRA-Starkregenhöhen für den Untersuchungsstandort

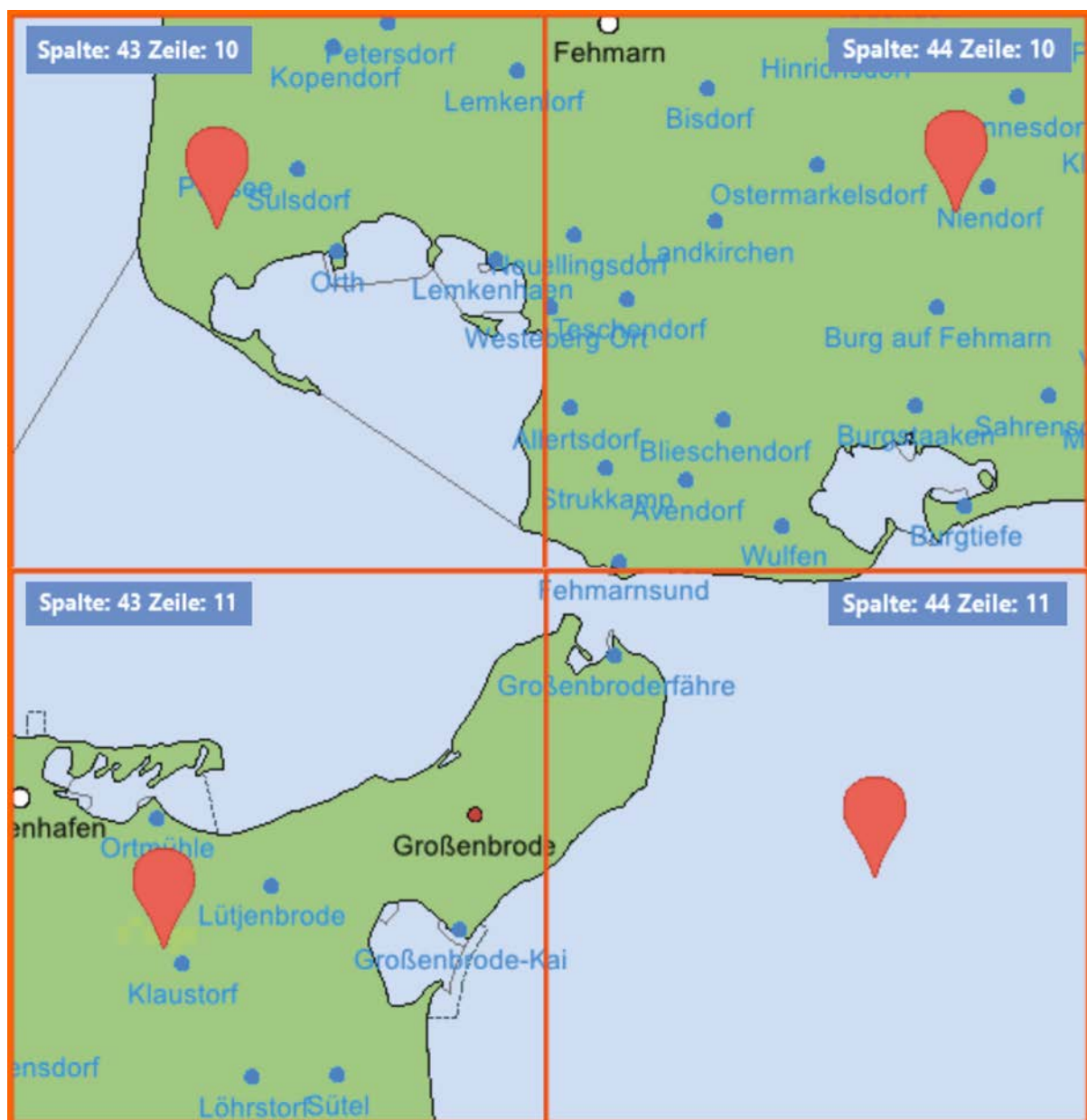
a) allgemeines:

Methodik: JUNGHÄNEL U. A., 2017 (KOSTRA-DWD-2010R)

Datenquelle: Deutscher Wetterdienst:

https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/return_periods/precipitation/KOSTRA/KOSTRA_DWD_2010R/asc/

Rasterfelder:



Fortsetzung Anlage 1:

KOSTRA-Starkregenhöhen für den Untersuchungsstandort

b) Starkregenmengen für Zeile 10, Spalte 43 (Index_rc: 10043):

	Niederschlagshöhen hN [mm] je Wiederkehrintervall T [a]								
Dauerstufe	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	4,3	5,5	6,2	7,2	8,4	9,7	10,4	11,3	12,5
10 min	6,8	8,5	9,6	10,8	12,6	14,3	15,3	16,6	18,3
15 min	8,5	10,6	11,8	13,4	15,4	17,5	18,8	20,3	22,4
20 min	9,7	12,1	13,5	15,3	17,7	20,1	21,5	23,2	25,6
30 min	11,3	14,2	15,9	18,0	20,9	23,8	25,5	27,7	30,6
45 min	12,7	16,2	18,3	20,8	24,4	27,9	29,9	32,5	36,1
60 min	13,5	17,5	19,9	22,9	26,9	30,9	33,3	36,3	40,3
90 min	14,8	19,1	21,6	24,8	29,1	33,4	36,0	39,2	43,5
2 h	15,7	20,3	22,9	26,3	30,8	35,3	38,0	41,3	45,9
3 h	17,2	22,0	24,9	28,5	33,3	38,2	41,1	44,6	49,5
4 h	18,3	23,4	26,4	30,2	35,3	40,4	43,4	47,1	52,2
6 h	20,0	25,5	28,7	32,7	38,2	43,7	46,9	50,9	56,4
9 h	21,9	27,7	31,2	35,5	41,4	47,2	50,7	55,0	60,8
12 h	23,3	29,4	33,0	37,6	43,8	49,9	53,5	58,1	64,2
18 h	25,4	32,0	35,9	40,8	47,4	54,0	57,9	62,7	69,3
24 h	27,1	34,0	38,1	43,2	50,2	57,1	61,1	66,3	73,2
48 h	33,4	41,2	45,7	51,4	59,1	66,9	71,4	77,1	84,8
72 h	37,8	46,0	50,8	56,8	65,0	73,3	78,1	84,1	92,3

Legende:

T Wiederkehrintervall (Jährlichkeit) [a], in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet

D Dauerstufe [min, h], definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen

hN Niederschlagshöhe [mm]

Wenn die angegebenen Werte für Planungszwecke herangezogen werden, sollte für hN(D,T) in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall

bei $1 \text{ a} \leq T \leq 5 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 10 \%$,

bei $5 \text{ a} < T \leq 50 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 15 \%$,

bei $50 \text{ a} < T \leq 100 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 20 \%$

Berücksichtigung finden.

Fortsetzung Anlage 1:

KOSTRA-Starkregenhöhen für den Untersuchungsstandort

c) Starkregenmengen für Zeile 10, Spalte 44 (Index_rc: 10044):

	Niederschlagshöhen hN [mm] je Wiederkehrintervall T [a]								
Dauerstufe	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	4,3	5,5	6,3	7,2	8,5	9,8	10,5	11,4	12,7
10 min	6,8	8,6	9,6	10,9	12,6	14,4	15,4	16,7	18,5
15 min	8,5	10,6	11,9	13,4	15,6	17,7	18,9	20,5	22,6
20 min	9,7	12,1	13,5	15,3	17,8	20,2	21,6	23,4	25,8
30 min	11,3	14,2	15,9	18,1	21,0	24,0	25,7	27,9	30,8
45 min	12,7	16,2	18,3	20,9	24,5	28,0	30,1	32,7	36,3
60 min	13,5	17,6	19,9	22,9	27,0	31,1	33,4	36,4	40,5
90 min	14,9	19,3	21,9	25,2	29,7	34,1	36,7	40,0	44,5
2 h	15,9	20,6	23,4	26,9	31,7	36,5	39,2	42,7	47,5
3 h	17,5	22,7	25,7	29,6	34,8	40,0	43,1	46,9	52,1
4 h	18,7	24,3	27,5	31,6	37,2	42,8	46,0	50,1	55,7
6 h	20,6	26,7	30,3	34,8	40,9	47,0	50,5	55,0	61,1
9 h	22,6	29,3	33,2	38,2	44,9	51,6	55,5	60,4	67,1
12 h	24,2	31,4	35,5	40,8	48,0	55,1	59,3	64,6	71,7
18 h	26,6	34,5	39,1	44,8	52,7	60,5	65,1	70,9	78,7
24 h	28,5	36,9	41,8	47,9	56,3	64,7	69,6	75,7	84,1
48 h	34,3	43,1	48,3	54,8	63,6	72,5	77,6	84,1	93,0
72 h	38,2	47,3	52,6	59,3	68,4	77,6	82,9	89,6	98,7

Legende:

T Wiederkehrintervall (Jährlichkeit) [a], in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet

D Dauerstufe [min, h], definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen

hN Niederschlagshöhe [mm]

Wenn die angegebenen Werte für Planungszwecke herangezogen werden, sollte für hN(D,T) in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall

bei $1 \text{ a} \leq T \leq 5 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 10 \%$,

bei $5 \text{ a} < T \leq 50 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 15 \%$,

bei $50 \text{ a} < T \leq 100 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 20 \%$

Berücksichtigung finden.

Fortsetzung Anlage 1:

KOSTRA-Starkregenhöhen für den Untersuchungsstandort

d) Starkregensmengen für Zeile 11, Spalte 43 (Index_rc: 11043):

	Niederschlagshöhen hN [mm] je Wiederkehrintervall T [a]								
Dauerstufe	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	4,3	5,6	6,4	7,4	8,7	10,0	10,8	11,8	13,1
10 min	6,8	8,6	9,6	10,9	12,7	14,4	15,5	16,8	18,5
15 min	8,5	10,6	11,8	13,3	15,4	17,5	18,7	20,2	22,3
20 min	9,7	12,0	13,4	15,1	17,5	19,8	21,2	22,9	25,2
30 min	11,3	14,0	15,7	17,7	20,4	23,2	24,8	26,8	29,6
45 min	12,7	15,9	17,8	20,2	23,5	26,7	28,6	31,0	34,3
60 min	13,5	17,2	19,3	22,0	25,6	29,3	31,4	34,1	37,8
90 min	15,0	19,1	21,5	24,6	28,7	32,9	35,3	38,3	42,4
2 h	16,2	20,7	23,3	26,6	31,1	35,6	38,3	41,6	46,1
3 h	18,0	23,1	26,0	29,8	34,9	39,9	42,9	46,7	51,7
4 h	19,4	24,9	28,2	32,2	37,8	43,3	46,5	50,6	56,2
6 h	21,5	27,8	31,4	36,1	42,3	48,6	52,2	56,8	63,1
9 h	23,9	31,0	35,1	40,3	47,4	54,4	58,6	63,8	70,8
12 h	25,8	33,5	38,0	43,7	51,4	59,0	63,5	69,2	76,9
18 h	28,7	37,4	42,4	48,8	57,5	66,2	71,3	77,7	86,4
24 h	30,9	40,4	45,9	52,9	62,4	71,8	77,4	84,3	93,8
48 h	37,0	47,1	52,9	60,3	70,3	80,3	86,2	93,5	103,5
72 h	41,2	51,5	57,6	65,2	75,5	85,8	91,9	99,5	109,8

Legende:

T Wiederkehrintervall (Jährlichkeit) [a], in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet

D Dauerstufe [min, h], definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen

hN Niederschlagshöhe [mm]

Wenn die angegebenen Werte für Planungszwecke herangezogen werden, sollte für hN(D,T) in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall

bei $1 \text{ a} \leq T \leq 5 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 10 \%$,

bei $5 \text{ a} < T \leq 50 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 15 \%$,

bei $50 \text{ a} < T \leq 100 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 20 \%$

Berücksichtigung finden.

Fortsetzung Anlage 1:

KOSTRA-Starkregenhöhen für den Untersuchungsstandort

e) Starkregensmengen für Zeile 11, Spalte 44 (Index_rc: 11044):

	Niederschlagshöhen hN [mm] je Wiederkehrintervall T [a]								
Dauerstufe	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	4,3	5,6	6,4	7,4	8,8	10,1	10,9	11,9	13,3
10 min	6,8	8,6	9,6	11,0	12,7	14,5	15,6	16,9	18,7
15 min	8,5	10,6	11,8	13,4	15,4	17,5	18,8	20,3	22,4
20 min	9,7	12,0	13,4	15,1	17,5	19,8	21,2	22,9	25,3
30 min	11,3	14,0	15,7	17,7	20,4	23,2	24,8	26,8	29,6
45 min	12,7	15,9	17,8	20,2	23,4	26,7	28,6	30,9	34,2
60 min	13,5	17,1	19,2	21,9	25,6	29,2	31,3	34,0	37,6
90 min	14,9	19,0	21,4	24,4	28,5	32,6	35,0	38,0	42,1
2 h	16,1	20,5	23,1	26,4	30,8	35,3	37,9	41,2	45,6
3 h	17,8	22,8	25,7	29,4	34,4	39,5	42,4	46,1	51,1
4 h	19,1	24,6	27,8	31,8	37,3	42,7	45,9	49,9	55,4
6 h	21,1	27,3	30,9	35,4	41,6	47,8	51,4	55,9	62,1
9 h	23,4	30,3	34,4	39,5	46,5	53,4	57,5	62,6	69,6
12 h	25,1	32,7	37,1	42,7	50,3	57,8	62,3	67,8	75,4
18 h	27,8	36,4	41,3	47,6	56,2	64,7	69,7	76,0	84,5
24 h	29,9	39,2	44,6	51,5	60,7	70,0	75,5	82,3	91,6
48 h	36,0	45,9	51,7	59,0	68,9	78,8	84,6	91,9	101,8
72 h	40,1	50,4	56,4	63,9	74,2	84,5	90,5	98,0	108,3

Legende:

T Wiederkehrintervall (Jährlichkeit) [a], in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet

D Dauerstufe [min, h], definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen

hN Niederschlagshöhe [mm]

Wenn die angegebenen Werte für Planungszwecke herangezogen werden, sollte für hN(D,T) in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall

bei $1 \text{ a} \leq T \leq 5 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 10 \%$,

bei $5 \text{ a} < T \leq 50 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 15 \%$,

bei $50 \text{ a} < T \leq 100 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 20 \%$

Berücksichtigung finden.

Hydrogeologischer Bericht zur Ermittlung der Auswirkung der Baumaßnahme auf die Grundwasserdynamik – 1. Revision

(IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH)

<p>Projekt: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) Neubau der B 207 PFA Fehmarnsundquerung (FSQ)</p> <p>Unterlage für Wasserwirtschaftliche Belange</p>			<p>IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de</p>	
<p>Hydrogeologischer Bericht zur Ermittlung der Auswirkung der Baumaßnahme auf die Grundwasserdynamik – 1. Revision</p>	<p>Maßstab:</p>	<p>-</p>	<p>Proj.-Nr.:</p>	<p>70-22-087</p>
	<p>Gezeichnet:</p>	<p>Niegel</p>	<p>Anl.-Nr.:</p>	<p>5.11.1 – 5.11.37</p>
	<p>Geprüft:</p>	<p>Scandolo</p>	<p>Datum:</p>	<p>27.03.2025</p>

Projekt: ABS/NBS Hamburg – Lübeck – Puttgarden
Fehmarnsundquerung (FSQ)

Hydrogeologischer Bericht

zur Ermittlung der Auswirkung der Baumaßnahme auf die
Grundwasserdynamik – 1. Revision

Auftraggeber: DB InfraGO AG
I.II-N-F
Hammerbrookstraße 44
20097 Hamburg



Bestellung: 0016 / CD6 / 11210734, 0016 / CD6 / 42200285
0016 / CD6 / 42251049

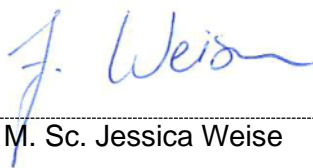
bearbeitet durch: IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH
Waisenhausstraße 10
09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 7989-0
E-Mail: kontakt@ibes-freiberg.de
www.ibes-freiberg.de

Projektnummer: 70-22-087-02

Datum: 28.04.2025



M. Sc. Janko Scandolo



M. Sc. Jessica Weise



Dr. Sebastian Niegel

Das Gutachten umfasst 36 Blatt einschließlich Anlagen.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Anlagenverzeichnis.....	4
1 Veranlassung.....	5
2 Verwendete Unterlagen und Literatur	6
3 Geotechnik-Software GGU-2D-SSFLOW.....	9
3.1 Allgemeines	9
3.2 Theoretische Grundlagen	10
4 Modellgrundlagen	11
4.1 Geologie.....	11
4.2 Hydrogeologie	12
4.2.1 Allgemein	12
4.2.2 Teil-Grundwasserkörper	13
4.3 Bauwerke	16
5 Modellierung der Grundwasserströmung auf dem Festland.....	17
5.1 Modellierung ohne Bauwerk.....	21
5.2 Modellierung mit Bauwerk.....	21
5.3 Auswertung und Interpretation	22
6 Modellierung der Grundwasserströmung auf Fehmarn	24
6.1 Modellierung ohne Bauwerk.....	26
6.2 Modellierung mit Bauwerk.....	27
6.3 Auswertung und Interpretation	28
7 Bewertung der Ergebnisse	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aus den Ganglinien abgelesene Grundwasserstände zur Stichtagsmessung 12.01.2023 ([U6], [U7] und [U14])	16
Tabelle 2: Randbedingungen für die Modellierung des Bauwerks auf dem Festland	20
Tabelle 3: Randbedingungen für die Modellierung des Bauwerks auf Fehmarn	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: GWM Trockendock, Grundwasserganglinien Zeitraum 08.07.2021 bis 18.11.2023 (entnommen aus [U6])	18
Abbildung 2: GWM Trogbauwerk Festland (GWM B 155a, GWM B 20, GWM B 123), Grundwasserganglinien Zeitraum 28.10.2022 bis 17.11.2023 (entnommen aus [U14])	19
Abbildung 3: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	21
Abbildung 4: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	22
Abbildung 5: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	23
Abbildung 6: GWM Trogbauwerk Fehmarn (GWM B 94, GWM B 106, GWM B 110 (ab 25.03.22)), Grundwasserganglinien Zeitraum 17.09.2021 bis 18.01.2024 (entnommen aus [U14])	24
Abbildung 7: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	27
Abbildung 8: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	28
Abbildung 9: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen inkl. Darstellung der Grundwasserscheide ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	29
Abbildung 10: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse	30

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Modellierte Grundwasserströmung
Anlage 1.1	Festland, Isohypsen ohne Bauwerk und verbleibende Strukturen
Anlage 1.2	Festland, Isohypsen mit Bauwerk und verbleibende Strukturen
Anlage 1.3	Fehmarn, Isohypsen ohne Bauwerk
Anlage 1.4	Fehmarn, Isohypsen mit Bauwerk

W:\Für meine Gruppen\70\IBES\Projekte 2022\70-22-087 DB Hydrogeol. Gutachten FSQ_Sri_Sc\Baugrunderkundung\Berichte\70-22-087-02_Grundwasserdynamik\z. Arbeitsstand_GW-Dynamik\70-22-087-02_HB_Stand 25-04-28_Tmü.docx

1 Veranlassung

Im September 2008 wurde mit einem Staatsvertrag zwischen dem Königreich Dänemark und der Bundesrepublik Deutschland (BRD) der Bau einer „Festen Fehmarnbeltquerung“ beschlossen. Während Dänemark sich zum Bau des Tunnels durch den Fehmarnbelt verpflichtet hat, ist die Bundesrepublik Deutschland verantwortlich für die Herstellung einer leistungsfähigen landseitigen Straßen- und Schienenanbindung für das Bauwerk auf deutscher Seite (Hinterlandanbindung).

Für den Ausbau der Eisenbahnstrecke Lübeck – Puttgarden wurde die DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024 DB Netz AG) im Jahr 2008 auf der Grundlage des Bundesschienenwegeausbaugesetzes (BSWAG) vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, vormals BMVI) beauftragt. Die vorhandene Eisenbahnstrecke Lübeck –

Puttgarden (DB-Strecken-Nr. 1100) soll auf ca. 88 km zweigleisig ausgebaut, elektrifiziert und streckenweise auf eine maximale Geschwindigkeit von 200 km/h ertüchtigt werden. Als Ergebnis eines vom Land Schleswig-Holstein durchgeführten Raumordnungsverfahrens (ROV) werden durch Umfahrungen davon 55 km als Neubaustrecke realisiert.

Gemäß Bundesverkehrswegeplan 2030 und dem Gesetz zur Änderung des Fernstraßenausbaugesetzes vom 23.12.2016 wird die B 207 mit einem vierstreifigen Querschnitt zwischen Heiligenhafen-Ost und Puttgarden ausgebaut. Der Planfeststellungsbeschluss für den Ausbau der B 207 wurde 2015 erlassen. Dieser ist seit dem 25.08.2021 bestandskräftig. Die DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (nachfolgend kurz DEGES) wurde im Jahr 2019 vom Land Schleswig-Holstein beauftragt, den Ausbau der B 207 zu realisieren.

Im Zuge der Anbindung des Fehmarnbelt-Tunnels an das deutsche Schienen- und Straßennetz ist ein leistungsfähiger Ersatz bzw. eine Erweiterung für die bestehende Fehmarnsundquerung zwischen der Insel Fehmarn und dem ostholsteinischen Festland notwendig. Im Jahr 2010 durchgeführte Belastungstests haben gezeigt, dass die Fehmarnsundbrücke von 1963 den künftigen Belastungen des Verkehrs von Straße und Schiene nicht mehr gewachsen ist.

Deshalb wurden nachgelagert zum Projektauftrag von 2008 ab dem Jahr 2014 in einem aufwändigen Verfahren zahlreiche Varianten (Bohr- und Absenktunnel sowie kombinierte und getrennte Brücken) für eine leistungsfähigere Sundquerung untersucht. Der auf Ebene der Vorplanung durchgeführte Variantenvergleich hat als Vorzugsvariante einen „Kombinierten Absenktunnel“ für den zukünftigen Straßen- und Eisenbahnverkehr ergeben.

Die Tunnellösung mit Erhalt der Fehmarnsundbrücke trägt den verkehrlichen Erfordernissen im Hinblick auf Leichtigkeit und Sicherheit Rechnung und entspricht zudem der im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung vom „Dialogforum Feste Fehmarnbeltquerung“ erarbeiteten Konsensvariante.

Der kombinierte Absenktunnel für Schiene und Straße wird gemeinsam von den Vorhabenträgerinnen DB InfraGO AG und Bundesrepublik Deutschland, letztgenannte vertreten durch das Land Schleswig-Holstein, vertreten durch die DEGES, geplant und realisiert. Die Ertüchtigung der Fehmarnsundbrücke für die langsamen Verkehre wird durch die DEGES im Auftrag des Landes Schleswig-Holstein als eigenständiges Projekt realisiert.

Um die Auswirkungen des geplanten Bauwerkes auf die Grundwasserströmungsverhältnisse bewerten zu können, werden Modellierungen erforderlich. Hierzu werden die Grundwasserströmungsverhältnisse ohne das Bauwerk und mit integriertem Bauwerk modelliert.

Im Zuge der Überarbeitung der Vorabinformationen ([U12], [U13]) kam es in den aktuell vorliegenden Geotechnischen Berichten ([U6], [U7], [U8], [U9], [U14], [U16]) zur Anpassung von Wasserständen an Grundwassermessstellen und Bohrprofilen. Ferner erfolgte eine Neubewertung der Grundwasserleiter hinsichtlich ihrer Sundwasserkorrespondenz. Dies hat Änderungen an den bisher durchgeführten Modellierungen zur Folge.

Der vorliegende Hydrogeologische Bericht wurde daher in der 1. Revision u. a. hinsichtlich der korrigierten Grundwasserstände unter Berücksichtigung der aktuellen Geotechnischen Berichte angepasst und ersetzt den Hydrogeologischen Bericht vom 16.11.2023.

2 Verwendete Unterlagen und Literatur

Projektbezogene Unterlagen:

- [U1] DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024, DB Netz AG): Leistungsanfrage, 1. Maßnahme A043054, SAP-RV-Nummer: 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per Lieferantenportal der Deutschen Bahn vom 31.03.2022
- [U2] IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH: Leistungsbestätigung, 1. Maßnahme A043054, SAP-RV-Nummer: 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per Lieferantenportal der Deutschen Bahn vom 31.03.2022
- [U3] DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024, DB Netz AG): Bestellung 0016 / CD6 / 11210734 zum Rahmenvertrag Nr.: 1000 / EBO / 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per E-Mail vom 08.04.2022
- [U4] DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024, DB Netz AG): Bestellung 1.Nachtrag 0016 / CD6 / 42200285 zum Rahmenvertrag Nr.: 1000 / EBO / 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per E-Mail vom 24.02.2023

- [U5] DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024, DB Netz AG): Bestellung 2.Nachtrag 0016 / CD6 / 42251049 zum Rahmenvertrag Nr.: 1000 / EBO / 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per E-Mail vom 16.08.2023
- [U6] PFU 41.02 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Trockendock Bahn Bau-km 172,2+03 – Bau-km 172,9+17, Geotechnischer Bericht, Hamburg, 24. Mai 2024
- [U7] PFU 41.03 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Tunnel offene Bauweise Bau-km 174,6+82 – Bau-km 174,8+59, Baugrundbeurteilung, Hamburg, 01. Juli 2024
- [U8] PFU 41.03 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Tunnel offene Bauweise Bau-km 174,6+82 – Bau-km 174,8+59, Gründungsbeurteilung, Hamburg, 25. Juni 2024
- [U9] PFU 41.01 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Absenktunnel Bau-km 172,8+73 – Bau-km 174,6+82, Baugrundbeurteilung, Hamburg, 18. März 2024
- [U10] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Pump- und Absenkversuche, Stellungnahme, Vorabzug, Hamburg, 14.09.2022
- [U11] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: Fehmarnsundquerung (FSQ) RV-Trasse Variantenuntersuchung im Rahmen einer Vorplanung, Hydrogeologischer Bericht, Hamburg, 21.01.2020
- [U12] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: Höhenbänder (Vorabzug), per E-Mail vom 13.02.2023
- [U13] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: Ganglinien zu den Grundwassermessstellen (Vorabzug), per E-Mail vom 21.02.2023
- [U14] PFU 41.04 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Trogbauwerke Großenbrode Bau-km 171,5+47 bis Bau-km 172,2+03, Fehmarn Bau-km 174,8+59 bis Bau-km 175,7+42, Geotechnischer Bericht, Hamburg, 22. April 2024
- [U15] Ingenieurgemeinschaft fehmarlink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH: Planungsunterlagen zu Baugruben, per E-Mail vom 29.09.2023 und 14.12.2023
- [U16] PFU 41.07 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Streckenabschnitte B 207, 28.04.2025

Bau-km 0-044 – Bau-km 1+760, Bau-km 4+863 – Bau-km 6+342,
Geotechnischer Bericht, Hamburg, 13. September 2024

- [U17] IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH: Hydrogeologischer Bericht zur Ermittlung der Auswirkung der Baumaßnahme auf Grundwasserdynamik (IBES-Projekt-Nr. 70-22-087-02), 16.11.2023

Allgemeine Unterlagen:

- [U18] GGU Zentrale Verwaltung mbH (2019): Berechnung von Grundwasserströmung mit Finiten Elementen in zweidimensionalen Systemen – GGU-SS-FLOW2D, Version 11, Braunschweig
- [U19] Jakobsen, O. (2004): Die Grube-Wesseker Niederung (Oldenburger Graben, Ostholstein): Quartärgeologische und geoarchäologische Untersuchungen zur Landschaftsgeschichte vor dem Hintergrund des anhaltenden postglazialen Meeresspiegelanstiegs, Kiel
- [U20] Johannsen, A. (1958): Insel Fehmarn - 3. Hydrogeologie 1:50 000. In: Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein [Hrsg.] (1958): Geologische Landesaufnahme von Schleswig-Holstein, Kiel
- [U21] Johannsen, A. (1980): Hydrogeologie von Schleswig-Holstein. In: BGR- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.] (1980): Geologisches Jahrbuch Reihe C, Heft 28, Hydrogeologie - Ingenieurgeologie, Hannover
- [U22] Toloczyki, M.; Trurnit, P.; Voges, A.; Wittekindt, H.; Zitzmann, A. (2006): Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (GK1000). BGR- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Hannover
- [U23] BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2002): Geoviewer - Hydrogeologie Deutschland (Sammlung 9 Hydrologische Karten), Hannover
- [U24] Ingenieurgesellschaft Dr. Reinsch mbH (2012): Hydrogeologisches Sondergutachten zur Raumordnerischen Umweltverträglichkeitsuntersuchung (RO-UVS / RVU) - Schienenhinterlandanbindung Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ), Sukow bei Schwerin
- [U25] BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland - Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gesteine, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung, Hannover
- [U26] TGP/KfL (2017): Vierspuriger Ausbau der B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und Puttgarden - Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie, o. O.
- [U27] Busch, K.-F. und Luckner, L. (1974): Geohydraulik für Studium und Praxis, Enke Verlag.

