

Straßenbauverwaltung: Die Autobahn GmbH des Bundes

Straße: A 26 / Abschnittsnummer: VKE 7053, VKE7142 / Station: km 5+840 – 10+032

A 26 Hafenpassage Hamburg
AK HH-Hafen (A 7) bis AD Süderelbe (A 1)
Abschnitt 6c: AS HH-Hohe Schaar (o) – AD Süderelbe (m)
und A 1, 8-streifige Erweiterung im Bereich AD Süderelbe

PROJIS-Nr.: 02019905 00

FESTSTELLUNGSENTWURF

Unterlage 18.8
– Erläuterungsbericht –
Hydrogeologie

aufgestellt:

Berlin, den 29.01.2021

gez. i. A. Haß

DEGES

Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
Zimmerstraße 54
10117 Berlin

BERICHT

Titel: **Neubau der A 26 Hafenpassage
AK HH-Hafen (A7) bis AD Süderelbe (A 1)
VKE 7053: AS HH-Hohe Schaar - AD Süderelbe
VKE 7142: Ausbau der A 1, 8-streifige
Erweiterung im Bereich AD Süderelbe**

Hydrogeologie

Datum:	29.01.2021
Auftraggeber:	Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch Die Autobahn GmbH des Bundes, vertreten durch DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
Auftrag vom:	05.11.2015
Ansprechpartnerin:	Frau Roth

Auftragnehmer:	BWS GmbH
Aktenzeichen:	15.P.74/CAR
Projektleitung:	Herr Kapteina
Projektbearbeitung:	Herr Keller

INHALT	Seite
1 Anlass und Aufgabenstellung	1
2 Hydrogeologisch-wasserwirtschaftliche Situation	2
3 Hochstraße	4
4 Wilhelmsburgtunnel	5
4.1 Baugrubenwasser	5
4.2 Tunnelbauwerk im Strömungsquerschnitt	13
4.2.1 Grundwasserströmungsmodell	13
4.2.2 Prognoserechnungen Bauphase	15
4.2.3 Prognoserechnungen Betriebsphase	19
4.2.4 Zusammenfassung der Prognoserechnungen	22
4.3 Hydraulische Trennung innerhalb des Trogbauwerks	22
4.4 Gewässerverlegungen	24
4.5 Verlegung Kornweide	26
5 Dammbauwerke und Vorbelastungen	27
6 Bemessungsgrundwasserstände	30
6.1 Begriffsdefinition	30
6.1.1 Grundwasser	30
6.1.2 Stauwasser	31
6.1.3 Oberflächenwasser	32
6.2 Wirkfaktoren	32
6.2.1 Grundwasser	32
6.2.2 Stauwasser	34
6.2.3 Oberflächenwasser	34
6.3 Ermittlung der Wertebereiche	35
6.3.1 Bemessungssituationen	35

6.3.2	Grundwasser (Sturmfluten)	37
6.3.3	Grundwasser (extrem niedrige Tide)	43
6.3.4	Stauwasser (Nassphasen)	44
6.3.5	Stauwasser (extreme Trockenphasen)	45
6.3.6	Oberflächenwasser (Nassphasen)	46
6.3.7	Oberflächenwasser (Trockenphasen)	48
6.4	Hydrologische Planungsgrundlagen Wilhelmsburgtunnel	49
6.4.1	Bemessungswasserstände	49
6.4.2	Wasserdruckfiguren	51
6.5	Abhängigkeiten / Wechselwirkungen	60
6.5.1	Torfauffüllungen im Bauwerksbereich	60
6.5.2	Grundwasserunterströmung	60
6.6	Extreme Sturmflutereignisse in der Bauphase	62
7	Zusammenfassung	63

Tabellen

Tab. 1:	Wasserhaltung Baugruben	8
Tab. 2:	Vergleich der Beschaffenheitsdaten von Elbwasser (Messtelle Bunthaus) mit Daten von Grundwassermessstellen im Nahbereich des geplanten Wilhelmsburgtunnels	11
Tab. 3:	Geotechnische Bemessungssituationen	36
Tab. 4:	Messstellenbezogene Bemessungsgrundwasserpotenziale	40
Tab. 5:	Wasserstände und Bemessungssituationen (Wilhelmsburgtunnel)	50

Abbildungen

Abb. 1:	Geologie und Hydrogeologie im Bereich der VKE 7053 und 7142	2
Abb. 2:	Bauverfahren im Tunnelbereich	5
Abb. 3:	Schemaschnitt Nassabbau	6
Abb. 4:	Maximale Ausdehnung der Baugrubenwassereinsickerung	7
Abb. 5:	Potenzialerhöhungen bei der Baugrubenwasserhaltung	9
Abb. 6:	Lageplan der Beschaffenheitsmessstellen	10
Abb. 7:	Untersuchte Szenarien im Grundwasserströmungsmodell	15
Abb. 8:	Maximale Potenzialänderungen im 1. HWL in cm (Normaltide, Bauphase)	16
Abb. 9:	Maximale Potenzialänderungen im 1. HWL in cm (extreme Sturmflut, Bauphase)	17
Abb. 10:	Maximale Potenzialänderungen im 1. HWL in cm (Kettentide, Bauphase)	18
Abb. 11:	Maximale Potenzialänderungen im 1. HWL in cm (Normaltide, Betriebsphase)	19
Abb. 12:	Maximale Potenzialänderungen im 1. HWL in cm (extreme Sturmflut, Betriebsphase)	20
Abb. 13:	Maximale Potenzialänderungen im 1. HWL in cm (Kettentide, Betriebsphase)	21
Abb. 14:	Verfüllungen und Abdichtungen im zentralen Tunnelabschnitt	23
Abb. 15:	Profil Gewässerverlegung	24
Abb. 16:	Gewässerverlegungen im Tunnelbereich	25
Abb. 17:	Geplante Verlegung der Straße Kornweide	26
Abb. 18:	Geplante Verlegung der Straße Kornweide	27

Abb. 19:	Setzungsbereich am Wilhelmsburgtunnel	28
Abb. 20:	Schematische Darstellung der drei Wassersysteme	31
Abb. 21:	Schema zur Kraftwirkung des Grundwassers	33
Abb. 22:	Schema zur Kraftwirkung des Stauwassers	34
Abb. 23:	Schema zur Kraftwirkung des Oberflächenwassers	35
Abb. 24:	Grundwassermessstellen	37
Abb. 25:	Ableitung der Referenzgrundwasserstände (Beispiel GWM 7551)	39
Abb. 26:	Grundwasserpotenziale der Bemessungsturmflut (mNHN)	41
Abb. 27:	Systemwechsel im Tunnelbereich	42
Abb. 28:	Grundwasserpotenziale der extrem schweren Sturmflut (mNHN)	42
Abb. 29:	Bemessungsgrundwasserpotenziale extrem niedriger Tide (mNHN)	43
Abb. 30:	Schema zu den Stauwasserständen in extremen Nassphasen	44
Abb. 31:	Schema zu den Stauwasserständen in Nassphasen (mNHN)	45
Abb. 32:	Bemessungsoberflächenwasserstände zu extremen Nassphasen (mNHN)	47
Abb. 33:	Bemessungsoberflächenwasserstände zu Nassphasen (mNHN)	48
Abb. 34:	Schema Wasserdruckfiguren 1 (Maxima)	52
Abb. 35:	Schema Wasserdruckfiguren 1 (Minima)	53
Abb. 36:	Schema Wasserdruckfiguren 2 (Maxima)	54
Abb. 37:	Schema Wasserdruckfiguren 2 (Minima)	55
Abb. 38:	Schema Wasserdruckfiguren 3 (Maxima)	56
Abb. 39:	Schema Wasserdruckfiguren 3 (Minima)	57
Abb. 40:	Schema Wasserdruckfiguren 4 (Maxima)	58
Abb. 41:	Schema Wasserdruckfiguren 4 (Minima)	59
Abb. 42:	Schematische Darstellung eines hydraulischen Fensters	61

1 Anlass und Aufgabenstellung

Neben weiteren Strecken der A 26 plant die DEGES den Neubau des Abschnittes zwischen der Anschlussstelle HH-Hohe Schaar und dem Autobahndreieck Süderelbe. Diese Strecke umfasst die Verkehrskosteneinheit (VKE) 7053 der geplanten A 26 und mit der VKE 7142 den Ausbauabschnitt der A 1 im Bereich des Autobahndreiecks Süderelbe. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens sind die möglichen vorhabensbezogenen Auswirkungen auf die Grundwassersituation zu ermitteln und zu beschreiben. Die BWS GmbH wurde mit Datum vom 05.11.2015 durch die DEGES mit der Durchführung entsprechender hydrogeologischer Untersuchungen für die Abschnitte VKE 7053 und 7142 beauftragt.

Im Teilabschnitt von der Anschlussstelle HH-Hohe Schaar bis zum Abzweig Harburg wird die Trasse als aufgeständerte Hochstraße geführt. Hier weist das Vorhaben nur sehr schwache Wirkfaktoren bezüglich möglicher Auswirkungen auf das Grundwasser auf.

Der Abschnitt vom Abzweig Harburg bis zum Autobahndreieck Süderelbe wird nach Planungsänderungen nun fast vollständig durch ein Tunnel-/Trogbauwerk, den sogenannten Wilhelmsburgtunnel eingenommen. Dieses Bauwerk ist aufgrund seiner Tiefe und der erforderlichen Bodeneingriffe mit starken Auswirkungen auf die Grundwassersituation verbunden. Die Untersuchungen konzentrieren sich entsprechend auf diesen Streckenabschnitt.

Neben möglichen Auswirkungen der Bodeneingriffe wird bezüglich des Wilhelmsburgtunnels auch die Möglichkeit einer Bauwasserentnahme aus dem Grundwasserleiter geprüft.

Mit der geplanten Herstellung des Wilhelmsburgtunnels werden in dessen Umfeld Gewässerverlegungen erforderlich. Die entsprechenden Bodeneingriffe bilden aufgrund möglicher Veränderungen der hydraulischen Wechselwirkung zwischen Grund- und Oberflächenwasser einen weiteren Untersuchungspunkt.

Im Teilabschnitt der VKE 7142 erfolgt ein Ausbau der bestehenden A 1 im Bereich des geplanten Autobahndreiecks Süderelbe. In diesem Bereich werden die neuen Rampen und Spuren auf Dämmen und in Trögen geführt, die gegenüber der Geländeoberfläche nur gering aufgehört bzw. eingetieft sind. Hier sind, wie im westlichen Bereich der VKE 7053, nur geringe mögliche Auswirkungen auf die Grundwassersituation zu erwarten.

Die durchgeführten und im Folgenden mit ihren Ergebnissen beschriebenen Untersuchungen wurden mit Vertretern der Behörde für Umwelt und Energie (BUE, jetzt BUKEA) auf dem Termin am 20.11.2019 inhaltlich abgestimmt.

2 Hydrogeologisch-wasserwirtschaftliche Situation

Der untersuchte Streckenabschnitt der geplanten A 26 befindet sich in der Elbmarsch des Hamburger Stromspaltungsgebiets und verläuft im Bereich der Elbinsel Wilhelmsburg nördlich der Süderelbe. Der westliche Teilabschnitt der VKE 7053 fällt größtenteils in den Bereich künstlicher Aufhöhungen (siehe Abb. 1). Der östliche Teilabschnitt der VKE 7053 und die VKE 7142 liegen vollständig im nicht aufgehöhten Marschbereich, der an der Geländeoberfläche durch geringdurchlässige Klei- und Torfablagerungen gekennzeichnet ist (natürliche Weichschichten).

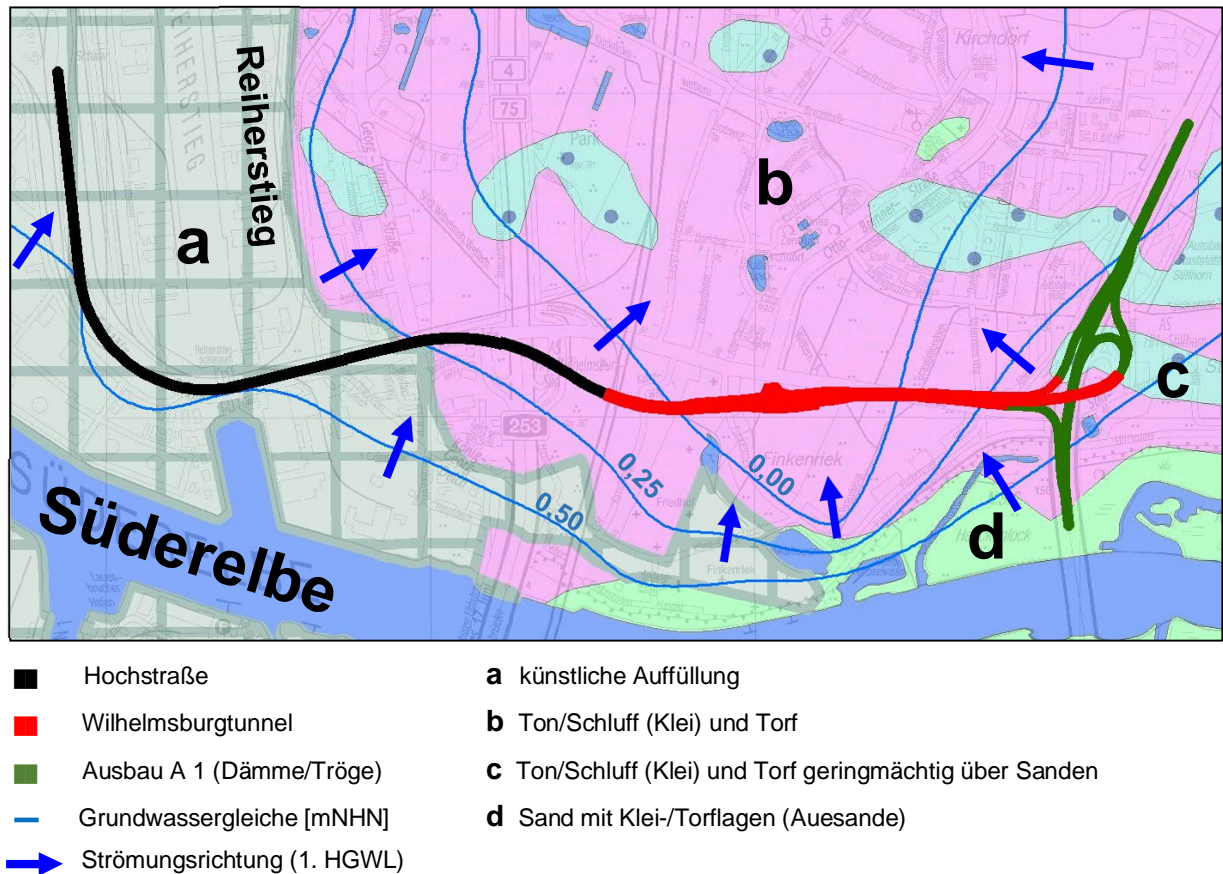


Abb. 1: Geologie und Hydrogeologie im Bereich der VKE 7053 und 7142

Die geringdurchlässigen Kleiablagerungen setzen sich nach Westen unterhalb der künstlichen Auffüllungen fort. Sie decken die Sande des gespannten oberflächennahen Grundwasserleiters (1. HGWL) ab. Die Kleiablagerungen weisen nur am östlichen Ende des untersuchten Streckenabschnitts geringe Mächtigkeiten (< 2 m) auf.

Der 1. HGWL besteht aus Sanden und Kiesen und ist mit ca. 15 bis 20 Metern Mächtigkeit weitgehend homogen im Bereich der Elbmarsch ausgebildet. Die Korngröße im Grundwasserleiter nimmt aufgrund der zunehmend ruhigeren Ablagerungsbedingungen von der Basis in Richtung Oberfläche tendenziell ab.

Im Bereich der mehrere Meter mächtigen künstlichen Auffüllungen kommt es oberhalb der Deckschichten zu Stauwasserbildungen. Die Stauwasseroberfläche liegt höher als die Druckhöhen im Grundwasserleiter, so dass eine Einsickerung von Stauwasser in den Grundwasserleiter erfolgt. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Deckschichten sind die Sickerraten und der Einfluss auf das Strömungsbild im Grundwasserleiter gering.

In den niedrigen, nicht aufgehöhten Marschflächen liegt das Druckpotenzial des Grundwassers etwa im Niveau der Geländeoberfläche. Um hier eine Besiedlung und Nutzung zu ermöglichen, erfolgt in den Flächen mit einem dichten Netz aus Dränagen und Gräben eine Wasserhaltung, die andrängendes Grundwasser sowie Niederschlagswasser ableitet. Durch die großräumige und stetige Wasserhaltung wird das Strömungsbild im 1. HGWL trotz der geringen Durchlässigkeit der Deckschichten maßgeblich beeinflusst.

In der Abb. 1 ist zu erkennen, dass das Grundwasser aus allen Richtungen auf den zentralen Bereich der nicht aufgehöhten Marsch zuströmt. Das Strömungsbild wird nicht durch eine Entnahme im Zentrum, sondern durch die zuvor beschriebene Wasserhaltung und die damit verbundene flächige Aussickerung von Grundwasser im Niederungsgebiet verursacht.

Der Zustrom im Grundwasserleiter erfolgt aus der Süderelbe, die in den 1. HGWL eingeschnitten und dadurch an diesen hydraulisch angebunden ist. Der Elbwasserstand ist neben der Wasserhaltung in der Marsch der zweite maßgebliche Einflussfaktor des Strömungsgeschehens im 1. HGWL. Mit der tidebedingten Wasserstandsschwankung in der Süderelbe verändern sich auch die Potenziale im Grundwasserleiter. Die tidebedingte Druckschwankung im Grundwasserleiter wird jedoch durch dessen Matrix gedämpft und nimmt daher mit zunehmendem Abstand zur Elbe ab. Die hydraulischen Impulse extremer Ereignisse (z.B. Sturmfluten) haben eine entsprechend größere Reichweite.

3 Hochstraße

Im westlichen Teilabschnitt der VKE 7053 (Anschlussstelle HH-Hohe Schaar bis Abzweig Harburg) wird die geplante Trasse als Hochstraße geführt. Mögliche Auswirkungen auf die Grundwassersituation sind in diesem Abschnitt nur durch die Gründungselemente der Stützpfeiler gegeben.

Die Stützpfeiler müssen bis in die tragenden Sande (1. HWL) eingebracht werden und durchdringen daher die geringdurchlässigen natürlichen Weichschichten. Wenn bei der Herstellung der Stützpfeiler hydraulische Wegsamkeiten zwischen den Weichschichten und der Pfahlwand entstehen, ist bei höheren Potenzialen im Stauwasser eine verstärkte Zusicke- rung zum Grundwasser und damit ein Stoffeintrag möglich.

Sowohl Bohr- als auch Verdrängungspfähle können unter Ausschluss relevanter hydraulischer Wegsamkeiten hergestellt werden. Bei Fertigbetonpfählen sind für einen dichten Anschluss an die Weichschichten Vollverdrängungsverfahren ohne Bodenförderung geeignet. Dabei sind spitze Pfähle (Vermeidung von Pfropfenbildungen) ohne Überstand der Verdrängerspitze und mit glatter Oberfläche (Minimierung der Verschleppung) einzusetzen.

Eine vollständige Entfernung der natürlichen Weichschichten durch die Anlage von Baugru- ben (z.B. zur Herstellung von Pfahlkopfplatten) ist aufgrund der Tiefenlage der Schichten nicht zu erwarten. Sollten bei Aushubarbeiten lokal Klei- oder Torfablagerungen bis zu den unterlagernden Sanden entfernt werden, ist eine Verfüllung dieser Bereiche mit geringdurch- lässigem, unbelastetem Bodenmaterial durchzuführen. Die Abdichtung ist zur Vermeidung hydraulischer Fenster ggf. bis an das Bauwerk heranzuführen.

Da die Gründungspfähle mit ihrem unteren Abschnitt in den Grundwasserleiter ragen, stellen sie ein Strömungshindernis dar. Aufgrund der sehr geringen Verminderung des Strömungs- querschnitts und der höheren Durchlässigkeiten im unteren Abschnitt des Grundwasserlei- ters, werden die Grundwasserstände und die Strömungssituation durch die Gründungssele- mente der geplanten Hochstraße nicht relevant verändert.

4 Wilhelmsburgtunnel

4.1 Baugrubenwasser

Die Herstellung des Wilhelmsburgtunnels erfolgt aus technischen Gründen mit unterschiedlichen Bauverfahren. Die geplanten Verfahren und die Lage der Systemwechsel sind in der Abb. 2 dargestellt. Beim Trockenaushub (mit und ohne anschließende Öffnung der Baugrubenwand) erfolgt in der Bauphase durch die Einbindung der Baugrubenwand in den Geringleiter an der Grundwasserleiterbasis eine vollständige hydraulische Trennung der Baugrube vom Grundwasser, so dass in den entsprechenden Tunnelabschnitten bauzeitlich kein Wasser- bzw. Stoffeintrag in das Grundwasser gegeben ist.

