

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

09.02.2024

Wasserhaltungskonzept – Anlage 9

Aufgestellt: Quickborn, 20.03.2024		Planfeststellungsunterlagen		
LH-13-1011 Bad Bramstedt-Hardebek				
Prüfung:		Bearbeitung:		
Datum	Aufsteller	Datum	G.E.O.S.	
	20.03.2024	19.03.2023		
Unterschrift		Unterschrift	i.A. 	
		G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH 09633 Halsbrücke Schwarze Kiefern 2 09581 Freiberg, Postfach 1162 Telefon: +49(0)3731 369-0 Telefax: +49(0)3731 369-200 E-Mail: info@geosfreiberg.de www.geosfreiberg.de Geschäftsführer: Jan Richter		

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Inhaltsverzeichnis

1	Bauvorhaben Neubau 110-kV-Leitung Bad Bramstedt - Hardebek	4
2	Wasserhaltungskonzept	5
2.1	Verlauf der Erdkabeltrasse.....	5
2.2	Maßnahmen zur Wasserhaltung.....	5
2.3	Geologisch/hydrogeologische Verhältnisse.....	6
2.3.1	Geologie.....	6
2.3.2	Hydrogeologie/Grundwasser	8
2.4	Beseitigung von Wässern aus Wasserhaltungsanlagen.....	10
2.4.1	Allgemeines	10
2.4.2	Verfahren Wasserhaltung	10
2.4.3	Abgeleitete wasserwirtschaftliche Maßnahmen.....	11
2.4.4	Notwendigkeit der Beseitigung von Niederschlagswasser	13
2.4.5	Ermittlung der temporär anfallenden Wassermengen.....	16
2.4.6	Gesamt anfallende Wassermenge in den Baugruben.....	21
2.4.7	Maßnahmen zur Beseitigung von Wässern aus Wasserhaltungsanlagen.....	27
2.5	Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern.....	30
2.5.1	Anlagen im Zuständigkeitsbereich von Wasser- und Bodenverbänden	31
2.5.2	Gewässerkreuzungen	31
3	Abkürzungsverzeichnis.....	33
4	Quellen.....	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Ergebnisse der Baugrunduntersuchung aus /2/.....	8
Tabelle 2: Wasserdurchlässigkeit der angetroffenen Schichten /2/.....	9
Tabelle 3: Wasserwirtschaftliche Maßnahmen Erdkabeltrasse	12
Tabelle 4: Wasserwirtschaftliche Maßnahmen Muffen	13
Tabelle 5: Niederschlagsabflussmenge Muffengruben aus Starkniederschlag	15
Tabelle 6: Niederschlagsabflussmenge Muffengruben (Bauzeit 1 Monat)	15
Tabelle 7: Identifizierte Wasserhaltungsstrecken.....	16
Tabelle 8: Eingangsdaten der Wasserhaltungen.....	17
Tabelle 9: Ergebnisse der Wasserhaltungsberechnung (Grundwasser).....	19
Tabelle 10: Reichweiten der Wasserhaltung	20
Tabelle 11: Anfallende Wassermengen (Grundwasser) über einen Zeitraum von 30 Tagen.....	21
Tabelle 12: Wassermengen (QE, ges) aus Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben Erdkabeltrasse, angenommene Niederschlagsmenge: 70 mm/30d	22

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Tabelle 13: Maximale Wassermengen (QE,max) aus Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben Erdkabeltrasse, die bei einem 15 min Starkregenereignis auftreten können	24
Tabelle 14: Wassermengen (QE, ges) aus Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben Muffen, angenommene Niederschlagsmenge: 70 mm/30d.....	25
Tabelle 15: Maximale Wassermengen (QE,max) aus Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben Muffen, die bei einem 15 min Starkregenereignis auftreten können	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtslageplan Neubau LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek	4
Abbildung 2: Arten der Grundwasserhaltung /4/	11
Abbildung 3: Offene Wasserhaltung, Pumpensumpf /7/.....	28

Anhangverzeichnis

Anhang 1: Tabellarische Zusammenstellung der wasserwirtschaftlichen Belange

Blatt 1	Kabelgraben
Blatt 2	Muffen

Anhang 2: Lagepläne wasserwirtschaftliche Maßnahmen

Blatt 1	Kabeltrasse – Kilometer 0,000 – 1,693
Blatt 2	Kabeltrasse – Kilometer 1,394 – 3,160
Blatt 3	Kabeltrasse – Kilometer 2,900 – 4,413
Blatt 4	Kabeltrasse – Kilometer 4,189 – 5,939
Blatt 5	Kabeltrasse – Kilometer 5,650 – 7,428
Blatt 6	Kabeltrasse – Kilometer 7,085 – 9,383
Blatt 7	Kabeltrasse – Kilometer 9,094 – 10,607
Blatt 8	Kabeltrasse – Kilometer 10,048 – 11,913
Blatt 9	Kabeltrasse – Kilometer 11,002 – 12,156