3 Geotechnik-Software GGU-2D-SSFLOW

Die GGU-Software steht für projektbegleitende Lösungen zur Bearbeitung von u. a. Erkundungsdaten, Standsicherheit und Auswertung von bodenmechanischen Laborversuchen und der Modellierung von Strömungsvorgängen. Letzteres kann mit GGU-2D-SSFLOW umgesetzt werden. Die Funktionsweise wird im nachfolgenden Kapitel erläutert.

3.1 Allgemeines

Die Software dient der vereinfachten geohydraulischen Berechnung modelltechnischer Lösungsverfahren für unterirdische Strömungsvorgängen des Grundwassers und Stofftransporte im zweidimensionalen Raum. Bei der Berechnung von komplexen Grundwassersystemen muss auf numerische Lösungsverfahren zurückgegriffen werden. Hierfür sind zum einen Finite-Differenz-Methoden (FDM) und Finite-Element-Methoden (FEM) anwendbar. Finite Verfahren sind gekennzeichnet durch die Aufspaltung eines Gesamtgebietes in kleinere Teilgebiete (finite Elemente). Bei der FDM besteht lediglich die Möglichkeit das Gesamtgebiet durch rechteckige Teilgebiete abzutasten.

Bei der FEM werden die Teilgebiete hingegen durch Dreiecke dargestellt, welche durch einfache lineare Annäherungsfunktionen mit ihrem Nachbardreiecken in Verbindung treten. Die Gesamtlösung wird anschließend aus den Teilergebnissen mosaikartig als komplexe Differentialgleichung zusammengefügt. Der Vorteil des FEM gegenüber dem einfacheren FDM ist somit die erhöhte Flexibilität bei der Annahme von Randstrukturen. Der Vorteil der FDM liegt lediglich in der theoretisch weniger aufwendigen mathematischen Grundbeziehung. Die Software GGU-2D-SSFLOW nutzt die Finite-Element-Methode [U18].

Grundsätzlich ist bei der Anwendung von Finite-Element-Methoden zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um die Anwendung von Näherungsverfahren handelt und dass die Qualität dieser Annäherung mit zunehmender Kleinteiligkeit des Netzes steigt [U18].

Bei dem Programm ist zu beachten, dass neben der Nutzung von Dreieckselementen, das Darcy-Gesetz angewandt wird. Die Standrohrspiegelhöhen werden aus linearen Annäherungen elementweise berechnet, wodurch sich eine konstante Annäherung der Geschwindigkeit ergibt [U18].

In den Modellen wurde eine lateral aushaltende wasserführende Schicht flächendeckend bis zum Sundwasser gewählt, da es auf dem Festland und auf Fehmarn jeweils nur einen maßgebenden Grundwasserleiter gibt und vorrangig Schichtwasser auftritt.

Dieser vereinfachte Ansatz mit auf der sicheren Seite liegenden Parametern wird für eine grobe Abschätzung als ausreichend eingeschätzt.

Aufgrund der überwiegend geringen Durchlässigkeiten der wasserführenden Schichten, wird der Aufstau bereits vorab als sehr gering abgeschätzt.

3.2 Theoretische Grundlagen

Bei der Modellierung von Grundwasserströmungsmodellen kann in GGU-2D-SSFLOW grundsätzlich zwischen zwei Systemen unterschieden werden.

Bei einem horizontal ebenen System wird die Grundwasserströmung als Draufsicht dargestellt, wo hingegen bei einem vertikal ebenen System die Grundwasserströmung mittels vertikalen Schnittes durch ein Bauwerk (bspw. Damm, Wehr) modelliert wird [U18].

Die Modellierung der Grundwasserströmung an der Fehmarnsundquerung wird mittels horizontal ebenen Systems realisiert.

Das Programm löst die Differentialgleichung: $T_x * \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + T_y * \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + Q = 0$

Darin bedeuten,

T_x, T_y	= Transmissivität in z. B. m ² /s für x- und y-Richtung
h	= Standrohrspiegelhöhe in z. B. m NHN
k_v	= Durchlässigkeit Deckschicht in z.B. m/s
d_v	= Dicke Deckschicht in z. B. m
Q	= Wassermenge in z. B. m ³ /s
x, y	= Koordinaten z. B. x in m und y in m NHN
H	= Wasserstand über der Deckschicht in z. B. m NHN

Die Transmissivitäten ergeben sich aus dem Produkt von Durchlässigkeitswert k_x bzw. k_y und der Grundwasser erfüllten Mächtigkeit des Grundwasserleiters d in z. B. m. Im Fall von gespannten Grundwasserleitern ist der Wert von d von Anfang an bekannt. Im Fall eines nicht gespannten Grundwasserleiters sind die Transmissivitäten nicht unmittelbar bekannt, da sich, abhängig von der Lage des Grundwasserspiegels, überall andere Werte einstellen können.

In diesem Fall ist zur Berechnung des jeweiligen Systems eine Iteration erforderlich, um die Lage der Sickerlinie zu bestimmen. Dieser Iterationsprozess wird vom Programm selbständig durchgeführt [U18].

Bei der Modellierung ist zu beachten, dass der Fall einer undurchlässigen Umrandung bei der Finiten-Element-Methode bereits berücksichtigt wird, was bedeutet, dass alle Systemränder, denen keine Randbedingung zugewiesen wird, automatisch als undurchlässig angesehen werden [U18].

4 Modellgrundlagen

4.1 Geologie

Im gesamten Untersuchungsgebiet variieren die Schichtgeometrien und Sedimente in der lateralen Verbreitung und horizontalen Tiefenlage und sind somit diskontinuierlich. Ursache hierfür ist eine tiefgreifende glazialtektonische Überprägung, weshalb die Schichten in einer starken Diskordanz vorliegen. So sind z. B. jüngere und ältere Sedimente ineinander verzahnt und verschuppt vorhanden, unabhängig von ihrem eigentlichen Ablagerungszeitpunkt.

Ein genereller Schichtenverlauf ist daher im gesamten Untersuchungsgebiet nicht ableitbar, sondern zeichnet sich durch ein hohes Maß an kleinräumiger Variabilität aus.

Oberflächennah ist weitestgehend eine Deckmoräne aus vorwiegend sandigem Geschiebemergel vorhanden. Der dominante Formungsprozess ist glazial, weshalb Geschiebeböden, wie sandiger Geschiebemergel (Mg) oder toniger Geschiebemergel (Mg, t), dominant verbreitet sind. Durch eine glazialtektonische Verstellung wurde abschnittsweise in den Geschiebemergel der Tarraston eingearbeitet, der genetisch aus dem anstehenden, tieferen Untergrund stammt (Mg mit Tarras).

Das zweite dominante Sediment ist der eozäne Tarraston, der als grüne oder braune Variation vorkommt und im Liegenden unterhalb des Geschiebemergels großflächig vorhanden ist. Dieser ist jedoch glazialtektonisch verstellt und bereichsweise bis dicht unter die derzeitige Geländeoberkante zerschert und aufgefaltet.

Untergeordnet sind Sandlagen, Sandlinsen und -schichten vorhanden, die in der nun untersuchten Trasse jedoch kein Kontinuum ausbilden, sondern vorwiegend solitär verbreitet sind. An einzelnen Standorten sind die Sandlagen stark mit bindigen Böden verzahnt.

Im Sund, dicht an der Festlandküste gelegen, wurde eine größere Sandschicht erkundet. Eine weitere Sandschicht mit größerer Ausdehnung wurde auf der Insel Fehmarn in einem Tiefenniveau von rd. -20 m NHN bis -39 m NHN aufgeschlossen. Lediglich eine kompakte Sandbank wurde in der Nähe der Küstenlinie auf Fehmarn aufgeschlossen.

Die glazifluviatilen Beckenablagerungen (Beckenschluffe und Schluffe), wurden ebenfalls untergeordnet in geringmächtigen Lagen aufgeschlossen. Eine lokal höhere Verbreitung ist in den inselseitigen vorhanden.

Landseitige Aufschlüsse weisen eine Bedeckung aus durchwurzelbarem, humosem Oberboden in Mächtigkeiten von 0,3 m bis 0,7 m auf. Anthropogene Ausfüllungen wurden nicht aufgeschlossen.

Der Geschiebelehm ist gleichermaßen lediglich landseitig in den Aufschlüssen vorhanden und diskontinuierlich mit weitestgehend geringer Mächtigkeit unterhalb der Oberbodenauflage vorhanden. Eine untergeordnete Stellung nehmen im untersuchten Projektgebiet organische Böden wie Schlick und Mudden ein [U9].

4.2 Hydrogeologie

4.2.1 Allgemein

Der Bereich, in den der Neubau eingreift, gliedert sich in die Landzunge Großenbrode und die Insel Fehmarn sowie den Gewässerkörper Fehmarnsund.

Für die Betrachtung des hydrologischen Raums wird das Untersuchungsgebiet, da die großräumige Grundwassersituation zu bewerten ist, flächenhaft erweitert und aufgrund seiner inneren Homogenität als hydrogeologischer Teilraum „Wagrien-Fehmarn“ bezeichnet (Unterlage [U11]).

Die pleistozänen Ablagerungen aus den Grundmoränen der drei Hauptvereisungen Elster, Saale und Weichsel bilden die primäre Ablagerung des Teilraums „Wagrien-Fehmarn“. Die Eisvorstöße überfuhren oszillierend mehrfach den Untergrund und mächtige Geschiebemergellagen wurden abgelagert. Der Geschiebeboden ist zum Teil mit aufgearbeitetem Tarras-Ton vermischt. Die Grundmoränen sind kuppig ausgeprägt, mit deutlichem Relief. Der Untergrund ist glazialtektonisch gestaucht und verschuppt, kleinere Moränen sind überfahren. Die Grundmoränen haben die hydrogeologische Funktion eines Wasserstauers bzw. Wassergeleits und sind per se als Grundwasserkörper ungeeignet (vgl. [U21], Tab. 2).

Aus den Ergebnissen der Baugrunduntersuchung ergeben sich im Mittel Durchlässigkeitsbeiwerte für die zum Großteil bindig anstehenden Böden (Beckenschluff, Geschiebeböden, Tarraston) von höchstens $1 \cdot 10^{-7}$ (siehe [U14], [U6], [U7] und [U8]). Die Gebiete Großenbrode und Fehmarn sind weitestgehend aus den Geschiebeböden der Grundmoräne aufgebaut (Unterlage [U11]).

Untergeordnet lagern Glazialschotterdecken, bestehend aus Vorschüttsanden sowie Seiten- und Endmoränenwällen an der Oberfläche [U22]. Die Glazialschotterdecken bieten die hydrogeologische Voraussetzung, um als Grundwasserleiter zu fungieren. Dies ist jedoch abhängig von der Granulometrie, der Abdeckung und der Mächtigkeit (Unterlage [U11]).

Im Untersuchungsgebiet sind zwei für die Grundwasserführung relevante Endmoränenzüge bekannt: die Heiligenhafener- und die Wandelwitzer Höhen [U19], [U23]. Sie bestehen aus unsortierten Lockergesteinsmassen mit einer Teilbedeckung aus Schmelzwasserablagerungen und Vorschüttsanden.

Die Endmoränen sind im Untersuchungsgebiet mit Geschiebemergel überschoben, gestaucht und haben deshalb keine durchgehende Wasserwegsamkeit. Die hydrogeologische Funktion ist die eines Wasserleiters bis Wassergeringleiters (Unterlage [U11]).

Die untergeordnet vorkommenden Sanderflächen bestehend aus glazifluvialen Ablagerungen sind an den Flanken der Endmoränen stellenweise verbreitet und bilden den oberen Wasserleiter (z. B. an der Hanglage Klaustorf bis zur Ostsee). Die Sand- und Kieseinheiten besitzen eine gute bis sehr gute Durchlässigkeit und zeigen charakteristische Werte von $k_f = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Da dieser oberflächennahe Wasserleiter unbedeckt ansteht, ist er für wasserwirtschaftliche Zwecke weitestgehend ungeeignet, da er vulnerabel gegenüber Schadstoffeinträgen und durch direkten Kontakt mit dem Ostseewasser potenziell versalzen ist [U21] (gemäß Unterlage [U11]).

Die übrigen sandig-kiesigen Moränen sind entweder lediglich kleinräumig vorhanden oder infolge der eiszeitlichen Genese durch Gering- bis Nichtleiter voneinander abgeschnitten. Weiterhin sind die Wasserleiter infolge glazialtektonischer Vorgänge mit den Grundmoränen (Geschiebemergel) und aufgearbeiteten triassischen Tönen verschuppt, weswegen sie in der Tiefenlage und Mächtigkeit diskontinuierlich vorliegen und häufig keine Konnektivität aufweisen. Allenfalls ist die Einzelnutzung als Trink- und Brauchwasserbrunnen unter günstigen hydrogeologischen Gegebenheiten möglich. Wenn in Einzelfällen eine lokale hydraulische und hydrologische Verbindung von Glazialschotterdecken gegeben ist, kann eine zentrale Wasserversorgung kleinerer Ortschaften erfolgen, wie z. B. durch die Wasserwerke Grube [U21] (gemäß Unterlage [U11]).

Die Randbereiche der permischen Salzkissen pausen sich bis in die pleistozäne Landschaftsgenese durch. So ist der Verlauf der pleistozänen Erosionsrinne Oldenburger Graben entlang des Cismarer Salzkissens angelegt. Die subglazialen Rinnen des Pleistozäns stellen hydrogeologisch potente Wasserleiter dar, wenn sie, wie im Oldenburger Graben größtenteils mit Sand-Kies-Gemisch verfüllt sind [U19], [U21] (gemäß Unterlage [U11]).

4.2.2 Teil-Grundwasserkörper

In dem hydrogeologischen Teilraum „Wagrien-Fehmarn“ können zwei Grundwasserkörper des Hauptgrundwasserleiters unterschieden werden. Auf Festland-Seite entspricht das dem Grundwasserkörper ST07 Wagrien Nord (Kossau / Oldenburger Graben) und auf Fehmarn-Seite ST08 Fehmarn. In dieser Untersuchung wird die Region **Wagrien Nord** als nahezu hydraulisch entkoppelter Teilgrundwasserkörper betrachtet. Grund hierfür ist, dass der Grundwasserabstrom auf die markante unterirdische Tiefenlinie des Oldenburger Grabens gerichtet ist und die hydrologischen Verhältnisse der südlichen Grabenseite für die Betrachtung im vorliegenden Fall vernachlässigt werden können [U19].

Weiterhin definiert die Küstenlinie der Ostsee die restlichen Grundwasserkörpergrenzen.

Der geschlossene Grundwasserleiter ist unterhalb des min. 10 m mächtigen Geschiebemergels ausgebildet und nicht flächendeckend vorhanden, da er von glazialtektonisch zerscherten Geschiebeböden und untereozyänen Tarras-Tonen durchschnitten wird [U21]. In den Geschiebemergel sind allerdings meist lokal wasserführende Sande eingeschaltet. Eine Nutzbarmachung des Grundwasservorkommens als Zentralversorgung ist nicht möglich (gemäß Unterlage [U11]).

Im Bereich der Oldenburger Mulde (Oldenburg bis zu den Heiligenhafener Höhen) ist ein bedeutendes Grundwasservorkommen kartiert, das im Zusammenhang mit den Braunkohlesanden steht [U23].

Jedoch ist auch hier ein stark gestörter Schichtenaufbau vorhanden, der den Grundwasserabstrom behindert, welcher von den Heiligenhafener und Wandelwitzer Höhen in breiter Front zum Oldenburger Graben verläuft [U21]. Die Grundwasserscheide zur Ostsee wird ebenfalls von den beiden Höhenzügen definiert [U24] (gemäß Unterlage [U11]). Die Landzunge Großenbrode weist dem hingegen keine nennenswerten Grundwasservorkommen auf [U11]. Lediglich punktuelle Vorkommen können für eine örtliche Einzelversorgung durch z. B. lokale Brunnen bewirtschaftet werden. Die Ausbautiefe wird dann in Tiefen von 20 m bis 40 m dokumentiert [U21], das Fördervolumen beträgt meist < 2 l/s [U23]. Größere Vorkommen von mit Wasser gefüllten Sanden sind im Mündungsbereich der Großenbroder Aue bekannt. Dieser Grundwasserleiter steht in direkter Verbindung mit der Ostsee und ist versalzen [U21], [U25] (gemäß Unterlage [U11]).

Die äußere Grenze des Grundwasserkörpers **Fehmarn** befindet sich an der Küstenlinie zur Ostsee. Fehmarn weist keine hydrogeologisch relevanten Grundwasserleiter auf und ist generell ein Grundwassermangelgebiet [U26]. Geschiebeböden lagern direkt auf dem triassischen Ton auf und bilden einen Nichtleiterblock [U21]. Geschlossene, großräumige Glazialschotterdecken sind nicht vorhanden. Hydraulisch voneinander entkoppelte Sandlagen und -linsen sind lokal bestätigt. Das Schutzpotenzial durch Deckschichten ist im Bereich der Siedlung Fehmarnsund ungünstig, steigt entlang der B 207 bis Avendorf von mittlerer bis zu günstiger Güte [U23] (gemäß Unterlage [U11]).

Es bestehen keine nennenswerten Grundwasservorkommen im Untersuchungsgebiet auf Fehmarn. Lediglich punktuelle Vorkommen können für eine örtliche Einzelversorgung bewirtschaftet werden. Das Fördervolumen beträgt meist < 2 l/s [U23]. Meist wird eine Brauchwasserförderung über angelegte Sickerwasserbrunnen anvisiert. Insgesamt wird die Stauwasserbildung bis an die Geländeoberkante durch die Geschiebeböden begünstigt.

Weiterhin dienen die tonigen Böden als Zwischenspeicher für Niederschläge und die oberflächliche Entwässerung führt das Wasser rasch in die Ostsee ab. Zusätzlich zu den ungünstigen geologischen Bedingungen ist deshalb die Grundwasserneubildungsrate sehr gering (gemäß Unterlage [U11]).

Das Grundwasservorkommen „Strukkamp“ befindet sich in dem Eingriffsbereich des Bauvorhabens und hebt sich quantitativ von der übrigen Situation Fehmarns ab. Es ist jedoch qualitativ unergiebig (bis 1 l/s) und an dem Küstenareal des Fehmarnsunds versalzen. Die Oberkante des Grundwasserleiters „Strukkamp“ liegt in einem Tiefenniveau von 0,5 m bis 10 m unter Flur [U20] und [U21]. Dieser wurde im Rahmen der Baugrunduntersuchungen zur Variantenstudie auch erschlossen (siehe Anlage 2 in Unterlage [U11]), (gemäß Unterlage [U11]).

Das dazu benachbarte und nicht korrespondierende Grundwasservorkommen „Wulfener Berg“ lässt ebenfalls keine Versorgungsvorhaben zu.

Als einziges Gebiet mit höherem Grundwasservorkommen ist eine Sand-Kies-Bank im Raum Burg bekannt, die voraussichtlich jedoch nicht aus dem Bereich, wo die Trasse einschneiden soll, gespeist wird ([U20], [U21] und [U26]).

Entsprechend des hydrogeologischen Berichtes [U11] korrespondiert der Grundwasserkörper ST08 Fehmarn nicht mit dem Grundwasserkörper ST07 Wagrien Nord. Für die Beurteilung wurden Literaturdaten und landseitige Bohrungen herangezogen. Anhand dieser konnte entlang zwei parallel verlaufender Achsen eine mächtige geologische Barriere aus Geschiebemergel und tertiären Tonen im Untergrund des Fehmarnsunds festgestellt werden. In den Bohrungen im Sundbereich wurde bis in 80 m Tiefe unter Ansatzpunkt kein Grundwasser angetroffen.

Die Lage der Grundwasserscheiden ergab gemäß [U11], dass die Landzunge Großenbrode keine nennenswerte Konnektivität mit den Grundwasserleitern der Oldenburger Mulde aufweist. Deshalb wird die Region Oldenburger Mulde und Oldenburger Graben nicht in die weitere Bewertung einfließen.

Im südlichen Bereich der Insel Fehmarn liegt der Grundwasserleiter teilweise nicht abgedeckt vor, sodass eine Meerwasserintrusion ungehindert stattfinden kann. Der erkundete Wasserleiter in nordwestlicher Richtung, ein schwach abgedeckter Sandkörper, wird deutlich von Tonlagen durchschnitten, was einen Grundwasserstau verursacht und somit für gespannte Druckverhältnisse sorgt. Eine korrespondierende Wirkung mit dem Grundwasserkörper „Strukkamp“ wurde nachgewiesen ([U7], [U8] und [U14]).

Im Verlauf Richtung Nord entlang der Bestandstrasse B 207 sinkt die Oberkante des Wasserleiters auf rd. -16 m NHN ab und das Schutzpotenzial ist günstig. In der Aufschlussbohrung B 56 wurde der „Strukkamp“-Grundwasserleiter nicht mehr erkundet (gemäß Unterlage [U11]).

Anhand der durchgeführten Grundwassermessungen lässt sich eine Beeinflussung der Grundwasserstände durch das Sundwasser ableiten ([U7], [U8] und [U14]). Der Sund weist im Mittel einen Wasserstand von ca. +0,06 m NHN auf [U9].

Anhand der Ganglinien (s. [U6], [U7] und [U14]) wurden am Stichtag 12.01.2023 exemplarisch die Wasserstände für ausgewählte Grundwassermessstellen auf dem Festland und auf Fehmarn abgelesen und in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt. Dies soll stichpunktartig zeigen, wie sich die gemessenen Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet verteilen. Die Standorte der GWM sind in den Lageplänen der jeweiligen Geotechnischen Berichte zu entnehmen (jeweils Anlage 2 in [U6], [U7] und [U14]). Für weitere Details wird auf zuvor genannte Berichte verwiesen.

Tabelle 1: Aus den Ganglinien abgelesene Grundwasserstände zur Stichtagsmessung 12.01.2023 ([U6], [U7] und [U14])

Erkundungspunkt	Wasserstand in m NHN	Korrespondenz mit Sundwasser
Festland		
GWM B 20	-0,25	Korrespondenz vorhanden [U6]
GWM B 49	+1,12	keine Korrespondenz [U6]
GWM B 122-1	-0,29	Korrespondenz vorhanden [U6]
GWM B 122-2	-0,29	Korrespondenz vorhanden [U6]
GWM B 122	-0,06	Korrespondenz vorhanden [U6]
GWM B 123	-0,06	Korrespondenz vorhanden [U6]
GWM B 125	+3,38	keine Korrespondenz [U6]
GWM B 155a	+0,24	Korrespondenz vorhanden [U14]
GWM B 165	-0,25	Korrespondenz vorhanden [U16]
GWM B 168	-0,22	Korrespondenz vorhanden [U6], [U16]
GWM B 182	-0,16	Korrespondenz vorhanden [U6]
Fehmarn		
GWM B 66	+0,65	Korrespondenz vorhanden [U9]
GWM B 75	+0,37	Korrespondenz vorhanden [U7]
GWM B 78	+0,66	Korrespondenz vorhanden [U7]
GWM B 94	+4,78	Korrespondenz vorhanden [U14]
GWM B 106	+4,40	Korrespondenz vorhanden [U14], [U16]
GWM B 110	+5,35	keine Korrespondenz [U14]

4.3 Bauwerke

Auf Festland-Seite gliedert sich das geplante Bauwerk in zwei grundlegende Teile auf, ein Trogbauwerk für den Bahn- und Straßenverkehr und ein Trockendock.

Von Bahn-km 171,547 bis 172,225 soll ein Trogbauwerk für den Bahn- und Straßenverkehr entstehen, deren Gradient von ca. +0,7 bis -4,2 m NHN geplant ist.

Ab ca. km 171,900 werden zudem Schlitzwände bis ca. -20 m NHN errichtet. Das Bauwerk umfasst eine Länge von ca. 680 m und eine Breite von etwa 30 m. Daran schließt sich ein ca. 700 m langes und ca. 200 m breites Trockendock an. Die Unterkante des Verbau bindet bei -20 m NHN ein.

Die Spundwände und Sickerschürzen in Richtung Sund werden in einer Tiefe von -22,5 m NHN bis -35 m NHN bzw. bei -35 m NHN eingebracht. Innerhalb des Trockendocks erfolgt für den Bahn- und Straßenverkehr die Errichtung von Trogbauwerken und der Bau des Tunnels in offener Bauweise ([U15], 07.03.004).

Auf Fehmarn werden grundsätzlich drei Teilbauwerke unterschieden: ein Tunnelbauwerk mit anschließendem Trog für Bahn- und Straßenverkehr und zwei Trogbauwerke, in denen der Straßenverkehr und die Bahnstrecke räumlich getrennt werden.

Von Bahn-km 174,681 bis 174,857 erstreckt sich ein Tunnel mit offener Bauweise (ToB). Daran schließt sich bis km 175,069 das kombinierte Trogbauwerk für Bahn- und Straßenverkehr an. Der ToB erstreckt sich über eine Länge von ca. 176 m und 60 m Breite ([U15], PFU 07.02.028, 07.03.009 und 07.03.010).

Die Unterkante des Verbau erreicht eine Tiefe von bis zu -20 m NHN. Bei km 175,069 schließt sich zum einen ein ca. 540 m langes und 20 m breites Trogbauwerk an, dass von Schlitzwänden umgeben ist. Diese Schlitzwände reichen bis ca. km 175,607. Die östliche Schlitzwand wird bis ca. km 175,809 verlängert, rückverankert und zu einer permanenten Winkelstützwand umgebaut. Die Unterkante des Troges erreicht eine Tiefe von ca. -8 m NHN im Süden und -2,8 m NHN im Norden. Die Gründung der Schlitzwände ist bis -35 m NHN geplant. Der Trog für den Straßenverkehr ist mit einer Länge von ca. 280 m und einer Breite von ca. 40 m geplant. Die Unterkante des Troges bindet bei ca. -6 m NHN im Süden und +2,6 m NHN im Norden ein ([U15], PFU 07.02.028, 07.03.009 und 07.03.010).

5 Modellierung der Grundwasserströmung auf dem Festland

Die Modellierung erfolgte unter Ansatz einfacher Randbedingungen zur Darstellung der Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsbereich. Zur Erstellung des Modells wurde ein vereinfachtes Baugrundmodell, basierend auf den Erkundungsergebnissen der Gutachten ([U6], [U9] und [U14]), erstellt. Es ist davon auszugehen, dass das Grundwasser innerhalb der durchlässigen, sandigen und kiesigen Schichten strömt. In den überwiegenden Aufschlüssen wurde in stark wechselnden Tiefen Grundwasser angetroffen (siehe [U6], [U9] und [U14]). Gemäß den Geotechnischen Berichten (siehe Tabelle 1) wurde landseitig zum Großteil eine Korrespondenz zwischen dem Grundwasser und dem Sundwasser festgestellt. Die Grundwasserleiter bei GWM B 49 und GWM B 125 zeigen hingegen keine Korrespondenz (siehe Abbildung 1).

Im Modell wurde eine lateral aushaltende wasserführende Schicht flächendeckend bis zum Sundwasser gewählt. Idealerweise sollten für die Erstellung von Isohypsen Ruhegrundwasserstände einer Stichtagsmessung in einem ausreichend großem Raster verwendet werden.

Für die Größe des Untersuchungsgebietes liegt ein vergleichsweise kleines Messraster an Grundwassermessstellen, welches sich auch nur auf den unmittelbaren Bereich der Bauwerke beschränkt, vor.

Die Isohypsen können in Anlehnung an die Messwerte (= Stützstellen) aus Tabelle 1 modelliert werden. Streng genommen dürften nur innerhalb des bestehenden Messrasters Isohypsen berechnet werden.

Die GWM B 49 und GWM B 125 zeigten keine Sundwasserkorrespondenz (siehe Abbildung 1), weshalb diese für diesen Modellansatz nicht berücksichtigt wurden. Ferner zeigen diese auch keine Korrespondenz untereinander.