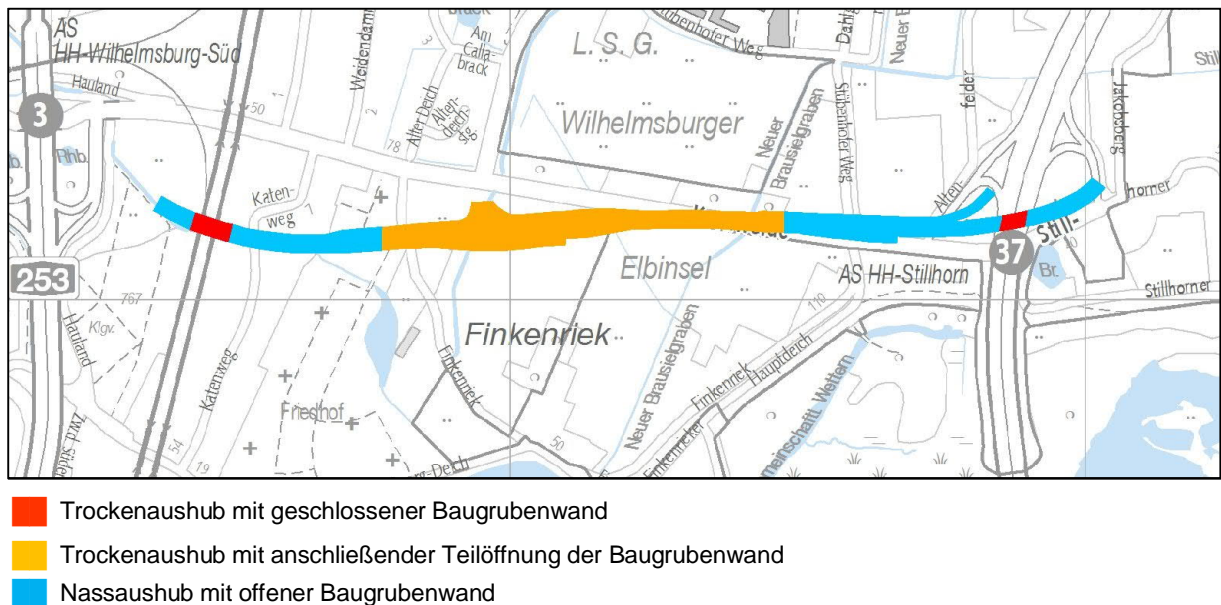


Abb. 2: Bauverfahren im Tunnelbereich

Bei den im Nassaushub hergestellten Baugrubenabschnitten wird die Baugrubenwand nicht bis in die geringdurchlässigen Schichten an der Grundwasserleiterbasis geführt. Die Bodenentnahme erfolgt in der mit Wasser gefüllten Baugrube. Zur Vermeidung eines Grundbruchs während der Entnahme der geringdurchlässigen Deckschichten bzw. einer Bodenauflockerung bei der Entnahme der Sande im Grundwasserleiter wird der Baugrubenwasserstand über dem Druckpotenzial im Grundwasserleiter gehalten. Dadurch ist eine Einsickerung von Wasser aus der Baugrube in den Grundwasserleiter gegeben (siehe Abb. 3)

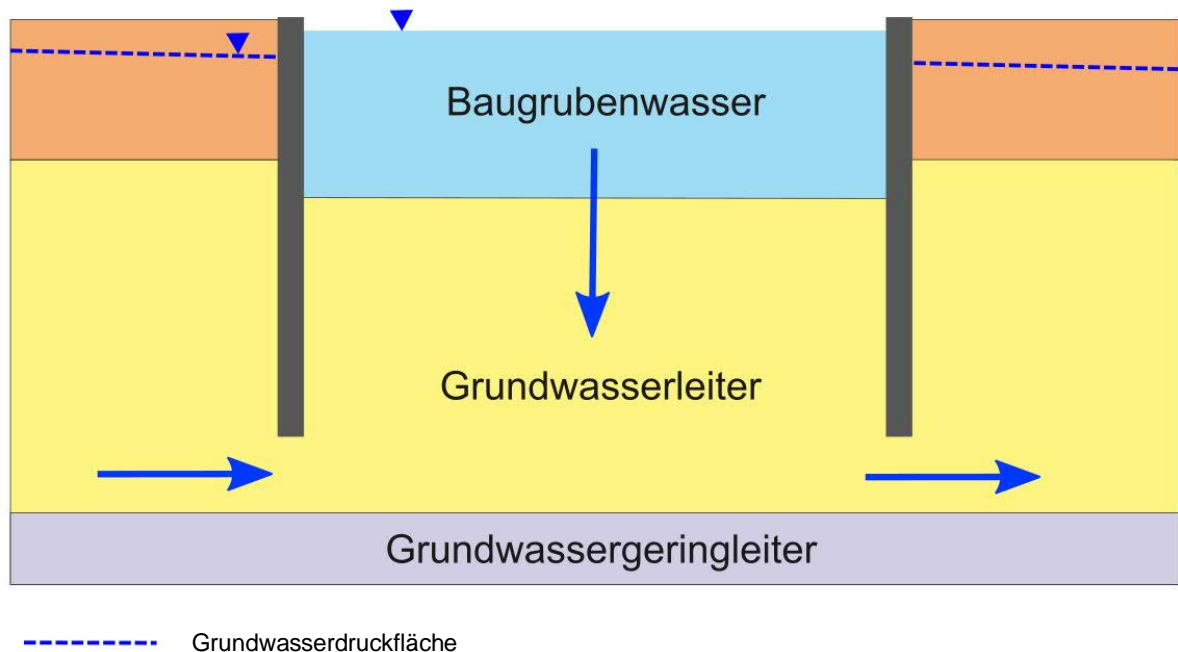


Abb. 3: Schemaschnitt Nassabbau

Vor der Entfernung der geringdurchlässigen Deckschichten ist die Rate der Einsickerung sehr gering. Die für eine Bewertung maßgebliche Einsickerung erfolgt ab der Entfernung der Deckschichten bis zur Fertigstellung der Unterwasserbetonsohle, die mit ihrer Fertigstellung die Baugrube hydraulisch vom Grundwasserleiter isoliert. Bis zur vollständigen Entnahme der Deckschichten ist ein Baugrubenwasserstand von 1,3 mNHN vorgesehen. Um die hydraulischen Auswirkungen zu begrenzen, ist ab der Herstellung einer hydraulischen Verbindung zwischen dem Baugrubenwasser und dem Grundwasserleiter der Wasserstand in der Baugrube zu reduzieren (siehe weiter unten).

Unter Ansatz der maximalen Sickerrate der Flächen der Baugrubenabschnitte und der Dauer der Bauphasen ergibt sich für den westlichen Abschnitt des Nassabbaus eine Einsickerungsmenge von ca. 12.500 m³ und für den östlichen Abschnitt des Nassabbaus eine Einsickerungsmenge von ca. 41.000 m³. Aufgrund der geringen hydraulischen Gradienten im Grundwasserleiter wird die Einsickerung das Strömungsgeschehen lokal überprägen. Das in der Phase der Wasserhaltung einsickernde Baugrubenwasservolumen wird sich zunächst im Porenraum unterhalb der Grubensohle ausbreiten, der durch die Baugrubenwände seitlich hydraulisch isoliert ist (siehe Abb. 3).

- Abb. 4:** Maximale Ausdehnung der Baugrubenwassereinsickerung

- 7 -

Die Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich des geplanten Tunnelbauwerks sind sehr gering und betragen ca. 30 Meter im Jahr. Nach Norden verringern sich die Geschwindigkeiten weiter, so dass die Aussickerung des eingesickerten Baugrubenwassers stark verzögert und diffus verteilt über viele Jahre erfolgt. Aufgrund der zeitlichen Verzögerung und der Sickerpassage durch die Deckschichten können messbare Veränderungen des Abflusses oder der Beschaffenheit in den Oberflächengewässern durch die Aussickerung von Baugrubenwasser ausgeschlossen werden.

Grundwasserentnahmen (Trink- oder Brauchwasser) bestehen im Abstrombereich nicht, so dass diesbezüglich vorhabensbezogene Auswirkungen ausgeschlossen werden können.

Die bauzeitliche Einsickerung von Baugrubenwasser in den Grundwasserleiter bedingt im Umfeld Potenzialanstiege. Aufgrund der geringen Geländehöhen bzw. der geringen Grundwasserflurabstände ist der Potenzialanstieg zur Vermeidung nachteiliger Auswirkungen zu begrenzen. Auf der Grundlage der an den projektbezogenen Messstellen erfassten Grundwasserstandsdaten wurden die in der Tab. 1 in der Spalte „Normalsituation“ aufgelisteten Baugrubenwasserstände ermittelt, die einen relevanten Grundwasserzustrom in die Baugrube verhindern und die Einsickerung in den Grundwasserleiter minimieren. Sofern aus geotechnischer Sicht beim Eintritt einer Sturmflut zur Sicherung ein Gegenpotenzial erforderlich ist, kann der Baugrubenwasserstand während des Ereignisses kurzzeitig entsprechend den Angaben in der Tabelle höher eingestellt werden.

Tab. 1: Wasserhaltung Baugruben

Segmente	Normal-situation	Sturmflut (3,5 mNHN*)	schwere Sturmflut (4,5 mNHN*)	extrem schwere Sturmflut (5,5 mNHN*)
00, 01, 02	0,1	0,5	0,55	0,6
09, 10, 11, 12, 12.1	0,5	1,10	1,15	1,20
13	0,6	1,20	1,25	1,30

* bezogen auf den Pegel Harburg

Die möglichen vorhabensbezogenen Potenzialerhöhungen fallen im Bereich der drei westlichen Segmente sehr gering aus. Hier kann aufgrund des geringen hydraulischen Tideeinflusses eine sehr geringe Differenz der Wasserhaltung gegenüber dem mittleren Grundwasserstand eingehalten werden. Im östlichen Bereich sind die tidebedingten Potenzialschwankungen stärker, so dass hier zur Sicherung höhere Potenzialdifferenzen erforderlich sind. Die Beträge der möglichen vorhabensbezogenen Potenzialerhöhungen im Grundwasserleiter sind in der Abb. 5 dargestellt. Die Werte wurden unter den ungünstigen Annahmen einer fehlenden Kolmation sowie einer zeitlichen Überschneidung der Wasserhaltung in den Segmenten und der Phase der vollständigen hydraulischen Blockierung des Grundwasserleiters in den angrenzenden Bereichen des Trockenaushubs ermittelt.

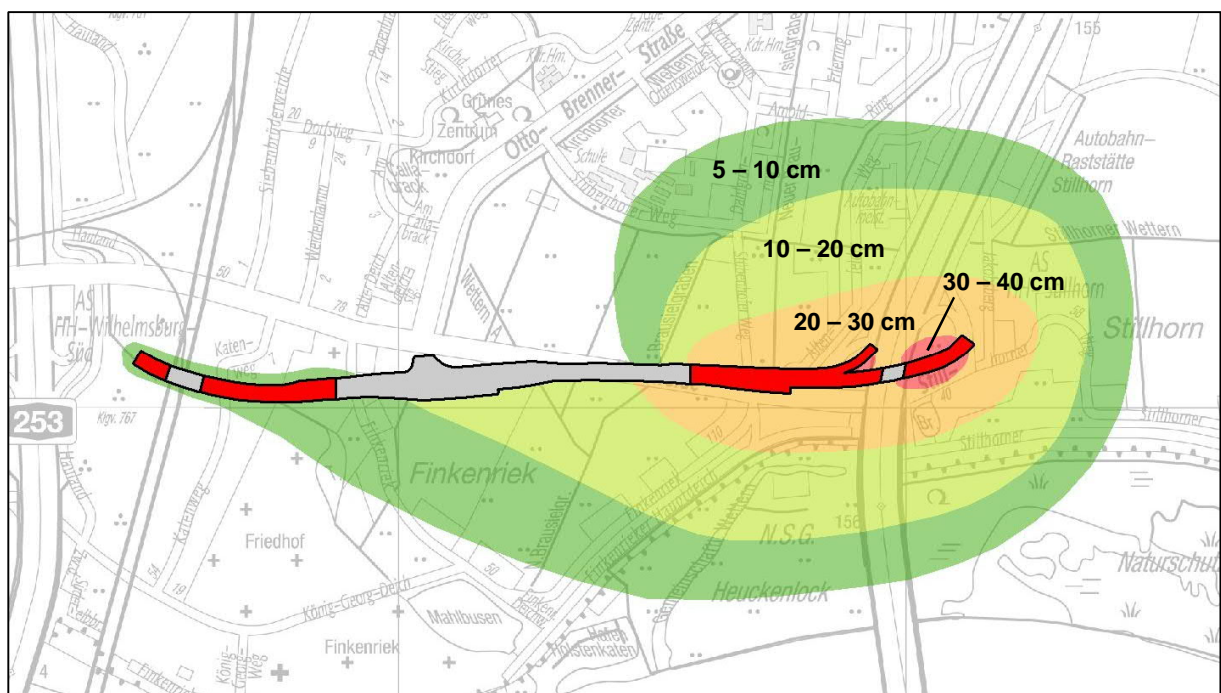


Abb. 5: Potenzialerhöhungen bei der Baugrubenwasserhaltung

Die in der Abb. 5 dargestellten Werte geben die Erhöhung des mittleren Potenzials in der Normalsituation an. Sehr hohe Potenziale, die bei extremen Tidescheiteln eintreten, werden durch die in der Tab. 1 aufgelisteten Gegenpotenziale nicht relevant erhöht. Eine Erhöhung der Grundwasserpotenziale über bereits im Istzustand eintretende Werte ist daher nicht gegeben. Die Wirkung kurzzeitiger Potenzialerhöhungen auf die Geländeoberfläche ist zudem durch die flächige Verbreitung geringdurchlässiger Deckschichten stark begrenzt. Nachteilige vorhabensbezogene Auswirkungen in der Phase der Baugrubenwasserhaltung durch Vernässungen sind daher nicht zu erwarten.

Die Wasserhaltung in den Baugruben (Nassabbau) erfordert aufgrund der Einsickerung von Baugrubenwasser in den Grundwasserleiter und des Volumenverlustes durch die Bodenentnahme die Einleitung von Wasser. Eine Wasserentnahme aus dem Grabennetz scheidet dabei nach Abstimmung mit der BUKEA aufgrund der möglichen starken Auswirkungen auf die Wasserführung und die Gewässerökologie aus.

Die für die Wasserhaltung in den Baugruben erforderliche Entnahme ist grundsätzlich aus dem Grundwasserleiter über Bohrbrunnen oder aus der Elbe möglich. Bei einer Entnahme aus dem gleichen Grundwasserleiter (1. HGWL) sind im Rahmen der Einsickerung von Baugrubenwasser die geringsten Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit zu erwarten.

Da das Grundwasser im Untersuchungsraum vollständig aus einsickerndem Wasser aus der Süderelbe gebildet wird (siehe Kap. 2), ist auch bei einer Überleitung von Elbwasser in die Baugruben keine maßgebliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit zu erwarten. Nach Einsickerung in den Grundwasserleiter ist von einer schnellen Einstellung der typischen Milieubedingungen auszugehen. Zur Abschätzung möglicher chemischer Auswirkungen auf die Grundwassersituation im Nahbereich der Einsickerung wurden die amtlichen Beschaffenheitsdaten des Grundwassers (Untersuchungsprogramm zum oberflächennahen Grundwasser – UPOG) und des Elbwassers für ausgewählte Parameter zusammengestellt und mit Schwellenwertangaben in der Grundwasserverordnung (GrwV) verglichen. In der Abb. 6 ist die Lage der Messstellen dargestellt.

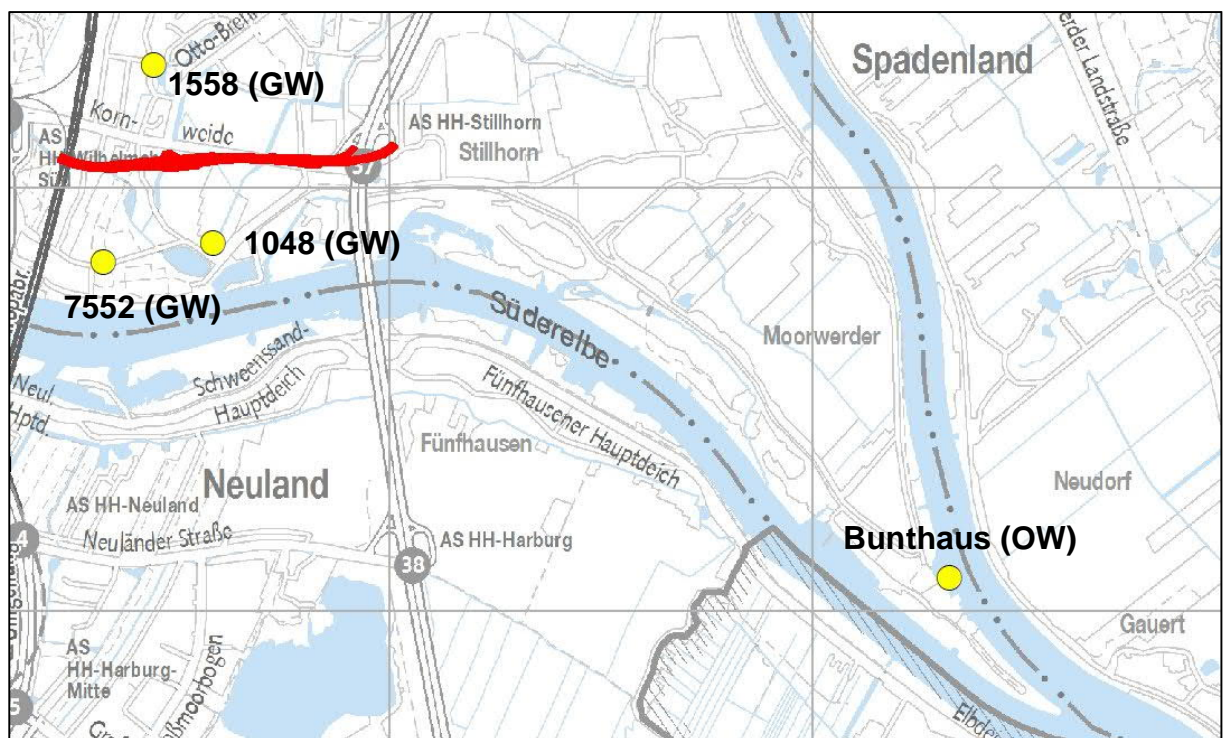


Abb. 6: Lageplan der Beschaffenheitsmessstellen

Als Referenzjahr wurde 2018 gewählt, da aufgrund der niedrigen Abflüsse in der Elbe in dem Trockenjahr repräsentative hohe Stoffkonzentrationen gegeben sind. Die Vergleichswerte sind in der Tab. 2 zusammengestellt. Aufgrund des begrenzten Parameterumfangs der Messstelle Bunthaus wurden die Daten zur Elbe mit Messwerten der Messstelle Zollenspieker ergänzt, die sich rd. 11 km stromauf befindet. Für die Grundwassermessstelle 1558 liegen aktuelle Daten vor. Für die Grundwassermessstellen 1048 und 7552 liegen keine aktuellen Daten vor, hier wurden Daten des jeweils letzten Beprobungsjahres (2008) verwendet. Aufgrund der sehr geringen Grundwasserströmungsgeschwindigkeiten von 30 Metern pro Jahr geben diese Daten gute Hinweise zum Einfluss der Elbe und werden daher ergänzend hier aufgeführt.

Tab. 2: Vergleich der Beschaffenheitsdaten von Elbwasser (Messstelle Bunthaus) mit Daten von Grundwassermessstellen im Nahbereich des geplanten Wilhelmsburgtunnels

		Schwellenwert GrwV	Elbe* (Bunthaus)	GWM 1558	GWM 1048***	GWM 7552***
Nitrat	mg/l	50	6,4	< 0,1	< 0,15	< 0,15
Ammonium	mg/l	0,5	0,13	3,7	3,7	5,8
ortho-Phosphat	mg/l	0,5	0,09	4,6	0,11	< 0,2
Chlorid	mg/l	250	187	46	110	130
Sulfat	mg/l	250	131**	160	67	8,7
Arsen	µg/l	10	1,4**	0,35	0,9	< 0,5
Cadmium	µg/l	0,5	0,013**	< 0,05	< 0,1	< 0,1
Blei	µg/l	10	0,048**	< 0,1	< 0,5	< 0,5
Quecksilber	µg/l	0,2	< 0,005**	< 0,005	< 0,1	< 0,1
Σ Tri-/Tetrachlorethen	µg/l	10	< 0,2**	< 0,2	0,7	0,2

*Jahresmittel **Messstelle Zollenspieker ***Messwerte aus 2008

Die Messwerte in der Tab. 2 zeigen, dass bei einer Verwendung von Elbwasser zur Wasserstandshaltung in der Baugrube keine Überschreitung der Schwellenwerte im Grundwasser durch dessen Beschaffenheit zu erwarten ist.

Die höheren Ammonium-Werte sind geogen bedingt und typisch für das oberflächennahe Grundwasser in der Kleimarsch.

Die GWM 1558 besitzt (im Gegensatz zu den Messstellen 1048 und 7552) einen Zustrom aus dem Bereich aufgehöhter Flächen (sandige Aufhöhungen auf den natürlichen Weichschichten im Siedlungsbereich). In den Geländeaufhöhungen kommt es oberhalb der geringdurchlässigen Weichschichten durch die Zusickerung von (chloridarmem) Niederschlagswasser zur Bildung von Stauwasser. Das Stauwasser sickert weiter nach unten in den Grundwasserleiter und überprägt im Bereich der GWM 1558 die Beschaffenheit des ursprünglich aus der Elbe stammenden Grundwassers. Dafür spricht die niedrige Chlorid-Konzentration, da diese durch chemische und physikalische Transportprozesse im Grundwasserleiter keine relevante Veränderung erfährt (konservativer Tracer).

Nach den Messwerten zur Grund- und Oberflächenwasserbeschaffenheit und den hydrogeologischen Sachverhalten ist für die erforderliche Zuleitung von Wasser in die Baugrubenabschnitte, für die ein Nassabbau vorgesehen ist, sowohl Grundwasser aus dem 1. HGWL als auch Oberflächenwasser aus der Elbe geeignet. Nachteilige Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit sind durch die Stoffkonzentrationen im zugeleiteten Wasser nicht zu erwarten.

Neben den Ausgangskonzentrationen im übergeleiteten Wasser sind bezüglich der Einsickerung in den Grundwasserleiter Stoffeinträge in das Baugrubenwasser durch den Baubetrieb relevant. Dies betrifft maßgeblich Porenwasserausträge aus den abzutragenden natürlichen Weichschichten.

Ein Porenwassereintrag in das Baugrubenwasser ist durch den Einsatz geeigneter Entnahmeverfahren (z.B. scharfkantige, geschlossene Kastengreifer) zu minimieren. Darüber hinaus ist eine Kreislaufführung des Baugrubenwassers über die Porenwasserbehandlungsanlagen der Bodenlager vorgesehen, durch die eine Reduzierung der Stoffkonzentrationen erreicht wird.

Der Einsatz von wassergefährdenden Kraft- und Betriebsstoffen im Bereich der Baugruben ist zu unterlassen, um Verunreinigungen auszuschließen. Bei der Lagerung wassergefährdender Stoffe muss durch geeignete Maßnahmen ein Zutritt zum Baugrubenwasser bei Leckagen o.ä. Störfällen sicher ausgeschlossen werden.