Anhang 3: Berechnungen Wasserhaltung

Blatt 1	WH 1
Blatt 2	WH 2; WH 10; WH 11
Blatt 3	WH 3
Blatt 4	WH 4; WH 5
Blatt 5	WH 6
Blatt 6	WH 7
Blatt 7	WH 8
Blatt 8	WH 9
Blatt 9	WH-M 1
Blatt 10	WH-M 2; WH-M 3; WH-M 14
Blatt 11	WH-M 11
Blatt 12	WH-M 12; WH-M 13
Blatt 13	WH-M 15; WH-M 16; WH-M 17

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

1 Bauvorhaben Neubau 110-kV-Leitung Bad Bramstedt - Hardebek

Das Bauvorhaben der Schleswig-Holstein Netz (SH Netz) umfasst die Errichtung und den Betrieb der „110-kV-Leitung Bad Bramstedt - Hardebek“ (LH-13-1011) zwischen dem bestehenden Neubau des Umspannwerks (UW) Bad Bramstedt und dem in Planung befindlichen Umspannwerk Hardebek. Die geplante Leitung (Neubau) wird als Erdkabel umgesetzt und hat eine Länge von etwa 12,2 km (siehe Abbildung 1). Die bautechnische Umsetzung der Erdkabeltrasse ist im offenen Grabenbau als auch mittels Vortriebsverfahren geplant.