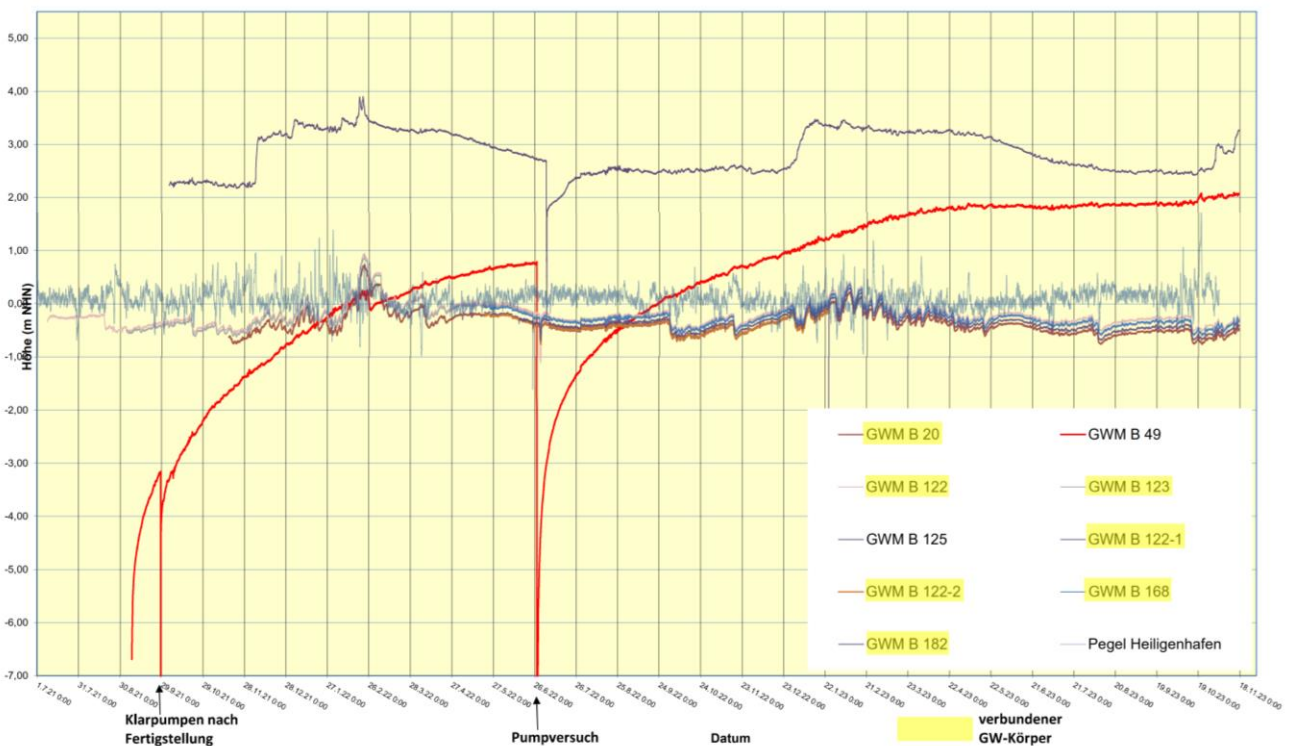


Abbildung 1: GWM Trockendock, Grundwasserganglinien Zeitraum 08.07.2021 bis 18.11.2023
(entnommen aus [U6])

Die GWM B 155a zeigt eine schwache Korrespondenz zum Sundwasser [U14] (siehe auch Abbildung 2).

Der dort erkundete Grundwasserleiter wurde in einer Tiefe von 26,00 bis 28,00 m u. GOK (Ausbautiefe Filterrohr GWM: 23,00 bis 30,00 m; GW-Anschnitt bei -22,32 m NHN [U14]) erkundet und liegt damit deutlich unterhalb der geplanten Baugrubensohle und auch unterhalb der geplanten Einbautiefe des Verbaus [U15]. Daher wurde diese GWM nicht im Modellansatz berücksichtigt.

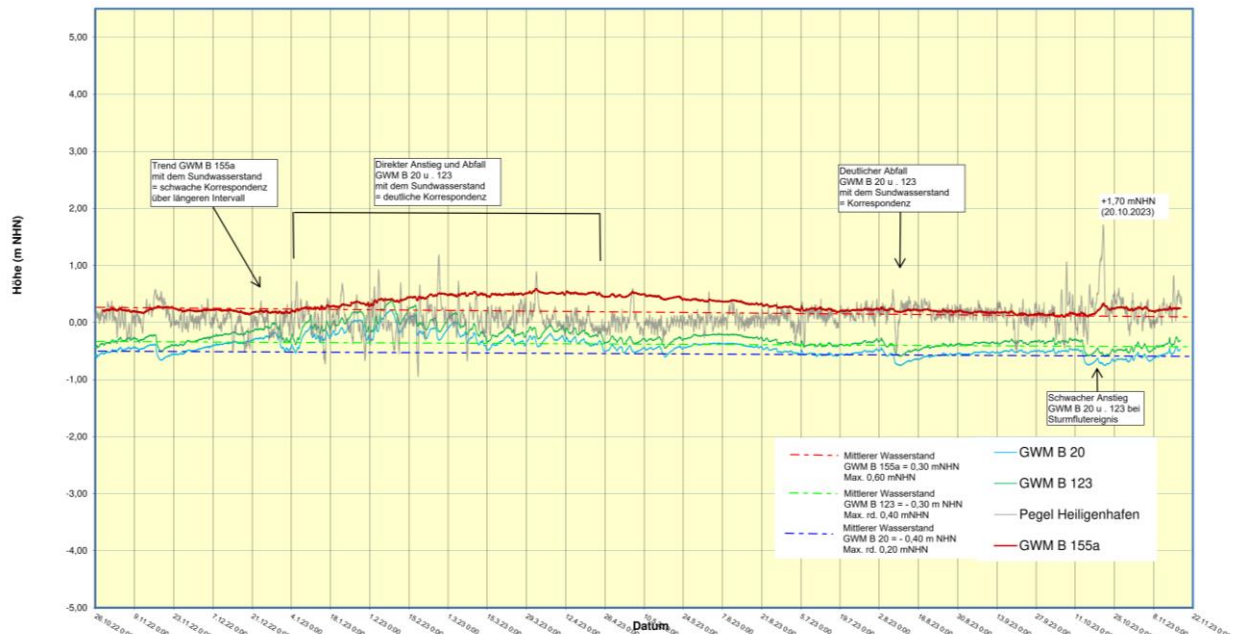


Abbildung 2: GWM Trogbauwerk Festland (GWM B 155a, GWM B 20, GWM B 123), Grundwasserganglinien Zeitraum 28.10.2022 bis 17.11.2023 (entnommen aus [U14])

Da so nur acht potentielle Stützstellen im unmittelbaren Bereich des Bauwerks für die Modellierung vorliegen, wurden, um eine inselartige Verteilung von Isohypsen zu vermeiden, im Randbereich des Modells Randbedingungen in Form von definierten Grundwasserhöhen durch Extrapolation festgelegt. Die GWM B 20, B 122, B 122-1, B 122-2, B 123, B 165, B 168 und B 182 liegen innerhalb eines Umkreises von ca. 150 m. Bis auf GWM B 165 wurden diese GWM als Kontrollpegel für die Pumpversuche in GWM B 122 und GWM 123 genutzt [U10]. Die Ganglinien sind hinsichtlich des Grundwasserstandes und des Schwankungsverhaltens nahezu identisch (siehe Abbildung 1). Da die Stützstellendichte im Modell, im Vergleich zum restlichen Modell, in diesem Bereich sehr hoch ist, konnte die Software keine fachlich vertretbare Interpolation ermöglichen. Daher wurde sich final entschieden, die GWM 122 und GWM 123 als Stützstellen zu verwenden. Weiterhin wurden die Randbedingungen durch einen iterativen Prozess so gewählt, dass die Messwerte von GWM B 20, B 122-1, B 122-2, B 165, B 168 und B 182 aus dem Grundwassermonitoring (siehe Tabelle 1) zum Teil annähernd auf den entsprechenden Isolinen liegen und das Modell ein natürliches hydraulisches Gefälle aufweist.

Die in den Modellen dargestellten und zu Grundwassermessstellen umgebauten Bohrungen, welche in dem Modell als Stützstellen verwendet worden, sind in der Abbildung 3 bis Abbildung 5 ersichtlich. Diese Grundwassermessstellen liegen teilweise innerhalb des Bauwerksbereiches, sodass diese in den Modellen unmittelbar außerhalb des Bauwerkes gelegt werden mussten, da diese sonst für die Modellierung mit integrierten Störkörper entfernt worden wären und somit rechnerisch nicht berücksichtigt werden könnten.

Dies hätte keinen fachlich fundierten Vergleich zwischen der Modellierung ohne und mit Störkörper ermöglicht. Des Weiteren wurde das Ostseewasser als Randbedingung für das Modell mit einer Wasserhöhe bei +0,06 m NHN (mittlerer Wasserstand gemäß [U9]) festgelegt.

Diese starke räumliche Vereinfachung wurde gewählt, um den schlimmsten Fall abzubilden. Dieser vereinfachte Ansatz kann gewählt werden, da die Geotechnischen Berichte [U6] und [U14] teilweise eine Korrespondenz der wasserführenden Schichten mit dem Sundwasser zeigen.

Im Modell der Abbildung 3 wurde zum besseren Vergleich das Bauwerk als grundwasserstörender Körper (weiß) in Anlehnung an die Planungsunterlagen [U15] in das Modell integriert. Da diese jedoch nur farblich hervorgehoben sind und den gleichen k_f -Wert und die gleiche effektive Porosität wie der vorliegende Grundwasserleiter zugewiesen bekommen haben, werden diese Elemente programmintern nicht als Störkörper berücksichtigt.

Im Modell der Abbildung 4 wurde für einen zweiten Modellschritt ein wasserundurchlässiges Hindernis ohne k_f -Wert implementiert, welches in etwa den Abmessungen des gesamten Bauwerks (Schlitzwände, Spundwände, Betonsohle) des geplanten Troges und Trockendocks entsprechen und somit das grundwasserstörende Hindernis repräsentiert.

Als maßgebender k_f -Wert ($6,5 \cdot 10^{-4}$ m/s) wurde der höchste ermittelte Wert aus dem Pumpversuch in GWM B 123 [U10] verwendet, welcher innerhalb des Grundwasserleiters im Trockendockbereich durchgeführt wurde. Für den Grundwasserleiter, bestehend aus durchlässigen sandigen und kiesigen Schichten, wurde gemäß [U27] eine durchschnittliche effektive Porosität n_{eff} von 20 % (Faktor 0,20) genutzt.

Da GGU-2D-SSFLOW bei einer Modellierung mit negativen Höhenangaben keine Ergebnisse liefern kann, wurde der Wert 10 als Hilfsgröße verwendet und somit die Höhe 0 m NHN mit der Höhe 10 m NHN gleichgesetzt. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die verwendeten GWM und die daraus abgeleiteten Randbedingungen aufgeführt.

Tabelle 2: Randbedingungen für die Modellierung des Bauwerks auf dem Festland

Aufschluss	Kilometrierung (ca.)	Grundwasserstand [m NHN]	abgeleitete Randbedingung [m NHN]
Sund	-	+0,06	+10,06
B 122	Bahn-km 172,125	-0,06	+9,94
B 123	Bahn-km 172,290	-0,06	+9,94

Um eine plausible Modellierung zu ermöglichen, wurden iterativ Randbedingungen und Stützstellen (= Grundwasserhöhen/-absenkungen) extrapoliert und in das Modell integriert.

5.1 Modellierung ohne Bauwerk

Wie in Abbildung 3 (siehe auch Anlage 1.1) ersichtlich wird, wurde im natürlichen Untergrund entsprechend der Grundwassermessergebnisse und geologischen sowie geomorphologischen Verhältnisse Grundwasserfließrichtungen in vorwiegend südliche Richtung ermittelt.

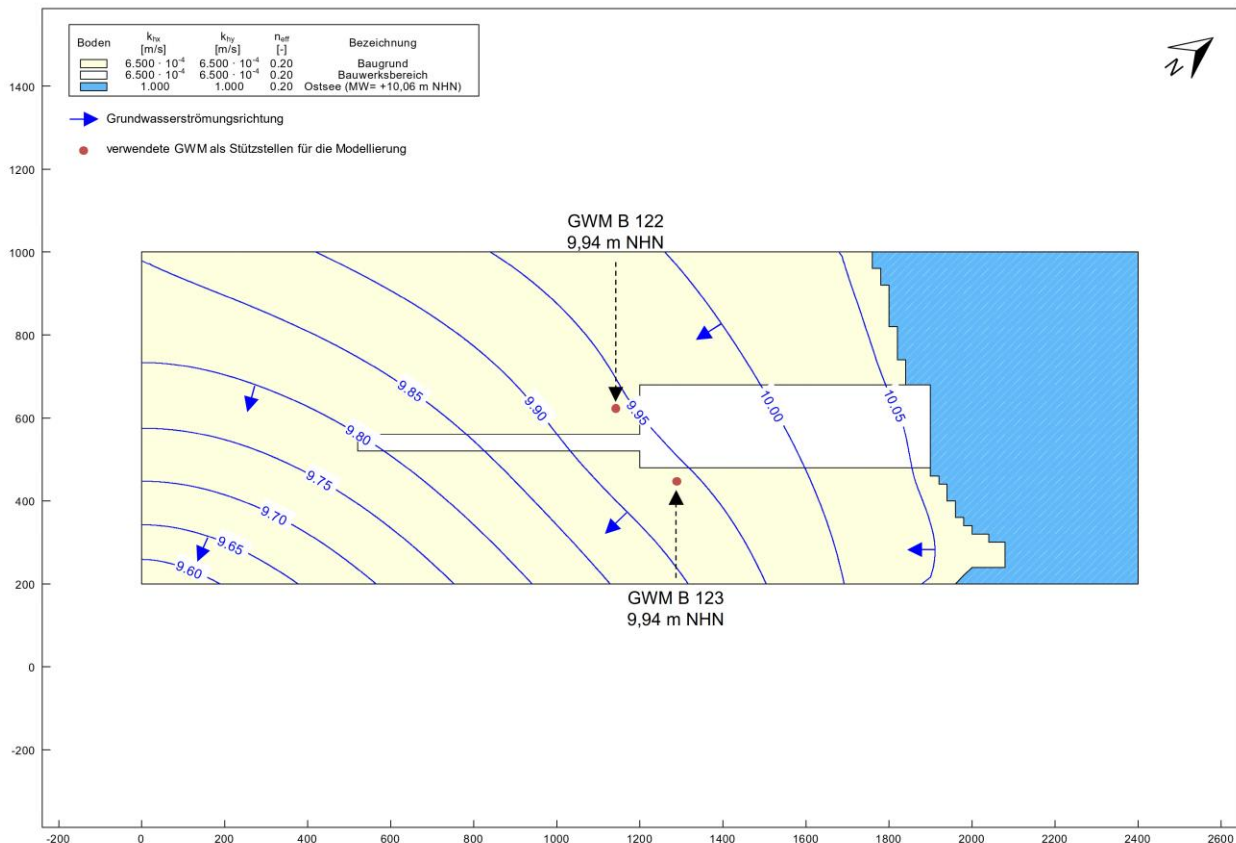


Abbildung 3: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

5.2 Modellierung mit Bauwerk

Das geplante Bauwerk stellt ein wasserundurchlässiges Hindernis für die natürliche Grundwasserströmung dar.

Wie aus Abbildung 4 (siehe auch Anlage 1.2) ersichtlich, kann die Grundwasserfließrichtung mit südlicher bis südwestlicher Richtung angegeben werden.

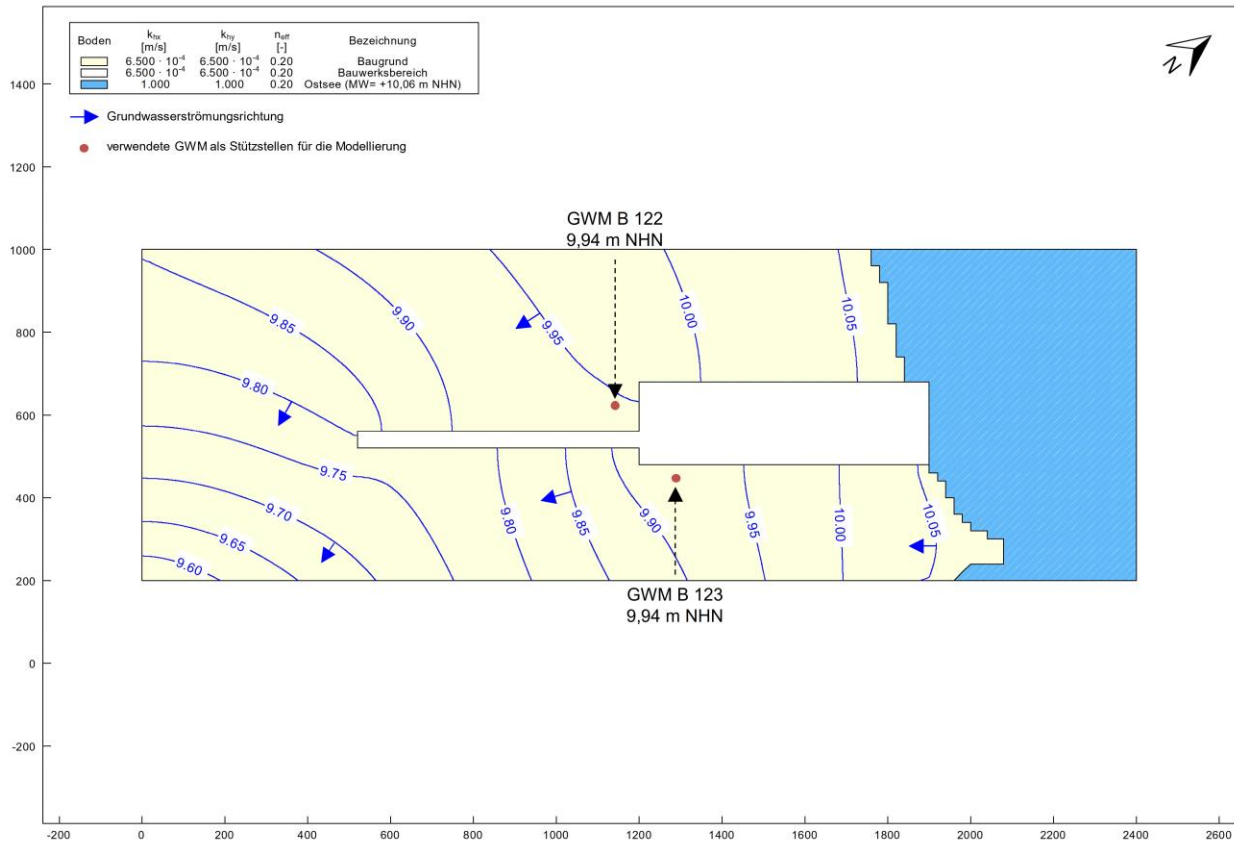


Abbildung 4: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

5.3 Auswertung und Interpretation

Anhand der Modellierung aus Abbildung 3 wird ersichtlich, dass das Sundwasser mit einem sehr flachen hydraulischen Gradienten in Richtung Süden landeinwärts fließt. Diese Korrespondenz bis ins Landinnere wird auch durch das Grundwassermonitoring bestätigt [U6]. Ebenfalls zeigen diese, dass die Wasserstände der sundwasserbeeinflussten Grundwasserleiter über den Messzeitraum hinweg größtenteils unterhalb des Niveaus des Pegels Heiligenhafen liegen und folglich das Sundwasser nachweislich in das Festland „reindrückt“. Weiterhin zeigen die Modelle auf Basis des Grundwassermonitorings, dass ein sehr kleiner hydraulischer Gradient vorliegt.

Die deutlich über dem Meeresniveau liegenden Grundwasserstände der GWM B 49 und GWM B 125 [U6] zeigen, dass diese nicht mit dem Sundwasser und auch nicht untereinander korrespondieren. Anhand des Ganglinienverlaufes und der oberflächennahen Lage (Flurabstand 0-3,1 m [U6]) dieser wasserführenden Schichten werden diese isolierten Sandlinsen als niederschlagsgespeiste Wasserleiter (Schichtwasser) interpretiert, welche nicht mit dem Grundwasser korrespondieren. Daher wurden diese GWM auch im Modell nicht berücksichtigt.

Das Berechnungsergebnis für die Grundwasserströmungsverhältnisse mit dem Bauwerk als wasserundurchlässiges Hindernis (Abbildung 4) zeigt, dass es anstromseitig primär im Südwesten des Bauwerkes (Trogbauwerk) zum Aufstau kommt, wodurch sich der natürliche Grundwasserspiegel im nördlichen Bereich um ca. 2 cm und im südlichen Areal um ca. 3 cm erhöht (siehe Abbildung 5, orangener Kreis). Dies bewirkt eine Verschiebung der Isohypsen von ca. 200 m in Richtung Süden. Der Aufstau des Grundwassers befindet sich dabei innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers (Vergleich, siehe Ganglinien in Gutachten [U6]).

Abstromseitig (im Südosten) ist eine Absenkung von bis zu ca. 5 cm vor allem im Bereich des Trogbauwerkes zu verzeichnen (siehe Abbildung 5, grüner Kreis), was ebenfalls innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers (Vergleich, siehe Ganglinien in Gutachten [U6]) liegt. Die Auswirkungen der Absenkungen erstrecken sich über die gesamte Länge des Trogbauwerkes bis hin zum Trockendock, wo etwa noch 500 m des Teilbauwerks betroffen sind.

Im südwestlichen Flankenbereich des Bauwerkes (südlicher Teil des Trogbauwerkes) ist ein erhöhtes hydraulisches Gefälle zu verzeichnen, welches zur Umströmung des Bauwerkes führt. Im südöstlichen Flankenbereich des Bauwerkes flacht das hydraulische Gefälle ab.

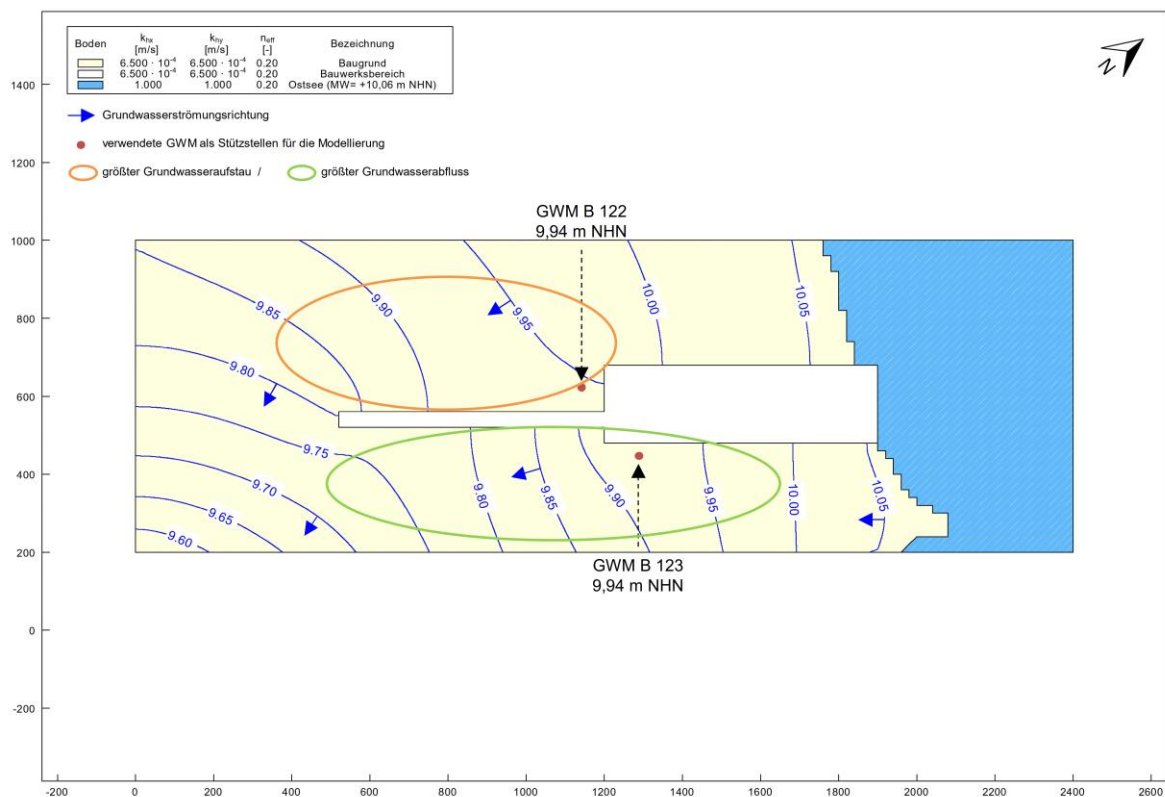


Abbildung 5: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Festlandseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

6 Modellierung der Grundwasserströmung auf Fehmarn

Die Modellierung erfolgte unter Ansatz einfacher Randbedingungen zur Darstellung der Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsbereich. Zur Erstellung des Modells wurde ein vereinfachtes Baugrundmodell basierend auf den Erkundungsergebnissen der Gutachten ([U7], [U8], [U9] und [U14]) erstellt.

Es ist davon auszugehen, dass das Grundwasser innerhalb der durchlässigen sandigen und kiesigen Schichten strömt. Gemäß der Erkundungsergebnisse der Gutachten [U7] kann insbesondere im Bereich der GWM B 75 von einer potenziellen sundkorrespondierenden Sandschicht ausgegangen werden, die durch das Bauwerk teilweise angeschnitten bzw. direkt unterhalb der potenziellen Aushubsohle anstehen könnte und somit ein Aufbruch während der Bauphase nach sich ziehen kann. Gemäß den Geotechnischen Berichten (siehe Tabelle 1) wurde inselseitig zum Großteil eine Korrespondenz zwischen dem Grundwasser und dem Sundwasser festgestellt. Einzig der Grundwasserleiter bei GWM B 110 zeigt keine Korrespondenz (siehe Abbildung 6).

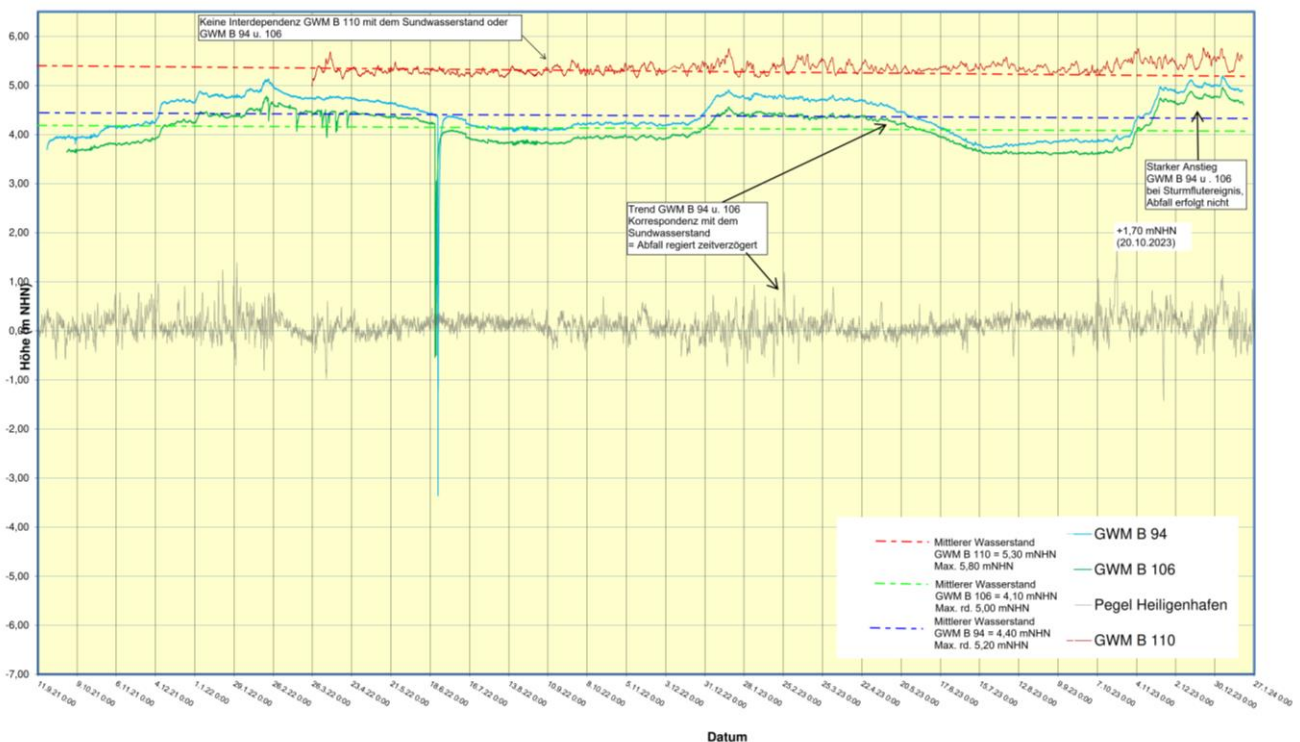


Abbildung 6: GWM Trogbauwerk Fehmarn (GWM B 94, GWM B 106, GWM B 110 (ab 25.03.22)), Grundwasserganglinien Zeitraum 17.09.2021 bis 18.01.2024 (entnommen aus [U14])

Im Modell wurde eine lateral aushaltende wasserführende Schicht flächendeckend bis zum Sundwasser gewählt. Idealerweise sollten für die Erstellung von Isohypsen Ruhegrundwasserstände einer Stichtagsmessung in einem ausreichend großem Raster verwendet werden. Für die Größe des Untersuchungsgebietes liegt ein vergleichsweise kleines Messraster an Grundwassermessstellen, welches sich auch nur auf den unmittelbaren Bereich der Bauwerke beschränkt, vor. Die Isohypsen können in Anlehnung an die Messwerte (= Stützstellen) aus Tabelle 1 modelliert werden. Streng genommen dürften nur innerhalb des bestehenden Messrasters Isohypsen berechnet werden. Die GWM B 110 zeigte keine Sundwasserkorrespondenz, jedoch ähnlich hohe Wasserstände über dem Meeresniveau wie die GWM B 94 und GWM B 106 ([U7], [U8]). Die GWM B 94 und GWM B 106 korrespondieren dabei mit dem Sundwasser, aber nicht mit dem Grundwasser im Bereich der GWM B 110 (siehe Abbildung 6). Die GWM B 110 wurde im Modellansatz mitberücksichtigt und versucht diesen isolierten Wasserleiter oder anderen Grundwasserleiter mit abzubilden.