4.2 Tunnelbauwerk im Strömungsquerschnitt

Der geplante Wilhelmsburgtunnel reicht mit seiner Sohle bis unter die Basis der natürlichen Weichschichten und damit in den Strömungsquerschnitt des oberflächennahen Grundwasserleiters (1. HGWL). Der Bauwerkskörper behindert daher die etwa senkrecht zur Achse des Bauwerks, nach Norden gerichtete Grundwasserströmung, so dass ein Grundwasseraufstau auf der Süd- und eine Grundwasserabsenkung auf der Nordseite zu erwarten sind.

Noch stärkere Auswirkungen auf die Grundwasserströmung sind durch die Baugrubenwände des geplanten Tunnelbauwerks gegeben, da diese bis unter die Tunnelsohle reichen. In den Abschnitten, in denen ein Trockenaushub vorgesehen ist, werden die Baugrubenwände bis in den Grundwasserstauer an der Basis des 1. HGWL geführt, so dass der Strömungsquerschnitt vollständig blockiert wird.

In den Bereichen mit einem geplanten Trockenaushub werden die Baugrubenwände nach Fertigstellung des Tunnelkörpers um 10 % geöffnet, so dass eine Unterströmung des Tunnels wieder möglich ist. In zwei kleinen Abschnitten erfolgt aus technischen Gründen keine Teilöffnung (Querung Bahntrasse und Querung Trasse A 1).

In den Tunnelabschnitten, die im Nassaushub hergestellt werden, reicht die Baugrubenwand nicht bis zur Grundwasserleiterbasis, so dass hier primär ein Strömungsfenster im Grundwasserleiter verbleibt. Aufgrund der tendenziell höheren Durchlässigkeiten im unteren Abschnitt des Grundwasserleiters bleibt trotz Minderung des Strömungsquerschnittes eine relativ hohe hydraulische Leistungsfähigkeit erhalten.

Der Wechsel der geplanten Bauverfahren (Trocken-/Nassaushub) im Tunnelverlauf sowie die Bereiche des Trockenaushubs, für die eine Teilöffnung vorgesehen ist, sind in der Abb. 2 im Kapitel 4.1 dargestellt.

4.2.1 Grundwasserströmungsmodell

Zur Ermittlung der vorhabensbezogenen Auswirkungen auf die Grundwasserstände durch die Minderung des Strömungsquerschnitts im 1. HGWL wurde aufgrund der komplexen hydraulischen Wirkungszusammenhänge ein numerisches 3D-Grundwasserströmungsmodell erstellt.

Die Grenzen des Strömungsmodells werden durch den Verlauf von zweier durch die geplante Maßnahme nicht beeinflusster Strömungspfade westlich und östlich des Tunnelbauwerks (No-Flow-Boundary) und die Uferlinie der Süderelbe (Festpotenzial) festgelegt.

Im Strömungsmodell ist die tendenzielle Vergrößerung des Sediments zur Basis mit einer Zunahme der Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-4}$ auf $1 \cdot 10^{-3}$ m/s umgesetzt. Im Verlauf der Straße Kornweide und der Trasse der A 1 wurde die belegte Entfernung der geringdurchlässigen Deckschichten entsprechend abgebildet.

Während die Geschwindigkeiten der Grundwasserströmung im Bereich des geplanten Tunnelbauwerks gering sind, können sich Druckimpulse aufgrund der gespannten Grundwasserhältnisse sehr schnell ausbreiten. Aufgrund der geringen Entfernung der hydraulisch an den 1. HGWL angeschlossenen Elbe war eine Betrachtung möglicher vorhabensbezogener Auswirkungen anhand eines mittleren stationären (zeitlich nicht veränderlichen) Zustands ausreichend.

Es wurden daher instationäre (zeitlich veränderliche) Prognoserechnungen für mittlere (Normaltide) und extreme hydraulische Ereignisse in der Elbe (Sturmflut, Kettentide) durchgeführt. Im Rahmen kurzzeitiger Veränderungen der hydraulischen Randbedingungen (Tide) stellt sich keine hydraulische Gleichgewichtssituation im Modellraum ein, so dass die Durchführung instationärer Rechenläufe erforderlich ist.

Aufgrund der in der Bauphase (vor Öffnung der Strömungsfenster in den Abschnitten mit Trockenaushub) signifikant abweichenden hydraulischen Randbedingungen wurde bei den Prognoserechnungen auch die Situation Bauphase und Betriebsphase unterschieden.

Als hydraulische Randbedingungen (Wasserstand Süderelbe) wurden neben der Normaltide eine extreme Sturmflut und eine Kettentide („Bemessungstide Kettenhochwasser“, „Bemessungstide Extremes Hochwasser“, TR HWS-Bau, HPA) angesetzt (siehe Abb. 7). Die Normaltide hat einen Scheitelwert von 2,54 mNHN. Das extreme Hochwasser beschreibt eine Sturmflut mit einem Scheitelwert von 7,30 mNHN. Die Kettentide umfasst drei aufeinanderfolgende Hochwasserscheitel mit 6,00 mNHN.

Als Grundlage für die Prognoserechnungen erfolgte im Modell zunächst die Abbildung des Istzustands als Referenz. Zur Beschreibung der stärksten zu erwartenden maßnahmenbezogenen Auswirkungen werden in den Auswertungen jeweils die Zeitpunkte des Eintritts der höchsten Grundwasserstände betrachtet.

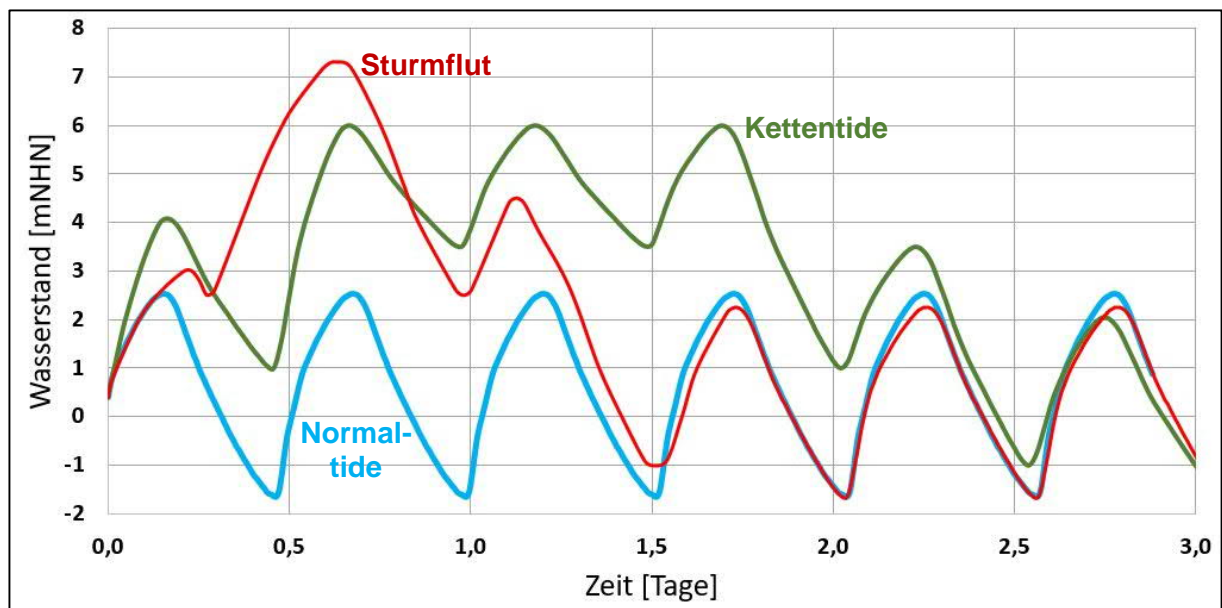


Abb. 7: Untersuchte Szenarien im Grundwasserströmungsmodell

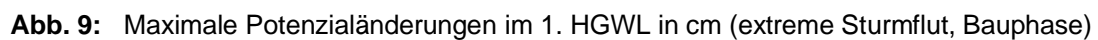
4.2.2 Prognoserechnungen Bauphase

Aufgrund der in der Bauphase dort vollständigen hydraulischen Unterbrechung treten die stärksten vorhabensbezogenen Potenzialveränderungen an dem rd. 700 Meter langen Abschnitt des Trockenaushubs auf. Die maximalen Differenzen liegen im zentralen Bereich und betragen bei der **Normaltide** bis zu +10 cm auf der Südseite und bis zu -10 cm auf der Nordseite (siehe Abb. 8). Das maximale absolute Potenzial tritt auf der Südseite mit ca. 0,2 mNHN ein.

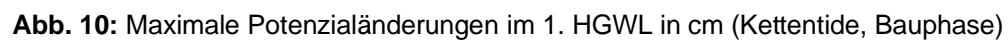


Abb. 8: Maximale Potenzialänderungen im 1. HGWL in cm (Normaltide, Bauphase)

Auch bei der **extremen Sturmflut** liegen die die maximalen Differenzen im zentralen Bereich und betragen bis zu +35 cm auf der Südseite und bis zu -25 cm auf der Nordseite (siehe Abb. 9). Das maximale absolute Potenzial tritt auf der Südseite mit ca. 0,71 mNNH ein.



- 17 -



In der Betriebsphase betragen bei der **extremen Sturmflut** die maximalen Differenzen im zentralen Bereich bis zu +20 cm auf der Südseite und bis zu -15 cm auf der Nordseite (siehe Abb. 12). Das maximale absolute Potenzial tritt auf der Südseite mit ca. 0,57 mNHN ein.

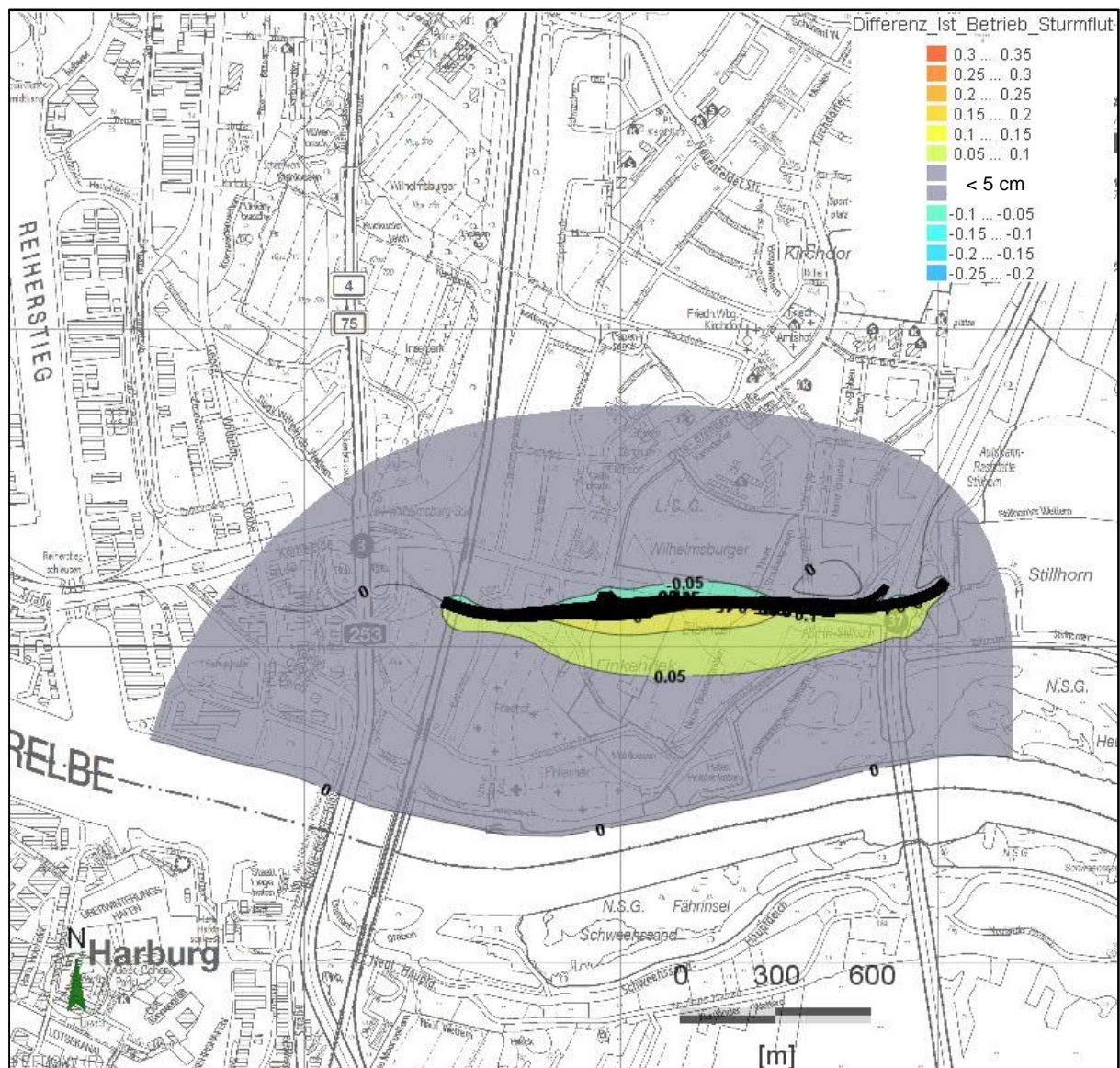


Abb. 12: Maximale Potenzialänderungen im 1. HGWL in cm (extreme Sturmflut, Betriebsphase)

In der Betriebsphase betragen bei der **Kettentide** die maximalen Differenzen im zentralen Bereich bis zu +15 cm auf der Südseite und bis zu -10 cm auf der Nordseite (siehe Abb. 13). Das maximale absolute Potenzial tritt auf der Südseite mit ca. 0,52 mNHN ein.



Abb. 13: Maximale Potenzialänderungen im 1. HGWL in cm (Kettentide, Betriebsphase)

4.2.4 Zusammenfassung der Prognoserechnungen

In der Bauphase sind aufgrund der vollständigen hydraulischen Unterbrechung des Grundwasserleiters im Bereich des 700 m langen Abschnitt des Trockenaushubs die stärksten vorhabensbezogenen Veränderungen der Grundwasserpotenziale zu erwarten. Unmittelbar am Südrand, im zentralen Bereich dieses Abschnitts können bei extremen Tideereignissen (Sturmflut, Kettentide) kurzzeitig Grundwasserpotenziale geringfügig oberhalb des heutigen Geländeniveaus erreicht werden (artesische Spannung). Der entsprechende Bereich liegt im Baufeld. Aufgrund der bauzeitlichen Aufhöhung zu Herstellung eines Arbeitsplanums sind keine nachteiligen Auswirkungen zu erwarten.

Mit der geplanten Teilöffnung der Baugrubenwände im zentralen, rd. 700 m langen Abschnitt des Trockenaushubs wird eine erhebliche Minderung der vorhabensbezogenen Auswirkungen auf die Grundwasserströmungssituation erreicht. Beim mittleren Tidegeschehen (Normaltide) sind dann keine relevanten vorhabensbezogenen Auswirkungen mehr gegeben. Durch die maximalen Potenzialerhöhungen im Betriebszustand von bis zu 20 cm bei extremen Tideereignissen sind aufgrund der geringen Beträge, der zeitlichen und räumlichen Begrenzung keine nachteiligen Auswirkungen zu erwarten.

Die mögliche vorhabensbezogene Absenkung der Grundwasserpotenziale nördlich des Tunnelbauwerks bei der Normaltide ist mit Beträgen von wenigen Zentimetern nicht relevant. Nachteilige Auswirkungen durch den auf der Nordseite reduzierten Anstieg der Grundwasserpotenziale bei extremen Tideereignissen (Sturmflut, Kettentide) können ebenfalls ausgeschlossen werden.

4.3 Hydraulische Trennung innerhalb des Trogbauwerks

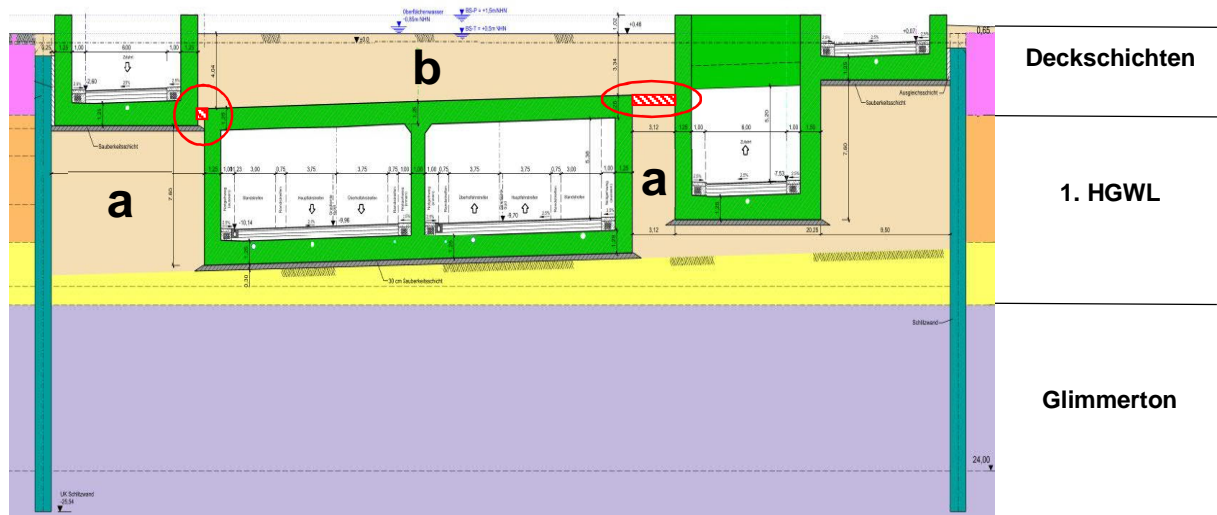
Der 1. HGWL ist im überwiegenden Teil des geplanten Wilhelmsburgtunnels durch das durchgängig von der nördlichen bis zur südlichen Baugrubenwand reichende, wasserundurchlässige Betonbauwerk vom Oberflächenwasser hydraulisch getrennt.

Im zentralen Bereich des Tunnelbauwerks ist dieses durch die Zu- und Abfahrtsrampen in mehrere Komponenten unterteilt. Zwischen den Teilbauwerken verbleiben Räume, die aus bautechnischen Gründen mit Sanden verfüllt werden müssen und daher keine Abdichtung an der Oberfläche des Grundwasserleiters bewirken.

Oberhalb der zentralen Tunneldecke ist eine Verfüllung mit Torfen vorgesehen, die beim Aushub der Baugrube anfallen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Torfverfüllungen eine geringere hydraulische Trennung bewirken als die umgebenden natürlichen Deckschichten mit ihren wechselnden Anteilen geringerdurchlässigen Kleis.

Im Bereich der zuvor genannten, sandig verfüllten Zwischenräume ist daher eine verringerte hydraulische Trennung zwischen Grund- und Oberflächenwasser nicht auszuschließen. Nach Vorgabe der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA) ist jedoch im gesamten Tunnelbereich eine Abdichtung herzustellen, die hinsichtlich der hydraulischen Trennwirkung mindestens der Situation im Istzustand entspricht.

Um auch im Bereich der Bauwerksteilung im zentralen Tunnelabschnitt eine durchgängige und ausreichende hydraulische Abdichtung des Grundwasserleiters zu erreichen, ist im Niveau der zentralen Tunneldecke im Bereich der Zwischenräume eine technische Abdichtung (Bentonitmatten o.ä.) mit sehr geringer Durchlässigkeit ($\leq 1 \cdot 10^{-10}$ m/s) herzustellen, die beidseitig an die Betonbauwerke anbindet. Eine entsprechende Abdichtung ist in der Abb. 14 skizziert.



a = Verfüllung mit Sand **b** = Verfüllung mit Torf = mineralische Dichtung (schematisch)

Abb. 14: Verfüllungen und Abdichtungen im zentralen Tunnelabschnitt

4.4 Gewässerverlegungen

Im Bereich des Wilhelmsburgtunnels ist die Verlegung von zwei Gewässern (Kirchdorfer Wettern und Neuer Brausielgraben) erforderlich, die die Tunnelachse queren. Im Bereich der heutigen Gewässerverläufe liegt die Tunneldecke an den Kreuzungspunkten zu hoch. Daher werden jeweils in einem Abschnitt die Kirchdorfer Wettern nach Osten und der Neue Brausielgraben nach Westen verlegt.

Die geplanten neuen Gewässerabschnitte schneiden bis in eine Tiefe von ca. 2 Metern unter Gelände und damit in die geringdurchlässigen Deckschichten ein (siehe Abb. 15). Um die Herstellung hydraulischer Verbindungen zwischen den neuen Gewässerabschnitten und dem Grundwasserleiter zu verhindern, muss eine ausreichende Restmächtigkeit der Deckschichten erhalten bleiben oder eine geeignete technische Abdichtung erfolgen.

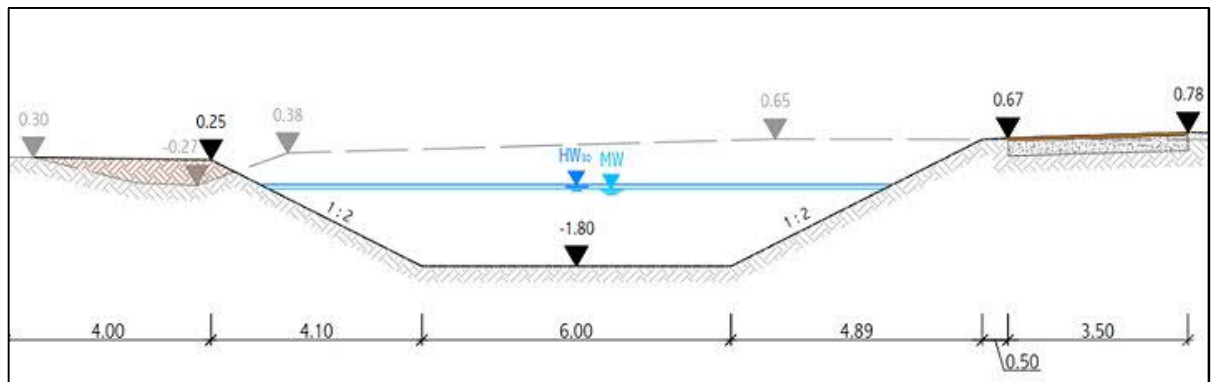


Abb. 15: Profil Gewässerverlegung

Für den Bereich der geplanten neuen Gewässerabschnitte liegen im Online-Archiv des Geologischen Landesamts keine Aufschlüsse vor. In der Geologischen Karte 1:25:000 (Blatt Altermöhe, 1993) ist im geplanten Bogen der Kirchdorfer Wettern eine Fehlstelle der Deckschichten (Dünenkörper) dargestellt, zu deren Rändern hin sich die Mächtigkeiten der Deckschichten verringert (siehe Abb. 16). Nach diesen Angaben ist nicht auszuschließen, dass die Deckschichten im neuen Abschnitt Kirchdorfer Wettern vollständig entfernt werden.

Im Rahmen der Baugrunderkundung zum Vorhaben sind Erkundungsbohrungen entlang der geplanten neuen Gewässerabschnitte vorgesehen. Diese wurden jedoch bis zum Zeitpunkt der Abgabe dieses Berichts nicht durchgeführt. Sollten mit der Baugrunderkundung im Bereich der neuen Gewässerabschnitte tatsächlich lokal Deckschichtenmächtigkeiten von weniger als 3 Metern nachgewiesen werden, ist im Zuge der Baumaßnahmen eine mineralische Abdichtung der Gewässersohle (Klei) mit mindestens einem Meter Mächtigkeit vorzunehmen. Die Abdichtung ist bis an die Böschungsschultern hochzuführen und an die natürlichen Weichschichten anzuschließen.

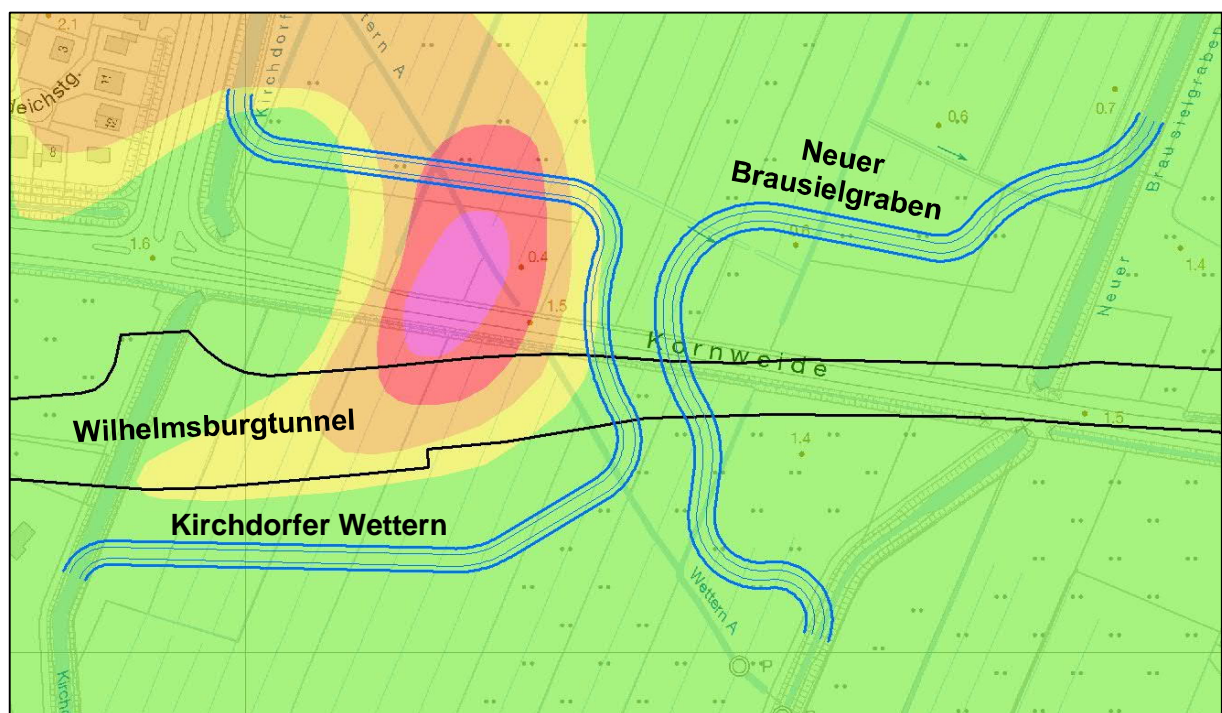


Abb. 16: Gewässerverlegungen im Tunnelbereich

Eine Kleiabdichtung der Gewässersohle ist auch im Bereich des heutigen Verlaufs der Kornweide erforderlich. Hier wurden, belegt durch Bohrungen, die natürlichen Weichschichten für den Straßenbau entfernt. Im Bereich des geplanten Tunnelbauwerks ist eine Abdichtung nicht erforderlich, da eine hydraulische Trennung vom Grundwasserleiter mit dem Tunnelbau erfolgt (siehe Kap. 4.3).

4.5 Verlegung Kornweide

Der Straßenverlauf der Kornweide wird im Abschnitt zwischen der Otto-Brenner-Straße und Stübenhofer Weg / Finkenriek verlegt (siehe Abb. 17). Als Baugrundverbesserung ist im Bereich des neuen Straßenverlaufs außerhalb des Tunnelbauwerks eine Vorbelastung unter Erhalt der natürlichen Weichschichten vorgesehen. Die hydraulische Schutzfunktion der geringdurchlässigen Deckschichten bleibt dadurch erhalten. Im Überschneidungsbereich des neuen Straßenverlaufs mit dem Tunnelbauwerk ist ein Erhalt der hydraulischen Trennung durch die im Kapitel 4.3 beschriebene Planung gegeben.

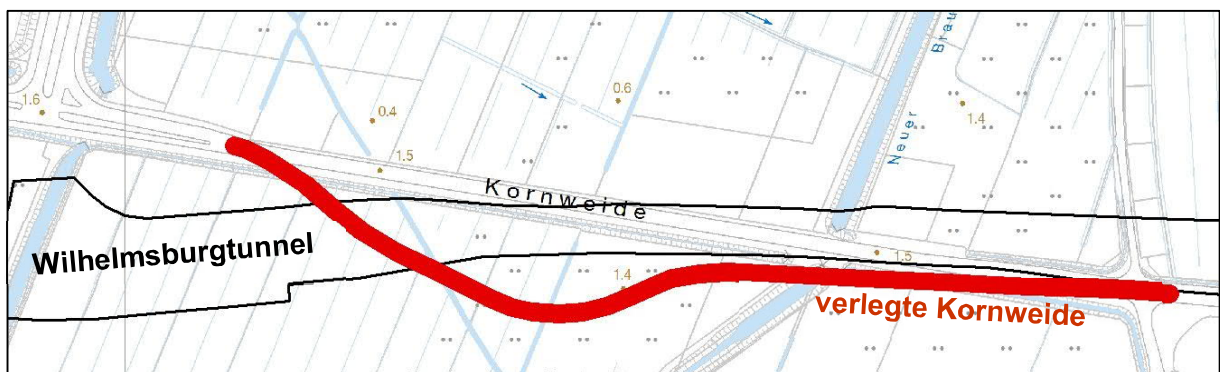


Abb. 17: Geplante Verlegung der Straße Kornweide

Mögliche Auswirkungen der Vorbelastung auf die Grundwassersituation durch eine Auspresung von Porenwasser werden im Kapitel 5 beschrieben.

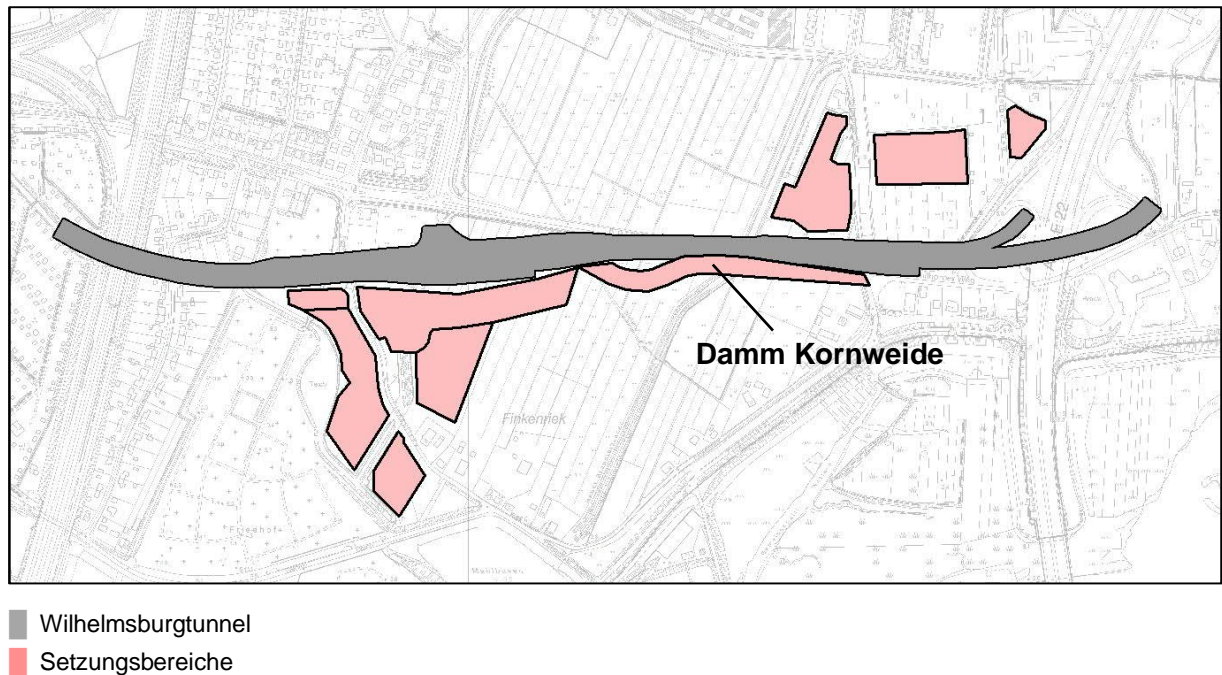


Abb. 19: Setzungsbereiche am Wilhelmsburgtunnel

Hinweise auf Bodenverunreinigungen in den von relevanten vorhabensbezogenen Setzungen betroffenen Bereichen bestehen nicht. Es ist daher von einer für die Region typischen Porenwasserbeschaffenheit auszugehen. Dabei ist nur für den Parameter Ammonium eine geogen erheblich erhöhte Konzentration zu erwarten. Auch das oberflächennahe Grundwasser der Marsch weist durch den chemischen Einfluss der dem Grundwasserleiter auflagernden organischen Weichschichten erhöhte Ammonium-Konzentrationen auf, die im Mittel ca. 5,0 mg/l betragen.

Die voraussichtlichen Setzungsbeträge liegen zwischen 0,3 m und 0,8 m, so dass die grundwasserrelevanten Anteile zwischen 0,1 m und 0,4 m betragen. Es resultiert insgesamt ein Porenwasservolumen von rd. 19.000 m³, das in den Grundwasserleiter ausgepresst wird.

Die Verdünnung des eingepressten Porenwassers im Grundwasserleiter ist bereits im Bereich der Einträge ca. 25-fach bis 70-fach. Die Erhöhung der Ammonium-Konzentration im Grundwasser kann mit deutlich weniger als 1 mg/l abgeschätzt werden. Aufgrund der bereits geogen erhöhten Ausgangskonzentrationen von Ammonium im Grundwasserleiter kommt es nicht zu einer erheblichen Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit.

Der Abstrom im Grundwasserleiter aus den Konsolidierungsbereichen erfolgt nach Norden, in Richtung der zentralen, durch die Wasserhaltung in den Marschflächen bedingten Grundwasserabsenkung (siehe Kap. 2 und Kap. 4.1). Durch Dispersionsprozesse kommt es zu einer weiteren Verdünnung der temporär erhöhten Ammonium-Konzentrationen, so dass keine messbaren Veränderungen zu erwarten sind. Im Abstrom der Setzungsflächen befinden sich darüber hinaus keine empfindlichen Grundwassernutzungen.

Das ausgepresste Porenwasser sickert, vermischt mit dem Grundwasser, zeitlich erheblich verzögert und räumlich weit verteilt an der Oberfläche wieder aus. Die Aussickerung ist mit einer Sickerpassage der natürlichen Weichschichten verbunden. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der aus der vorhabensbezogenen Porenwasserauspressung stammenden Stofffracht durch Bindung an organisches Material in den Deckschichten verbleibt. Mittelbare nachteilige Auswirkungen auf Oberflächengewässer können daher ausgeschlossen werden.

6 Bemessungsgrundwasserstände

Im Bereich des geplanten Wilhelmsburgtunnels tritt Grund-, Stau- und Oberflächenwasser auf. Druck- und Gewichtskräfte der drei Systeme wirken auf das Bauwerk ein und müssen daher bei den Planungen des Baugrubenverbau und des Tunnelbauwerks zur Vermeidung möglicher Schäden berücksichtigt werden.

Die Wasserstände in den drei Systemen können sich weitgehend unabhängig voneinander entwickeln, so dass jeweils eine eigene Analyse des möglichen Schwankungsbereiches sowie eine Ermittlung möglicher Kombinationen erforderlich ist. Da die Richtung der Kraftwirkung teilweise entgegengesetzt ist, sind nicht nur die maximalen, sondern auch die minimalen Wasserstände bzw. -drücke in den Systemen zu ermitteln.

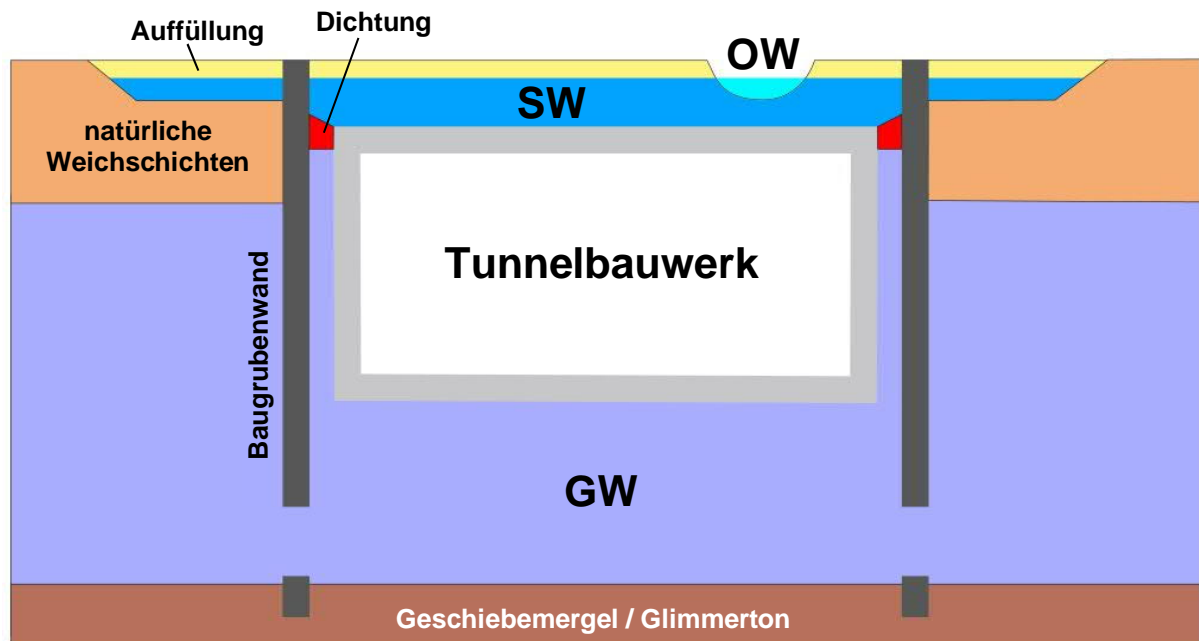
Die vorliegenden Untersuchungen bauen auf die Ergebnisse vorausgehender Auswertungen auf und beziehen den aktuellen Stand der vorhabensbezogenen Grundwasserstandserfassung und der Messreihen des Landesmessnetzes ein.

6.1 Begriffsdefinition

6.1.1 Grundwasser

Der Grundwasserleiter wird im Planungsbereich durch geringdurchlässige natürliche Weichschichten mit einer Mächtigkeit von mehreren Metern überdeckt. Die Druckhöhen im Grundwasserleiter reichen bis über die Basis dieser Deckschichten hinaus, so dass die Sande und Kiese des Grundwasserleiters vollständig wassererfüllt sind und der Grundwasserleiter gespannt ist. Im Bereich des Tunnelbauwerks bildet dieses die Abdeckung des Grundwasserleiters (siehe Abb. 20). Lokal fehlen die geringdurchlässigen Deckschichten (siehe Kap. 6.1.2).

Der Wasserszustrom und die Druckhöhen im Grundwasserleiter werden im Bereich des geplanten Tunnels maßgeblich durch die Elbe bestimmt. Die Elbe ist hydraulisch an den Grundwasserleiter angeschlossen und verläuft in einer Entfernung von rd. 500 m zur geplanten Trasse.



OW Oberflächenwasser **SW** Stauwasser **GW** Grundwasser

Abb. 20: Schematische Darstellung der drei Wassersysteme

6.1.2 Stauwasser

Oberhalb der geringdurchlässigen natürlichen Weichschichten sind im Zuge der Herstellung des Tunnelbauwerks Bodenauffüllungen geplant. Im Bauwerksbereich wird der Raum oberhalb der Tunneldecke bis über das heutige Geländeniveau hinaus aufgefüllt. Beiderseits des Bauwerks erfolgt eine Geländeaufhöhung auf den natürlichen Weichschichten.

Im Verfüll- bzw. Aufhöhungsmaterial sammelt sich oberhalb der undurchlässigen Tunneldecke und der geringdurchlässigen Weichschichten Niederschlags- und Oberflächenwasser. Dieses Wasser wird als Stauwasser bezeichnet (siehe Abb. 20 in Kap. 6.1.1).

Lokal wurden die Weichschichten entfernt und durch Sande ersetzt (Kornweide, A 1). Im Bereich dieser hydraulischen Fenster ist keine Stauwasserbildung gegeben. Das Wasser unterhalb der Geländeoberfläche ist hier vollständig dem Grundwasser zuzurechnen.

6.1.3 Oberflächenwasser

Als Oberflächenwasser wird das Wasser bezeichnet, das sich oberhalb der Geländeoberfläche bzw. der Sohle der Oberflächengewässer einstellt (siehe Abb. 20 in Kap. 6.1.1).

Eine dauerhafte Wasserführung an der Oberfläche ist im Tunnelbereich nur in den Fließgewässern „Kirchdorfer Wettern“ und „Neuer Brausielgraben“ gegeben, die den Verlauf des geplanten Wilhelmsburgtunnels kreuzen. Der Verlauf beider Gewässer wird aufgrund der Höhenlage der Tunneldecke in deren tiefsten Bereich verlegt. Die „Kirchdorfer Wettern“ und der „Neue Brausielgraben“ sind Bestandteil des Entwässerungssystems der Marschflächen. Der Wasserstand ist gesteuert.

6.2 Wirkfaktoren

6.2.1 Grundwasser

Die Grundwasserdruckfläche liegt oberhalb der Bauwerkssohle (siehe Abb. 21). Durch die Hohlräume hat das Tunnelbauwerk insgesamt eine geringere Dichte als Wasser und erfährt daher durch das Grundwasser eine Auftriebskraft. In Abhängigkeit von der Höhenlage des Grundwasserdruckspiegels im Tunnelquerschnitt ändert sich die Auftriebskraft und entspricht jeweils dem (theoretisch) verdrängten Wasservolumen.

Liegt ein Körper frei im Wasser, wird mit dessen vollständigem Eintauchen die maximale Auftriebskraft erreicht. Da das Grundwasser im Bereich des Tunnelbauwerks nicht frei aufsteigen (gespanntes Grundwasser) und auf der Tunneldecke einen entsprechenden Gegen- druck ausüben kann, verstärkt sich die Kraft auf die Bauwerkssohle bei einem Anstieg der Grundwasserdruckfläche über die Oberkante des Bauwerks hinaus weiter.

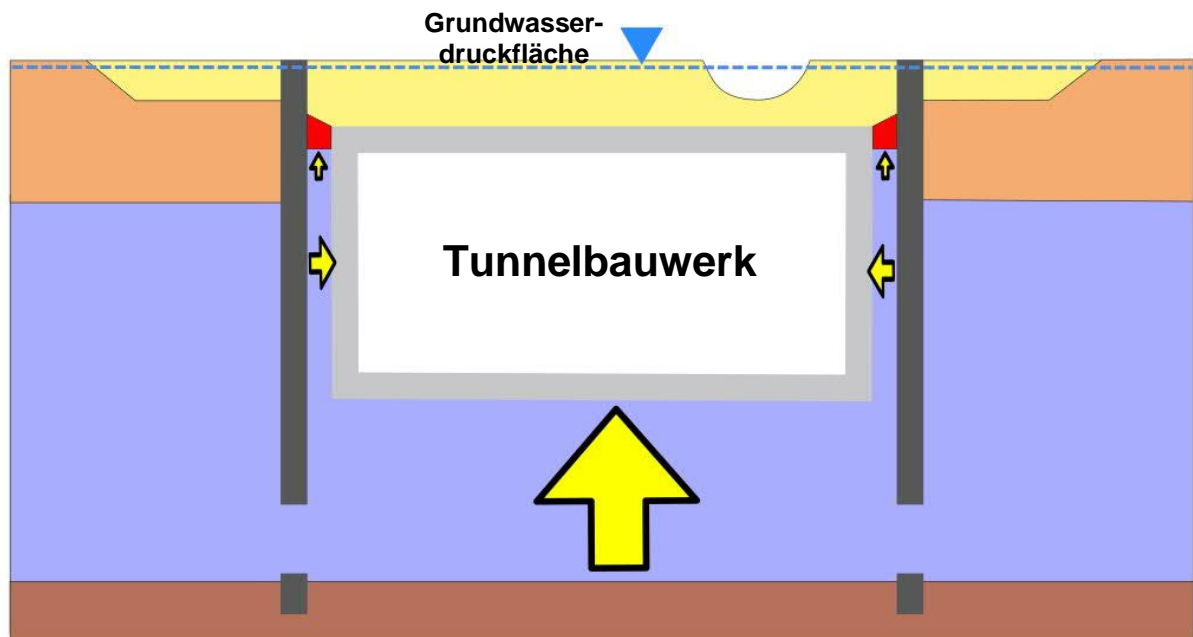


Abb. 21: Schema zur Kraftwirkung des Grundwassers

Im Fall des geplanten Wilhelmsburgtunnels wirken dem grundwasserbedingten Auftrieb neben dem Eigengewicht des Bauwerks das Gewicht des auflagernden Bodens einschließlich des darin enthaltenen Stau- und Oberflächenwasser entgegen. Mit dem geplanten Anstieg der Tunnelsohle zu beiden Enden des Bauwerks und der damit abnehmenden Auftriebskraft wird jeweils in einem bestimmten Bereich die Auftriebswirkung durch die Auflast überschritten. Dieser Punkt verschiebt sich aufgrund der unabhängigen Entwicklung der Grund- und Stauwasserpotenziale. Er ist zudem von der Ausgestaltung des Bauwerkkörpers abhängig.