Da nur sechs Stützstellen im unmittelbaren Bereich des Bauwerks für die Modellierung vorliegen, wurden, um eine inselartige Verteilung von Isohypsen zu vermeiden, im Randbereich des Modells Randbedingungen in Form von definierten Grundwasserhöhen durch Extrapolation festgelegt. Diese wurden durch einen iterativen Prozess so gewählt, dass die Messwerte aus dem Grundwassermonitoring (siehe Tabelle 1) zum Teil annähernd auf den entsprechenden Isolinien liegen und das Modell ein natürliches hydraulisches Gefälle aufweist. Die in den Modellen (Abbildung 7 bis Abbildung 10) dargestellten und zu Grundwassermessstellen umgebauten Bohrungen sind in dem Modell als Stützstellen verwendet worden. Diese Grundwassermessstellen liegen teilweise innerhalb des Bauwerksbereiches, sodass diese in den Modellen unmittelbar außerhalb des Bauwerkes gelegt werden mussten, da diese sonst für die Modellierung mit integrierten Störkörper entfernt worden wären und somit rechnerisch nicht berücksichtigt werden könnten. Dies hätte keinen fachlich fundierten Vergleich zwischen der Modellierung ohne und mit Störkörper ermöglicht. Des Weiteren wurde das Ostseewasser als Randbedingung für das Modell mit einer Wasserhöhe bei +0,06 m NHN (mittlerer Wasserstand gemäß [U9]) festgelegt.

Diese starke räumliche Vereinfachung wurde gewählt, um anhand der gewählten Parameter einen konservativen Ansatz zu modellieren. Dieser vereinfachte Ansatz kann gewählt werden, da die Geotechnischen Berichte [U7], [U8], [U9] und [U14] teilweise eine Korrespondenz der wasserführenden Schichten mit dem Sundwasser zeigen.

Im Modell der Abbildung 3 wurde zum besseren Vergleich das Bauwerk als grundwasserstörender Körper (weiß) in Anlehnung an die Planungsunterlagen [U15] in das Modell integriert.

Da diese jedoch nur farblich hervorgehoben sind und den gleichen k_f -Wert und die gleiche effektive Porosität wie der vorliegende Grundwasserleiter zugewiesen bekommen haben, werden diese Elemente programmintern nicht als Störkörper berücksichtigt.

Im Modell der Abbildung 8 wurde für eine zweite Berechnung ein wasserundurchlässiges Hindernis implementiert, welches in etwa den Abmessungen des gesamten Bauwerks (Schlitzwände, Spundwände, Betonsohle), bestehend aus den geplanten Trögen, Tunnel in offener Bauweise und der Absenktunnelelemente entsprechen und somit das grundwasserstörende Hindernis repräsentiert.

Als maßgebender k_f -Wert ($1,7 \times 10^{-5}$ m/s) wurde der höchste ermittelte Wert aus den Pumpversuchen in GWM B 75, GWM B 94 und GWM B 106 [U10] verwendet, welche innerhalb der erkundeten Grundwasserleiter im Bereich Fehmarn durchgeführt worden sind. Für den Grundwasserleiter bestehend aus durchlässigen sandigen und kiesigen Schichten wurde gemäß [U27] eine durchschnittliche effektive Porosität n_{eff} von 20 % (Faktor 0,20) genutzt.

Da GGU-2D-SSFLOW bei einer Modellierung mit negativen Höhenangaben keine Ergebnisse liefern kann, wurde der Wert 10 als Hilfsgröße verwendet und somit die Höhe 0 m NHN mit der Höhe 10 m NHN gleichgesetzt. In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die verwendeten GWM und die daraus abgeleiteten Randbedingungen aufgeführt.

Tabelle 3: Randbedingungen für die Modellierung des Bauwerks auf Fehmarn

Aufschluss	Kilometrierung (ca.)	Grundwasserstand [m NHN]	abgeleitete Randbedingung [m NHN]
Sund	-	+0,06	+10,06
B 66	Bahn-km 174,510	+0,65	+10,65
B 75	Straßen-km 4,225	+0,37	+10,37
B 78	Straßen-km 4,280	+0,66	+10,66
B 94	Straßen-km 4,615	+4,78	+14,78
B 106	Straßen-km 4,915	+4,40	+14,40
B 110	Bahn-km 175,445	+5,35	+15,35

Um eine plausible Modellierung zu ermöglichen, wurden iterativ Randbedingungen und Stützstellen (= Grundwasserhöhen/-absenkungen) extrapoliert und in das Modell integriert.

6.1 Modellierung ohne Bauwerk

Wie in Abbildung 7 (siehe auch Anlage 1.3) ersichtlich wird, wurden im natürlichen Untergrund entsprechend der Grundwassermessergebnisse und den geologischen sowie geomorphologischen Verhältnisse Grundwasserfließrichtungen, zum einen in südliche bis südwestliche Richtung hin zum Sund und zum anderen in östliche Richtung, ermittelt.

Der deutliche Höhenunterschied der Grundwasserstände zwischen GWM B 94 und GWM B 78 bis GWM B 75 führt zu einem vergleichsweise steilen hydraulischen Gradienten, welcher sich nur in Bauwerksnähe zeigt und dadurch nicht so natürlich wirkend modelliert wurde, wie die weiteren Isohypsen.

Um die Isohypsen und Fließrichtung außerhalb des Messrasters fachlich vertretbar optimieren zu können, müssten Grundwassermessstände vom Stichtag weiter entfernt vom Bauwerksbereich vorliegen. In Bauwerksnähe kann das Modell aufgrund der Nähe zu den GWM und der durchgeführten Aufschlüsse für eine fachliche Aussage zum Aufstau und zur Absenkung verwendet werden. Im Bereich der GWM 94, GWM 106 und GWM 110 ist erkennbar, dass das Grundwasser in unterschiedliche Richtungen fließt.

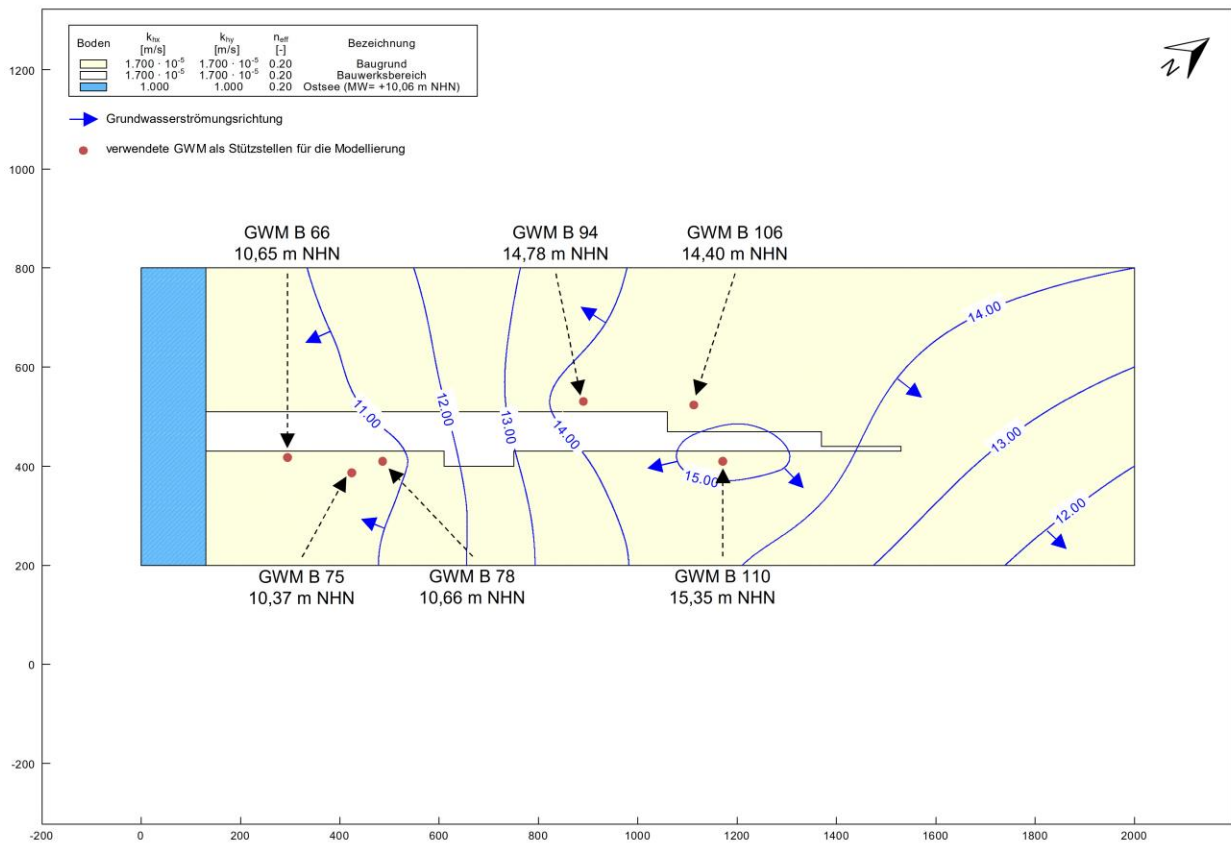


Abbildung 7: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

6.2 Modellierung mit Bauwerk

Das geplante Bauwerk stellt ein wasserundurchlässiges Hindernis für die natürliche Grundwasserströmung dar.

Wie aus Abbildung 8 (siehe auch Anlage 1.4) ersichtlich, kann die Grundwasserfließrichtung mit sowohl südwestlicher Richtung hin zum Sund als auch östlicher Richtung angegeben werden.

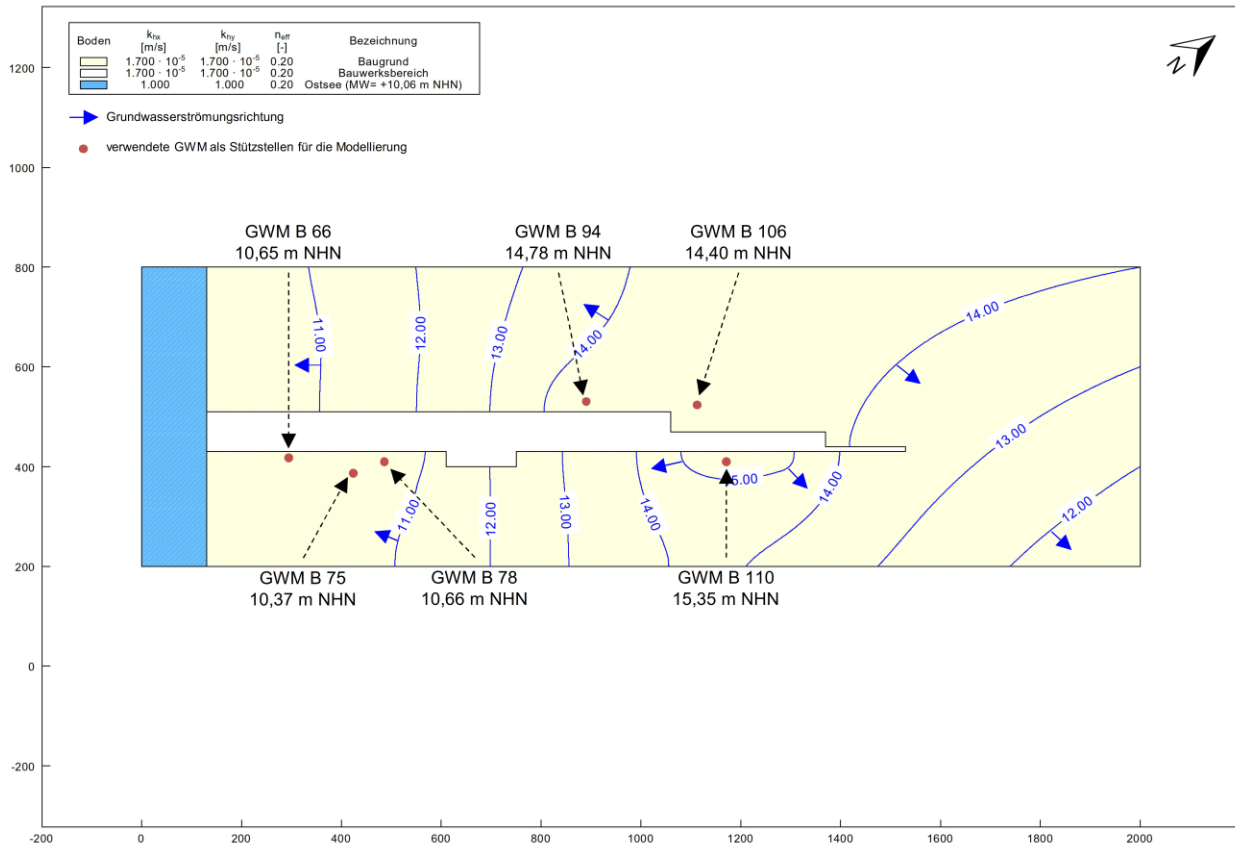


Abbildung 8: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

6.3 Auswertung und Interpretation

Anhand der Modellierung aus Abbildung 9 wird ersichtlich, dass im Bereich der Trogbauwerke eine Grundwasserscheide ermittelt werden konnte. Diese verläuft etwa von Nordwest nach Südost und schneidet das Bauwerk auf Höhe der Tröge nahezu senkrecht. Somit fließt das Grundwasser zum einen in südwestliche Richtung zum Sund und zum anderen in östliche Richtung hin zum Vorfluter. Den Vorfluter stellt das Grabensystem dar, welches zur Bewässerung der Ackerflächen dient. Diese Grundwasserscheide erklärt die nicht vorhandene Korrespondenz zwischen den Wasserständen aus GWM B 106 und B 110 [U14].

Des Weiteren spiegelt das Modell die vergleichsweise hohen Ruhewasserstände der GWM B 94 und GWM 106 westlich des Bauwerks wider. Daraus lässt sich ein hydraulisches Gefälle weg vom Bauwerk nach Südwesten bis Westen ableiten.

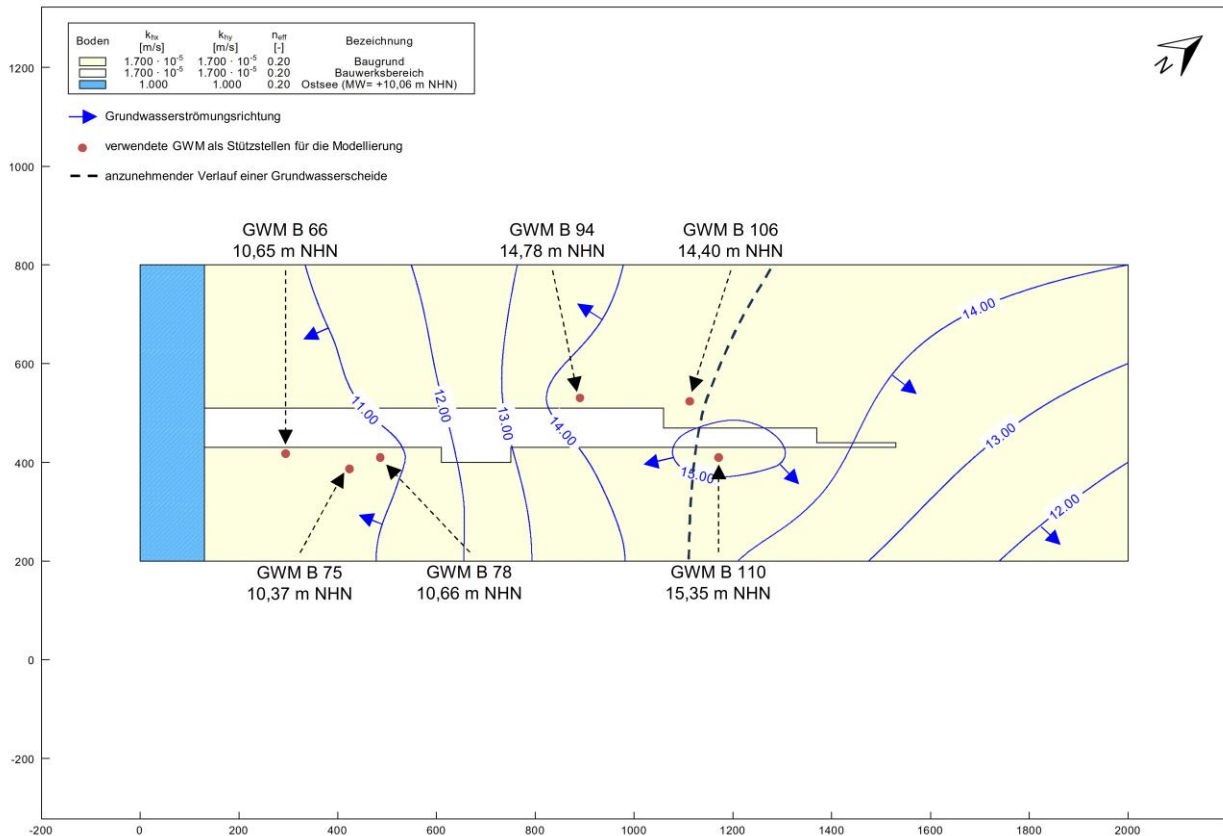


Abbildung 9: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen inkl. Darstellung der Grundwasserscheide ohne Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

Der geplante Tunnel, die Tröge und Verbaulemente stellen ein wasserundurchlässiges Hindernis für die natürliche Grundwasserströmung dar.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass es anstromseitig primär im Südwesten des Bauwerks zum Aufstau kommt, wodurch sich der natürliche Grundwasserspiegel in diesem Baubereich um ca. 0,2 m erhöht (siehe Abbildung 10, orangener Kreis). Die Aufstauhöhe befindet sich innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers (Vergleich, siehe Ganglinien in Gutachten [U7]). Diese wasserseitige Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse ist gemäß der Modellierung im Bereich der Tröge und des Tunnels in offener Bauweise zu verzeichnen.

Grund für den vergleichsweise hohen Aufstau gegenüber dem Festland ist das Vorliegen eines sundwasserkorrespondierenden Grundwasserleiters (GWM B 94 und GWM 106), welcher deutlich über dem Meeresniveau liegt. Dadurch stellt sich ein höheres hydraulisches Gefälle als auf dem Festland ein. Die Grundwasserscheide schneidet das Bauwerk im Bereich der Tröge, sodass das Bauwerk einen geringen Einfluss durch das nach Osten strömende Grundwasser erfährt. Das Grundwasser südlich der Grundwasserscheide fließt nahezu parallel zum Bauwerk, sodass dieses für das Grundwasser kein zentrales Hindernis darstellt.

Abstromseitig ist östlich des Bauwerkes eine Absenkung von bis ca. 0,5 m zu verzeichnen (siehe Abbildung 10, grüner Kreis). Diese wasserseitige Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse ist gemäß der Modellierung im Bereich des gemeinsamen Trogbauwerkes bis zum mittleren Teil des Bahntroges zu verzeichnen. Im nordöstlichen Bereich des Bauwerkes kommt es zu einer geringen Absenkung des Grundwassers von ca. 0,1 m als Folge der Umströmung um das Bauwerk.

Das hydraulische Gefälle bleibt annähernd gleich. Es ist lediglich eine Verschiebung der Grundwassergleichen aufgrund des Aufstaus und der Absenkung im Anstrom- und Abstrombereich von ca. 50 m zu verzeichnen. Da das Bauwerk im nördlichen Bereich (Trog der Bahn) auf der kurzen Bauwerksseite angeströmt wird ist die Beeinflussung des Bauwerkes auf die Grundwasserströmung insgesamt gering.

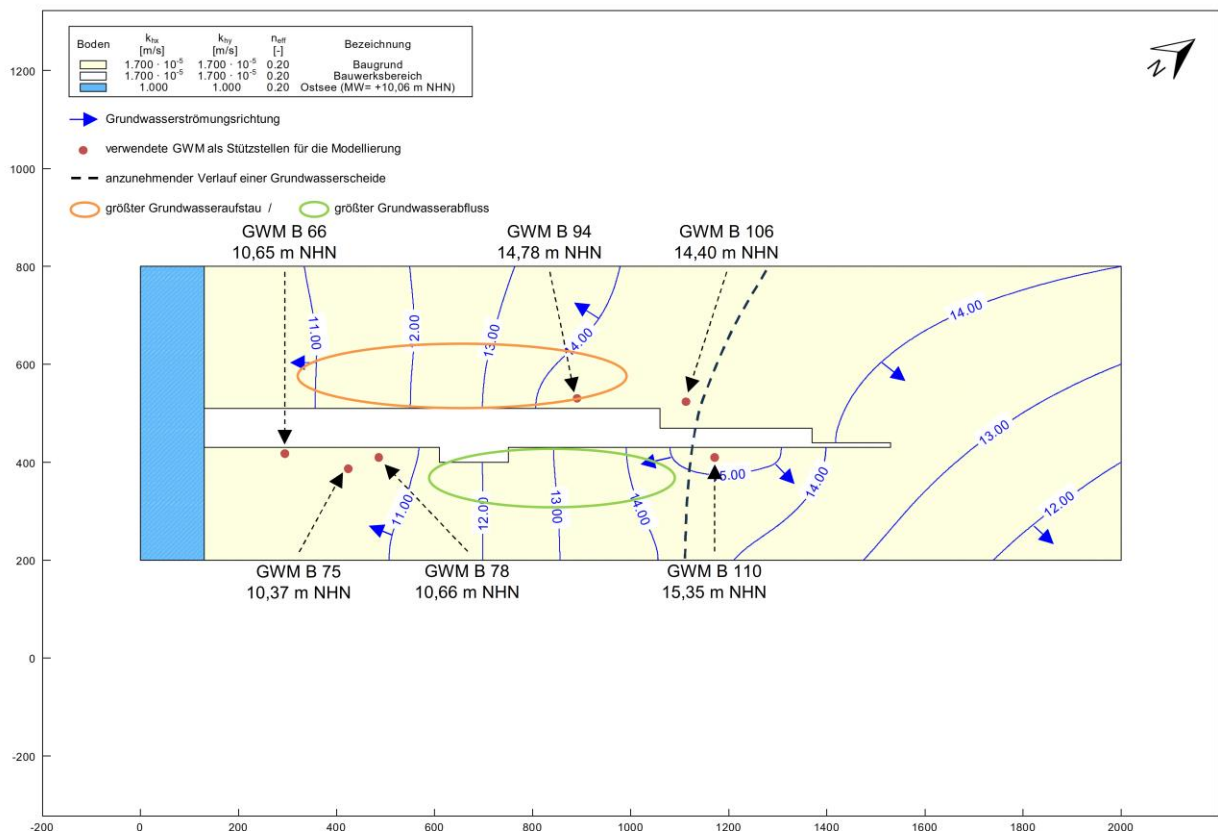


Abbildung 10: Darstellung der Grundwasserfließrichtung auf Fehmarnseite anhand der verwendeten Randbedingungen mit Einfluss des Bauwerkes auf die Strömungsverhältnisse

7 Bewertung der Ergebnisse

Für die Bewertung der Grundwasserdynamik wurden für die Bauwerkskomplexe festlandseitig und auf Fehmarn jeweils ein Grundwasserströmungsmodell mit vereinfachten Randbedingungen erstellt. Für die Festlegung der Randbedingungen wurden Messergebnisse der Grundwassermessstellen entlang der Bauwerke von einem Stichtag, welcher in etwa einem Mittelwert entspricht, verwendet. Aufgrund der zeitverzögerten Korrespondenz zwischen den Grundwasserleitern (auch in Abhängigkeit zum Sundwasser) kann dadurch auch vereinzelt der verwendete Messwert nicht exakt den Mittelwert widerspiegeln.

Auf Festlandseite wurde ein Aufstau von ca. max. 3 cm primär im Südwesten des Trogbauwerks und eine Absenkung von bis zu ca. 5 cm im Südosten des Trogbauwerks modelliert. Begünstigt wird dieses Ergebnis durch das flache hydraulische Gefälle. Der Aufstau und die Absenkung sind als unkritisch zu betrachten, da die Erhöhung und Absenkung deutlich innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers (Vergleich, siehe Ganglinien in Gutachten [U6]) liegen.

Anhand der Modelle für Fehmarn konnte eine Grundwasserscheide ermittelt werden, welche die Grundwasserdynamik an den Bauwerken dahingehend beeinflusst, dass die resultierenden Aufstauhöhen niedrig sind. Auf der Seite von Fehmarn schneidet die Grundwasserscheide die Trogbauwerke nahezu senkrecht. So kommt es aufgrund der Umströmung zu einem geringfügigen Aufstau im Südwesten des Bauwerkes von ca. 0,2 m. Im östlichen Bauwerksbereich südlich der Grundwasserscheide kommt es zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels um ca. 0,5 m, was aus hydrogeologischer Sicht als unkritisch zu betrachten ist, da die Absenkung deutlich innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers (Vergleich, siehe Ganglinien in Gutachten [U7]) liegt.

In den GWM wurden gespannte Wasserstände gemessen, daher sind die modellierten Wasserstände indirekt auch als Druckhöhen zu interpretieren.

Gemäß § 47 WHG müssen Wasserkörper so bewirtschaftet werden, dass eine Verschlechterung des mengenmäßigen Zustandes und des guten chemischen Zustands vermieden wird (Verschlechterungsverbot). Für Grundwasserkörper ist zudem das Gebot der Trendumkehr (§ 47 Abs. 1 Nr. 2 WHG und § 10-12 GrwV) einzuhalten. Es ist deshalb nachzuweisen, dass das Vorhaben mit den Bewirtschaftungszielen nach § 47 WHG vereinbar ist. Im Rahmen der Modellierung wurde ein Grundwasseraufstau an den Bauwerken festgestellt. Eine Beeinflussung der Baumaßnahmen auf den Grundwasserkörper, sowie eine Verschlechterung des mengenmäßigen und chemischen Zustandes entspr. § 47 WHG ist im Rahmen des Fachbetrages Wasserrahmenrichtlinie abschließend zu klären.

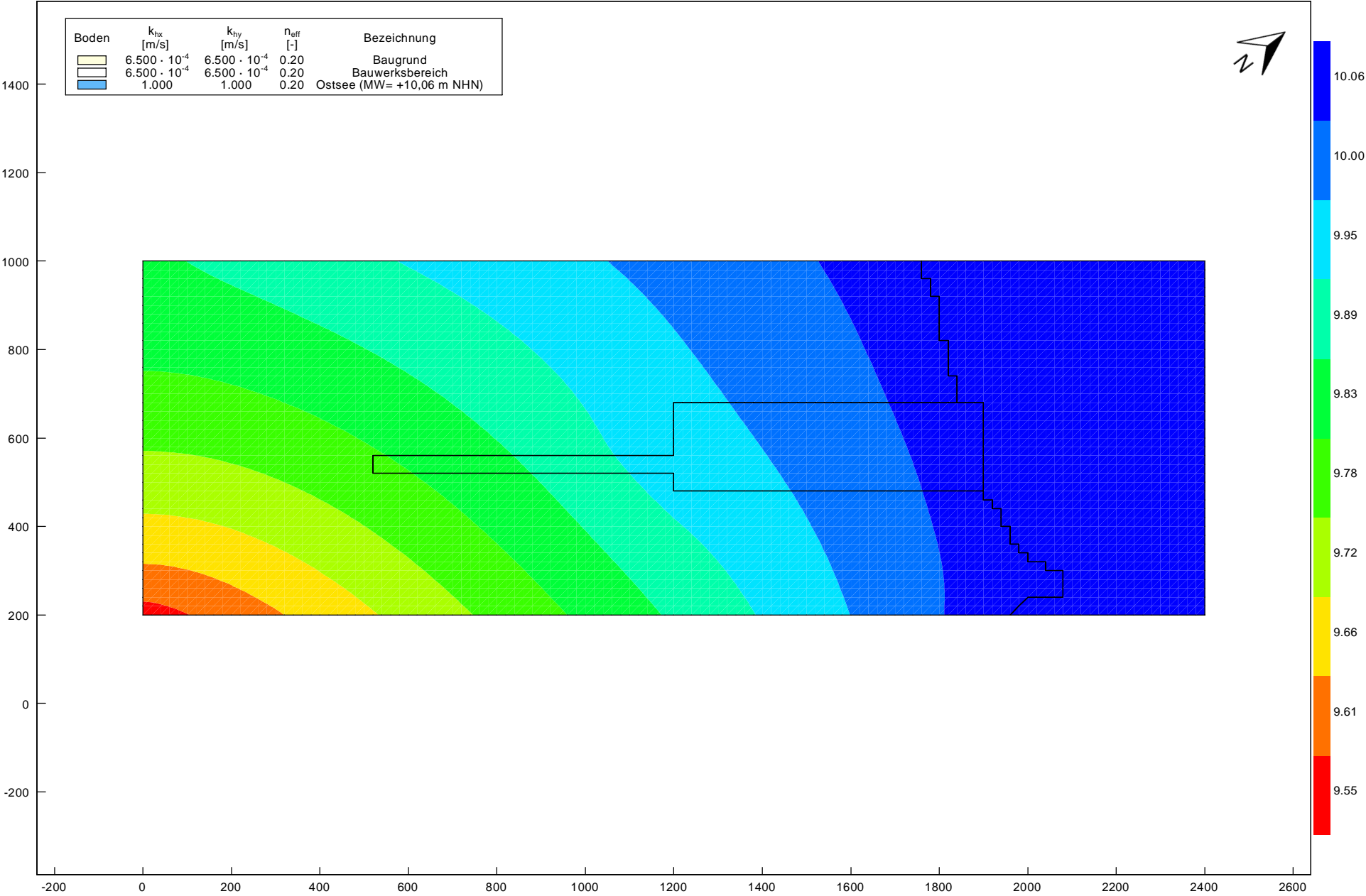
Auf Fehmarn ist entsprechend der Modellierung mit einer Grundwasserabsenkung im östlichen Bauwerksbereich südlich der Grundwasserscheide (= gemeinsamer Trog und südlicher bis mittlerer Abschnitt des Bahntrogs) von ca. 0,5 m zu rechnen. In diesem Bereich wurde der Grundwasseranschnitt bei $\geq 5,30$ m GOK erkundet [U14].