Der Wasseraustausch zwischen dem Grund- und dem Stauwasser über Sickerbewegungen in den geringdurchlässigen Deckschichten kann bezüglich der Wasserdruckansätze aufgrund der geringen Sickerraten vernachlässigt werden. Im Bauwerksbereich werden mögliche Wegsamkeiten (Fugenbereich zwischen Tunnelkörper und Baugrubenwand sowie die Räume zwischen den Bauwerksteilen im Rampenbereich) abgedichtet, so dass auch hier kein relevanter Wasseraustausch stattfindet.

Die Abdichtung der Fuge zwischen der Baugrubenwand und dem Tunnelkörper ist oberhalb der Tunneldecke vorgesehen. Auf die Wände des Tunnelkörpers wirkt das Grundwasser daher mit einer horizontal gerichteten, tiefenabhängigen Kraftkomponente. Diese hat keine Auswirkungen auf die Auftriebskraft. Bei der Gestaltung der Fugendichtung sind die möglichen Potenzialdifferenzen zwischen Grund- und Stauwasser zu berücksichtigen.

6.2.2 Stauwasser

Im Verfüllkörper oberhalb des Tunnelbauwerks sammelt sich Stauwasser (siehe Abb. 22). Das Stauwasser wirkt (zusammen mit dem Bodenmaterial) durch seine Gewichtskraft auf die Tunneldecke. Dieser Druck ist nach unten gerichtet und bildet eine Gegenkraft zum Auftrieb. Die Stauwasserhöhen schwanken durch Witterungseinflüsse sowie wechselnde Wasserstände in angeschlossenen Oberflächengewässern. Aufgrund des freien Wasserspiegels des Stauwassers können im Vergleich zum Grundwasser die Potenziale räumlich erheblich stärker variieren.



Abb. 22: Schema zur Kraftwirkung des Stauwassers

6.2.3 Oberflächenwasser

Die Oberflächengewässer „Kirchdorfer Wetter“ und „Neuer Brausielgraben“ queren den Bereich des Tunnelbauwerks. Das Wasser in diesen Gräben wirkt (zusammen mit dem darunter befindlichen Bodenmaterial und Stauwasser) durch seine Gewichtskraft auf die Tunneldecke (siehe Abb. 23).

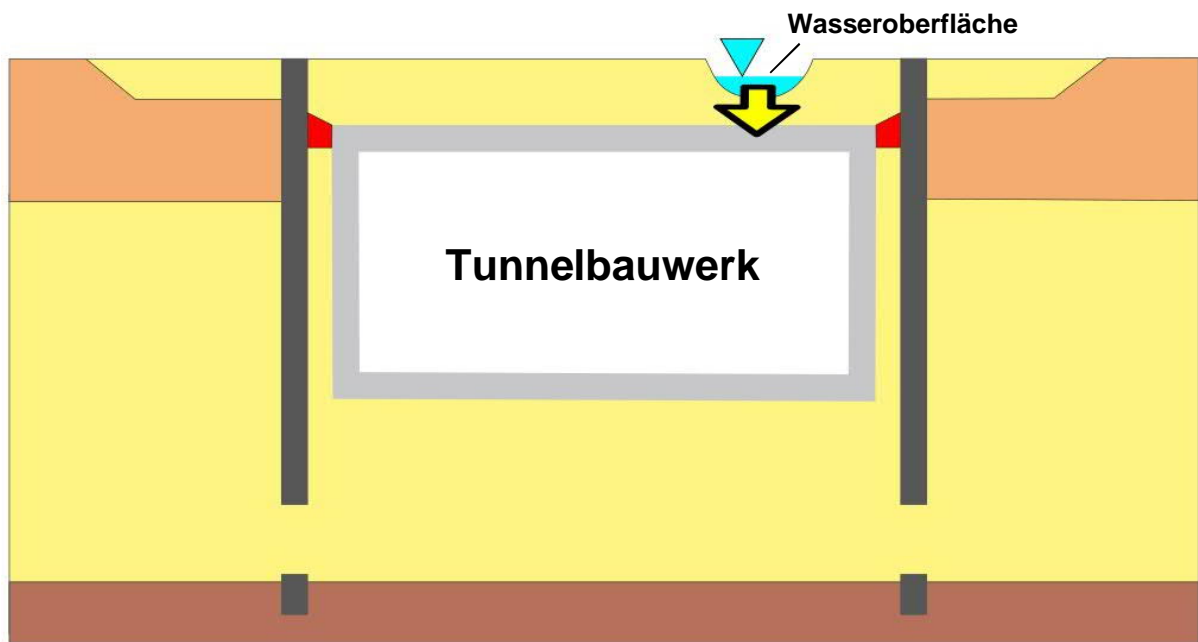


Abb. 23: Schema zur Kraftwirkung des Oberflächenwassers

In Abhängigkeit von der Ausgestaltung der Gewässersohle (gedichtet oder ungedichtet) und der Art des umgebenden Verfüllmaterials ist durch das Oberflächenwasser eine Beeinflussung der Stauwasserstände im Umfeld möglich. Dabei ist sowohl eine dränierende (Stauwasserstände höher als Grabenwasserstände) als auch eine wasserzuführende Wirkung möglich (Stauwasserstände niedriger als Grabenwasserstände).

6.3 Ermittlung der Wertebereiche

6.3.1 Bemessungssituationen

Die erdstatischen Berechnungen (Baugrubenstatik), Entwurfsstatiken (Bauwerke) und Auftriebsberechnungen des Vorhabens erfordern die Zuordnung von Wasserständen zu den in der Geotechnik definierten Bemessungssituationen. Nach Vorgabe von IGB erfolgt eine Unterscheidung und Zuordnung gemäß der Tab. 3.

Tab. 3: Geotechnische Bemessungssituationen

Hochwasserereignis	Elbwasser- stand [mNHN]	Bemessungssituation	
		Bauzustand	Betriebszustand
Sturmflut (St. Pauli)	3,5	regelmäßig	regelmäßig
schwere Sturmflut (St. Pauli)	4,5		
extrem schwere Sturmflut (St. Pauli)	5,5		
Bemessungssturmflut <50 Jahre Lebensdauer	7,4	außer- gewöhnlich	außer- gewöhnlich
Bemessungssturmflut >50 Jahre Lebensdauer	8,15		

Der Scheitelwert der Bemessungssturmflut ist an den Elbpegeln St. Pauli und Harburg identisch. Die in der Tab. 3 für den Bezugspegel St. Pauli vorgenommene Abgrenzung von Hochwasserereignissen kann für den Referenzpegel des Vorhabens (Pegel Harburg) daher mit den gleichen Wasserstandswerten erfolgen.

Als Extremereignis wird ein Bemessungswasserstand von 8,15 mNHN betrachtet, da das geplante Tunnelbauwerk auf eine Lebensdauer von mehr als 50 Jahren ausgelegt wird.

Mit der Bemessungssituation „regelmäßig“ werden in der Tab. 3 die Ereignisse einer Sturmflut, einer schweren Sturmflut und einer extrem schweren Sturmflut zusammengefasst. Für ggf. erforderliche Differenzierungen in den geotechnischen Berechnungen werden im vorliegenden Bericht Referenzgrundwasserstände für alle drei Ereignisse abgeleitet.

Über die in der Tab. 3 aufgeführten Ereignisse hinaus erfolgt ergänzend die Ermittlung des niedrigsten zu erwartenden Grundwasserstands, da dessen Eintreten für die geotechnischen Betrachtungen ebenfalls relevante Belastungszustände bedingt.

6.3.2 Grundwasser (Sturmfluten)

Zur Ermittlung der Bemessungspotenziale im Grundwasserleiter erfolgte eine Gegenüberstellung von Tageswerten des Elbpegels Harburg und den Tageswerten verschiedener Grundwassermessstellen (jeweils Tageshöchstwert). Die projektbezogenen, durch IGB betreuten Grundwassermessstellen sowie die Grundwassermessstellen des Landesmessnetzes der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA) im Planungsraum sind in der Abb. 24 dargestellt.

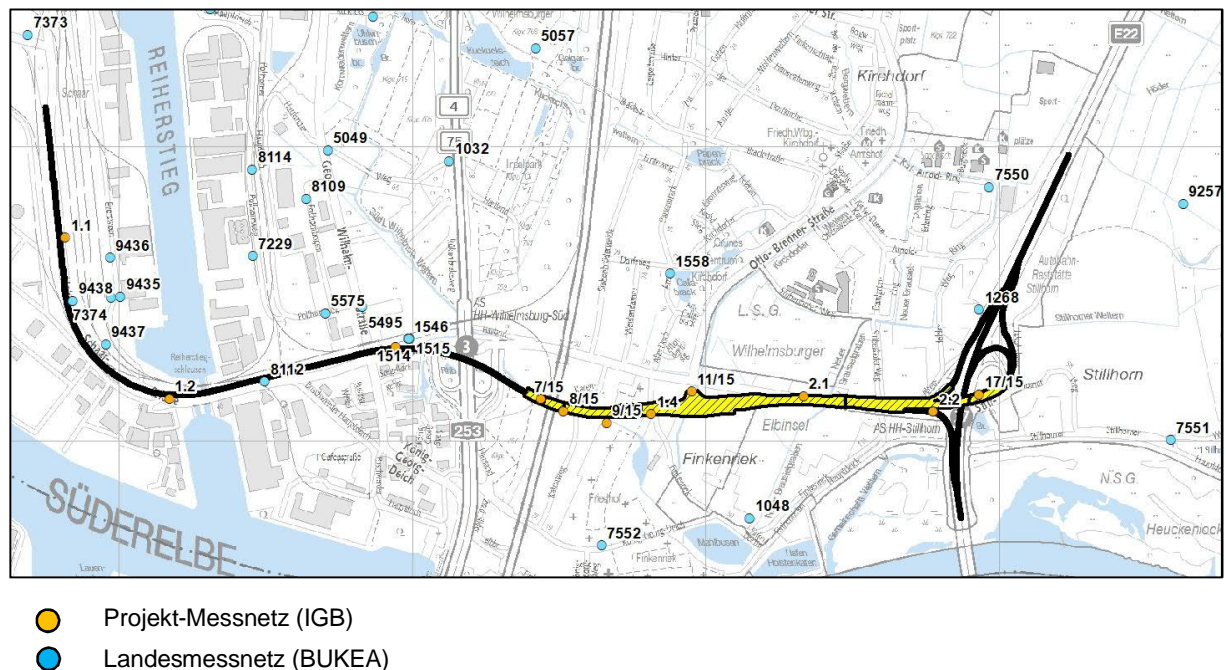


Abb. 24: Grundwassermessstellen

Grundsätzlich nimmt der von der Elbe ausgehende hydraulische Tideimpuls im angeschlossenen ersten Hauptgrundwasserleiter (1. HGWL) mit zunehmendem Abstand von der Elbe ab. Die Reichweite der hydraulischen Wirkung ist von der Stärke des Impulses (Betrag der Wasserstandsänderung in der Elbe) abhängig. Darüber hinaus wird die Weiterleitung des Druckimpulses im gespannten Grundwasserleiter von verschiedenen Faktoren (z.B. Fehlstellen der Deckschichten) beeinflusst.

In der Gesamtschau beschreiben die unterschiedlichen hydraulischen Reaktionen in den Grundwassermessstellen die Ausbreitung des hydraulischen Impulses der Elbe im 1. HGWL und ermöglichen eine Prognose der zu erwartenden Druckpotenziale bei unterschiedlichen Tideereignissen in der Elbe.

Für die Auswertungen wurden für eine Auswahl von Messstellen mit geeigneter Datengrundlage die Tagesmaxima im Diagramm gegen die Tagesmaxima der Elbe (Pegel Harburg) aufgetragen. Über die Formel des linearen Trends wurde jeweils das höchste zu erwartende Grundwasserpotenzial auf der Basis des Bemessungswasserstands der Elbe (Bemessungssturmflut 8,15 mNHN) ermittelt.

Die Ermittlung der Referenzgrundwasserstände für die Situation einer extrem schweren Sturmflut erfolgt nach dem gleichen Verfahren wie die für die Bemessungssturmflut. Der Scheitelwert einer extrem schweren Sturmflut beträgt am Pegel Harburg 5,5 mNHN.

Die Referenzgrundwasserstände für die Ereignisse schwere Sturmflut (Scheitelwert Pegel Harburg 4,5 mNHN) und Sturmflut (Scheitelwert Pegel Harburg 3,5 mNHN) erfordern eine abweichende Ermittlung. Bei Sturmfluten mit Scheitelhöhen unterhalb von 5,5 mNHN variiert die hydraulische Auswirkung im Grundwasserleiter relevant, da sie maßgeblich durch aufeinanderfolgende erhöhte Tidehochwasserereignisse oder Sturmflutscheitel vergleichbarer Höhe (Kettentiden) beeinflusst werden kann. Es ist daher die stärkste mögliche Auswirkung innerhalb der Bandbreite zu ermitteln.

Der Korridor der Wirkungsbandbreite wird mit Hilfe der Situation am 05.01.2012 konstruiert. Zu diesem Zeitpunkt treten in Verbindung mit einem Tidehochwasser von 3,38 mNHN (Pegel Harburg) sehr hohe Grundwasserstände auf. Dies liegt darin begründet, dass zuvor das Tidehochwasser über einen langen Zeitraum (seit 24.11.2011) nahezu ununterbrochen über dem Mittelwert lag.

Für die jüngeren, projektbezogenen Grundwassermessstellen wird die linke Korridorgrenze über den Vergleich der Situation am 05.01.2012 mit der am 16.03.2019 (Tageshöchstwert Pegel Harburg 2,87 mNHN) in den Messreihen der alten Grundwassermessstellen abgeleitet. Danach kann der höchste zu erwartende Grundwasserstand bei einem Tidescheitel von 3,38 mNHN am Pegel Harburg wie folgt ermittelt werden:

$$C + ((A - B) * 1,5)$$

A = gemessener Tageshöchstwert des Grundwasserstands am 16.03.2019

B = rechn. Grundwasserstand (linearer Trend) bei einem Elbwasserstand von 2,87 mNHN

C = rechn. Grundwasserstand (linearer Trend) bei einem Elbwasserstand von 3,38 mNHN

Für die kurzen Messreihen der Messstellen 2.1 und 2.2 wurden die Werte aus den Auswertungen von Messstellen mit vergleichbarem hydraulischen Charakter (1.3 und 17/15) übernommen.

In den messstellenspezifischen Diagrammen markiert das gemessene oder berechnete Wertepaar des maximalen Tageshöchstwertes des Grundwasserstands bei einem Elbwasserstand von 3,38 mNHN die linke Obergrenze des Korridors. Die rechte Grenze bildet der rechnerische Grundwasserstand auf der Linie des linearen Trends bei einem Elbwasserstand von 5,5 mNHN (extrem schwere Sturmflut).

Das Schema der Ableitung der Grundwasserstände ist in der Abb. 25 am Beispiel der Grundwassermessstelle 7551 (BUKEA) dargestellt.

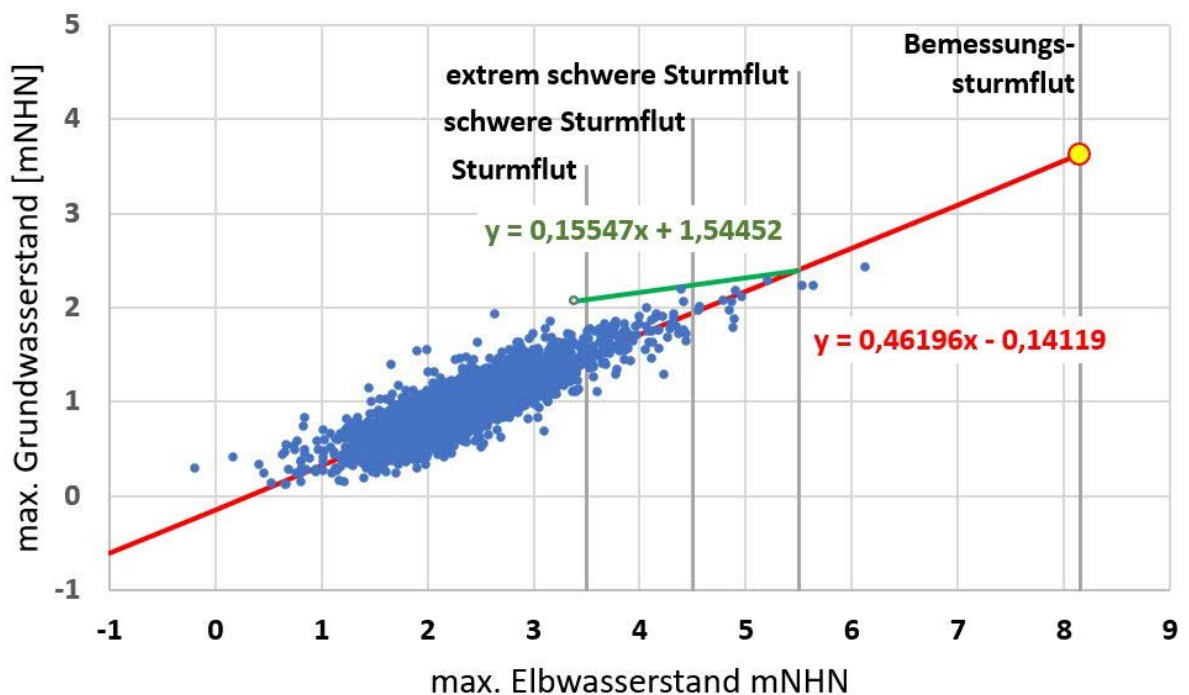


Abb. 25: Ableitung der Referenzgrundwasserstände (Beispiel GWM 7551)

Aufgrund der zeitlich verzögerten hydraulischen Reaktion im Grundwasserleiter (weniger als eine Stunde) ist es möglich, dass (bei Sturmflutspitzen nach 23:00 Uhr) einzelne Tageshöchstwerte nicht korrekt gegenübergestellt werden. Bei den Extremwerten ist dies nach Prüfung nicht gegeben. Im mittleren und unteren Wertebereich hat diese Unschärfe keinen relevanten Einfluss auf die Ermittlung der Referenzwerte.

Die für die verschiedenen Sturmflutereignisse ermittelten, messstellenbezogenen Bemessungspotenziale im Grundwasserleiter sind in der Tab. 4 zusammengestellt. Aufgrund lokaler Einflüsse können die Werte nur fachlich interpretiert in die Fläche übertragen werden. Die Bemessungspotenziale in der elbnahen Messstelle 1048 sind beispielsweise relativ niedrig. Vermutlich führt das benachbarte Gewässer (Mahlbusen) lokal zu einer relevanten Druckentlastung im Grundwasserleiter, so dass die Amplitude nicht repräsentativ für den Tunnelabschnitt nördlich der Messstelle ist.

Tab. 4: Messstellenbezogene Bemessungsgrundwasserpotenziale

GWM	Betreiber	Sturmflut	schwere Sturmflut	extrem schwere Sturmflut	Bemessungssturmflut
1.1	IGB	2,84	3,04	3,24	5,10 mNHN
1.2	IGB	2,84	3,32	3,79	6,08 mNHN
1.3	IGB	0,55	0,55	0,56	0,97 mNHN
1.4	IGB	0,30	0,31	0,33	0,65 mNHN
2.1	IGB	0,68	0,69	0,70	1,01 mNHN
2.2	IGB	1,11	1,14	1,16	1,75 mNHN
7/15	IGB	0,42	0,44	0,45	0,78 mNHN
8/15	IGB	0,37	0,41	0,44	0,82 mNHN
9/15	IGB	0,53	0,54	0,56	0,94 mNHN
11/15	IGB	0,27	0,27	0,26	0,54 mNHN
17/15	IGB	1,19	1,23	1,27	1,82 mNHN
1048	BUKEA	0,96	1,12	1,28	2,12 mNHN
1546	BUKEA	0,73	0,69	0,66	1,10 mNHN
1558	BUKEA	0,28	0,24	0,21	0,42 mNHN
5495	BUKEA	0,81	0,80	0,79	1,29 mNHN
7373	BUKEA	2,13	2,27	2,41	3,84 mNHN
7374	BUKEA	2,94	3,33	3,73	5,76 mNHN
7419	BUKEA	2,80	3,12	3,44	5,32 mNHN
7550	BUKEA	0,39	0,35	0,32	0,55 mNHN
7551	BUKEA	2,09	2,24	2,40	3,62 mNHN
7552	BUKEA	2,14	2,43	2,71	4,23 mNHN

Die aus den messstellenspezifischen Bemessungspotenzialen (Bemessungssturmflut) abgeleitete räumliche Verteilung von Werteklassen ist in der Abb. 26 dargestellt. Die Verteilung der Bemessungspotenziale berücksichtigt mit Sicherheitsaufschlägen von rd. 0,5 m mögliche Verstärkungen der Tideimpulse durch die dauerhafte Reduzierung des Strömungsquerschnittes und die Verringerung der hydraulischen Dämpfung unterhalb der Bauwerksfläche (keine Sickerbewegung in die Deckschichten).

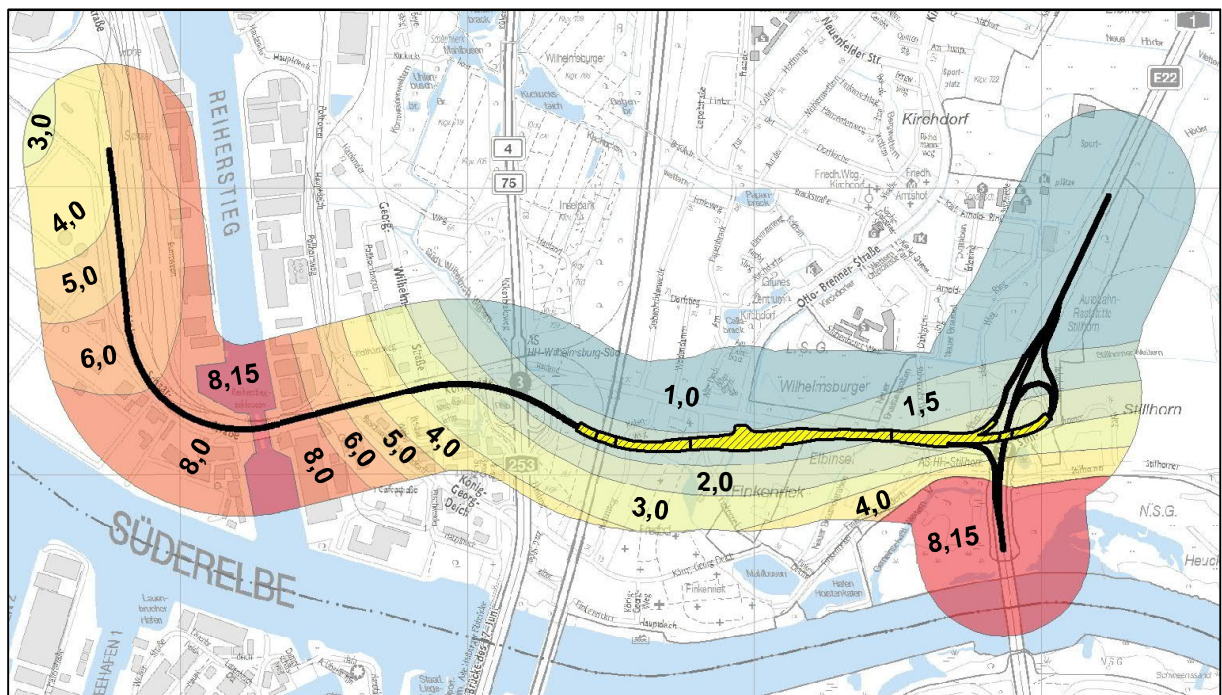
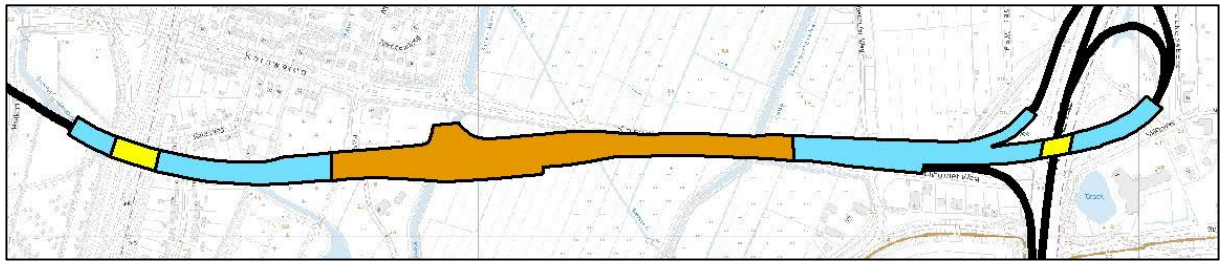


Abb. 26: Grundwasserpotenziale der Bemessungsturmflut (mNHN)

Das Grundwasserpotenzial der Bemessungsturmflut nimmt mit zunehmendem Abstand vom Elbufer ab. Der Gradient der Abnahme ist elbnah stark und vermindert sich kontinuierlich mit dem Abstand vom Ufer. Das Verhältnis der räumlichen Breite der Klassenkorridore in der Abb. 26 zu ihrer jeweiligen Wertespanne ist daher unterschiedlich.

In der Bauphase wird der nach Norden gerichtete Grundwasserstrom im zentralen Tunnelabschnitt vorübergehend, bis zur Herstellung der geplanten hydraulischen Fenster in der Baugrubenwand, vollständig unterbrochen (Trockenaushub). In diesem, mit rd. 700 m längsten Abschnitt kann es in diesem Zeitraum bei Eintritt einer Bemessungsturmflut auf der Südseite des Bauwerks zu einer zusätzlichen Potenzialerhöhung kommen. Die maximale bauzeitliche Potenzialerhöhung beträgt ca. 0,4 m und ist auf den zentralen Bereich des betroffenen Abschnittes, unmittelbar an der Baugrubenwand beschränkt. Die Sicherheit des für diesen Bereich angegebenen Bemessungspotenzials (1,5 mNHN) deckt die mögliche bauzeitliche Erhöhung ab. Im Bereich der Querungen der Bahntrasse und der Autobahn A 1 wird die Grundwasserströmung voraussichtlich dauerhaft unterbrochen. Aufgrund der geringen Länge dieser Abschnitte sind hier jedoch nur sehr geringe Potenzialveränderungen gegeben. Die Lage der Systemwechsel ist in der Abb. 27 dargestellt.



Auswirkung der Baugrubenwände auf die Grundwasserströmung unterhalb des Tunnelbauwerks

- Nassausaub (bau- und betriebszeitlich unterströmt)
- Trockenausaub (bauzeitliche Unterbrechung, betriebszeitlich über hydraulische Fenster unterströmt)
- Trockenausaub (dauerhafte Unterbrechung)

Abb. 27: Systemwechsel im Tunnelbereich

Die Auswertung der hydraulischen Auswirkungen von Sturmfluten, schweren Sturmfluten und extrem schweren Sturmfluten im Grundwasserleiter ergab, dass zwischen diesen Ereignissen die Unterschiede der Grundwasserpoteztiale relativ gering sind (siehe Tab. 5). Da diese Sturmflutereignisse einer Bemessungssituation (siehe Kap. 6.3.1) zugeordnet sind, erfolgt eine zusammenfassende Darstellung der Grundwasserpoteztiale in der klassifizierten Planungskarte (siehe Abb. 28).

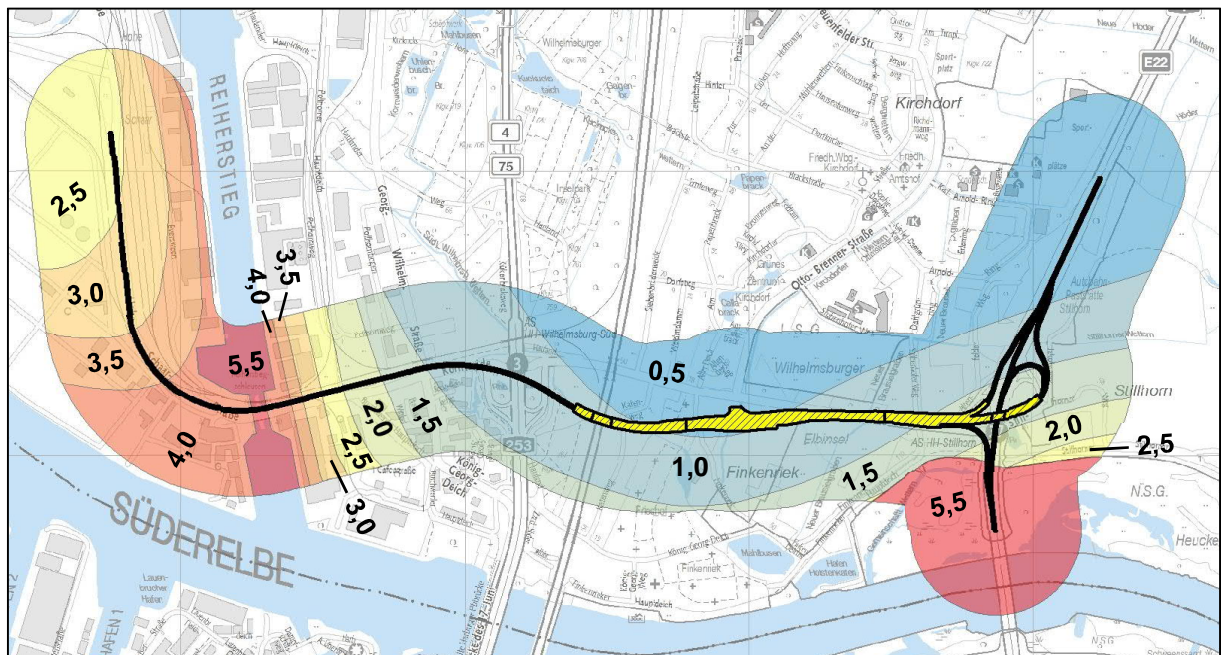


Abb. 28: Grundwasserpoteztiale der extrem schweren Sturmflut (mNHN)

6.3.3 Grundwasser (extrem niedrige Tide)

Die minimalen Wasserstände in der Elbe weichen im Betrag erheblich weniger vom mittleren Wasserstand ab als die maximalen, da hier die meteorologischen Faktoren eine geringere Wirkung besitzen. Entsprechend geringer sind auch die hydraulischen Auswirkungen auf den Grundwasserleiter. In der Zeitreihe des Pegels Harburg ab 1950 ist das niedrigste Tideniedrigwasser mit -3,41 mNHN für den 18.03.2018 angegeben. Für das junge Datum ist neben den Witterungsbedingungen zu diesem Zeitraum vermutlich auch das in den letzten Jahrzehnten infolge des Stromausbaus für die Schifffahrt abgesunkene mittlere Tideniedrigwasser verantwortlich. Ein relevantes weiteres Absinken des Tideniedrigwassers ist aufgrund des allgemeinen Meeresspiegelanstiegs und der laufenden und geplanten Maßnahmen zur Dämpfung des Tidehubs nicht zu erwarten. Aus den Messreihen zum Grundwasserstand im Planungsraum wurden die in der Abb. 29 dargestellten Bemessungsminima abgeleitet.

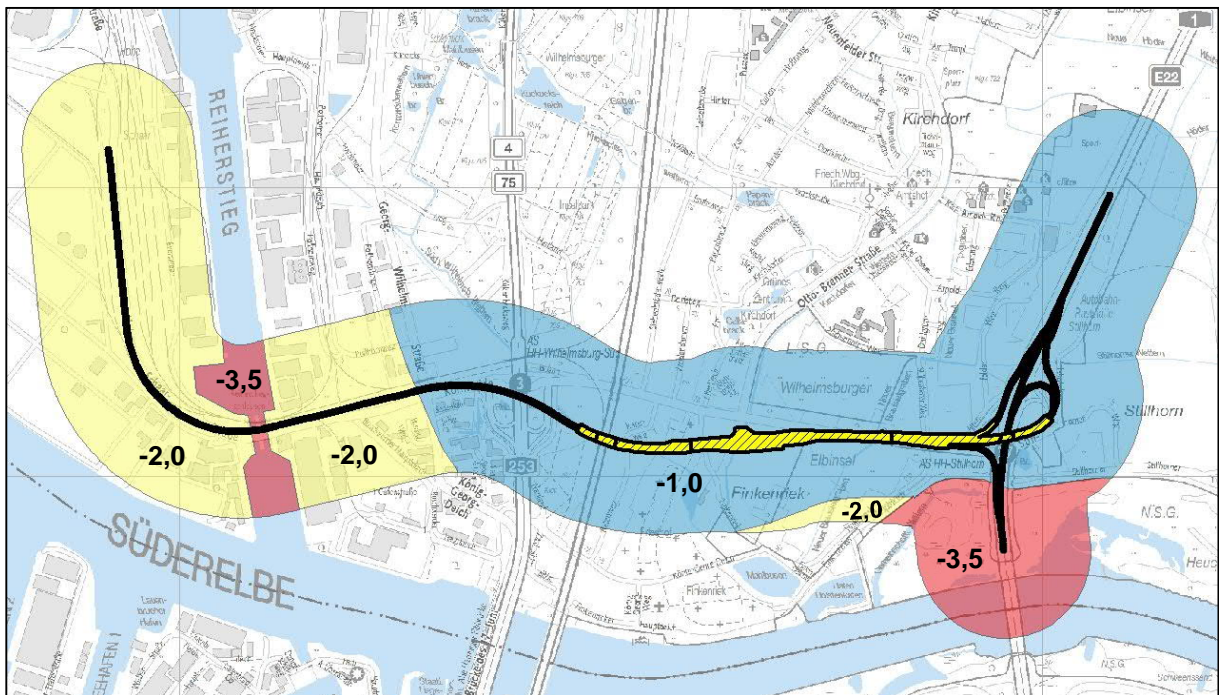


Abb. 29: Bemessungsgrundwasserpotenziale extrem niedriger Tide (mNHN)

6.3.4 Stauwasser (Nassphasen)

Die Auswertungen zu den Stauwasserständen erfolgten nur für den Bereich des geplanten Tunnelbauwerks. Das Stauwasser kann in extremen Nassphasen den Boden flächendeckend vollständig bis zur Geländeoberfläche erfüllen. Der Bemessungswasserstand des Stauwassers für den Hochwasserfall kann daher mit der Geländeoberfläche im Ist- bzw. Planzustand gleichgesetzt werden. Ein Aufstau von Wasser bzw. eine Überflutung über die Geländeoberfläche hinaus als Oberflächenwasser ist möglich. Die maximalen Überstauhöhen sind im Kap. 6.3.6 genannt. Da Stau- und Oberflächenwasser i.d.R. hydraulisch verbunden sind, sind in den möglichen Überflutungsbereichen die Maxima des Oberflächenwassers anzusetzen.

In räumlich begrenzten Aufhöhungskörpern, die deutlich über das umgebende Geländeniveau aufragen, ist aufgrund des Abstroms des Stauwassers zu einem oder mehreren Rändern keine vollständige Aufsättigung zu erwarten. Entsprechende Aufhöhungskörper sind im Planzustand an den höher liegenden Enden des Tunnelbauwerks und im Bereich der an den Tunnel anbindenden Rampen gegeben. Für diese Bodenkörper kann für extreme Nassphasen unter der Voraussetzung einer randlichen Dränierung überschlägig ein Stauwasserstand von einem Meter über dem obersten stauenden Element (z.B. Bauwerkskörper) angesetzt werden. Die Situation ist schematisch in der Abb. 32 dargestellt.

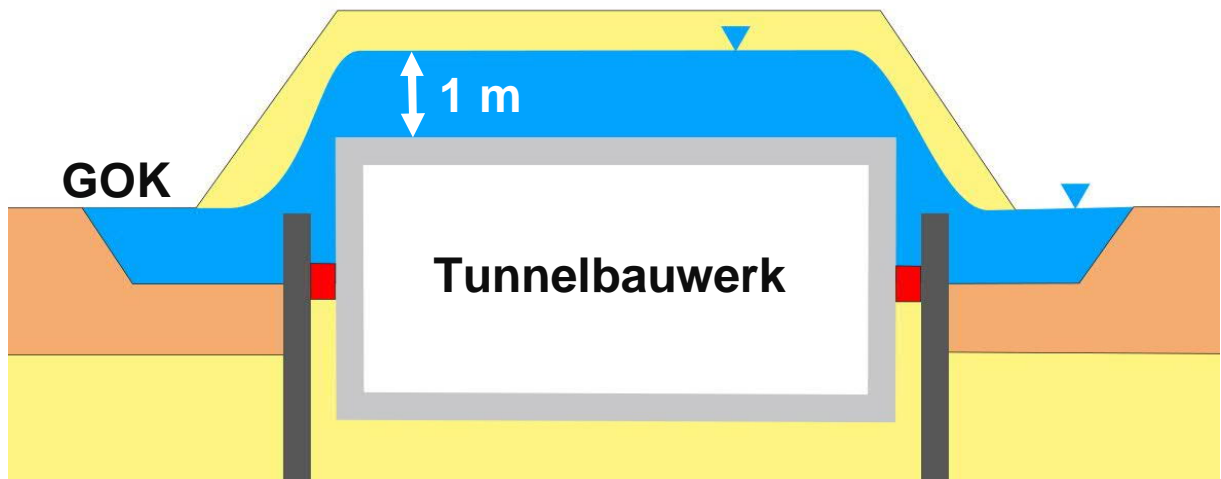


Abb. 30: Schema zu den Stauwasserständen in extremen Nassphasen

Die zuvor beschriebenen höchsten zu erwartenden Stauwasserstände sind aufgrund des seltenen Auftretens einer außergewöhnlichen Bemessungssituation zuzuordnen. Für eine regelmäßige Bemessungssituation können näherungsweise die entsprechenden Bemessungswerte des Oberflächenwasserstands (siehe Kap. 6.3.6) verwendet werden. Danach sind bezüglich des Stauwassers für eine regelmäßige Bemessungssituation Wasserstände von +0,3 mNHN (westlich der Trasse der A 1) bzw. +0,5 mNHN (östlich der Trasse der A 1) anzusetzen. In Aufhöhungskörpern ist näherungsweise ein mittlerer Stauwasserstand von 0,5 m über dem obersten stauenden Element (z.B. Bauwerkskörper) anzusetzen, sofern dieser Wert größer als +0,3 mNHN bzw. größer als 0,5 mNHN ist.

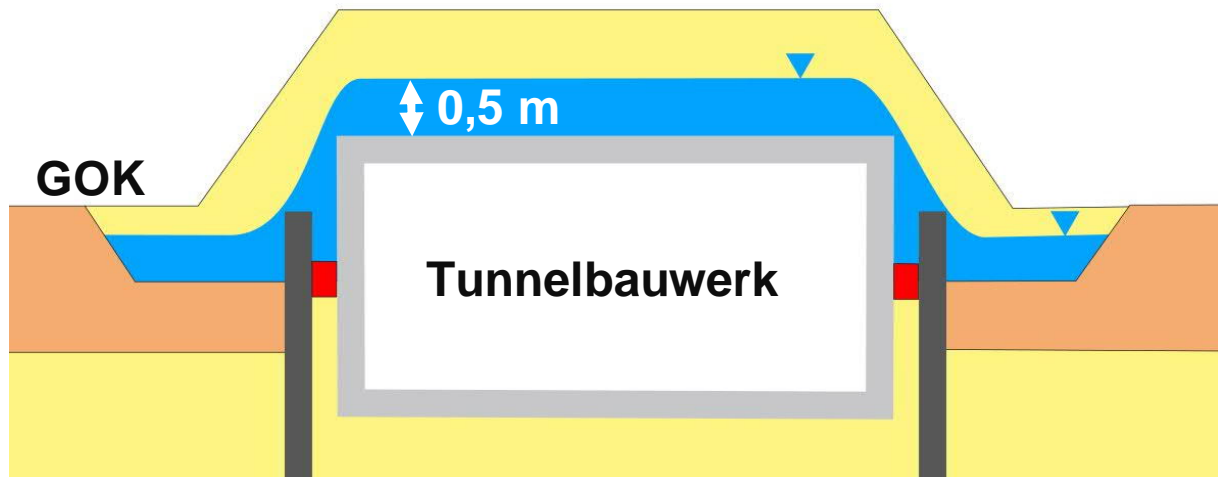


Abb. 31: Schema zu den Stauwasserständen in Nassphasen (mNHN)

6.3.5 Stauwasser (extreme Trockenphasen)

Der Auffüllungskörper oberhalb der Tunneldecke ist nach unten durch den Bauwerkskörper (bzw. durch technische Dichtungen zwischen den Bauwerksteilen) und zu den Seiten durch die verbleibenden Teile der Baugrubenwand hydraulisch isoliert. Eine relevante Wasserzufuhr erfolgt nur durch den Niederschlag und den Wasseraustrag über die Verdunstung. Im Bereich der Kirchdorfer Wetteren und des Neuen Brausielgrabens kann im Falle eines hydraulischen Anschlusses lokal ein Wasseraustausch mit dem Oberflächenwasser erfolgen.

Eine mögliche ausgleichende horizontale Bewegung von Stauwasser im Auffüllungskörper wird maßgeblich durch die Art des Bodenmaterials bestimmt, die noch nicht festgelegt ist. In extremen Trockenphasen kann es infolge der Verdunstung an der Oberfläche bzw. über Pflanzen zu einer Austrocknung des Auffüllungskörpers kommen. Für extreme Trockenphasen wird eine weitgehende Austrocknung des Auffüllungskörpers bis in ein Niveau von -3,0 mNHN angesetzt. Unterhalb dieses Niveaus ist keine relevante Entwässerung durch Pflanzen oder durch einen kapillaren Aufstieg von Wasser im Bodenmaterial zu erwarten.

Für Bereiche mit Auffüllungen außerhalb des Tunnelbauwerks kann als minimaler Stauwasserstand die Oberkante des Stauers angesetzt werden, sofern diese oberhalb eines Niveaus von -3,0 mNHN liegt. Entsprechend gilt als unterer Bemessungswasserstand des Stauwassers im Tunnelbereich die Oberkante des Bauwerks bzw. der technischen Dichtungen, wenn diese oberhalb eines Niveaus von -3,0 mNHN liegen.

6.3.6 Oberflächenwasser (Nassphasen)

Die Auswertungen zu den Oberflächenwasserständen erfolgten, wie die für das Stauwasser, nur für den Bereich des geplanten Tunnelbauwerks. Die Grabenwasserstände sind hier, wie auch in den übrigen tief liegenden Marschflächen durch Stauanlagen, Deichsiele und Schöpfwerke gesteuert. Die Oberflächenwasserstände liegen im Planungsbereich i.d.R. zwischen -0,3 mNHN und $\pm 0,0$ mNHN.

Trotz der Steuerung der Wasserstände im Gesamtsystem können in extremen Nassphasen vorübergehend höhere Oberflächenwasserstände auftreten. Erhöhte Wasserstände können im Grabensystem bei Einschränkungen des Siel- und Schöpfbetriebs bei hohen Wasserständen in der Elbe (Sturmfluten) und/oder durch Starkregenereignisse, die die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems überschreiten, auftreten. Die entsprechenden Bemessungswasserstände des Oberflächenwassers wurden für den nicht aufgehöhten Geländebereich des Tunnelverlaufs in Voruntersuchungen ermittelt (BWS 21.10.2019).

Vom östlichen Ende des Tunnelbauwerks bis zur Trasse der A 1 beträgt der höchste zu erwartende Oberflächenwasserstand +0,85 mNHN. Im Abschnitt von der Trasse der A 1 bis zum östlichen Endpunkt des Tunnels beträgt der Bemessungswasserstand +1,30 mNHN. Die Aussagebereiche sind in der Abb. 32 dargestellt.