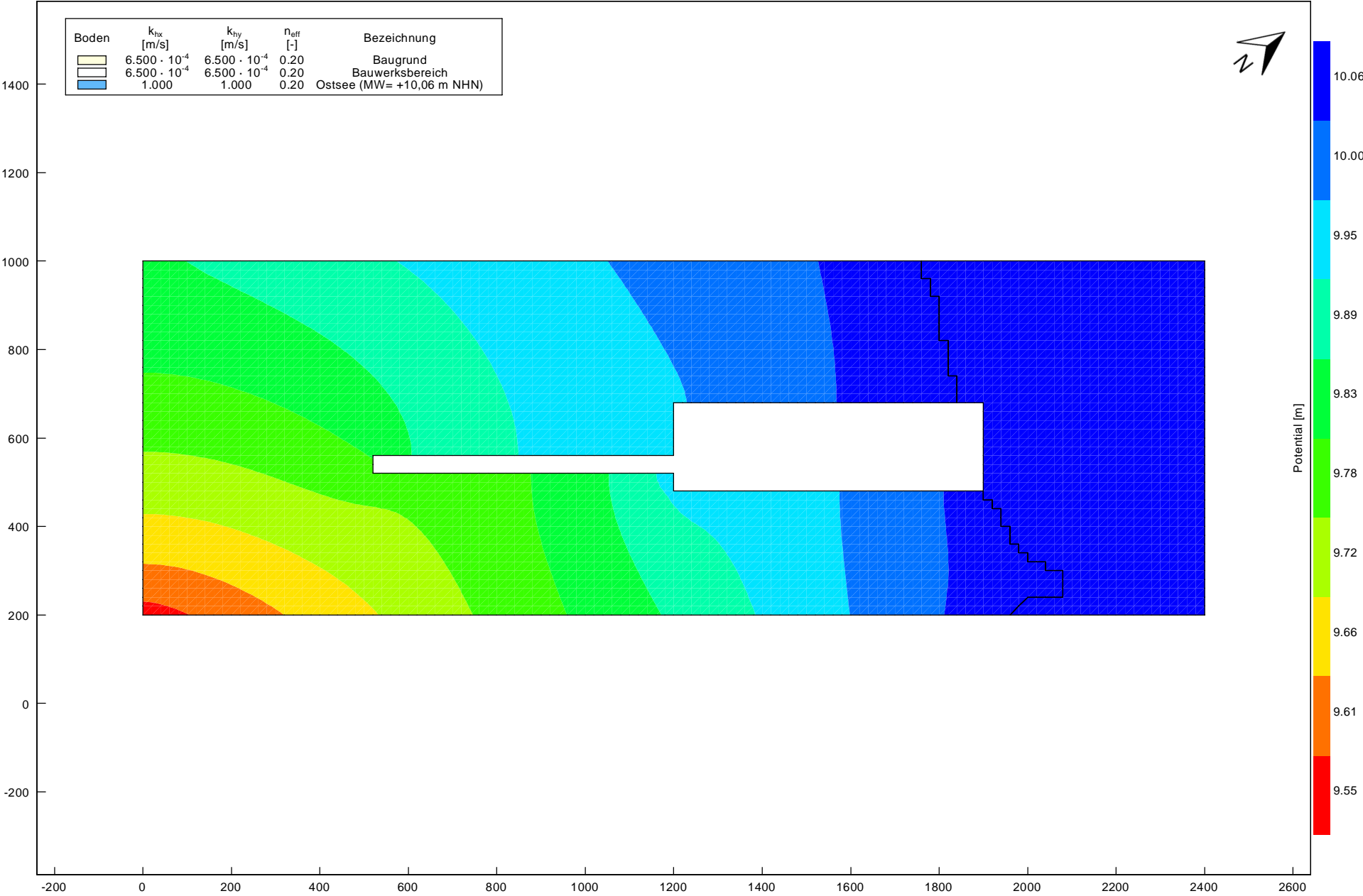
Im Zuge der Umweltplanung sollte diese Änderung auf eventuell vorhandene Naturräume, Schutzgebiete o. Ä. geprüft werden.

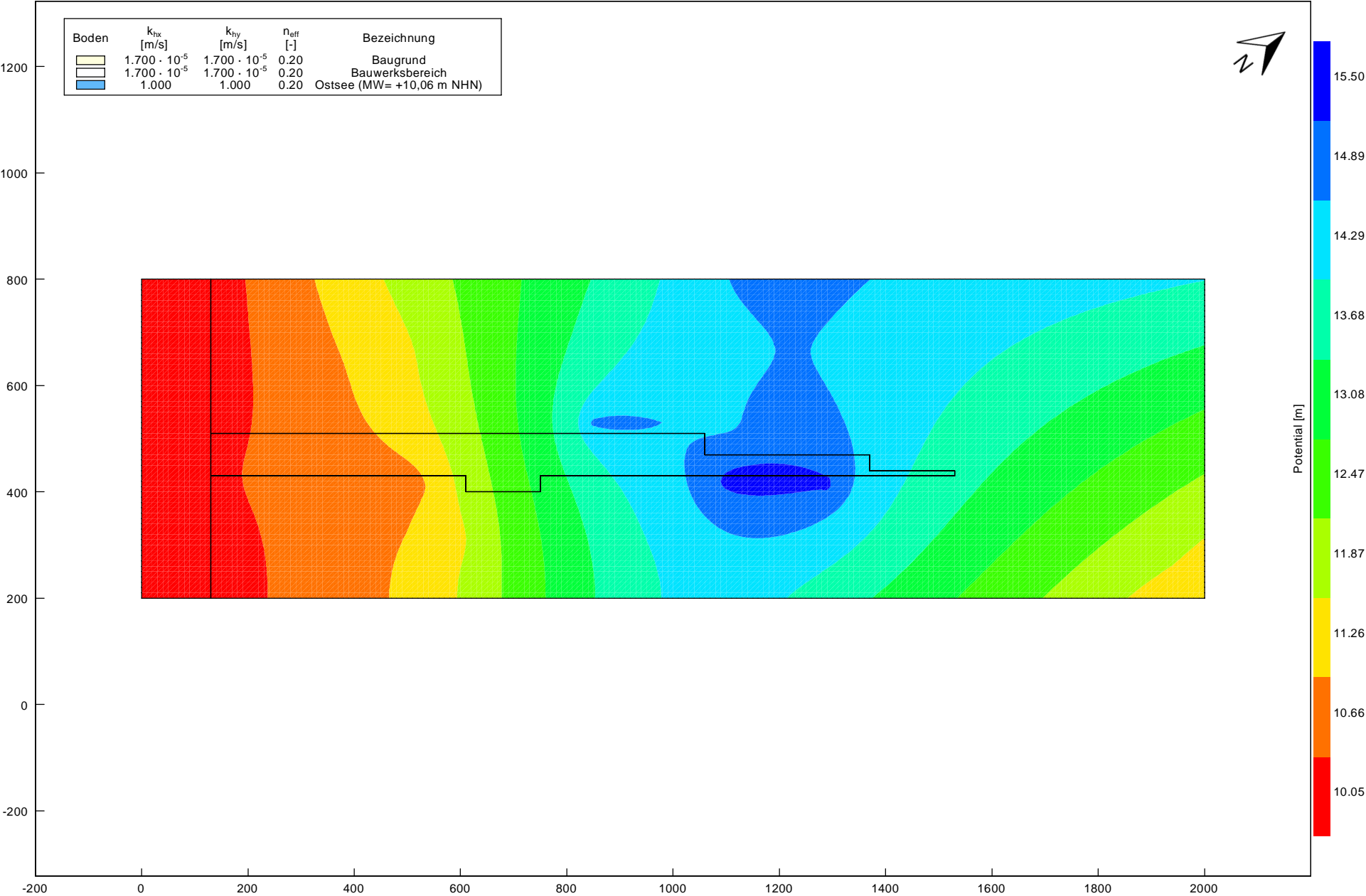
Die Absenkung auf dem Festland wird aus hydrogeologischer Sicht als unkritisch bewertet, da die Absenkung sehr gering ist und innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs liegt.

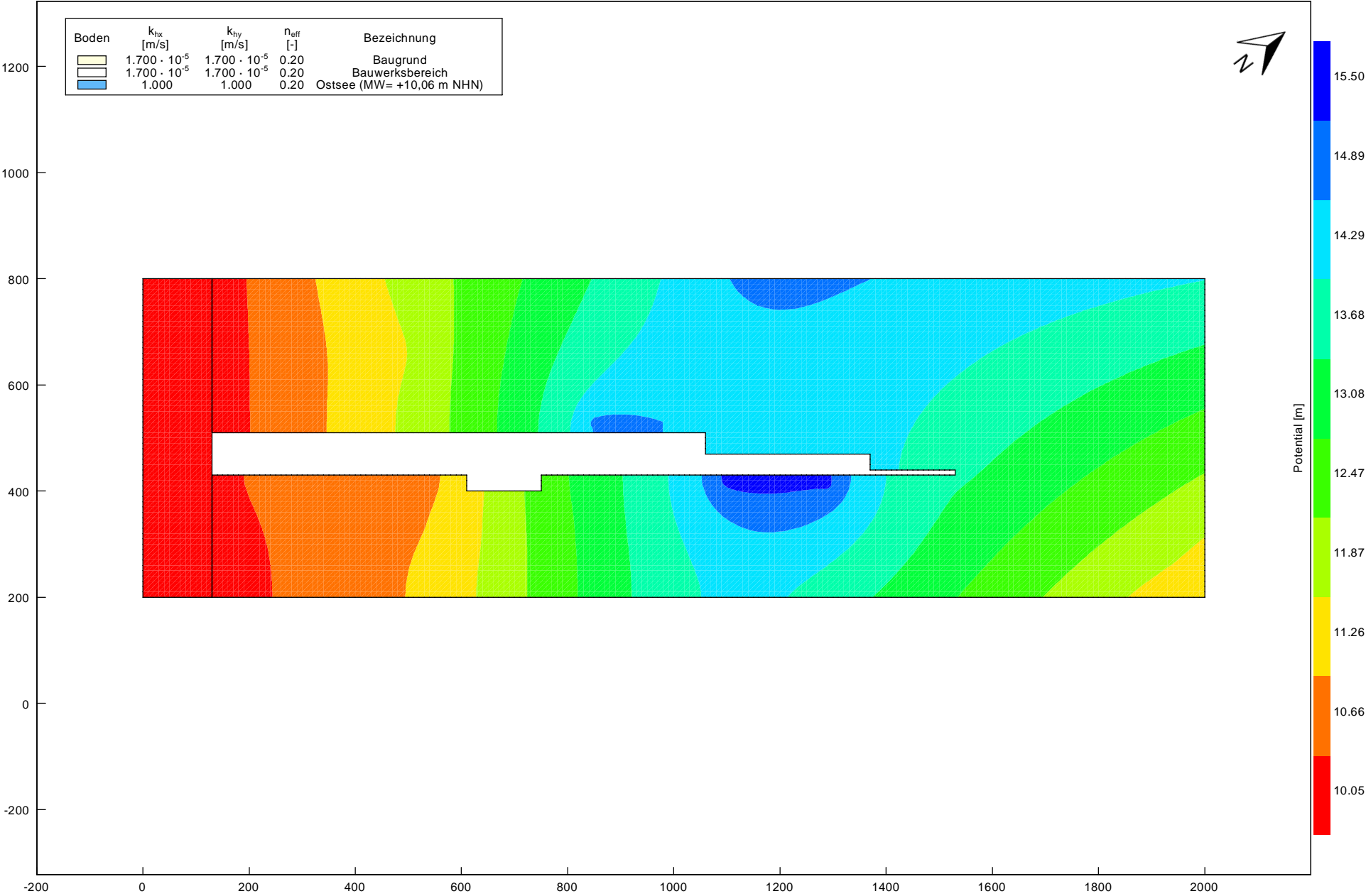
Anhand der verwendeten Randbedingungen und vorliegenden Grundwassermessdaten wurde ein natürliches Grundwasserströmungsmodell erstellt. Die Modellierung erfolgte unter vereinfachten Randbedingungen. Da es sich bei den GWM um punktuelle Aufschlüsse handelt, können geringe Abweichungen nicht ausgeschlossen werden können.

Insgesamt sind durch die Baumaßnahme geringe Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten. Die Veränderungen hinsichtlich des Aufstaus und der Absenkung des Grundwassers werden innerhalb des natürlichen Grundwasserschwankungsbereichs liegen und die hydrogeologischen Verhältnisse werden nicht signifikant verändert. Folglich sind keine Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und das Ökosystem zu erwarten.









Hydrogeologischer Bericht zur Berechnung der bauzeitlichen Wasserhaltung (IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH)

Projekt: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) Neubau der B 207 PFA Fehmarnsundquerung (FSQ) Unterlage für Wasserwirtschaftliche Belange			IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de	
Hydrogeologischer Bericht zur Berechnung der bauzeitlichen Wasserhaltung	Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087
	Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	5.12.1 – 5.12.38
	Geprüft:	Scandolo	Datum:	27.03.2025

Projekt: Fehmarnsundquerung
Strecke 1100
km 168,624 bis km 180,000

Hydrogeologischer Bericht

zur Berechnung der bauzeitlichen Wasserhaltung

Auftraggeber: DB InfraGO AG
I.II-N-F
Hammerbrookstraße 44
20097 Hamburg



Bestellung: 0016 / CD6 / 11210734
0016 / CD6 / 42200285

bearbeitet durch: IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH
Waisenhausstraße 10
09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 7989-0
E-Mail: kontakt@ibes-freiberg.de
www.ibes-freiberg.de

Projektnummer: 70-23-087-03

Datum: 28.04.2025



M. Sc. Janko Scandolo



Dr. Sebastian Niegel

Der Untersuchungsbericht umfasst 37 Blatt einschließlich Anlagen.

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines und Aufgabenstellung.....	5
1.1	Aufgabenstellung	5
1.2	Verwendete Unterlagen und Literatur	6
2	Berechnungsansatz	9
2.1	Wasserandrang nach Davidenkoff	9
2.2	Restwassermengen nach Borchert	10
3	Allgemeine Grundlagen	12
3.1	Geologie	12
3.2	Hydrogeologie	13
3.2.1	Allgemein.....	13
3.2.2	Teil-Grundwasserkörper	15
3.3	Geplante Bauwerke	18
3.3.1	Trogbauwerk Festland	18
3.3.2	Trockendock Festland	18
3.3.3	Tunnel offene Bauweise (ToB) Fehmarn	19
3.3.4	Trogbauwerk Fehmarn.....	19
4	Berechnung der Wasserhaltung	20
4.1	Niederschlagswasser	21
4.2	Statischer Wasservorrat.....	22
4.3	Grundwasser.....	22
4.3.1	Trogbauwerk Festland (Bahn-km 171,5+47 bis Bahn-km 172,2+03).....	23
4.3.1.1	Geböschter Baugrubenabschnitt (Bahn-km 171,5+47 bis Bahn-km 171,8+99) ...	23
4.3.1.2	Verbauter Baugrubenabschnitt (Bahn-km 171,8+99 bis Bahn-km 172,2+03)	23
4.3.1.2.1	Dimensionierung der Wasserhaltung.....	23
4.3.1.2.2	Berechnungsergebnis	24
4.3.2	Trockendock Festland (Bahn-km 172,2+03 bis Bahn-km 172,9+17)	24
4.3.2.1	Dimensionierung der Wasserhaltung.....	24
4.3.2.2	Berechnungsergebnis	25
4.3.3	Tunnel offene Bauweise Fehmarn (Bahn-km 174,6+81 bis Bahn-km 174,8+57).....	25
4.3.3.1	Dimensionierung der Wasserhaltung.....	25
4.3.3.2	Berechnungsergebnis	26
4.3.4	Trogbauwerke Fehmarn.....	26
4.3.4.1	Gemeinsamer Trog Bahn u. Straße (Bahn-km 174,8+57 bis Bahn-km 175,0+69)26	
4.3.4.1.1	Dimensionierung der Wasserhaltung.....	26
4.3.4.1.2	Berechnungsergebnis	27
4.3.4.2	Trog Bahn (Bahn-km 175,0+69 bis Bahn-km 175,6+07).....	27

4.3.4.2.1	Dimensionierung der Wasserhaltung.....	27
4.3.4.2.2	Berechnungsergebnis	28
4.3.4.3	Stützwand (Bahn-km 175,6+07 bis Bahn-km 175,8+09).....	28
4.3.4.3.1	Dimensionierung der Wasserhaltung.....	28
4.3.4.3.2	Berechnungsergebnis	29
4.3.4.4	Trog Straße (Straßen-km 4+585 bis Straßen-km 4+863)	29
4.3.4.4.1	Dimensionierung der Wasserhaltung.....	29
4.3.4.4.2	Berechnungsergebnis	30
5	Bewertung der Berechnungsergebnisse	30
5.1	Auswirkungen auf das Grundwasser	31
5.2	Ableitung der anfallenden Wassermengen.....	31
6	Schlussbemerkungen und Empfehlungen	33

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Grundwasserkörper ‚Kossau/ Oldenburger Graben‘ ST07 und ‚Fehmarn‘ ST08	15
--------	--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	w_{zul} für die Ermittlung der zulässigen Restwasserrate [U33]	11
Tabelle 2	Dichtigkeitsklassen nach Kluckert nach [U33]	11
Tabelle 3	Niederschlagsmengen für jede Baugrube.....	21
Tabelle 4	Berechnungsgrundlage Trogbauwerk Festland, verbauter Baugrubenabschnitt ..	24
Tabelle 5	Berechnungsergebnisse Trog Festland, verbauter Baugrubenabschnitt.....	24
Tabelle 6	Berechnungsgrundlage Trockendock Festland.....	24
Tabelle 7	Berechnungsergebnisse Trockendock Festland	25
Tabelle 8	Berechnungsgrundlage Tunnel offene Bauweise Fehmarn	25
Tabelle 9	Berechnungsergebnisse Tunnel offene Bauweise Fehmarn.....	26
Tabelle 10	Berechnungsgrundlage gemeinsamer Trog Bahn und Straße	26
Tabelle 11	Berechnungsergebnisse gemeinsamer Trog Bahn und Straße	27
Tabelle 12	Berechnungsgrundlage Trog Bahn.....	27
Tabelle 13	Berechnungsergebnisse Trog Bahn	28
Tabelle 14	Berechnungsgrundlage Trog Straße	29
Tabelle 15	Berechnungsergebnisse Trog Straße.....	29
Tabelle 16	Berechnungsgrundlage Trog Straße	29
Tabelle 17	Berechnungsergebnisse Trog Straße.....	30
Tabelle 18	Wassermengen während der Bauphasen, minimale und maximale Förderraten .	32

Anlagenverzeichnis

Anlage 1

Lagepläne

- Anlage 1.1 Übersichtslageplan der Baugruben auf dem Festland, unmaßstäblich
Anlage 1.2 Übersichtslageplan der Baugruben auf dem Fehmarn, unmaßstäblich

Anlage 2

Berechnungen

- Anlage 2.1 Berechnung des Wasserandrangs nach Davidenkoff für Fehmarn,
Stützwand, Bahn-km 175,6+07 bis Bahn-km 175,8+09
Anlage 2.2 Übersicht der Berechnungsgrundlage und -ergebnisse

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2022\70-22-087 DB Hydrogeol. Gutachten FSQ_SnI_ScI\Baugrunderkundung\Berichte\70-22-087-03_HB_Stand 25-04-28_Tmü.docx

1 Allgemeines und Aufgabenstellung

1.1 Aufgabenstellung

Im September 2008 wurde mit einem Staatsvertrag zwischen dem Königreich Dänemark und der Bundesrepublik Deutschland (BRD) der Bau einer „Festen Fehmarnbeltquerung“ beschlossen. Während Dänemark sich zum Bau des Tunnels durch den Fehmarnbelt verpflichtet hat, ist die Bundesrepublik Deutschland verantwortlich für die Herstellung einer leistungsfähigen landseitigen Straßen- und Schienenanbindung für das Bauwerk auf deutscher Seite (Hinterlandanbindung).

Für den Ausbau der Eisenbahnstrecke Lübeck – Puttgarden wurde die DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024 DB Netz AG) im Jahr 2008 auf der Grundlage des Bundesschienenwegeausbaugesetzes (BSWAG) vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, vormals BMVI) beauftragt. Die vorhandene Eisenbahnstrecke Lübeck –

Puttgarden (DB-Strecken-Nr. 1100) soll auf ca. 88 km zweigleisig ausgebaut, elektrifiziert und streckenweise auf eine maximale Geschwindigkeit von 200 km/h ertüchtigt werden. Als Ergebnis eines vom Land Schleswig-Holstein durchgeführten Raumordnungsverfahrens (ROV) werden durch Umfahrungen davon 55 km als Neubaustrecke realisiert.

Gemäß Bundesverkehrswegeplan 2030 und dem Gesetz zur Änderung des Fernstraßenausbaugesetzes vom 23.12.2016 wird die B 207 mit einem vierstreifigen Querschnitt zwischen Heiligenhafen-Ost und Puttgarden ausgebaut. Der Planfeststellungsbeschluss für den Ausbau der B 207 wurde 2015 erlassen. Dieser ist seit dem 25.08.2021 bestandskräftig. Die DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (nachfolgend kurz DEGES) wurde im Jahr 2019 vom Land Schleswig-Holstein beauftragt, den Ausbau der B 207 zu realisieren.

Im Zuge der Anbindung des Fehmarnbelt-Tunnels an das deutsche Schienen- und Straßennetz ist ein leistungsfähiger Ersatz bzw. eine Erweiterung für die bestehende Fehmarnsundquerung zwischen der Insel Fehmarn und dem ostholsteinischen Festland notwendig. Im Jahr 2010 durchgeführte Belastungstests haben gezeigt, dass die Fehmarnsundbrücke von 1963 den künftigen Belastungen des Verkehrs von Straße und Schiene nicht mehr gewachsen ist.

Deshalb wurden nachgelagert zum Projektauftrag von 2008 ab dem Jahr 2014 in einem aufwändigen Verfahren zahlreiche Varianten (Bohr- und Absenktunnel sowie kombinierte und getrennte Brücken) für eine leistungsfähigere Sundquerung untersucht. Der auf Ebene der Vorplanung durchgeführte Variantenvergleich hat als Vorzugsvariante einen „Kombinierten Absenktunnel“ für den zukünftigen Straßen- und Eisenbahnverkehr ergeben.

Die Tunnellösung mit Erhalt der Fehmarnsundbrücke trägt den verkehrlichen Erfordernissen im Hinblick auf Leichtigkeit und Sicherheit Rechnung und entspricht zudem der im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung vom „Dialogforum Feste Fehmarnbaltquerung“ erarbeiteten Konsensvariante.

Der kombinierte Absenktunnel für Schiene und Straße wird gemeinsam von den Vorhabenträgerinnen DB InfraGO AG und Bundesrepublik Deutschland, letztgenannte vertreten durch das Land Schleswig-Holstein, vertreten durch die DEGES, geplant und realisiert. Die Ertüchtigung der Fehmarnsundbrücke für die langsamen Verkehre wird durch die DEGES im Auftrag des Landes Schleswig-Holstein als eigenständiges Projekt realisiert.

Für die Umsetzung der Wasserhaltung sowie die Einleitung des gesammelten Grundwassers in die Vorflut ist die Einholung einer wasserrechtlichen Genehmigung erforderlich. Hierfür ist eine Berechnung der Wasserhaltungsmaßnahme erforderlich, um die Maßnahmen zur Wasserhaltung zu dimensionieren (Anzahl und Tiefe der Brunnen, geförderte Wassermengen o. Ä.). Die Berechnungen für die offenen Baugruben wurden nach Davidenkoff [U36] durchgeführt. Die Abschätzung der Restwassermengen der wasserdicht verbauten Baugruben erfolgte nach Borchert ([U33], [U34]).

1.2 Verwendete Unterlagen und Literatur

Projektbezogene Unterlagen:

- [U1] DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024, DB Netz AG): Leistungsanfrage, 1. Maßnahme A043054, SAP-RV-Nummer: 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per Lieferantenportal der Deutschen Bahn vom 31.03.2022
- [U2] IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH: Leistungsbestätigung, 1. Maßnahme A043054, SAP-RV-Nummer: 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per Lieferantenportal der Deutschen Bahn vom 31.03.2022
- [U3] DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024, DB Netz AG): Bestellung 0016 / CD6 / 11210734 zum Rahmenvertrag Nr.: 1000 / EBO / 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per E-Mail vom 08.04.2022
- [U4] DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024, DB Netz AG): Bestellung 0016 / CD6 / 42200285 zum Rahmenvertrag Nr.: 1000 / EBO / 92298792, Hydrogeologisches Gutachten für die FSQ, per E-Mail vom 24.02.2023
- [U5] PFU 41.04 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Trogbauwerke Großenbrode Bau-km 171,5+47 bis Bau-km 172,2+03, Fehmarn Bau-km 174,8+59 bis Bau-km 175,7+42, Geotechnischer Bericht, Hamburg

- [U6] PFU 41.02 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS
 Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Trockendock Bahn Bau-km
 172,2+03 – Bau-km 172,9+17, Geotechnischer Bericht, Hamburg
- [U7] PFU 41.03 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS
 Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Tunnel offene Bauweise
 Bau-km 174,6+82 – Bau-km 174,8+59, Baugrundbeurteilung, Hamburg
- [U8] PFU 41.03 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS
 Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Tunnel offene Bauweise
 Bau-km 174,6+82 – Bau-km 174,8+59, Gründungsbeurteilung, Hamburg
- [U9] Ingenieurgemeinschaft fehmarlink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH:
 Planungsunterlagen zu Baugruben, per E-Mail vom 29.09.2023 und 14.12.2023
- [U10] PFU 41.06 BBI, Fehmarnsundquerung (FSQ) ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden
 Fehmarnsundquerung. Hier: Strecke Bahn Bau-km 170,4+22 – Bau-km 171,5+47
 (Festland) und Bau-km 175,6+06 – Bau-km 176,7+00 (Fehmarn), Geotechnischer
 Bericht
- [U11] Ingenieurgemeinschaft fehmarlink Absenktunnel Höhenplan Planungsfall c - Variante
 ATc_T06.3B, Strecke 1100, km 170,9+55 - km 176,1+58, Stand 06/2020
- [U12] BBI, Fehmarnsundquerung (FSQ) ABS/NBS Hamburg-Lübeck-Puttgarden
 Fehmarnsundquerung. Hier: Streckenabschnitte Bau-km 0-044 – Bau-km 1+760 Bau-km
 4+863 – Bau-km 6+342, Geotechnischer Bericht, Baugrund- und Gründungsbeurteilung,
 21. September 2023
- [U13] Ingenieurgemeinschaft fehmarlink2 - Absenktunnel, Ramboll, Böger + Jäckle, Schnitte,
 eingegangen per E-Mail am 12.04.2023
- [U14] PFU 41.01 BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS
 Hamburg-Lübeck-Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Absenktunnel Bau-km
 172,8+73 – Bau-km 174,6+82, Baugrundbeurteilung, Hamburg
- [U15] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: ABS/NBS Hamburg-Lübeck-
 Puttgarden – Fehmarnsundquerung; Hier: Pump- und Absenkversuche, Stellungnahme,
 Vorabzug, Hamburg, 14.09.2022
- [U16] BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH: Fehmarnsundquerung (FSQ)
 RV-Trasse Variantenuntersuchung im Rahmen einer Vorplanung, Hydrogeologischer
 Bericht, Hamburg, 21.01.2020

- [U17] Ingenieurgesellschaft Dr. Reinsch mbH (2012): Hydrogeologisches Sondergutachten zur Raumordnerischen Umweltverträglichkeitsuntersuchung (RO-UVS / RVU) - Schienenhinterlandanbindung Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ), Sukow bei Schwerin.
- [U18] TGP/KfL (2017): Vierspuriger Ausbau der B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und Puttgarden - Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie, o. O.
- [U19] Ingenieurgemeinschaft fehmarnlink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH: Bauablaufplan (Stand Oktober 2023), per E-Mail vom 08.01.2024
- [U20] BBI, Fehmarnsundquerung (FSQ) RV-Trasse Variantenuntersuchung im Rahmen einer Vorplanung; Hier: Neubau einer Kombinierten Brücke, Neubau zweier getrennter Brücken, Geotechnischer Bericht, 16.02.2018.
- [U21] AKVO GmbH: Vorabinformationen zur Gewässerökologie, per E-Mail vom 09.04.2024.