Die geplanten Sohl-niveaus der geplanten neuen Verläufe der Kirchdorfer Wettern und des Neuen Brausielgrabens liegen im Tunnelbereich bei -1,80 mNHN (Kirchdorfer Wettern) und -1,85 mNHN (Neuer Brausielgraben). Danach stellen sich hier bei einem Bemessungshochwasser Wassertiefen von 2,65 m bzw. 2,70 m ein.

Die zuvor beschriebenen höchsten zu erwartenden Oberflächenwasserstände können nur bei einem unterbrochenen Siel-Schöpfungsbetrieb und einem gleichzeitigen extremen Niederschlagsereignis auftreten. Eine entsprechende Situation mit großflächigen Überflutungen ist daher einer außergewöhnlichen Bemessungssituation zuzuordnen.

Für eine regelmäßige Bemessungssituation kann der Zustand bordvoller Gewässer angesetzt werden, der eine erheblich größere Eintrittswahrscheinlichkeit besitzt. In diesem Fall sind westlich der A 1 Wasserstände von +0,3 mNHN und östlich der A 1 Wasserstände von +0,5 mNHN zu erwarten (siehe Abb. 33). Großflächige Überschwemmungen treten in dieser Situation nicht auf, so dass die Auswirkungen i.W. auf das Grabensystem beschränkt bleiben.

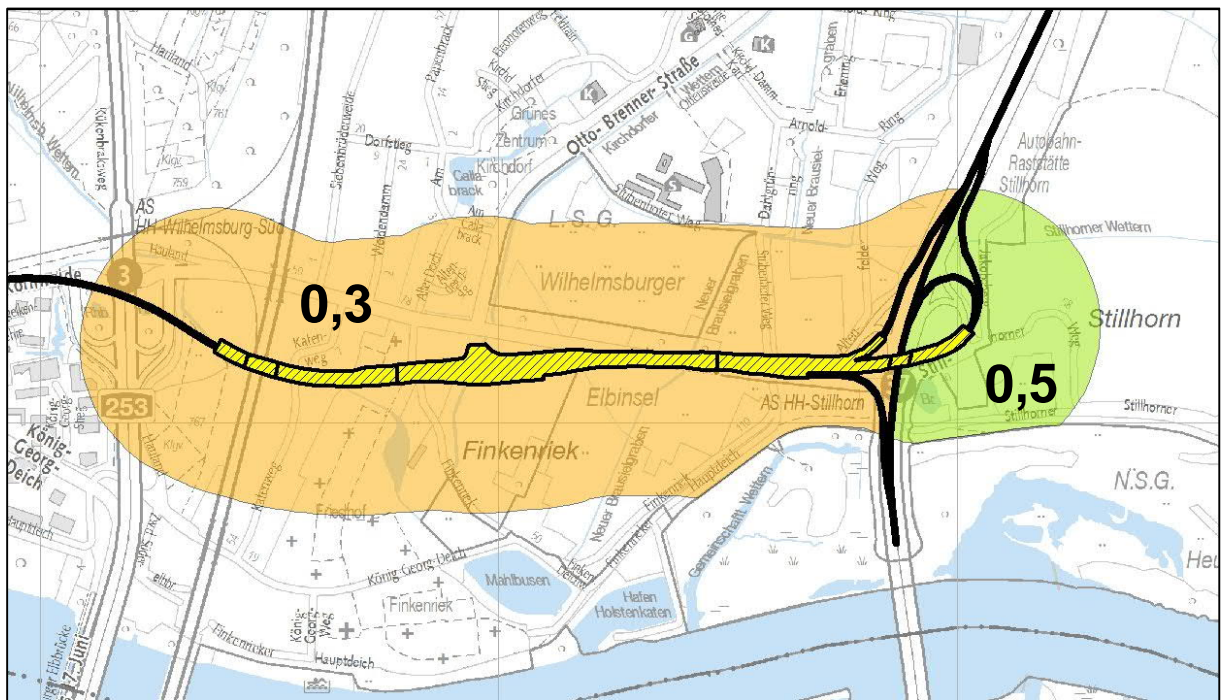


Abb. 33: Bemessungsoberflächenwasserstände zu Nassphasen (mNHN)

6.3.7 Oberflächenwasser (Trockenphasen)

Aufgrund der komplexen Steuerung des Gewässersystems ist sowohl eine Ab- als auch eine Zuleitung von Wasser möglich. Witterungsbedingte extreme Niedrigwasserstände sind daher nicht zu erwarten. Für die Wasserstandssteuerung in der Kirchdorfer Wettern ist eine untere Toleranz von -0,4 mNHN festgelegt, die auch für den Neuen Brausielgraben und östlich der A 1 (Stillhorne Wettern) angesetzt werden kann. Der Wert von -0,4 mNHN kann daher für das Oberflächenwasser als unterer Bemessungswasserstand für den gesamten Planungsbereich des Tunnelbauwerks angesetzt werden.

6.4 Hydrologische Planungsgrundlagen Wilhelmsburgtunnel

6.4.1 Bemessungswasserstände

Die für das Grund-, Stau- und Oberflächenwasser ermittelten Druckpotenziale bzw. Wasserstände und ihre Zuordnung zu Bemessungssituationen sind insbesondere für die Planung des Wilhelmsburgtunnels von Bedeutung. Die auf die Baugruben- und Tunnelelemente wirkenden Kräfte werden durch verschiedene Randbedingungen bestimmt. Neben den hydrogeologischen Strukturen bewirken hydrologische, wasserwirtschaftliche und bautechnische Faktoren räumlich und zeitlich veränderliche Situationen.

Die Entwicklung der Grund-, Stau- und Oberflächenwasserstände ist weitgehend unabhängig, so dass bei den geotechnischen Berechnungen die jeweils ungünstigsten Kombinationen als Grundlage zu ermitteln sind. Die im vorausgehenden Kapitel 6.3 beschriebenen Bemessungssituationen und die ermittelten Bemessungswasserstände sind in der Tab. 5 zugeordnet aufgeführt.

Aufgrund der erforderlichen meteorologischen Randbedingungen kann ein zeitliches Zusammenfallen sehr niedriger Stauwasserstände (extreme Trockenphasen) mit den Sturmflutsituationen des Grundwassers oder den Oberflächenwasserständen bei Nassphasen ausgeschlossen werden.

Tab. 5: Wasserstände und Bemessungssituationen (Wilhelmsburgtunnel)

Ereignis	Elbwasserstand (Pegel Harburg)	Bemessungssituation Bau-/ Betriebszustand	Bemessungswert Wasserstand	Abschnitt (Bau-km)
Grundwasser (Druckpotenziale im Grundwasserleiter)				
extrem niedrige Tide	-	ohne Zuordnung	-1,0 mNHN	8+286 - 1+154
Sturmflut	3,5 mNHN	regelmäßig	+1,00 mNHN +0,50 mNHN +1,00 mNHN +1,50 mNHN	8+286 - 8+600 8+600 - 9+000 9+000 - 9+500 9+500 - 1+154
schwere Sturmflut	4,5 mNHN			
extrem schwere Sturmflut	5,5 mNHN			
Bemessungssturmflut >50 Jahre Lebensdauer	8,15 mNHN	außergewöhnlich	+1,50 mNHN +2,00 mNHN	8+286 - 9+400 9+400 - 1+154
Stauwasser (Wasserstand in Sanden und und Auffüllungskörpern an der Oberfläche)				
extreme Trockenphase	-	ohne Zuordnung	-3,00 mNHN	8+286 - 1+154
Nassphase	-	regelmäßig	+0,30 mNHN +0,50 mNHN oder 0,5 m über höchstem Stauer (Bauwerk, Dichtung o.ä.) wenn dieser Wert größer ist	8+286 - 9+790 9+790 - 1+154 8+286 - 1+154
extreme Nassphase	-	außergewöhnlich	GOK oder 1,0 m über höchstem Stauer (Bauwerk, Dichtung o.ä.) wenn GOK > 1,5 mNHN	8+286 - 1+154
Oberflächenwasser (Wasserstände über Gewässersohle oder GOK)				
Sondersteuerung	-	ohne Zuordnung	-0,40 mNHN	8+286 - 1+154
Nassphase	-	regelmäßig	+0,30 mNHN +0,50 mNHN	8+286 - 9+790 9+790 - 1+154
extreme Nassphase	-	außergewöhnlich	+0,85 mNHN +1,30 mNHN	8+286 - 9+790 9+790 - 1+154

6.4.2 Wasserdruckfiguren

In diesem Kapitel werden unterschiedliche hydraulische und technische Situationen mit den entsprechenden Wasserdruckfiguren an den Bauwerksflächen vorgestellt. Die vier, jeweils für maximale und minimale Bemessungswasserstände in Abb. 34 bis Abb. 41 dargestellten Schemata decken nicht alle möglichen Konstellationen der verschiedenen Randbedingungen ab.

Aus den Inhalten lassen sich jedoch weitere Situationen ableiten. Dies betrifft z.B. die mögliche Kombination von Maxima und Minima der Bemessungswasserstände, da, wie bereits dargestellt, die hydraulische Entwicklung im Grundwasser- und Stau-/Oberflächenwassersystem weitgehend unabhängig ist.

Die Darstellungen sind zur besseren Lesbarkeit nicht maßstabsgerecht. Um eine quantitative Interpretation zu ermöglichen, sind die ermittelten Bemessungswasserstände in den Schemata jeweils mit angegeben. Da die Systemdarstellungen nicht konkreten Stationen zugeordnet sind, sind für die Bemessungswasserstände Streckenzuordnungen angegeben.

Schema Wasserdruckfiguren Tunnelbereich 1 (Maxima)

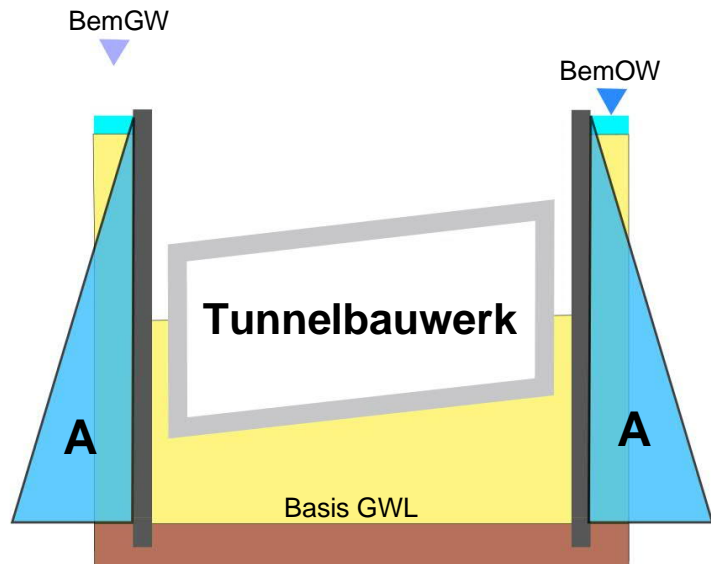
Trockenaushub / ohne Deckschichten / Bauphase (Baugrubenwände geschlossen)

Situation maximaler Bemessungswasserstände

Maxima

BemGW (Grundwasserpotenzial)
bis Bau km 9+400: +1,50 mNHN
ab Bau km 9+400: +2,00 mNHN

BemOW = Oberflächenwasserstand
bis Bau km 8+470: keine Angabe
ab Bau km 8+470: +0,85 mNHN
ab Bau km 9+790: +1,30 mNHN



Beschreibung der Wasserdruckfigur A (Baugrubenwand außen)

Druckfläche: Basis GWL bis BemOW

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau BemOW | 0 mWS

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau Basis GWL | BemGW - Basis GWL

Anmerkung: Potenzialabbau über die gesamte Tiefe durch Grundwasseraufstieg

Abb. 34: Schema Wasserdruckfiguren 1 (Maxima)

Schema Wasserdruckfiguren Tunnelbereich 1 (Minima)

Trockenaushub / ohne Deckschichten / Bauphase (Baugrubenwände geschlossen)

Situation minimaler Bemessungswasserstände

Minima

GW (Grundwasserpotenzial)
-1,00 mNHN

OW (Oberflächenwasserstand)
bis Bau km 8+470: keine Angabe
ab Bau km 8+470: -0,40 mNHN



Beschreibung der Wasserdruckfigur A (Baugrubenwand außen)

Druckfläche: Basis GWL bis BemGW (BemOW nur im Grabenbereich)

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau BemOW | 0 mWS

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau Basis GWL | BemGW - Basis GWL

Abb. 35: Schema Wasserdruckfiguren 1 (Minima)

Schema Wasserdruckfiguren Tunnelbereich 2 (Maxima) Trockenaushub / ohne Deckschichten / Betriebsphase

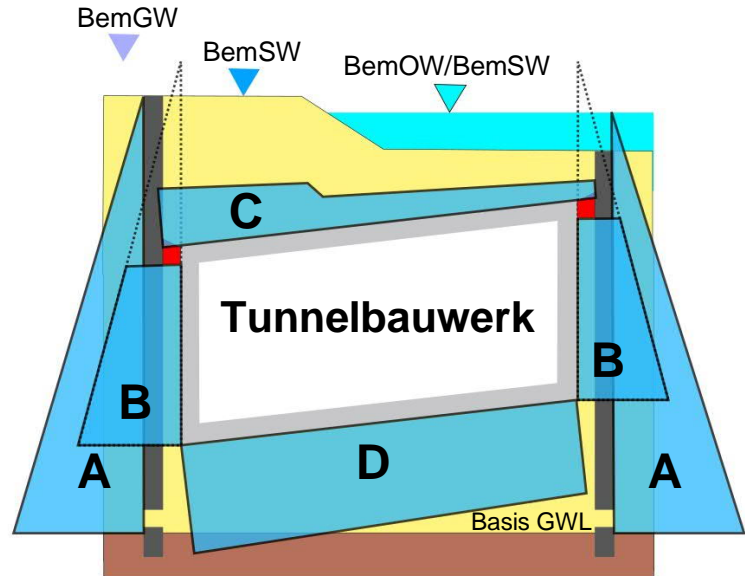
Situation maximaler Bemessungswasserstände

Maxima

BemGW (Grundwasserpotenzial)
bis Bau km 9+400: +1,50 mNHN
ab Bau km 9+400: +2,00 mNHN

BemSW (Stauwasserstand)
Geländeoberkante oder BemOW
wenn dieser höher liegt

BemOW (Oberflächenwasserstand)
bis Bau km 8+470: keine Angabe
ab Bau km 8+470: +0,85 mNHN
ab Bau km 9+790: +1,30 mNHN



Beschreibung der Wasserdruckfigur A (Baugrubenwand außen)

Druckfläche: Basis GWL bis BemGW

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau Max(BemSW, BemOW) | 0

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau Basis GWL | BemGW - Basis GWL

Anmerkung: Potenzialabbau über die gesamte Tiefe durch Grundwasseraufstieg

Beschreibung der Wasserdruckfigur B (Tunnelwand außen)

Druckfläche: UK Tunnel bis Dichtung OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau OK Tunnel | BemGW - OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Beschreibung der Wasserdruckfigur C (Tunneldecke außen)

Druckfläche: Tunneldecke, Nord- bis Südseite

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: oberes Niveau OK Tunnel | Max(BemOW/BemSW) - OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: unteres Niveau OK Tunnel | BemSW - OK Tunnel

Beschreibung der Wasserdruckfigur D (Tunnelboden außen)

Druckfläche: Tunnelboden, Nord- bis Südseite

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: oberes Niveau UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: unteres Niveau UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Abb. 36: Schema Wasserdruckfiguren 2 (Maxima)

Schema Wasserdruckfiguren Tunnelbereich 2 (Minima) Trockenaushub / keine Deckschichten / Betriebsphase

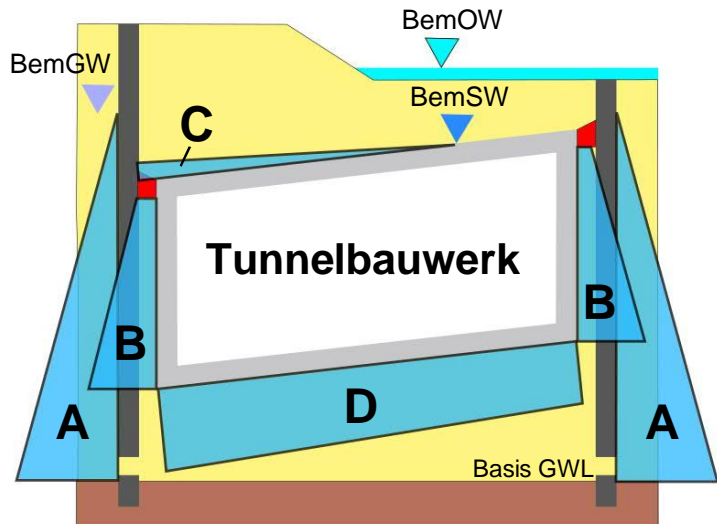
Situation minimaler Bemessungswasserstände

Minima

GW (Grundwasserpotenzial)
-1,00 mNHN

SW (Stauwasserstand)
-3,00 mNHN oder OK Stauer
wenn diese höher als -3,0 mNHN

OW (Oberflächenwasserstand)
bis Bau km 8+470: keine Angabe
ab Bau km 8+470: -0,40 mNHN



Beschreibung der Wasserdruckfigur A (Baugrubenwand außen)

Druckfläche: Basis GWL bis BemGW

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau BemGW | 0

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau Basis GWL | $\text{BemGW} - \text{Basis GWL}$

Beschreibung der Wasserdruckfigur B (Tunnelwand außen)

Druckfläche: UK Tunnel bis Dichtung OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau OK Tunnel | $\text{BemGW} - \text{OK Tunnel}$

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau UK Tunnel | $\text{BemGW} - \text{UK Tunnel}$

Beschreibung der Wasserdruckfigur C (Tunneldecke außen)

Druckfläche: Tunneldecke, Nord- bis Südseite

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: unteres Niveau OK Tunnel | $\text{BemSW} - \text{OK Tunnel}$

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: unteres Niveau OK Tunnel | $\text{BemSW} - \text{OK Tunnel}$

Anmerkung: keine Wassersättigung oberhalb -3,00 mNHN

Beschreibung der Wasserdruckfigur D (Tunnelboden außen)

Druckfläche: Tunnelboden, Nord- bis Südseite

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: oberes Niveau UK Tunnel | $\text{BemGW} - \text{UK Tunnel}$

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: unteres Niveau UK Tunnel | $\text{BemGW} - \text{UK Tunnel}$

Abb. 37: Schema Wasserdruckfiguren 2 (Minima)

Schema Wasserdruckfiguren Tunnelbereich 3 (Maxima) Trockenaushub / mit Deckschichten / Bauphase (Baugrubenwände geschlossen)

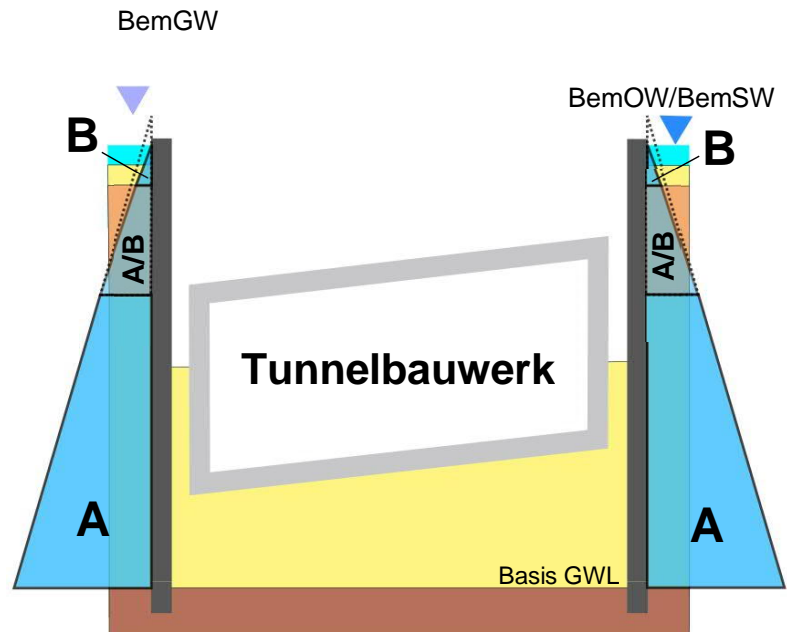
Situation maximaler Bemessungswasserstände

Maxima

BemGW (Grundwasserpotenzial)
bis Bau km 9+400: +1,50 mNHN
ab Bau km 9+400: +2,00 mNHN

BemSW (Stauwasserstand)
Geländeoberkante oder BemOW
wenn dieser höher liegt

BemOW (Oberflächenwasserstand)
bis Bau km 8+470: keine Angabe
ab Bau km 8+470: +0,85 mNHN
ab Bau km 9+790: +1,30 mNHN



Beschreibung der Wasserdruckfigur A (Baugrubenwand außen unterhalb der Deckschichten)

Druckfläche: Basis GWL bis UK Deckschichten

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: UK Deckschichten | BemGW - UK Deckschichten

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau Basis GWL | BemGW - Basis GWL

Anmerkung: Potenzialabbau über die Mächtigkeit der Deckschichten durch Grundwasseraussickerung

Beschreibung der Wasserdruckfigur A/B (Baugrubenwand außen oberhalb der Deckschichten)

Druckfläche: UK Deckschichten bis OK Deckschichten

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau OK Deckschichten | $\text{Max}(\text{BemSW}/\text{BemOW}) - \text{OK Deckschichten}$

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: UK Deckschichten | BemGW - UK Deckschichten

Beschreibung der Wasserdruckfigur B (Baugrubenwand außen oberhalb der Deckschichten)

Druckfläche: OK Deckschichten bis $\text{Max}(\text{BemSW}/\text{BemOW})$

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau $\text{Max}(\text{BemSW}/\text{BemOW})$ | 0

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau OK Deckschichten | $\text{Max}(\text{BemSW}/\text{BemOW}) - \text{OK Deckschichten}$

Abb. 38: Schema Wasserdruckfiguren 3 (Maxima)

Trockenaushub / mit Deckschichten / Bauphase (Baugrubenwände geschlossen)