Allgemeine Unterlagen:

- [U22] W. Herth, E. Arndts, Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung, Berlin 1994
- [U23] Johannsen, A. (1980): Hydrogeologie von Schleswig-Holstein. In: BGR- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.] (1980): Geologisches Jahrbuch Reihe C, Heft 28, Hydrogeologie - Ingenieurgeologie, Hannover.
- [U24] Toloczyki, M.; Trurnit, P.; Voges, A.; Wittekindt, H.; Zitzmann, A. (2006): Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (GK1000). BGR- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Hannover.
- [U25] Jakobsen, O. (2004): Die Grube-Wesseker Niederung (Oldenburger Graben, Ostholstein): Quartärgeologische und geoarchäologische Untersuchungen zur Landschaftsgeschichte vor dem Hintergrund des anhaltenden postglazialen Meeresspiegelanstiegs, Kiel.
- [U26] BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2002): Geoviewer - Hydrogeologie Deutschland (Sammlung 9 Hydrologische Karten), Hannover.
- [U27] BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland - Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gesteine, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung, Hannover.
- [U28] Johannsen, A. (1958): Insel Fehmarn - 3. Hydrogeologie 1:50 000. In: Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein [Hrsg.] (1958): Geologische Landesaufnahme von Schleswig-Holstein, Kiel.

- [U29] WSV Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Stammdaten des Pegels Heiligenhafen. In: www.pegelonline.wsv.de, Stand: 10.05.2023, abgerufen 11.05.2023.
- [U30] Busch, K.-F. und Luckner, L. (1974): Geohydraulik für Studium und Praxis, Enke Verlag.
- [U31] Junghänel U.A. (2022): Niederschlagshöhen für den Untersuchungsstandort nach KOSTRA-DWD-2020
- [U32] Schleswig-Holstein – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und Digitalisierung (<https://danord.gdi-sh.de>), 2023.
- [U33] Borchert, K.-M.: Innerstädtische Baugruben, Erfahrungen zu Verformungen und Dichtigkeit, 6. Kolloquium Bauen in Boden und Fels, Technische Akademie Esslingen, 22.-23.01.2008, S. 25–38.
- [U34] Borchert, K.-M.: Dichtigkeit von Baugruben bei unterschiedlichen Sohlen-Konstruktionen – Lehren aus Schadensfällen, VDI Verein Deutscher Ingenieure, Jahrbuch 1999, VDI Verlag, Düsseldorf, 1999.
- [U35] Kübel, C.; Schmitt, J.; Huber, H.: Abschätzung von Restwassermengen für einen Spundwandverbau in tiefen Baugruben im Frankfurter Baugrund, 13. Kolloquium 'Bauen in Boden und Fels', Technische Akademie Esslingen, 01.-02.02.2022, S. 197-209, ISBN 978-3-8169-3545-2, 2022
- [U36] Rostislav Davidenkoff: Angenäherte Ermittlung des Grundwasserzuflusses zu einer in einem durchlässigen Boden ausgehobenen Baugrube. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 7. Karlsruhe 1956.

2 Berechnungsansatz

Im vorliegenden Bericht werden wasserdichte und nicht wasserdichte (geböscht oder teilweise geböscht) Baugruben betrachtet. Aufgrund der Baugrubengestaltung und der erkundeten Wasserstände wurde sich für die Berechnungen nach Davidenkoff (nicht wasserdichte Baugruben) und Borchert (wasserdichte Baugruben) entschieden.

2.1 Wasserandrang nach Davidenkoff

Von Davidenkoff [U36] ist auf theoretischem Wege eine Berechnung zur Erfassung der Wassermenge entwickelt worden, die einer Baugrube zufließt, wenn sie mit offener Wasserhaltung oder einer Dränung entwässert wird (gemäß [U22]).

Für die nicht wasserdicht verbauten Baugruben wurden der Wasserandrang nach folgender Formel berechnet:

$$Q = k \cdot H^2 \cdot \left[\left(1 + \frac{t}{H} \right) \cdot m + \frac{L_1}{R} \cdot \left(1 + \frac{t}{H} \cdot n \right) \right]$$

mit

Q = Wasserandrang in der Baugrube [m³/s]

k = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

H = Abstand GW-Spiegel zu Baugrubensohle [m]

t = Abstand zwischen Baugrubensohle und Oberkante Wasserstauer [m]

m = Beiwert aus L_2/R

n = Beiwert aus t/R

L_1 = Länge der Baugrube [m]

L_2 = Breite der Baugrube [m]

R = Reichweite nach Sichardt [m] = $3000 \cdot s \cdot \sqrt{k}$

s = Absenkung

Als abzusenkender Betrag wurde die größte Mächtigkeit der wasserführenden Schicht innerhalb der jeweiligen Baugrube berücksichtigt.

2.2 Restwassermengen nach Borchert

Für die wasserdicht verbauten Baugruben erfolgte die Abschätzung der Restwassermengen nach Borchert ([U33], [U34]).

Für die Berechnung der Restwassermenge ist die Systemdurchlässigkeit der Baugrube abzuschätzen, die von der Verbauart, der Abdichtung der Baugrubensohle und dem Baugrund abhängig ist. Die Systemdurchlässigkeit wird über eine spezifische Restwassermenge oder -rate m³/h je 1000 m² benetzter Fläche angegeben (gemäß [U35]).

Die Ermittlung der spezifischen Restwassermenge der Sohlen erfolgt nach der Formel von Borchert. Dieser definiert über seine Formel, welche Restwasserrate (zul. q_R) zulässig für die jeweilige Art der Sohle ist. Im weiteren Verlauf wird nicht von der zulässigen Restwasserrate gesprochen, sondern von der ermittelten spezifischen Restwassermenge für die Sohlen q_{Sohle} [U35].

$$q_{\text{Sohle}} = w_{\text{zul}} \cdot \Delta h$$

w_{zul} [m³/h je 1000 m²] wird für die Sohlen der Tabelle 1 entnommen.

Borchert differenziert nach Art der Sohle, da die Bauabläufe und mögliche Versagensarten unterschiedliche Einflüsse auf den Durchfluss haben (gemäß [U35]).

So wurde, auf der sicheren Seite liegend, für die Berechnungen in diesem Bericht für die vorwiegend an der Baugrubensohle anstehenden Geschiebemergel, Tarrastone und/oder teilweise mit einer Magerbetonschicht versiegelten Sohlen angelehnt an Tabelle 1 ein zulässige Restwasserrate von 2,0 m³/h je 1000 m² verwendet.

Tabelle 1 w_{zul} für die Ermittlung der zulässigen Restwasserrate [U33]

Sohlenart	w_{zul} [m ³ /h je 1000 m ²]		
	Probeabsenkung	Lenzen	Endzustand
Weichgelsohle (Natriumsilikat mit einem anorganischen Reaktiv)	0,5	0,5	0,5
Unterwasserbetonsohle	1,0	1,0	1,0
Tiefliegende Düsenstrahlsohle	2,0	2,0	2,0
Hochliegende Düsenstrahlsohle	0,25	0,5	0,5
Mittelhochliegende Düsenstrahlsohle	0,5	0,5	0,5
Tiefliegende Feinstzementsohle	2,0	2,0	2,0

Kluckert (siehe Tabelle 2) empfiehlt Bauwerke in Dichtigkeitsklassen einzuordnen und gibt entsprechende Leckageraten und Systemdurchlässigkeitsbeiwerte an. Aufgrund der zum Großteil bindig anstehenden Böden (Beckenschluff, Geschiebeböden, Tarraston), welche im Mittel mindestens einen k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s aufweisen (siehe [U5], [U6], [U7] und [U8]), wurde bei der Berechnung der Restwassermengen für eine Geotechnische Dichtigkeitsklasse H und folglich einer Leckagerate von 0,18 m³/h je 1000 m² gewählt.

Tabelle 2 Dichtigkeitsklassen nach Kluckert nach [U33]

Geotechnische Dichtigkeitsklasse	Bauwerksart	Leckagerate		Systemdurchlässigkeitsbeiwert bei $i = 0,5$ k_f [m/s]
		l/s je 1000 m ²	m ³ /h je 1000 m ²	
N	Bauwerke und Baugruben <u>mit normalen Dichtigkeitsanforderungen</u>	1,5	5,4	$3 \cdot 10^{-6}$
H	Bauwerke wie Klasse N, <u>jedoch mit hohen Dichtigkeitsanforderungen</u>	0,05	0,18	$1 \cdot 10^{-7}$
G	Bauwerke wie Klasse N, <u>jedoch mit geringen Dichtigkeitsanforderungen</u>	2,5	9,0	$5 \cdot 10^{-6}$

Die Ermittlung von Δh erfolgt für jede Baugrube einzeln und ergibt sich aus der Differenz zwischen dem bauzeitlichen Bemessungswasserstand und dem Absenkziel (siehe auch Anlage 2.2).

Δh wird bei Baugruben, in denen das Aushubniveau unterschiedlich sein wird (abhängig von Gradienten), über das gemittelte Absenkziel ermittelt.

Ebenso werden die bauzeitlichen Bemessungswasserstände, welche auf dem Niveau der GOK festgelegt worden sind (entnommen aus den Geotechnischen Berichten, Verweis ist Anlage 2.2 zu entnehmen), über die gemittelte GOK (basierend auf Ansatzhöhen der Aufschlüsse) verwendet. Durch das gemittelte Δh ergeben sich gemittelte Wasserstände bzw. daraus folgend gemittelte benetzte Flächen der Baugruben, wodurch man ein realitätsnahes Ergebnis erhält.

Der Durchfluss auf Grundlage der Systemdurchlässigkeiten wurde folgendermaßen berechnet:

Durchfluss durch die Baugrubensohle: $Q_{\text{Sohle}} = A_{\text{Sohle,benetzt}} \cdot q_{\text{Sohle}}/1000 \text{ m}^2$

Durchfluss durch die Baugrubenwände: $Q_{\text{Wände}} = A_{\text{Wände,benetzt}} \cdot q_{\text{Wände}}/1000 \text{ m}^2$

Durchfluss durch das gesamte System: $Q_{\text{Gesamt}} = Q_{\text{Sohle}} + Q_{\text{Wände}}$

mit:

$A_{\text{Sohle,benetzt}}$ = benetzte Sohlfläche [m^2]

$A_{\text{Wände,benetzt}}$ = benetzte Wandfläche [m^2]

q_{Sohle} = spezifische Restwassermenge der Sohle [m^3/h je 1000 m^2]

$q_{\text{Wände}}$ = spezifische Restwassermenge der Wände [m^3/h je 1000 m^2]

3 Allgemeine Grundlagen

3.1 Geologie

Im gesamten Untersuchungsgebiet variieren die Schichtgeometrien und Sedimente in der lateralen Verbreitung und horizontalen Tiefenlage und sind somit diskontinuierlich. Ursache hierfür ist eine tiefgreifende glazialtektonische Überprägung, weshalb die Schichten in einer starken Diskordanz vorliegen. So sind z. B. jüngere und ältere Sedimente ineinander verzahnt und verschuppt vorhanden, unabhängig von ihrem eigentlichen Ablagerungszeitpunkt. Ein genereller Schichtenverlauf ist daher im gesamten Untersuchungsgebiet nicht ableitbar, sondern zeichnet sich durch ein hohes Maß an kleinräumiger Variabilität aus.

Oberflächennah ist weitestgehend eine Deckmoräne aus vorwiegend sandigem Geschiebemergel vorhanden. Der dominante Formungsprozess ist glazial, weshalb Geschiebeböden, wie sandiger Geschiebemergel (Mg) oder toniger Geschiebemergel (Mg, t), dominant verbreitet sind. Durch eine glazialtektonische Verstellung wurde abschnittsweise in den Geschiebemergel der Tarraston eingearbeitet, der genetisch aus dem anstehenden, tieferen Untergrund stammt (Mg mit Tarras).

Das zweite dominante Sediment ist der eozäne Tarraston, der als grüne oder braune Variation vorkommt und im Liegenden unterhalb des Geschiebemergels großflächig vorhanden ist.

Dieser ist jedoch glazialtektonisch verstellt und bereichsweise bis dicht unter die derzeitige Geländeoberkante zerschert und aufgefaltet.

Untergeordnet sind Sandlagen, Sandlinsen und -schichten vorhanden, die in der nun untersuchten Trasse jedoch kein Kontinuum ausbilden, sondern vorwiegend solitär verbreitet sind. An einzelnen Standorten sind die Sandlagen stark mit bindigen Böden verzahnt.

Im Sund, dicht an der Festlandküste gelegen, wurde eine größere Sandschicht erkundet. Eine weitere Sandschicht mit größerer Ausdehnung wurde auf der Insel Fehmarn in einem Tiefenniveau von rd. – 20 m NHN bis – 39 m NHN aufgeschlossen. Lediglich eine kompakte Sandbank wurde in der Nähe der Küstenlinie auf Fehmarn aufgeschlossen.

Die glazifluviatilen Beckenablagerungen (Beckenschluffe und Schluffe), wurden ebenfalls untergeordnet in geringmächtigen Lagen aufgeschlossen. Eine lokal höhere Verbreitung ist in den inselseitigen vorhanden.

Landseitige Aufschlüsse weisen eine Bedeckung aus durchwurzelbarem, humosem Oberboden in Mächtigkeiten von 0,3 m bis 0,7 m auf. Anthropogene Auffüllungen wurden nicht aufgeschlossen.

Der Geschiebelehm ist gleichermaßen lediglich landseitig in den Aufschlüssen vorhanden und diskontinuierlich mit weitestgehend geringer Mächtigkeit unterhalb der Oberbodenaufgabe vorhanden. Eine untergeordnete Stellung nehmen im untersuchten Projektgebiet organische Böden wie Schlick und Mudden ein [U14]. Detaillierte Angaben zum erkundeten Baugrund sind den Geotechnischen Berichten [U5], [U6], [U7], [U8] und [U10] zu entnehmen.

3.2 Hydrogeologie

3.2.1 Allgemein

Der Bereich, in den der Neubau eingreift, gliedert sich in die Landzunge Großenbrode und die Insel Fehmarn sowie den Gewässerkörper Fehmarnsund. Für die Betrachtung des hydrologischen Raums wird das Untersuchungsgebiet, da die großräumige Grundwassersituation zu bewerten ist, flächenhaft erweitert und aufgrund seiner inneren Homogenität als hydrogeologischer Teilraum „Wagrien-Fehmarn“ bezeichnet (gemäß [U16]).

Die pleistozänen Ablagerungen aus den Grundmoränen der drei Hauptvereisungen Elster, Saale und Weichsel bilden die primäre Ablagerung des Teilraums „Wagrien-Fehmarn“. Die Eisvorstöße überfuhren oszillierend mehrfach den Untergrund und mächtige Geschiebemergellagen wurden abgelagert. Der Geschiebeboden ist zum Teil mit aufgearbeitetem Tarras-Ton vermischt. Die Grundmoränen sind kuppig ausgeprägt, mit deutlichem Relief. Der Untergrund ist glazialtektonisch gestaucht und verschuppt, kleinere Moränen sind überfahren.

Die Grundmoränen haben die hydrogeologische Funktion eines Wasserstauers bzw. Wassergeringleiters und sind per se als Grundwasserkörper ungeeignet (vgl. [U23], Tab. 2).

Die Gebiete Großenbrode und Fehmarn sind weitestgehend aus den Geschiebeböden der Grundmoräne aufgebaut (gemäß [U16]).

Untergeordnet lagern Glazialschotterdecken, bestehend aus Vorschüttssanden sowie Seiten- und Endmoränenwällen an der Oberfläche [U24]. Die Glazialschotterdecken bieten die hydrogeologische Voraussetzung, um als Grundwasserleiter zu fungieren. Dies ist jedoch abhängig von der Granulometrie, der Abdeckung und der Mächtigkeit (gemäß [U16]).

Im Untersuchungsgebiet sind zwei für die Grundwasserführung relevante Endmoränenzüge bekannt: die Heiligenhafener- und die Wandelwitzer Höhen [U25], [U26]. Sie bestehen aus unsortierten Lockergesteinsmassen mit einer Teilbedeckung aus Schmelzwasserablagerungen und Vorschüttssanden. Die Endmoränen sind im Untersuchungsgebiet mit Geschiebemergel überschoben, gestaucht und haben deshalb keine durchgehende Wasserwegsamkeit. Die hydrogeologische Funktion ist die eines Wasserleiters bis Wassergeringleiters (gemäß [U16]).

Die untergeordnet vorkommenden Sanderflächen, bestehend aus glazifluviatilen Ablagerungen, sind an den Flanken der Endmoränen stellenweise verbreitet und bilden den oberen Wasserleiter (z. B. an der Hanglage Klaustorf bis zur Ostsee). Die Sand- und Kieseinheiten besitzen eine gute bis sehr gute Durchlässigkeit und zeigen charakteristische Werte von $k_f = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ bis $k_f = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Da dieser oberflächennahe Wasserleiter unbedeckt ansteht, ist er für wasserwirtschaftliche Zwecke weitestgehend ungeeignet, da er vulnerabel gegenüber Schadstoffeinträgen und durch direkten Kontakt mit dem Ostseewasser potenziell versalzen ist [U23] (gemäß [U16]).

Die übrigen sandig-kiesigen Moränen sind entweder lediglich kleinräumig vorhanden oder infolge der eiszeitlichen Genese durch Gering- bis Nichtleiter voneinander abgeschnitten. Weiterhin sind die Wasserleiter infolge glazialtektonischer Vorgänge mit den Grundmoränen (Geschiebemergel) und aufgearbeiteten triassischen Tonen verschuppt, weswegen sie in der Tiefenlage und Mächtigkeit diskontinuierlich vorliegen und häufig keine Konnektivität aufweisen. Allenfalls ist die Einzelnutzung als Trink- und Brauchwasserbrunnen unter günstigen hydrogeologischen Gegebenheiten möglich. Wenn in Einzelfällen eine lokale hydraulische und hydrologische Verbindung von Glazialschotterdecken gegeben ist, kann eine zentrale Wasserversorgung kleinerer Ortschaften erfolgen, wie z. B. durch die Wasserwerke Grube [U23] (gemäß [U16]).

Die Randbereiche der permischen Salzkissen pausen sich bis in die pleistozäne Landschaftsgenese durch. So ist der Verlauf der pleistozänen Erosionsrinne Oldenburger Graben entlang des Cismarer Salzkissens angelegt.

Die subglazialen Rinnen des Pleistozäns stellen hydrogeologisch potente Wasserleiter dar, wenn sie, wie im Oldenburger Graben größtenteils mit Sand-Kies-Gemisch verfüllt sind [U25], [U23] (gemäß [U16]).

3.2.2 Teil-Grundwasserkörper

In dem hydrogeologischen Teilraum „Wagrien-Fehmarn“ können zwei Grundwasserkörper des Hauptgrundwasserleiters unterschieden werden. Auf Festland-Seite entspricht das dem Grundwasserkörper ST07 Wagrien Nord (Kossau / Oldenburger Graben) und auf Fehmarn-Seite ST08 Fehmarn (siehe Abb. 1).

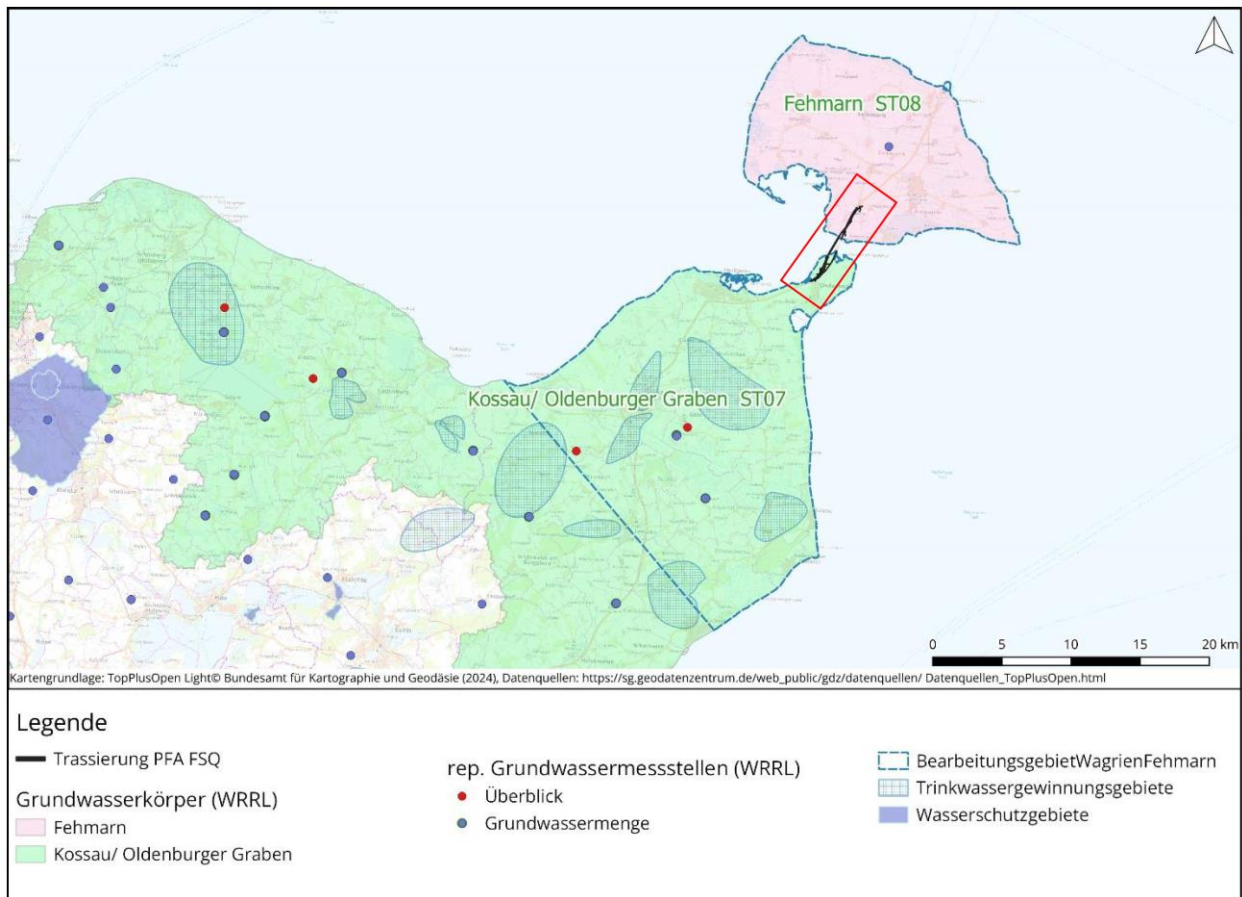


Abb. 1 Grundwasserkörper ‚Kossau/ Oldenburger Graben‘ ST07 und ‚Fehmarn‘ ST08 mit repräsentativen Messstellen nach EU-WRRL (nach [U32]) und Lage des Untersuchungsgebiets (rot) (entnommen aus [U21]).

In dieser Untersuchung wird die Region **Wagrien Nord** als nahezu hydraulisch entkoppelter Teilgrundwasserkörper betrachtet. Grund hierfür ist, dass der Grundwasserabstrom auf die markante unterirdische Tiefenlinie des Oldenburger Grabens gerichtet ist und die hydrologischen Verhältnisse der südlichen Grabenseite für die Betrachtung im vorliegenden Fall vernachlässigt werden können [U25]. Weiterhin definiert die Küstenlinie der Ostsee die restlichen Grundwasserkörpergrenzen.

Der geschlossene Grundwasserleiter ist unterhalb des min. 10 m mächtigen Geschiebemergels ausgebildet und nicht flächendeckend vorhanden, da er von glazialtektonisch zerscherten Geschiebeböden und untereoziänen Tarras-Tonen durchschnitten wird [U23]. In den Geschiebemergel sind allerdings meist lokal wasserführende Sande eingeschaltet. Eine Nutzbarmachung des Grundwasservorkommens als Zentralversorgung ist nicht möglich (gemäß [U16]).

Im Bereich der Oldenburger Mulde (Oldenburg bis zu den Heiligenhafener Höhen) ist ein bedeutendes Grundwasservorkommen kartiert, das im Zusammenhang mit den Braunkohlesanden steht [U26]. Jedoch ist auch hier ein stark gestörter Schichtenaufbau vorhanden, der den Grundwasserabstrom behindert, welcher von den Heiligenhafener und Wandelwitzer Höhen in breiter Front zum Oldenburger Graben verläuft [U23]. Die Grundwasserscheide zur Ostsee wird ebenfalls von den beiden Höhenzügen definiert [U17] (gemäß Unterlage [U16]). Die Landzunge Großenbrode weist dem hingegen keine nennenswerten Grundwasservorkommen auf [U16]. Lediglich punktuelle Vorkommen können für eine örtliche Einzelversorgung durch z. B. lokale Brunnen bewirtschaftet werden. Die Ausbautiefe wird dann in Tiefen von 20 m bis 40 m dokumentiert [U23], das Fördervolumen beträgt meist < 2 l/s [U26]. Größere Vorkommen von mit Wasser gefüllten Sanden sind im Mündungsbereich der Großenbroder Aue bekannt. Dieser Grundwasserleiter steht in direkter Verbindung mit der Ostsee und ist versalzen [U23], [U27] (gemäß [U16]).

Die äußere Grenze des Grundwasserkörpers **Fehmarn** befindet sich an der Küstenlinie zur Ostsee. Fehmarn weist keine hydrogeologisch relevanten Grundwasserleiter auf und ist generell ein Grundwassermangelgebiet [U18]. Geschiebeböden lagern direkt auf dem triassischen Ton auf und bilden einen Nichtleiterblock [U23]. Geschlossene, großräumige Glazialschotterdecken sind nicht vorhanden.

Hydraulisch voneinander entkoppelte Sandlagen und -linsen sind lokal bestätigt. Das Schutzpotenzial durch Deckschichten ist im Bereich der Siedlung Fehmarnsund ungünstig, steigt entlang der B 207 bis Avendorf von mittlerer bis zu günstiger Güte [U26] (gemäß [U16]).

Es bestehen keine nennenswerten Grundwasservorkommen in dem betrachteten Gebiet. Lediglich punktuelle Vorkommen können für eine örtliche Einzelversorgung bewirtschaftet werden. Das Fördervolumen beträgt meist < 2 l/s [U26]. Meist wird eine Brauchwasserförderung über angelegte Sickerwasserbrunnen anvisiert. Insgesamt wird die Stauwasserbildung bis an die Geländeoberkante durch die Geschiebeböden begünstigt. Weiterhin dienen die tonigen Böden als Zwischenspeicher für Niederschläge und die oberflächliche Entwässerung führt das Wasser rasch in die Ostsee ab. Zusätzlich zu den ungünstigen geologischen Bedingungen ist deshalb die Grundwasserneubildungsrate sehr gering (gemäß [U16]).

Das Grundwasservorkommen „Strukkamp“ befindet sich in dem Eingriffsbereich des Bauvorhabens und hebt sich quantitativ von der übrigen Situation Fehmarns ab. Es ist jedoch qualitativ unergiebig (bis 1 l/s) und an dem Küstenareal des Fehmarnsunds versalzen. Die Oberkante des Grundwasserleiters „Strukkamp“ liegt in einem Tiefenniveau von 0,5 m bis 10 m unter Flur [U28] und [U23]. Dieser wurde im Rahmen der Baugrunduntersuchungen auch erschlossen (siehe Anlage 2 in [U16]), (gemäß [U16]).

Das dazu benachbarte und nicht korrespondierende Grundwasservorkommen „Wulfener Berg“ lässt ebenfalls keine Versorgungsvorhaben zu. Als einziges Gebiet mit höherem Grundwasservorkommen ist eine Sand-Kies-Bank im Raum Burg bekannt, die voraussichtlich jedoch nicht aus dem Bereich, wo die Trasse einschneiden soll, gespeist wird [U28], [U23], [U18].

Entsprechend des hydrogeologischen Berichtes [U16] korrespondiert der Grundwasserkörper ST08 Fehmarn nicht mit dem Grundwasserkörper ST07 Wagrien Nord. Für die Beurteilung wurden Literaturdaten und landseitige Bohrungen herangezogen. Anhand dieser konnte entlang zwei parallel verlaufender Achsen eine mächtige geologische Barriere aus Geschiebemergel und tertiären Tonen im Untergrund des Fehmarnsunds vorhanden.