GW (Grundwasserpotenzial)
-1,00 mNHN



Ort	Betrag [mWS]	höchstes Potenzial: Niveau Basis GWL	BemGW - Basis GWL
1	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00
37	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00
41	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00
43	0,00	0,00	0,00
44	0,00	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,00
46	0,00	0,00	0,00
47	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00
49	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00
51	0,00	0,00	0,00
52	0,00	0,00	0,00
53	0,00	0,00	0,00
54	0,00	0,00	0,00
55	0,00	0,00	0,00
56	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,00
58	0,00	0,00	0,00
59	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00
61	0,00	0,00	0,00
62	0,00	0,00	0,00
63	0,00	0,00	0,00
64	0,00	0,00	0,00
65	0,00	0,00	0,00
66	0,00	0,00	0,00
67	0,00	0,00	0,00
68	0,00	0,00	0,00
69	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00
71	0,00	0,00	0,00
72	0,00	0,00	0,00
73	0,00	0,00	0,00
74	0,00	0,00	0,00
75	0,00	0,00	0,00
76	0,00	0,00	0,00
77	0,00	0,00	0,00
78	0,00	0,00	0,00
79	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00
81	0,00	0,00	0,00
82	0,00	0,00	0,00
83	0,00	0,00	0,00
84	0,00	0,00	0,00
85	0,00	0,00	0,00
86	0,00	0,00	0,00
87	0,00	0,00	0,00
88	0,00	0,00	0,00
89	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	

Abb. 39: Schema Wasserdruckfiguren 3 (Minima)

Schema Wasserdruckfiguren Tunnelbereich 4 (Maxima)

Nassaushub / mit Deckschichten / Betriebsphase

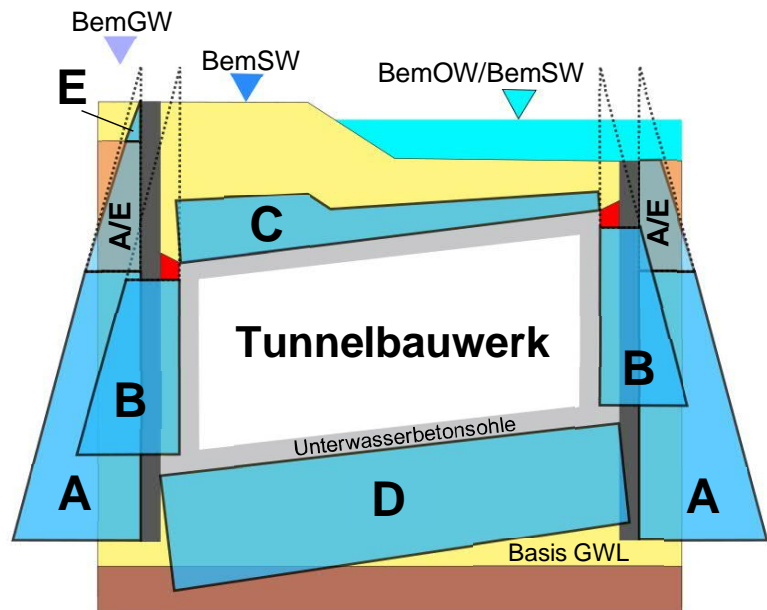
Situation maximaler Bemessungswasserstände

Maxima

BemGW (Grundwasserpotenzial)
bis Bau km 9+400: +1,50 mNHN
ab Bau km 9+400: +2,00 mNHN

BemSW (Stauwasserstand)
Geländeoberkante oder BemOW
wenn dieser höher liegt

BemOW (Oberflächenwasserstand)
bis Bau km 8+470: keine Angabe
ab Bau km 8+470: +0,85 mNHN
ab Bau km 9+790: +1,30 mNHN



Beschreibung der Wasserdruckfigur A (Baugrubenwand außen)

Druckfläche: UK Baugrubenwand bis BemGW

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: UK Deckschichten | BemGW - UK Deckschichten

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: UK Baugrubenwand | BemGW - UK Baugrubenwand

Beschreibung der Wasserdruckfigur A/E (Baugrubenwand außen)

Druckfläche: UK Deckschichten bis OK Deckschichten

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: OK Deckschichten | Max(BemOW/BemSW) - OK Deckschichten

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: UK Deckschichten | BemGW - UK Deckschichten

Beschreibung der Wasserdruckfigur B (Tunnelwand außen)

Druckfläche: Unterwasserbetonsohle bis Dichtung OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau OK Tunnel | BemGW - OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Anmerkung: Bereich nimmt Druck des GWL an den Systemübergängen auf (Längsdurchlässigkeit)

Beschreibung der Wasserdruckfigur C (Tunneldecke außen)

Druckfläche: Tunneldecke, Nord- bis Südseite

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: oberes Niveau OK Tunnel | Max(BemOW/BemSW) - OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: unteres Niveau OK Tunnel | Max(BemOW/BemSW) - OK Tunnel

Beschreibung der Wasserdruckfigur D (Tunnelboden außen)

Druckfläche: Tunnelboden, Nord- bis Südseite

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: oberes Niveau UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: unteres Niveau UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Beschreibung der Wasserdruckfigur E (Baugrubenwand außen)

Druckfläche: OK Deckschichten bis BemSW

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Max(BemOW/BemSW)

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: OK Deckschichten | Max(BemOW/BemSW) - OK Deckschichten

Abb. 40: Schema Wasserdruckfiguren 4 (Maxima)

Schema Wasserdruckfiguren Tunnelbereich 4 (Minima) Nassaushub / mit Deckschichten / Betriebsphase

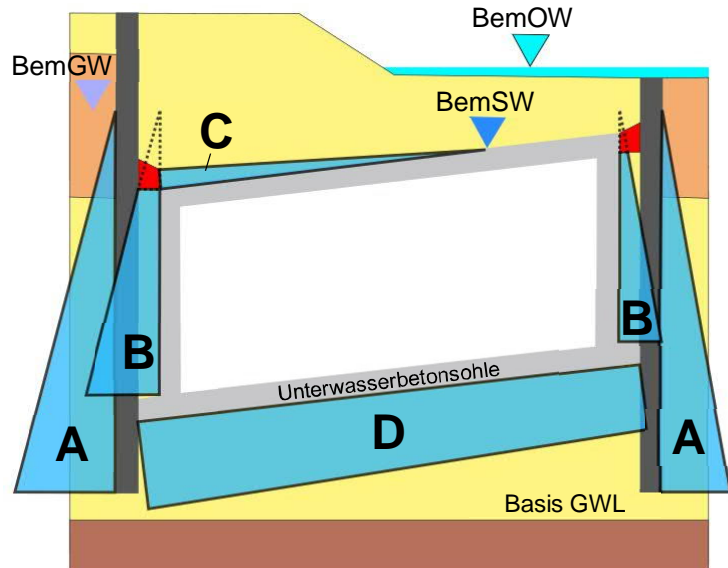
Situation minimaler Bemessungswasserstände

Minima

GW (Grundwasserpotenzial)
-1,00 mNHN

SW (Stauwasserstand)
-3,00 mNHN oder OK Stauer
wenn diese höher als -3,0 mNHN

OW (Oberflächenwasserstand)
bis Bau km 8+470: keine Angabe
ab Bau km 8+470: -0,40 mNHN



Beschreibung der Wasserdruckfigur A (Baugrubenwand außen)

Druckfläche: UK Baugrubenwand bis BemGW

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: UK Deckschichten | 0

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: UK Baugrubenwand | BemGW - UK Baugrubenwand

Beschreibung der Wasserdruckfigur B (Tunnelwand außen)

Druckfläche: Unterwasserbetonsohle bis Dichtung OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: Niveau OK Tunnel | BemGW - OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: Niveau UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Anmerkung: Bereich nimmt Druck des GWL an den Systemübergängen auf (Längsdurchlässigkeit)

Beschreibung der Wasserdruckfigur C (Tunneldecke außen)

Druckfläche: Tunneldecke, Nord- bis Südseite

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: oberes Niveau OK Tunnel | BemSW - OK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: unteres Niveau OK Tunnel | BemSW - OK Tunnel

Anmerkung: Anmerkung: keine Wassersättigung oberhalb -3,00 mNHN

Beschreibung der Wasserdruckfigur D (Tunnelboden außen)

Druckfläche: Tunnelboden, Nord- bis Südseite

Ort | Betrag [mWS] niedrigstes Potenzial: oberes Niveau UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Ort | Betrag [mWS] höchstes Potenzial: unteres Niveau UK Tunnel | BemGW - UK Tunnel

Abb. 41: Schema Wasserdruckfiguren 4 (Minima)

6.5 Abhängigkeiten / Wechselwirkungen

6.5.1 Torfauffüllungen im Bauwerksbereich

Nach den aktuellen Planungen ist der Einbau von Torf, der bei der Herstellung der Baugruben anfällt, eine Option. Der Torf soll dabei unterhalb eines Niveaus von $\pm 0,0$ mNHN eingebracht werden. Die Hauptintention dieser Planung ist eine klimaneutrale Unterbringung des organischen Materials im dauerhaft wassergesättigten Bereich.

Im ungestörten Zustand ist, insbesondere in den tieferen Bereichen, eine weitgehende Wassersättigung der natürlichen Weichschichten zu erwarten. Hohe Verdunstungsraten an der Oberfläche werden zumindest teilweise durch den Zustrom von Grundwasser infolge der hohen Druckpotenziale im Grundwasserleiter und durch einen kapillaren Aufstieg von Grundwasser kompensiert.

Im Bereich des Tunnelbauwerks ist, wie im Kap. 6.3.7 beschrieben, in extremen Trockenphasen eine weitgehende Austrocknung des oberhalb der Tunnel- und Rampendecken eingebauten Bodenmaterials möglich. Ein Grundwasserszustrom wird durch die Bauwerkskörper und die vorgeschriebene Abdichtung zwischen Grund- und Oberflächenwasser in den Zwischenräumen unterbunden. Ein relevanter horizontaler Zustrom ist aufgrund der Höhenlage und der geringen Größe der seitlichen hydraulischen Anschlussflächen und der zumeist geringdurchlässigen umgebenden Böden nicht zu erwarten. Darüber hinaus ist, je nach Aufbau der Verfüllung, auch im Auffüllungskörper selbst nur eine geringe horizontale Wasserbewegung möglich.

Ausgetrocknetes Torfmaterial besitzt nur eine sehr geringe Wichte und beim Einbau oberhalb des Tunnelkörpers eine entsprechend geringe Auftriebssicherung. Mögliche zusätzliche Aufwände (Technik / Kosten), die sich aus einem Einbau von Torf oberhalb der Bauwerkskörper ergeben, sind zu prüfen (siehe auch Kap. 6.5.2).

6.5.2 Grundwasserunterströmung

Zur Reduzierung der hydraulischen Auswirkungen des Bauwerks ist durch eine entsprechend angepasste Planung eine ausreichende Unterströmung im Grundwasserleiter sicherzustellen. Hierzu werden in die Baugrubenwände, die bis in den Grundwasserstauer einbinden, hydraulische Fenster eingebracht.

Technische Planungen im Rahmen der Sicherung des Tunnelbauwerks gegen Auftrieb können (z.B. durch eine Erhöhung der Dicke des Tunnelbodens) Einfluss auf die Tiefenlage der der Bauwerkssohle haben. Eine ausreichende Grundwasserunterströmung des Bauwerks erfordert unterhalb dessen Sohle eine gut durchlässige Schicht von mindestens 1 Meter Mächtigkeit. Diese hydraulische Funktion übernehmen die groben Sedimente an der Basis des Grundwasserleiters bei einem Erhalt in entsprechender Mächtigkeit.

Wird durch das Bauwerk die Mächtigkeit der kiesig-sandigen Basisschicht des Grundwasserleiters lokal auf weniger als 1 Meter reduziert, ist eine geeignete Strömungsschicht (z.B. Sand/Kies mit $k_f 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) auf der gesamten Breite technisch herzustellen. Bei einer Durchlässigkeit der technischen Schicht von $k_f 1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ kann die Herstellung auf die Korridore zwischen den hydraulischen Fenstern (insg. 10 % der Gesamtbreite) reduziert werden. Nach dem aktuellen Planungsstand ist ein hydraulischer Konflikt auf der Nordseite des Bauwerks im Bereich der Schnittlagen F und G (Darstellungen INGE A26-Ost, Vorabzug 04.05.2020) nicht auszuschließen. In der Abb. 42 ist eine entsprechende technische Lösung im Bereich eines der geplanten hydraulischen Fenster in der Baugrubenwand schematisch dargestellt. Zwischen den hydraulischen Fenstern übernimmt die Strömungsschicht (bzw. die verbleibende Mächtigkeit des Grundwasserleiters) die hydraulische Querverteilung des Grundwasserstroms.

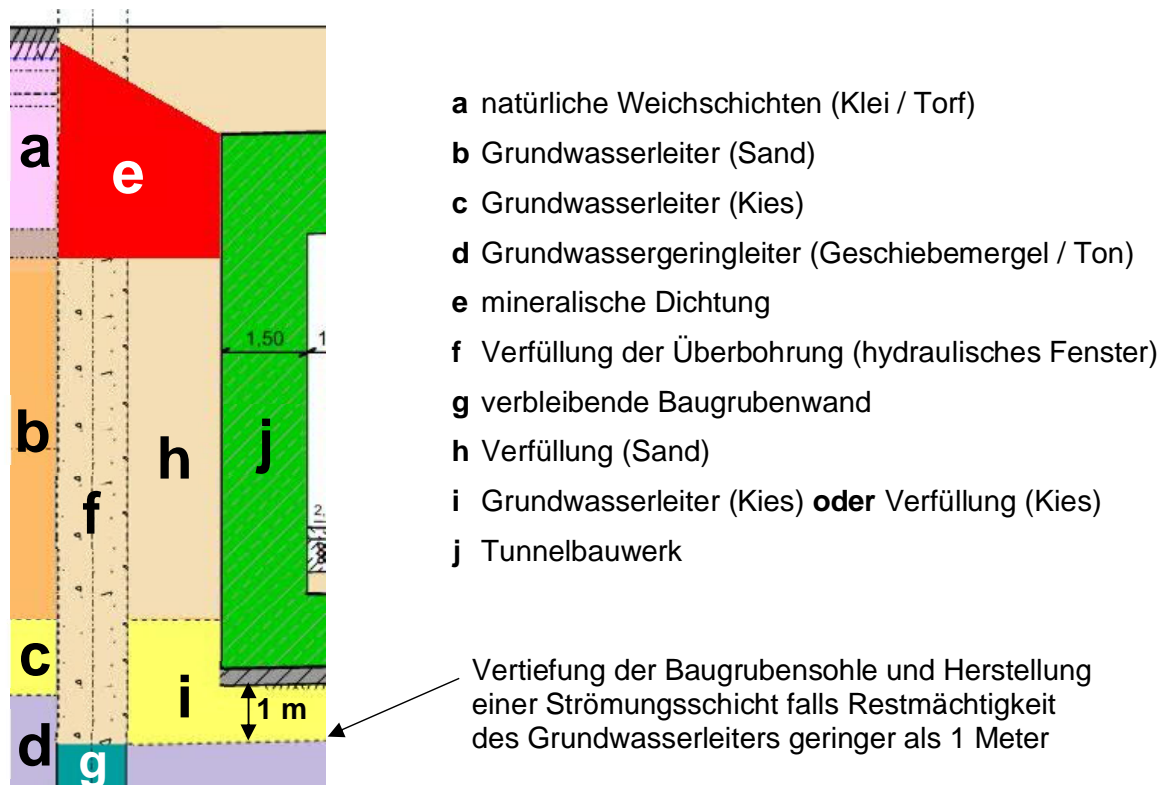


Abb. 42: Schematische Darstellung eines hydraulischen Fensters

6.6 Extreme Sturmflutereignisse in der Bauphase

Der Beschädigung des geplanten Tunnelbauwerks in der Betriebsphase durch die mit einer extremen Sturmflut eintretenden hydraulischen Kräfte wird mit einer entsprechenden Bemessung vorgebeugt. Aufgrund der Größe des Bauwerks und der erforderlichen aufwendigen Bauverfahren ist nicht auszuschließen, dass sensible Bauphasen in die Sturmflutsaison fallen.

In den im Trockenaushub hergestellten Abschnitten ist die Baugrube in der Bauphase durch die Schlitzwände vollständig isoliert. Auf der südlichen, der Elbe zugewandten Seite sind bei Sturmfluten erhöhte Potenziale möglich. Die stärkste Wirkung liegt dabei im zentralen Abschnitt, unmittelbar an der Baugrubenwand. Da während des Sturmflutscheitels eine verstärkte Vernässung an der Oberfläche nicht auszuschließen ist, sind im Falle der Vorhersage einer schweren Sturmflut, Baustoffe und -maschinen aus diesem Bereich zu entfernen.

Im Bereich des Nassaushubs wird zur Vermeidung eines Grundbruchs in der Baugrube ein gegenüber dem Grundwasserdruck erhöhter Wasserstand gehalten. Für das östliche Ende der Tunnelstrecke sind die höchsten Bemessungspotenziale im Grundwasserleiter zu erwarten. Zur Reduzierung der Baugrubenhöhe ist zu prüfen, ob und in welchen Bauphasen im Falle einer extremen Sturmflut ein kurzzeitiges Einsickern von Grundwasser in die Baugrube in diesem Bereich aus geotechnischer Sicht akzeptabel ist. Die zutretenden Grundwassermengen sind durch die mit der Zusickerung verbundenen Potenzialentlastung und die kurze Dauer einer extremen Sturmflut gering, so dass ein temporärer Überlauf der Baugrube technisch beherrschbar ist. Die Herstellung der Unterwasserbetonsohle sollte nicht in den Zeitraum einer unsicheren Wettervorhersage gelegt werden.

7 Zusammenfassung

Mögliche vorhabensbezogene Auswirkungen auf die Grundwassersituation

Durch die Herstellung der Gründungselemente für die Stützpfeiler im Bereich der Hochstraße sind weder in der Bau- noch in der Betriebsphase relevante Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit oder das Strömungsgeschehen im 1. HGWL zu erwarten.

Durch die Einsickerung von Baugrubenwasser in den Grundwasserleiter (Tunnelabschnitte mit Nassabbau) und der verzögerten Aussickerung im Bereich der Marschflächen nördlich des Tunnelbauwerks sind keine nachteiligen Auswirkungen auf das Grundwasser und die Oberflächengewässer zu erwarten. Als Minderungsmaßnahmen sind bei der Entfernung der natürlichen Weichschichten Entnahmeverfahren mit einer geringen Störung der Bodenmatrix (scharfkantige, geschlossene Kastengreifer) vorzusehen. Darüber hinaus können die im Baufeld geplanten Anlagen zur Behandlung von Baugrubenwasser bzw. Porenwasser zur Reduzierung erhöhter geogener Stoffkonzentrationen genutzt werden.

Für die Wasserhaltung in den Baugrubenabschnitten ist aus Sicht der Beschaffenheit sowohl eine Entnahme von Elbwasser als auch eine Entnahme von Grundwasser aus dem 1. HGWL möglich. Ein Eintrag von wassergefährdenden Stoffen in das Baugrubenwasser (z.B. durch Kraft- und Betriebsstoffe) ist durch geeignete Bauverfahren auszuschließen.

Die geplante Minderungsmaßnahme (Teilöffnung der Baugrubenwände) bewirkt eine erhebliche Reduzierung der vorhabensbezogenen hydraulischen Auswirkungen. Das Gesamtströmungsbild wird nur geringfügig verändert. Die maximalen Potenzialveränderungen durch die in den Strömungsquerschnitt reichenden Tunnelkörper und Baugrubenwände sind aufgrund der geringen Beträge sowie der zeitlichen und räumlichen Begrenzung nicht mit nachteiligen Auswirkungen verbunden.

In den Bereichen, in denen die Tunnelelemente den Raum zwischen den Baugrubenwänden nicht durchgehend erfüllen, erfolgt eine mineralische Abdichtung der Zwischenräume sowie eine Auffüllung des Raumes oberhalb der Tunneldecke mit Torf, so dass auch hier eine durchgehende schützende Abdeckung des Grundwasserleiters bestehen bleibt.

Durch die Einschnitte der geplanten neuen Gewässerverläufe (Kirchdorfer Wetteren und Neuer Brausielgraben) ist keine relevante Verminderung der hydraulischen Trennung zwischen Grund- und Oberflächenwasser zu erwarten. Beim Nachweis geringer Deckschichtmächtigkeiten bzw. von Fehlstellen erfolgt eine mineralische Abdichtung der Gewässersohle. Bei der Verlegung der Kornweide bleiben die Deckschichten durch eine Baugrundverbesserung per Vorbelastung (kein Bodenaustausch) erhalten.

Stoffeinträge durch Porenwasserauspressungen (Vorbelastungen) bedingen keine nachteiligen Veränderungen der Strömungs- und Beschaffenheitssituation im Grundwasserleiter.

Bezüglich der möglichen vorhabensbezogenen Auswirkungen auf die Grundwassersituation kann zusammenfassend festgestellt werden, dass unter Berücksichtigung der geplanten Minderungsmaßnahmen keine nachteiligen Auswirkungen zu erwarten sind.

Bemessungsgrundwasserstände

Die im Planungsraum vorhandenen Messreihen zum Grundwasserstand ermöglichen trotz der möglichen extremen Randbedingungen und kleinräumigen Differenzen eine geeignete Ableitung von Bemessungswerten für die Planungen. Die weitgehend unabhängige Entwicklung im Grund- und Stau-/Oberflächenwasser sowie die über die Tunnelstrecke wechselnden technischen Bedingungen erfordern eine differenzierte Analyse der auf die Baukörper wirkenden hydraulischen Kräfte. Der vorliegende Bericht ermöglicht eine Ableitung der Bemessungswerte für die möglichen auftretenden Kombinationen von Randbedingungen.

Aufgrund der besonderen Standortbedingungen ergeben sich, insbesondere bezüglich des Grundwassers, für die Bemessung z.T. extreme Werte. Diese sind für die dauerhaft erforderlichen Sicherungen (z.B. Auftriebssicherung des Tunnelbauwerks) zwingend anzusetzen. Wir empfehlen, für Planungsinhalte, die in der Bauphase nur eine temporäre Sicherung erfordern (z.B. Baumaßnahmen der Gewässerverlegung) durch eine Ausführung außerhalb der Sturmflutsaison oder durch geeignete Notfallkonzepte eine Reduzierung des Sicherungsaufwands zu prüfen.

Hamburg, 29.01.2021

Dipl.-Geogr. Hydr. Lutz Krob
(Geschäftsführung)

Dipl.-Geol. Marcus Keller
(Projektbearbeitung)