Die Lage der Grundwasserscheiden ergab gemäß [U16], dass die Landzunge Großenbrode keine nennenswerte Konnektivität mit den Grundwasserleitern der Oldenburger Mulde aufweist. Deshalb wird die Region Oldenburger Mulde und Oldenburger Graben nicht in die weitere Bewertung einfließen.

Im südlichen Bereich der Insel Fehmarn liegt der Grundwasserleiter teilweise nicht abgedeckt vor, sodass eine Meerwasserintrusion ungehindert stattfinden kann. Der erkundete Wasserleiter in nordwestlicher Richtung, ein schwach abgedeckter Sandkörper, wird deutlich von Tonlagen durchschnitten, was einen Grundwasserstau verursacht und somit für gespannte Druckverhältnisse sorgt.

Somit kann eine korrespondierende Wirkung mit dem Grundwasserkörper „Strukkamp“ nicht ausgeschlossen werden. In östlicher Richtung taucht die Oberkante der Sandbank von +1 m NHN bis ca. -10 m NHN ab und die Überdeckung verstärkt sich auf ca. 2 bis 3 m. Hier wird ein Sundwasserzufluss angenommen, was sich z. B. aus der eher weichen Konsistenz der Überdeckung ableiten lässt.

Im Verlauf Richtung Nord entlang der Bestandstrasse B 207 sinkt die Oberkante des Wasserleiters auf rd. -16 m NHN ab und das Schutzpotenzial ist günstig. In der Aufschlussbohrung B 56 wurde der „Strukkamp“-Grundwasserleiter nicht mehr erkundet (gemäß [U16]).

3.3 Geplante Bauwerke

Die in dem Bericht verwendeten Kilometrierungen beziehen sich auf den Bau-km der Bahnstrecke, wenn der Bau-km Straße nicht explizit genannt wird. Die Abmessungen wurden entsprechend der mit Ramboll abgestimmten Planungsunterlagen [U9] und der in den Gutachten [U6], [U8] und [U5] genannten planerischen Angaben festgelegt (siehe Anlage 2.2).

Da für die Festlegung der Baugrubentiefen der Trogbereiche die geplanten Gradienten maßgebend sind, wurden diese in Anlage 2.2 nur für diese Bereiche angegeben. Eine vereinfachte Übersicht für die groben Abmessungen der Baugruben zeigt die Anlage 1.1 und Anlage 1.2. Eine detaillierte Übersicht der Baugruben mitsamt (hydro)geologischer Informationen ist der PFU 41.29 zu entnehmen.

3.3.1 Trogbauwerk Festland

Auf der Festlandseite ist nördlich der Anschlussstelle Großenbrode im Verlauf der Zuwegung zum Absenktunnel der Fehmarnsundquerung ein Trogbauwerk zwischen der freien Strecke der Bahn und dem temporären Bauwerk des Trockendocks geplant, in dem die Bahnstrecke verlaufen soll. Die freie Strecke mündet in einen Trog, der in offener Bauweise [U10] hergestellt wird und in einen Trogabschnitt der teilweise mit einem Schlitzwandsystem abgesichert werden soll (siehe Planunterlagen [U11] und [U5] (siehe auch Anlage 2.2). Gemäß den ausgeführten Untergrundaufschlüssen schwanken die Geländehöhen im Bereich der Baufläche auf der Festlandseite zwischen +5,17 m NHN (Anschluss Strecke Bahn) und +1,94 m NHN (Anschluss Trockendock) [U5]. Das relevante Trogbauwerk mündet in das Bauwerk des Trockendocks. Insgesamt weist die Gradienten ein starkes Gefälle in Richtung Fehmarnsundquerung auf.

Es ist von einer unverbauten Baugrube (km 171,5+47 bis km 171,8+99) von ca. 352 m Länge und ca. 30 m Breite und einer anschließenden mittels Schlitzwände verbauten Baugrube (km 171,8+99 bis km 172,2+03) mit ca. 325,3 m Länge und ca. 30 m Breite auszugehen. Die Baugrubensohle wird in etwa bei 0,7 m NHN bis -4,2 m NHN (unverbaut: 0,7 bis -3,2 m NHN; verbaut: -2,7 bis -4,2 m NHN) liegen. Die Unterkante des wasserdichten Verbaus ist bei -20 m NHN geplant (siehe auch Anlage 2.2).

3.3.2 Trockendock Festland

Das Trockendock liegt im Abschnitt von Bahn Bau-km 172,2+03 bis Bau-km 172,9+17. Die geplanten Abmessungen (Sohle einschließlich Böschungen) liegen gemäß [U9] bei etwa 200 m in der Breite und ca. 713,9 m in der Länge. Die Abmessungen des Trockendocks sind so konzipiert, dass gleichzeitig drei Absenkelemente im Trockendock hergestellt und ausgeschwommen werden können [U6]. Im Trockendock verlaufen der festlandseitige Straßentrog, der weiterführende Bahntrog sowie der gemeinsam verlaufende Trog [U5].

Die Unterkante der Trockendocksohle liegt gemäß der vorliegenden Planungsunterlagen in der Tiefe von -13,0 m NHN [U6].

Zur Überwindung des Höhenunterschiedes zwischen dem angrenzenden Gelände und der Trockendocksohle werden Böschungen ausgebildet und mit Wasserbausteinen befestigt. Entlang der Böschungsoberkante ist eine Dichtwand (im Mittel bis -20 m NHN [U9]) geplant, um einen Zutritt von Grundwasser über die Böschungsflächen zu unterbinden. Der Unterwasseraushub des Trockendocks wird wasserseitig erfolgen.

Der wasserseitige Verschluss des Trockendocks (Nordseite) erfolgt über Fangedämme und ein Caisson-Tor mit einer Breite von etwa 53 m. Die Fangedämme bestehen aus zwei mit Ankern verbundenen Spundwänden. Das Caisson-Tor ist aufgelagert auf einer Gründungsplatte aus Stahlbeton, deren Unterkante in einer Tiefe von -13,25 m NHN geplant ist (gemäß [U6]).

3.3.3 Tunnel offene Bauweise (ToB) Fehmarn

Im nördlichen Anschlussbereich auf der Insel Fehmarn ist im Anschluss an die Absenktunnelelemente der Tunnel in offener Bauweise von Bau-km 174,6+81 bis Bau-km 174,8+57 geplant. Die geplanten Abmessungen liegen bei etwa 53 m in der Breite und ca. 223 m in der Länge [U8].

Die Unterkante des Tunnelbauwerks steigt gemäß der vorliegenden Planunterlagen [U9] in nördliche Richtung von etwa -10,0 m NHN auf -7,5 m NHN an.

Im südlichen Bereich ist die Abgrenzung zum letzten Absenktunnelelement durch eine Spundwand geplant und der nördliche Bereich schließt an die Baugrube des Trogbauwerks an. Die seitlichen Wände (Ost und West) sind nach derzeitigem Stand als Schlitzwand vorgesehen, vgl. [U13] (gemäß [U8]). Der Verbau ist bis in eine Tiefe von -20,0 m NHN vorgesehen [U9]. Die Aushubsohle ist bei ca. -12,5 m NHN geplant [U9]. Gemäß der Erkundungsergebnisse der Gutachten [U7] kann insbesondere im Bereich der GWM B 75 von einer potenziellen sundkorrespondierenden Sandschicht ausgegangen werden, die durch das Bauwerk teilweise angeschnitten bzw. direkt unterhalb der potenziellen Aushubsohle anstehen könnte und somit ein Aufbruch während der Bauphase nach sich ziehen kann.

3.3.4 Trogbauwerk Fehmarn

Inselseitig ist ein weiteres Trogbauwerk geplant, in dem die Bahn- und Straßentrasse ab dem Portal des Tunnels mit offener Bauweise [U7] zunächst gemeinsam verlaufen. Die Stationen und Gradienten sind zur Übersicht in Anlage 2.2 ersichtlich. Anschließend teilt sich das Bauwerk in zwei parallel verlaufende Tröge auf. In dem westlichen Trog verläuft die Straßenstrecke und in dem östlichen die Bahnstrecke.

Diese Trogbauwerke dienen als Verbindungsstücke zwischen dem südlichen, kombinierten Trog und der nördlich anschließenden freien Strecken der Bahn [U10] sowie der Straße [U12] (gemäß [U5]).

Das Trogbauwerk der Bahntrasse geht in die freie Strecke der Bahn über. Die östliche Stützwand des Troges wird weitergeführt und am Übergang zur freien Strecke der Bahn mit einer Rückverankerung ausgestattet, um einen Geländesprung zur geplanten Nachbarbebauung abzusichern ([U5], [U10]).

Der gemeinsame Trog (Straßen- und Bahnstrecke) ist eine verbaute Baugrube (km 174,8+57 bis km 175,0+69) von ca. 211,7 m Länge und max. ca. 63 m Breite vorgesehen. Der Verbau ist bis in eine Tiefe von -25,0 m NHN geplant [U9]. Die Baugrubentiefe liegt bei ca. -10,5 m NHN im Süden und bei ca. -8,0 m NHN im Norden (siehe PFU 07.03.009).

Für den westlichen Trog (Straßenstrecke) ist gemäß [U5] eine verbaute Baugrube (Bau-km Straße 4+585 bis Bau-km Straße 4+863) von ca. 278,5 m Länge und ca. 40 m Breite vorgesehen. Der Verbau ist zwischen Bau-km Straße 4+580 und 4+768 bis in eine Tiefe von -23,5 m NHN und zwischen Bau-km Straße 4+768 und 4+863 bis in eine Tiefe von -13,5 m NHN geplant [U9]. Die Baugrubentiefe liegt bei ca. -7,0 m NHN im Süden und bei ca. 2,6 m NHN im Norden (siehe PFU 07.03.009).

Für den östlichen Trog (Bahnstrecke) ist eine verbaute Baugrube (km 175,0+69 bis km 175,6+07) von ca. 538,3 m Länge und ca. 20 m Breite vorgesehen [U9]. Der Verbau ist bis in eine Tiefe von -25,0 m NHN geplant [U9]. Die Baugrubentiefe liegt bei ca. -8,0 m NHN im Süden und bei ca. -2,8 m NHN im Norden (siehe PFU 07.03.009).

Der anschließende nicht wasserdicht verbaute Abschnitt im Bereich der Stützwand (km 175,6+07 bis km 175,8+09) ist ca. 202,3 m lang und 20 m breit [U9]. Die Baugrubentiefe liegt bei ca. -3,2 m NHN im Süden und bei ca. -1,3 m NHN im Norden (siehe PFU 07.03.010). Der Verbau ist bis in eine Tiefe von -10,0 m NHN bzw. -25,0 m NHN geplant [U9].

4 Berechnung der Wasserhaltung

Die Berechnungen wurden auf Grundlage der Geotechnischen Berichte [U5], [U6], [U7] und [U10] sowie den Abstimmungen mit dem Planungsbüro [U9] und den aktuellen Planungsunterlagen durchgeführt (PFU 07.02.028, 07.03.005, 07.03.009 und 07.03.010). Eine Zusammenfassung dieser Daten ist Anlage 2.2 zu entnehmen.

4.1 Niederschlagswasser

Während der Bauzeit muss das Niederschlagswasser aus der Baugrube gefördert werden. Hierfür werden die Niederschlagshöhen gemäß [U31] bei einer 60 min Dauerstufe für ein fünfjähriges Wiederkehrintervall (in Anlehnung an die geplante Bauzeit [U19]) von 20,3 mm zugrunde gelegt. Die Versickerungsintensität (k_f -Wert) ist abhängig vom jeweiligen Boden, welcher an der Sohle jeder Baugrube ansteht. Im Großteil der Fälle wird die Baugrubensohle durch die Grundwassergeringleiter Geschiebemergel und/oder Tarraston gebildet. Nur lokal ist mit Grundwasserleitern (sandige und kiesige Ablagerungen) an der Baugrubensohle zu rechnen. Für die Grundwassergeringleiter wurde die Versickerungsintensität auf der sicheren Seite liegend von $1 \cdot 10^{-11}$ m/s ([U5], [U6] und [U7]) verwendet. Dies ergibt umgerechnet eine Versickerungshöhe von 0,00004 mm/h.

Die Differenz aus der Niederschlagshöhe und der Versickerungshöhe ergibt für jede Baugrube folgende maximalen Niederschlagsmengen in Abhängigkeit von ihrer Fläche (Tabelle 3, siehe auch Anlage 2.2). Da die Versickerungsintensität des Baugrundes sehr gering ist, wird der Bemessungsregen von 20,3 l/m² je Stunde nahezu vollständig in den Baugruben angestaut werden.

Tabelle 3 Niederschlagsmengen für jede Baugrube

Bauwerk	Fläche Baugrube [m ²]	Wassermenge (60 min, T = 5 a) [m ³ /h]
Großenbrode Offene Bauweise	10.560	214
Großenbrode Trog Schlitzwand	9.759	198
Großenbrode Trockendock	142.780	2.898
Fehmarn Tunnel offene Bauweise (ToB)	11.819	240
Fehmarn Gemeinsamer Trog Straße & Bahn	13.337	271
Fehmarn Trog Straßenstrecke	11.140	226
Fehmarn Trog Bahnstrecke	10.766	219
Fehmarn Stützwand	4.046	82

Die in Tabelle 3 genannten Niederschlagswassermengen sind bei der Bemessung der Wasserhaltungen zu berücksichtigen. Diese Wassermengen sind als maßgebend zu betrachten, da die Wassermengen in einem kurzen Zeitraum durch die Niederschläge deutlich größer sind als die anfallenden Wassermengen durch die Grundwasserabsenkung. Die Pumpenanlage ist dementsprechend zu dimensionieren.

4.2 Statischer Wasservorrat

Der zu hebende statische Wasservorrat innerhalb der Baugrube während des fortschreitenden Aushubs wurde aus dem Aushubvolumen (Fläche der Baugrube und gemittelter Aushubtiefe unterhalb des gemittelten Bemessungswasserstandes, siehe hierfür Anlage 2.2) und der effektiven Porosität der auszuhebenden Böden berechnet. Da der auszuhebende Baugrund zum Großteil aus Tonen und Schluffen besteht, wurde sich nach [U30] an den effektiven Porositäten 2 bis 10 % von schluffigen Ton bis sandigen Schluff orientiert.

So wurde einheitlich für Baugruben mit einem höheren Anteil an rolligen Böden eine effektive Porosität von 10 % (Faktor 0,10) und für Baugruben mit einem niedrigeren Anteil an rolligen Böden eine effektive Porosität von 5 % (Faktor 0,05) verwendet. Diese Berechnung ist aufgrund des jeweils angesetzten bauzeitlichen Bemessungsstandes sehr hoch angesetzt. Die tatsächliche Wassersättigung des Bodens wird tatsächlich deutlich geringer ausfallen, wodurch auch geringere Wassermengen zu erwarten sind.

4.3 Grundwasser

Das Absenkziel des Grundwassers ist für alle Baugruben bei 0,5 m unterhalb der geplanten Baugrubensohlen vorgesehen.

Während des fortschreitenden Aushubs ist in den verbauten Baugruben lokal mit einem höheren Zufluss aus anstehenden statischen Wasservorräten (grundwasserführende Schichten) zu rechnen.

Die Regelprofile des Baugrunds für die jeweiligen Berechnungen wurden aus den Baugrunduntersuchungen der Geotechnische Berichte [U5], [U6], [U7] und [U10] erstellt. Weiterhin wurde in allen Bereichen der Baugruben gespanntes Grundwasser festgestellt.

Im Allgemeinen sind u. A. die Abmessungen, k_f -Werte und das Baugrundmodell (Bemessungswasserstand und Mächtigkeit des Grundwasserleiters) so gewählt, dass die berechneten Ergebnisse auf der sicheren Seite liegen.

Für die nicht wasserdicht verbauten Baugruben wurde der Wasserandrang nach Davidenkoff [U36] berechnet. Für die Berechnung wurde die größte Mächtigkeit der wasserführenden Schicht innerhalb der jeweiligen Baugrube berücksichtigt.

Die Einbindung des Verbaus erfolgt in wasserstauende Schichten. Teilweise ist es möglich, dass an den potenziellen Aushubsohlen grundwasserführende Schichten angeschnitten werden (z. B. ToB Fehmarn) und dort das Grundwasser folglich dauerhaft durch eine Wasserhaltung abgepumpt werden muss. In diesem Fall ist mit einer Grundwasserentspannung zu rechnen und geeignete Maßnahmen, wie z. B. Entspannungsbrunnen, zu ergreifen (Hinweise sind den entsprechenden Geotechnischen Berichten [U5], [U6] und [U7] zu entnehmen).

Für die wasserdichten Baugruben ist neben dem statischen Wasservorrat und der Niederschlagsmenge die Restwassermenge abzuschätzen, welche sich aus der Systemdurchlässigkeit ergibt. Die Systemdurchlässigkeit ist abhängig von der Verbauart, der Abdichtung der Baugrubensohle und dem Baugrund ([U33], [U34], siehe auch Kapitel 2.2).

Eine tabellarische Zusammenfassung der Berechnungsgrundlagen und -ergebnisse aller Baugruben ist Anlage 2.2 zu entnehmen. Auf jede Baugrube wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

4.3.1 Trogbauwerk Festland (Bahn-km 171,5+47 bis Bahn-km 172,2+03)

4.3.1.1 Geböschter Baugrubenabschnitt (Bahn-km 171,5+47 bis Bahn-km 171,8+99)

Für diesen Bereich wird keine Grundwasserabsenkung erforderlich, da die Baugrubensohle (+0,7 bis -3,2 m NHN, siehe auch PFU 07.03.004) über dem erkundeten Druckwasserstand (Aufschluss B 150: -10,08 m NHN, [U5]) liegen wird. Gemäß dem Gutachten [U5] wird ebenfalls von keiner Notwendigkeit einer Wasserhaltung hinsichtlich des Grundwassers ausgegangen.

Für den Bereich der geböschten Baugrube zwischen Bahn-km 171,720 bis Bahn-km 171,899 ist lokal mit gespanntem Grundwasser zu rechnen. Die gemessene Druckwasserhöhe bei -5,14 m NHN, gemäß Aufschluss B 151 [U5], würde sich aber nur einstellen, wenn der Grundwasserleiter bei -12,02 m NHN angeschnitten werden würde, was bei einer geplanten Aushubsohle bei max. -3,2 m NHN nicht erfolgen sollte. In der benachbarten Bohrung B 151a [U5] wurde ungespanntes Grundwasser in einer ca. 1 m mächtigen Sandlinse bei -6,05 m NHN angetroffen, welche ebenfalls unterhalb der geplanten Aushubsohle liegt.

In Bohrung B 153 wurde Schichtwasser bei +0,67 m NHN innerhalb einer 0,3 m mächtigen Sandlinse erkundet. In direkt benachbarten Bohrungen (B 152 und B 154) wurde kein Schichtwasser bzw. Sandlinsen erkundet. Somit wird der Zulauf an Schichtwasser aus gutachterlicher Sicht als unbedenklich und sehr gering eingeschätzt.

In diesem Fall kann die Wasserhaltung auf die Fassung und Ableitung von Stau- und Schichtenwasser sowie anfallendem Niederschlagswasser beschränkt werden. Unter Berücksichtigung der o. g. Wasserstände ist eine offene Tagwasserhaltung mittels Flächendränge und angeordneten Pumpensümpfen ausreichend (gemäß [U5]).

Die einzuplanende Niederschlagsmenge ist Abschnitt 4.1 zu entnehmen.

4.3.1.2 Verbauter Baugrubenabschnitt (Bahn-km 171,8+99 bis Bahn-km 172,2+03)

4.3.1.2.1 Dimensionierung der Wasserhaltung

Die Grundlagen der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 4 Berechnungsgrundlage Trogbauwerk Festland, verbauter Baugrubenabschnitt

Parameter	Berechnungsgrundlage
Berechnungsverfahren:	nach Borchert ([U33], [U34])
Breite der Baugrube:	30,0 m
Länge der Baugrube:	325,3 m
GOK:	im Mittel +2,98 [U5] (siehe auch Anlage 2.2)
gemittelte Baugrubensohle:	-3,45 m NHN (siehe auch PFU 07.03.005)
gemittelttes Absenkziel (wasserfreies Niveau):	-3,95 m NHN
Bemessungswasserstand:	+1,20 m NHN [U5]
Baugrubengestaltung:	wasserdichter Verbau (Schlitzwand bis -20,0 m NHN)
Differenzhöhe der Wasserspiegel (Δh)	5,15 m
Restwasserzufluss an der Sohle (w_{Zul}):	2,00 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
Sohlfläche ($A_{\text{Sohle, benetzt}}$):	9759 m ²
Leckagerate für Dichtigkeitsklasse H:	0,18 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
benetzte Wandfläche ($A_{\text{Wände, benetzt}}$):	3660 m ²

4.3.1.2.2 Berechnungsergebnis

Die Ergebnisse der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5 Berechnungsergebnisse Trog Festland, verbauter Baugrubenabschnitt

Parameter	Berechnungsergebnis
spezifische Restwassermenge der Sohle (q_{Sohle}):	19,52 m ³ /h
spezifische Restwassermenge der Wände ($q_{\text{Wände}}$):	0,66 m ³ /h
spezifische Restwassermenge gesamt (q_{Gesamt}):	20,18 m ³ /h
	5,60 l/s

Der zu hebende statische Wasservorrat innerhalb der Baugrube während des fortschreitenden Aushubs wurde aus dem Aushubvolumen (Fläche der Baugrube und Aushubtiefe unterhalb des Bemessungswasserstandes) und einer effektiven Porosität von 10 % [U30] mit ca. **8.442 m³** errechnet.

4.3.2 Trockendock Festland (Bahn-km 172,2+03 bis Bahn-km 172,9+17)

4.3.2.1 Dimensionierung der Wasserhaltung

Die Grundlagen der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 6 Berechnungsgrundlage Trockendock Festland

Parameter	Berechnungsgrundlage
Berechnungsverfahren:	nach Borchert ([U33], [U34])
Breite der Baugrube:	200,0 m

Parameter	Berechnungsgrundlage
Länge der Baugrube:	713,9 m
GOK:	Im Mittel +3,63 m NHN [U6] (siehe auch Anlage 2.2)
gemittelte Baugrubensohle:	-13,0 m NHN
gemitteltes Absenkziel (wasserfreies Niveau):	-13,5 m NHN
Bemessungswasserstand:	+1,50 m NHN [U6]
Baugrubengestaltung:	wasserdichter Verbau (Schlitzwand bis -20,0 m NHN), wasserseitiger Verschluss über Fangedämme und Caisson-Tor
Differenzhöhe der Wasserspiegel (Δh)	15,00 m
Restwasserzufluss an der Sohle (w_{Zul}):	2,00 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
Sohlfläche ($A_{\text{Sohle, benetzt}}$):	142.780 m ²
Leckagerate für Dichtigkeitsklasse H:	0,18 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
benetzte Wandfläche ($A_{\text{Wände, benetzt}}$):	27.417 m ²

4.3.2.2 Berechnungsergebnis

Die Ergebnisse der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 7 Berechnungsergebnisse Trockendock Festland

Parameter	Berechnungsergebnis
spezifische Restwassermenge der Sohle (q_{Sohle}):	285,56 m ³ /h
spezifische Restwassermenge der Wände ($q_{\text{Wände}}$):	4,94 m ³ /h
spezifische Restwassermenge gesamt (q_{Gesamt}):	290,50 m ³ /h
	80,69 l/s

Der zu hebende statische Wasservorrat innerhalb der Baugrube entfällt, da die Baugrube wasserseitig ausgehoben wird und das Trockendock währenddessen geflutet wird.

Gemäß des Erläuterungsberichtes (PFU 01.01.001) ist mit einer gefluteten Wassermenge von ca. $V = 850.000 \text{ m}^3$ zu rechnen, welche innerhalb kurzer Zeit (ca. 72 h) zu fördern und in den Sund einzuleiten ist.

4.3.3 Tunnel offene Bauweise Fehmarn (Bahn-km 174,6+81 bis Bahn-km 174,8+57)

4.3.3.1 Dimensionierung der Wasserhaltung

Die Grundlagen der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 8 Berechnungsgrundlage Tunnel offene Bauweise Fehmarn

Parameter	Berechnungsgrundlage
Berechnungsverfahren:	nach Borchert ([U33], [U34])
Breite der Baugrube:	53 m

Parameter	Berechnungsgrundlage
Länge der Baugrube:	223 m
GOK:	Im Mittel +4,40 m NHN [U8] (siehe auch Anlage 2.2)
gemittelte Baugrubensohle:	-12,50 m NHN (siehe auch PFU 07.02.028)
gemittelttes Absenkziel (wasserfreies Niveau):	-13,00 m NHN
Bemessungswasserstand:	+2,00 m NHN [U7]
Baugrubengestaltung:	wasserdichter Verbau (Schlitzwand bis -19,0 bis -20,0 m NHN)
Differenzhöhe der Wasserspiegel (Δh)	12,75 m
Restwasserzufluss an der Sohle (w_{zul}):	2,00 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
Sohlfläche ($A_{Sohle, benetzt}$):	11.819 m ²
Leckagerate für Dichtigkeitsklasse H:	0,18 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
benetzte Wandfläche ($A_{Wände, benetzt}$):	8.280 m ²

4.3.3.2 Berechnungsergebnis

Die Ergebnisse der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 9 Berechnungsergebnisse Tunnel offene Bauweise Fehmarn

Parameter	Berechnungsergebnis
spezifische Restwassermenge der Sohle (q_{Sohle}):	23,64 m ³ /h
spezifische Restwassermenge der Wände ($q_{Wände}$):	1,49 m ³ /h
spezifische Restwassermenge gesamt (q_{Gesamt}):	25,13 m ³ /h
	6,98 l/s

Der zu hebende statische Wasservorrat innerhalb der Baugrube während des fortschreitenden Aushubs wurde aus dem Aushubvolumen (Fläche der Baugrube und Aushubtiefe unterhalb des Bemessungswasserstandes) und einer effektiven Porosität von 5 % [U30] mit ca. **7.239 m³** errechnet.

4.3.4 Trogbauwerke Fehmarn

4.3.4.1 Gemeinsamer Trog Bahn u. Straße (Bahn-km 174,8+57 bis Bahn-km 175,0+69)

4.3.4.1.1 Dimensionierung der Wasserhaltung

Die Grundlagen der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 10 Berechnungsgrundlage gemeinsamer Trog Bahn und Straße

Parameter	Berechnungsgrundlage
Berechnungsverfahren:	nach Borchert ([U33], [U34])
Breite der Baugrube:	63,0 m
Länge der Baugrube:	221,7 m

Parameter	Berechnungsgrundlage
GOK:	Im Mittel +5,12 m NHN [U5] (siehe auch Anlage 2.2)
gemittelte Baugrubensohle:	-9,4 m NHN (siehe auch PFU 07.03.009)
gemitteltes Absenkziel (wasserfreies Niveau):	-9,9 m NHN
Bemessungswasserstand:	GOK [U5]
Baugrubengestaltung:	wasserdichter Verbau (Schlitzwand bis -25,0 m NHN)
Differenzhöhe der Wasserspiegel (Δh)	15,02 m
Restwasserzufluss an der Sohle (w_{zul}):	2,00 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
Sohlfläche ($A_{Sohle, benetzt}$):	13.337 m ²
Leckagerate für Dichtigkeitsklasse H:	0,18 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
benetzte Wandfläche ($A_{Wände, benetzt}$):	8.252 m ²

4.3.4.1.2 Berechnungsergebnis

Die Ergebnisse der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 11 Berechnungsergebnisse gemeinsamer Trog Bahn und Straße

Parameter	Berechnungsergebnis
spezifische Restwassermenge der Sohle (q_{Sohle}):	26,67 m ³ /h
spezifische Restwassermenge der Wände ($q_{Wände}$):	1,49 m ³ /h
spezifische Restwassermenge gesamt (q_{Gesamt}):	28,16 m ³ /h
	7,82 l/s

Der zu hebende statische Wasservorrat innerhalb der Baugrube während des fortschreitenden Aushubs wurde aus dem Aushubvolumen (Fläche der Baugrube und Aushubtiefe unterhalb des Bemessungswasserstandes) und einer effektiven Porosität von 5 % [U30] mit ca. **9.916 m³** errechnet.

4.3.4.2 Trog Bahn (Bahn-km 175,0+69 bis Bahn-km 175,6+07)

4.3.4.2.1 Dimensionierung der Wasserhaltung

Die Grundlagen der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 12 Berechnungsgrundlage Trog Bahn

Parameter	Berechnungsgrundlage
Berechnungsverfahren:	nach Borchert ([U33], [U34])
Breite der Baugrube:	20 m
Länge der Baugrube:	538,3 m
GOK:	Im Mittel +5,97 m NHN [U5] (siehe auch Anlage 2.2)
gemittelte Baugrubensohle:	-5,4 m NHN (siehe auch PFU 07.03.009)
gemitteltes Absenkziel (wasserfreies Niveau):	-5,9 m NHN

Parameter	Berechnungsgrundlage
Bemessungswasserstand:	GOK [U5]
Baugrubengestaltung:	wasserdichter Verbau (Schlitzwand bis -25,0 m NHN)
Differenzhöhe der Wasserspiegel (Δh)	21,53 m
Restwasserzufluss an der Sohle (w_{zul}):	2,00 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
Sohlfläche ($A_{Sohle, benetzt}$):	10.766 m ²
Leckagerate für Dichtigkeitsklasse H:	0,18 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
benetzte Wandfläche ($A_{Wände, benetzt}$):	13.254 m ²

4.3.4.2.2 Berechnungsergebnis

Die Ergebnisse der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 13 Berechnungsergebnisse Trog Bahn

Parameter	Berechnungsergebnis
spezifische Restwassermenge der Sohle (q_{Sohle}):	21,53 m ³ /h
spezifische Restwassermenge der Wände ($q_{Wände}$):	2,39 m ³ /h
spezifische Restwassermenge gesamt (q_{Gesamt}):	23,92 m ³ /h
	6,64 l/s

Der zu hebende statische Wasservorrat innerhalb der Baugrube während des fortschreitenden Aushubs wurde aus dem Aushubvolumen (Fläche der Baugrube und Aushubtiefe unterhalb des Bemessungswasserstandes) und einer effektiven Porosität von 10 % [U30] mit ca. **12.618 m³** errechnet.

4.3.4.3 Stützwand (Bahn-km 175,6+07 bis Bahn-km 175,8+09)

Im Gutachten [U10] wird nicht davon ausgegangen, dass ein zusammenhängender Porenwasserleiter vorhanden ist. Es wird lediglich auf wasserführende Sandbänder hingewiesen. Gemäß [U10] kann in den Bereichen, in denen nur mit geringem Wasserzulauf zu rechnen ist, auf intensive Wasserhaltungsmaßnahmen verzichtet werden.

Eine offene Wasserhaltung zur Beherrschung von Schichtenwasser im Bereich des Aufschlusses BS 36 [U10] und ggf. anfallenden Niederschlags- und Oberflächenwasser ist in jedem Fall vorzuhalten. Für den Bereich dieses Schichtenwassers wird folgende Berechnung durchgeführt.

4.3.4.3.1 Dimensionierung der Wasserhaltung

Die Grundlagen der Berechnungen (Anlage 2.1) werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 14 Berechnungsgrundlage Trog Straße

Parameter	Berechnungsgrundlage
Berechnungsverfahren:	nach Davidenkoff [U36]
Breite der Baugrube:	20 m
Länge der Baugrube:	202,3 m
GOK:	Im Mittel +4,43 m NHN [U10] (siehe auch Anlage 2.2)
gemittelte Baugrubensohle:	-2,25 m NHN (siehe auch PFU 07.03.010)
gemitteltes Absenkziel (wasserfreies Niveau):	-2,75 m NHN
Bemessungswasserstand:	GOK [U10]
Baugrubengestaltung:	geböschte Baugrube, einseitiger Verbau (Schlitzwand bis -25,0 u. -10,0 m NHN)
Maximal erkundete Mächtigkeit der wasserführenden Schicht:	3,10 m (BS 36 aus [U10])
Durchlässigkeitsbeiwert k_f :	$1 \cdot 10^{-5}$ m/s [U10]

4.3.4.3.2 Berechnungsergebnis

Die Ergebnisse der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 15 Berechnungsergebnisse Trog Straße

Parameter	Berechnungsergebnis
Wasserandrang Q:	7,72 m ³ /h
	2,14 l/s

4.3.4.4 Trog Straße (Straßen-km 4+585 bis Straßen-km 4+863)

4.3.4.4.1 Dimensionierung der Wasserhaltung

Die Grundlagen der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 16 Berechnungsgrundlage Trog Straße

Parameter	Berechnungsgrundlage
Berechnungsverfahren:	nach Borchert ([U33], [U34])
Breite der Baugrube:	40 m
Länge der Baugrube:	278,5 m
GOK:	Im Mittel +5,32 m NHN [U5] (siehe auch Anlage 2.2)
gemittelte Baugrubensohle:	-1,7 m NHN (siehe auch PFU 07.03.009)
gemitteltes Absenkziel (wasserfreies Niveau):	-2,2 m NHN
Bemessungswasserstand:	GOK [U5]
Baugrubengestaltung:	wasserdichter Verbau (Schlitzwand bis -23,5 u. -13,5 m NHN)
Differenzhöhe der Wasserspiegel (Δh)	7,52 m

Parameter	Berechnungsgrundlage
Restwasserzufluss an der Sohle (w_{zul}):	2,00 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
Sohlfläche ($A_{Sohle, benetzt}$):	11.140 m ²
Leckagerate für Dichtigkeitsklasse H:	0,18 m ³ /h je 1000 m ² [U33]
benetzte Wandfläche ($A_{Wände, benetzt}$):	4.790 m ²

4.3.4.4.2 Berechnungsergebnis

Die Ergebnisse der Berechnungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 17 Berechnungsergebnisse Trog Straße

Parameter	Berechnungsergebnis
spezifische Restwassermenge der Sohle (q_{Sohle}):	22,28 m ³ /h
spezifische Restwassermenge der Wände ($q_{Wände}$):	0,86 m ³ /h
spezifische Restwassermenge gesamt (q_{Gesamt}):	23,14 m ³ /h
	6,43 l/s

Der zu hebende statische Wasservorrat innerhalb der Baugrube während des fortschreitenden Aushubs wurde aus dem Aushubvolumen (Fläche der Baugrube und Aushubtiefe unterhalb des Bemessungswasserstandes) und einer effektiven Porosität von 5 % [U30] mit ca. **5.191 m³** errechnet.

5 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Alle Berechnungsergebnisse und deren Grundlagen sind in der Anlage 2.2 zusammenfassend dargestellt. Die bauzeitlichen Grundwasserabsenkungen sind temporäre Eingriffe, welche auf den Zeitraum der jeweiligen Baugrube begrenzt sind.

Allgemein wurden die bauzeitlichen Bemessungswasserstände sehr hoch, meist geländegleich, festgelegt, obwohl teilweise nur Schichtwasser vorliegt (siehe Geotechnische Berichte [U5], [U6], [U7] und [U10]). Die komplette Wassersättigung, von der die Berechnungen ausgehen, ist daher wahrscheinlich nicht gegeben. Der Zufluss aus der Sohle setzt dies ebenfalls voraus, was ebenfalls zum Teil nicht gegeben sein wird. Die Annahmen beruhen auch hierbei auf den bauzeitlichen Bemessungswasserständen. Es kann weiterhin nicht ausgeschlossen werden, dass es ggf. gar keinen Zufluss aus der Sohle geben könnte.

Die berechneten Wassermengen der Restwasserhaltung nach Borchert werden deutlich höher sein als tatsächlich vorhanden. Allerdings entspricht die Restwassermenge nur ca. 10 % der Wassermenge aus dem Bemessungsregen, so dass die Dimensionierung der Pumpen ohnehin auf einen Bemessungsregen ausgerichtet werden muss.

5.1 Auswirkungen auf das Grundwasser

Die Bemessungsbereichweite (R) nach Sichardt beträgt im Bereich der Stützwand auf Fehmarn (Bahn-km 175,6+07 bis Bahn-km 175,8+09) für die Wasserhaltung ca. 30 m. Innerhalb dieser Bemessungsbereichweite sind keine Bebauungen vorhanden, wodurch eine Beeinflussung durch abgesenktes Grundwasser nicht zu erwarten ist. Ferner ist davon auszugehen, dass das Schichtenwasser ausbluten wird und somit kein dauerhafter Wasserandrang stattfinden wird.

Im Bereich dieser Bemessungsbereichweite ist seitens der Umweltplanung zu prüfen, ob dies negative Auswirkungen auf möglicherweise vorhandene Ökosysteme haben könnte.

Im Bereich außerhalb wasserdicht verbauter Baugruben sind keine Grundwasserabsenkungen zu erwarten, welche sich negativ auf z. B. Nachbarbebauungen oder Ökosysteme auswirken können.

Eine mengenmäßige und chemische Beeinflussung der Trinkwasserbrunnen in der Ortschaft Wulfen und des Campingplatzes Wulfener Hals, welche mindestens 2,5 km entfernt von der Baumaßnahme liegen, ist aus gutachterlicher Sicht auszuschließen. Dies wird zusätzlich durch den geplanten Verbau und die nicht lateral aushaltenden Grundwasserkörper begünstigt.

5.2 Ableitung der anfallenden Wassermengen

Die errechneten Wassermengen sind sehr hoch, da alle für die Berechnung verwendeten Parameter auf der sicheren Seite gewählt wurden. Für die Baugruben sind seitens der Planung die Drainagen und Pumpen so zu wählen, dass das anfallende Restwasser aus den Baugruben gefördert werden kann. Ein abschnittsweises Ausheben der Baugruben wie z. B. bei der Stützwand auf Fehmarn [U10] (hier: 5-10 m) kann die Wasserhaltungsmaßnahmen reduzieren.

Die Ableitung der anfallenden Wassermengen wird über vorhandene Vorfluter erfolgen. Die Ableitung des in der Wasserhaltung geförderten Wassers in einen Vorfluter ist mit den zuständigen Umweltbehörden abzustimmen. Im Zuge der Wasserhaltungsmaßnahmen sind die Wasserstände in den Brunnen kontinuierlich zu überprüfen. Es muss mit einer entsprechenden Schwebstofffracht gerechnet werden. Es wird empfohlen ein Beruhigungsbecken zwischenschalten. Die tatsächlich abgeleitete Fördermenge ist während der Bauzeit zu dokumentieren („Pumpenbuch“).

Eine anlage-/betriebsbedingte Kontamination der zu fördernden Wassermengen ist während der Bauzeit zu vermeiden. Ggf. kann eine Überwachung des Grundwassers seitens der Behörde während der laufenden Grundwasserabsenkung beauftragt werden. Chemische Untersuchungen zum Grund- und Ostseewasser wurden z. B. im Zuge des Gutachtens [U20] durchgeführt und können zum Vergleich herangezogen werden.

Die Tabelle 18 gibt eine Übersicht der Gesamtwassermenge, welche im Zeitraum der jeweilig bestehenden Baugrube zu fördern ist (Niederschlag nicht berücksichtigt). Des Weiteren sind die minimale Förderrate (Trockenwetter) und maximale Förderrate (Regenwetter) enthalten. Daraus geht hervor, dass die Niederschlagsmenge gegenüber den Wassermengen während der Wasserhaltung (nach Davidenkoff bzw. Borchert) dominiert. Der statische Wasservorrat ist vergleichsweise gering und beeinflusst die einzuplanende Gesamtwassermenge nur unwesentlich.

Tabelle 18 Wassermengen während der Bauphasen, minimale und maximale Förderraten

Bauwerk	Dauer der Baugrube [d] ¹⁾	Wassermenge bauzeitlicher Wasserhaltung (Trockenwetter) [m³/h] ²⁾	Gesamtwassermenge während der Bauphase [m³]	Gesamtwassermenge während der Bauphase + statischer Wasservorrat [m³] ²⁾	Wassermenge aus bauzeitlicher Wasserhaltung + Niederschlagsmenge (Regenwetter) [m³/h] ²⁾
Großenbrode Offene Bauweise	430	Keine Berechnung der Grundwasserabsenkungsanlage notwendig, da kein Grundwasser oberhalb oder im Bereich der geplanten Aushubsohle angetroffen wurde.			214
Großenbrode Trog Schlitzwand	650	20,18	314.808	323.250	218
Großenbrode Trockendock ³⁾	1.450	290,50	10.109.400	10.109.400	3.189
Fehmarn Tunnel offene Bauweise (ToB)	370	25,13	223.154	230.393	265
Fehmarn Gemeinsamer Trog Straße & Bahn	220	28,16	148.685	158.601	299
Fehmarn Trog Straßenstrecke	650	23,14	360.984	366.175	249
Fehmarn Trog Bahnstrecke	820	23,92	470.746	483.364	242
Fehmarn Stützwand	150	7,72	27.792	27.792	90
¹⁾ gemäß [U19] ²⁾ Berechnungsgrundlage ist in Anlage 2.2 enthalten ³⁾ gezielte Flutung und Leerung während der Bauzeit vorgesehen (siehe Kapitel 4.3.2.2); diese Wassermengen werden hier nicht berücksichtigt					

Eine zusammenfassende Übersicht zu u. A. Einleitstellen, Wassermengen und Entwässerungsdauer gibt die Tabelle zu den wasserrechtlichen Antragsgegenständen (siehe PFU 01.01.001). Eine detaillierte Übersicht der geplanten Baugruben zeigt die PFU 41.29.

6 Schlussbemerkungen und Empfehlungen

Aufgrund der für Baugrunderkundungen üblichen punktuellen und normgerechten Erkundung des Baugrundes sind Abweichungen der Untergrundverhältnisse von den in den Geotechnischen Berichten getroffenen Aussagen zwischen den Aufschlüssen nicht auszuschließen.

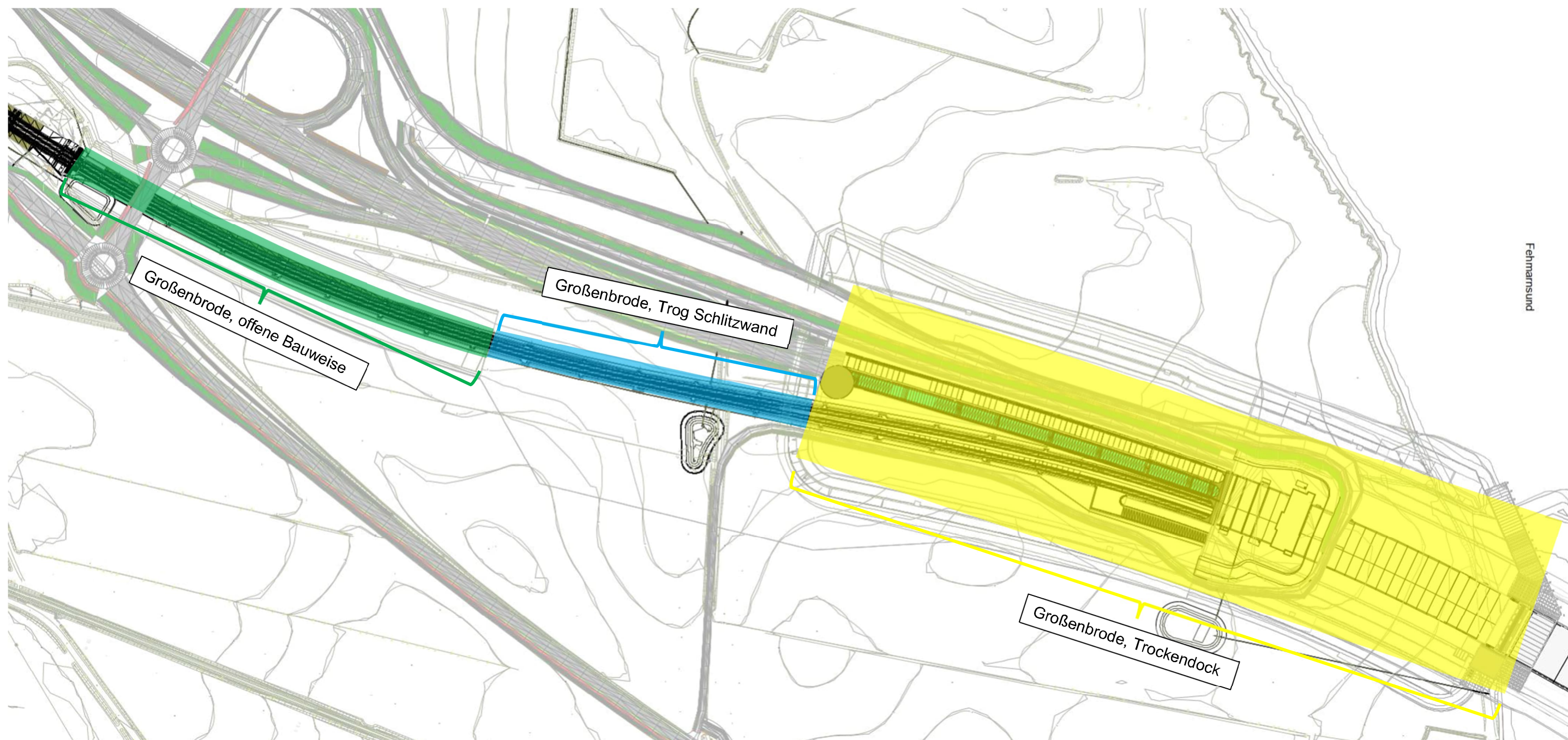
Der Zufluss von Oberflächenwasser, besonders bei Starkniederschlägen in die Baugrube hinein, ist zu vermeiden. Das Oberflächenwasser ist außerhalb der Baugrube zu fassen und abzuleiten.

Für die Einleitung von anfallenden Wässern (Oberflächen-/Schicht-/Grundwasser) in den Vorfluter ist eine wasserrechtliche Genehmigung nötig. Für die Flutung bzw. Leerung des Trockendocks wird eine separate wasserrechtliche Genehmigung benötigt.

Der Grundbruchnachweis ist zu erbringen. Die Berechnungen erfolgten ohne Berücksichtigung einer dichten Sohle. Sollte der Grundbruchnachweis nicht erbracht sein, ist eine Druckentlastung der Sohle durch z. B. Vakuumlanzen oder Tiefbrunnen zu erbringen.

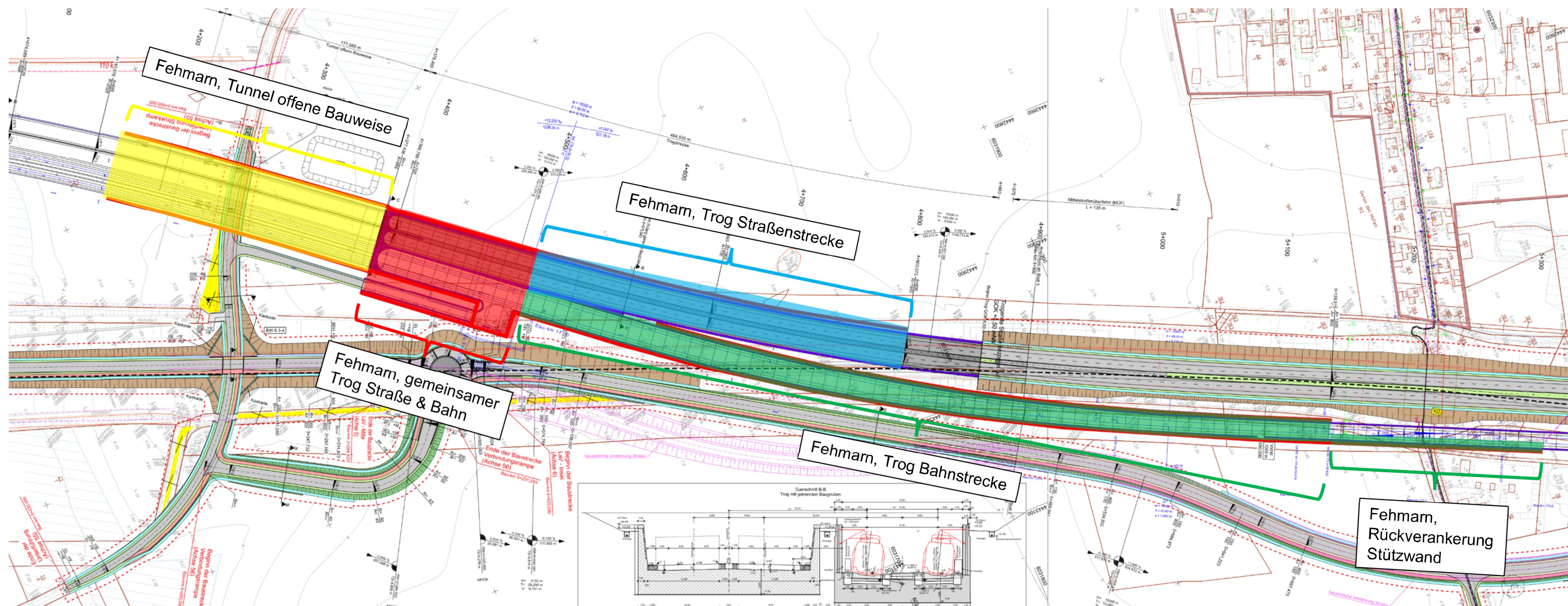
Auf die geotechnischen Empfehlungen in den Geotechnischen Berichten [U5] (Abschnitte 10.2.2 und 11), [U6] (Abschnitt 11 und 12) und [U7] (Abschnitte 7.5 und 7.6), insbesondere auf die Hinweise zur Auftriebssicherheit der Baugrubensohlen, wird verwiesen.

Abschließend wird angemerkt, dass im Rahmen dieser Berechnungen eine Berücksichtigung besonderer Havarielastfälle, wie zum Beispiel ein Versagen der Hochwasserschutzanlagen, nicht berücksichtigt wurde.



erstellt nach: Ingenieurgemeinschaft fehmarlink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH:
Planungsunterlagen zu Baugruben, per E-Mail vom 06.07.2023, 29.09.2023 und 14.12.2023.

Projekt: Fehmarnsundquerung Strecke 1100 km 168,624 bis km 180,000 Hydrogeologischer Bericht			IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de	
Übersichtslageplan der Baugruben auf dem Festland	Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087-03
	Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	1.1
	Geprüft:	Scandolo	Datum:	11.06.2024



erstellt nach: Ingenieurgemeinschaft fehmarlink2 c/o Ramboll Deutschland GmbH:
Planungsunterlagen zu Baugruben, per E-Mail vom 06.07.2023, 29.09.2023 und 14.12.2023.

Projekt: Fehmarnsundquerung Strecke 1100 km 168,624 bis km 180,000 Hydrogeologischer Bericht	 <div> IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de </div>	
	Übersichtslageplan der Baugruben auf Fehmarn	
	Maßstab:	-
	Gezeichnet:	Niegel
	Geprüft:	Scandolo
	Proj.-Nr.:	70-22-087-03
	Anl.-Nr.:	1.2
	Datum:	11.06.2024

Offene Wasserhaltung

Berechnung nach Davidenkoff

Verbesserung			
Durchlässigkeitsbeiwert	k_f	1,00E-05 m/s	
Höhe Wasserspiegel über Pumpensohle	H	3,10 m	
Abstand Grabensohle zum GW_Stauer	t	0,00 m	
Länge der Baugrube	L_1	202,30 m	
Breite der Baugrube	L_2	20,00 m	
Zwischenwert	L_2/R	0,68	
Zwischenwert	t/R	0,00	
Beiwert nach Davidenkoff	m	1,80	
Beiwert nach Davidenkoff	n	1,70	
Reichweite nach Sichardt	R	29,41 m	
		8,34E-04 m³/s	
Wassermenge Längsseite	Q_E	0,83 l/s	
		3,00 m³/s	
Zweiseitiger Zufluss	Q_Z	6,01 m³/s	
		2,38E-04 m³/s	
Wassermenge Querseite	Q_E	0,24 l/s	
		0,86 m³/s	
Zweiseitiger Zufluss	Q_Z	1,72 m³/s	
		7,72 m³/h	
Gesamt		2,14 l/s	

1.5.1 Grundlagen der Wasserbewegung im Boden und Berechnungsformeln

1.148 Beiwerte m und n nach Davidenkoff

1.149 Bezeichnungen bei der offenen Wasserhaltung

1.150 Bezeichnungen bei der Horizontalabsenkung

Projekt: Fehmarnsundquerung
Strecke 1100
km 168,624 bis km 180,000
Hydrogeologischer Bericht



IBES Baugrundinstitut
Freiberg GmbH
Waisenhausstraße 10
09599 Freiberg
www.ibes-freiberg.de

**Berechnung des Wasserandrangs nach
Davidenkoff für Fehmarn, Stützwand,
Bahn-km 175,6+07 bis Bahn-km 175,8+09**

Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087-03
Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	2.1
Geprüft:	Scandolo	Datum:	06.09.2024

Bauwerk	von – bis Station ca. [Bau-km]		Gradiente Aushubsohle Start – Ende [rd. m NHN]		Baugrubengestaltung	Einbindetiefe Verbau [m NHN]	Breite der Baugrube [m]	Länge der Baugrube [m]	gemittelte Aushubsohle [m NHN]	gemitteltes Absenkziel [m NHN]	GOK [m NHN]	maßgebender bauzeitlicher Bemessungswasserstand [m NHN]	maßgebender kf-Wert [m/s]	Berechnungsverfahren	Wassermenge [m³/h]	Bemessungs- reichweite (R) nach Sichardt [m]	statischer Wasservorrat [m³]	Niederschlags- menge (60 min, T = 5 a) [m³/h]
Großenbrode Offene Bauweise	171,5+47	171,8+99	0,7	-3,2	geböschte Baugrube	kein Verbau vorhanden	30,0	352,0	-1,25	-1,75	+4,95 bis +3,70 (B 150 und B 154 aus [U5]), im Mittel +4,33	GOK [U5]	5,0 x 10 ⁻³ (Tabelle 2 in [U5], rollige Böden)	-	-	-	-	214
Großenbrode Trog Schlitzwand	171,8+99	172,2+03	-2,7	-4,2	wasserdichter Verbau (Schlitzwand)	-20,0	30,0	325,3	-3,45	-3,95	+4,02 bis +1,94 (B 157a und B 20 aus [U5]), im Mittel +2,98	+1,20 [U5]	3,8 x 10 ⁻⁴ (Mittelwert aus Pumpversuchen in GWM B 122 und GWM B 123 [U15])	nach Borchert ([U34], [U35])	20,18	-	8.442	198
Großenbrode Trockendock	172,2+03	172,9+17	-	-	wasserdichter Verbau (Schlitzwand), wasserseitiger Verschluss über Fangedämme und Caisson-Tor	-20,0	200,0	713,9	-13,0	-13,50	+5,80 bis +1,46 (B 35b und B 168 aus [U6]), im Mittel +3,63	+1,50 [U17]	2,3 x 10 ⁻⁴ (Mittelwert aus Pumpversuchen in GWM B 122, GWM B 123, GWM 125 und GWM B 49 [U15])	nach Borchert ([U34], [U35])	290,50	-	-	2.898
Fehmarn Tunnel offene Bauweise (ToB)	174,6+81	174,8+57	-	-	wasserdichter Verbau (Schlitzwand)	-19,0 bis -20,0	53,0	223	-12,5	-13,00	+5,13 bis +3,66 (B 78 und B 82 aus [U8]), im Mittel +4,40	+2,00 [U7]	5,2 x 10 ⁻⁵ (Pumpversuch in GWM B 75 [U15])	nach Borchert ([U34], [U35])	25,13	-	7.239	240
Fehmarn Gemeinsamer Trog Straße & Bahn	174,8+57 4+378	175,0+69 4+585	-10,5	-8,0	wasserdichter Verbau (Schlitzwand)	-25,0	63,0	211,7	-9,40	-9,90	+6,00 bis +4,24 (B 95 und B 83 aus [U5]), im Mittel +5,12	GOK [U5]	3,0 x 10 ⁻⁶ (Mittelwert aus Pumpversuchen in GWM B 75 und GWM B 94 [U15])	nach Borchert ([U34], [U35])	28,16	-	9.916	271
Fehmarn Trog Straßenstrecke	4+585	4+863	-6,0	2,6	wasserdichter Verbau (Schlitzwand)	-23,5 u. -13,5	40,0	278,5	-1,70	-2,20	+5,79 bis +4,85 (B 96 und B 129 aus [U5]), im Mittel +5,32	GOK [U5]	8,9 x 10 ⁻⁶ (Mittelwert aus Pumpversuchen in GWM B 94 und GWM B 106 [U15])	nach Borchert ([U34], [U35])	23,14	-	5.191	226
Fehmarn Trog Bahnstrecke	175,0+69	175,6+07	-8,0	-2,8	wasserdichter Verbau (Schlitzwand)	-25,0	20,0	538,3	-5,40	-5,90	+6,58 bis +5,35 (B 110 und B 109 aus [U5]), im Mittel +5,97	GOK [U5]	8,9 x 10 ⁻⁶ (Mittelwert aus Pumpversuchen in GWM B 94 und GWM B 106 [U15])	nach Borchert ([U34], [U35])	23,92	-	12.618	219
Fehmarn Stützwand	175,6+07	175,8+09	-3,2	-1,3	geböschte Baugrube, einseitiger Verbau (Schlitzwand)	-25,0 u. -10,0	20,0	202,3	-2,25	-2,75	+5,28 bis +3,57 (B 180 und B 114a aus [U10]), im Mittel +4,43	GOK [U10]	1,0 x 10 ⁻⁵ (Tabelle 1 in [U10], rollige Böden)	nach Davidenkoff [U36]	7,72	30	-	82

<div>Projekt: Fehmarnsundquerung Strecke 1100 km 168,624 bis km 180,000</div> <div>Hydrogeologischer Bericht</div>	<div><div>IBES</div>BAUGRUNDINSTITUT</div>		<div>IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de</div>	
<div>Übersicht der Berechnungsgrundlage und -ergebnisse</div>	Maßstab:	-	Proj.-Nr.:	70-22-087-03
	Gezeichnet:	Niegel	Anl.-Nr.:	2.2
	Geprüft:	Scandolo	Datum:	02.12.2024