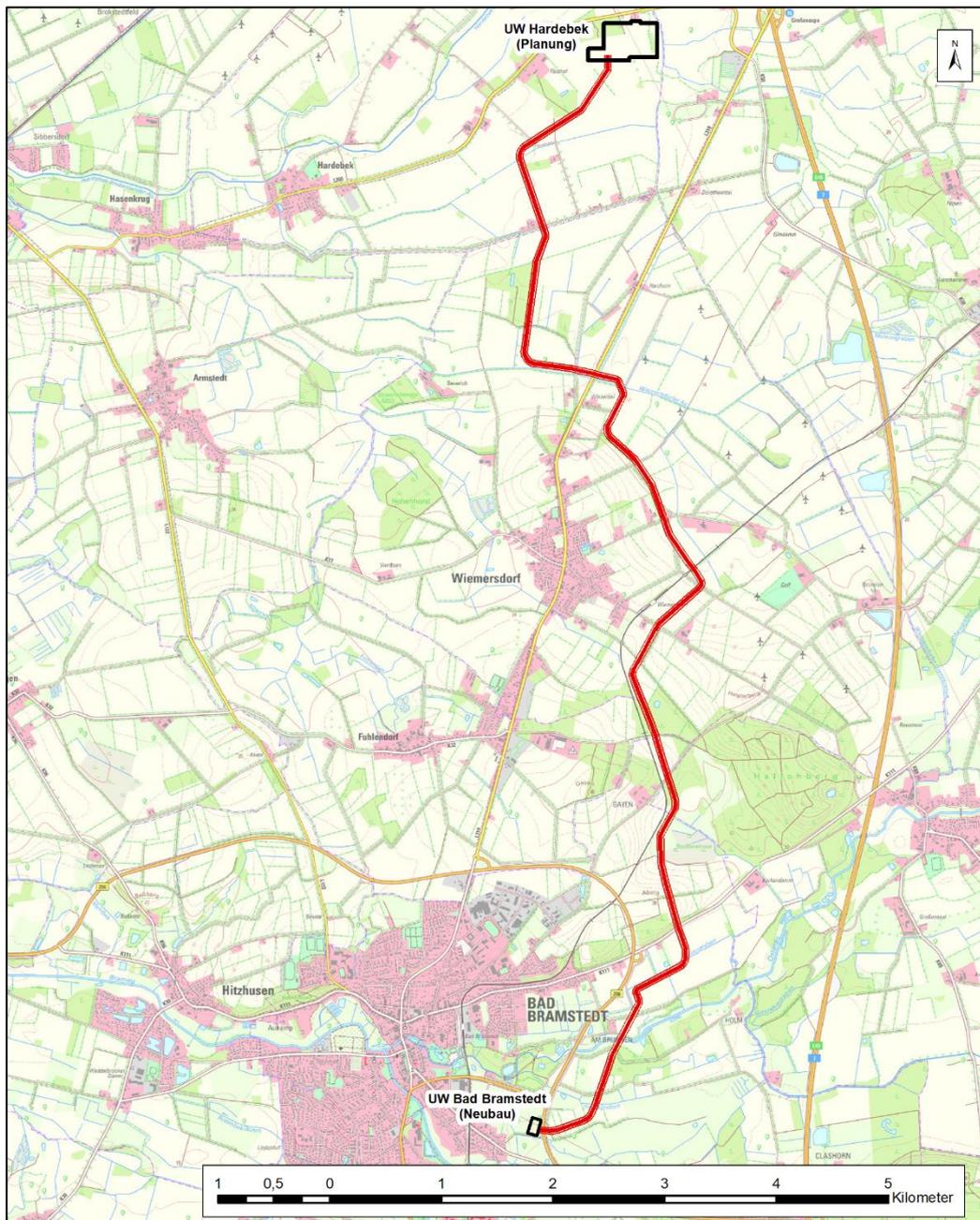


Abbildung 1: Übersichtslageplan Neubau LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Entsprechend der naturräumlichen Gliederung Schleswig-Holsteins verläuft der Trassenabschnitt der geplanten Erdkabelleitung 110-kV-Leitung Bad Bramstedt - Hardebek in der Vorgeest, welche durch Sanderflächen mit geringen Grundwasserflurabständen gekennzeichnet ist. In Anbetracht der Tatsache ist im gesamten Trassenbereich innerhalb von Baugruben temporär mit Anfall von Grundwasser zu rechnen, sodass Maßnahmen zur Beseitigung von Baugrubenwässern (Grundwasserabsenkung) durch Wasserhaltungsanlagen erforderlich werden.

Im Folgenden werden die vorhabenbezogenen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zur Beseitigung von Wässern aus Wasserhaltungsanlagen beschrieben. Das vorliegende Wasserhaltungskonzept wird als Anlage 9 Bestandteil der Planfeststellungsunterlagen zum energierechtlichen Planfeststellungsverfahren nach §§ 43 ff. EnWG. Die Leitung wird nach § 43h Energiewirtschaftsgesetz als Erdkabel umgesetzt.

2 Wasserhaltungskonzept

2.1 Verlauf der Erdkabeltrasse

Startpunkt ist das von SH Netz neu errichtete UW Bad Bramstedt, von dort verläuft die Trasse östlich um die Ortschaft Bad Bramstedt in nördlicher Richtung nach Wiemersdorf. Die Ortslage Wiemersdorf wird ebenfalls östlich umgangen und die Trasse verläuft weiter in nördlicher Richtung bis zum geplanten Standort des UW Hardebek. Die direkte Entfernung beträgt ca. 10 km (Luftlinie), die Trassenlänge ist mit ca. 12,2 km wegen der Umgehung der Ortschaften Bad Bramstedt und Wiemersdorf etwas länger. Die Trasse wird in Teilabschnitte gegliedert, wobei die Kabel der einzelnen Abschnitte an insgesamt 17 Muffenstandorte verbunden werden. Der Großteil der Strecke soll in offener Bauweise umgesetzt werden. Um eine sichere Kreuzung mit möglichst geringem Eingriff in die aus umweltfachlicher Sicht wertvollen Landschaftsteile (z. B. Knicks oder Gewässer), aber auch vorhandener Infrastruktur (z. B. Straßen oder Fremdmedien) zu gewährleisten, sind 17 Unterquerungen mittels Horizontalspülbohrverfahren (HDD) geplant (vgl. Lagepläne in Anhang 2).

Die detaillierte Beschreibung der Abschnitte des Trassenverlaufs ist im Kapitel 3 des Erläuterungsberichtes (Anlage 1) der Planfeststellungsunterlagen (SH Netz, 2024) /1/ enthalten.

2.2 Maßnahmen zur Wasserhaltung

Beim Errichten des Kabelgrabens, der Muffengruben, Baugruben für Querungen im HDD-Verfahren können wasserwirtschaftlich relevante Maßnahmen oder Eingriffe notwendig werden, wenn es die lokalen Grund- und/oder Oberflächenwasserverhältnisse erfordern. Das heißt, dass Maßnahmen zur Wasserhaltung in den Baugruben notwendig werden können.

Reichen Baugruben bis in den Grundwasserbereich, ist für eine trockene Baugrube eine Grundwasserabsenkung notwendig. In einer offenen Baugrube, die in einen nicht ergiebigen Grundwasserstrom reicht, kann die Grundwasserabsenkung mittels einer offenen Wasserhaltung aus einem Pumpensumpf erfolgen. In Baugruben, die sich in einem ergiebigen Grundwasserstrom befinden, ist eine geschlossene Wasserhaltung zur Grundwasserabsenkung in der Baugrube notwendig, die z. B. durch Kleinfilterbrunnen rund um die Baugrube vorgenommen wird. Welcher Typ der Wasserhaltungsanlage erforderlich wird, muss für jeden Trassenabschnitt entschieden werden und ist Gegenstand nachfolgender Planungsschritte.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Grundsätzlich ist im gesamten Bereich der Kabeltrasse zur Fassung von Niederschlags- und Sickerwasser in den Baugruben eine offene Wasserhaltung vorzuhalten.

Unter Beachtung des WHG in Verbindung mit dem LWG werden die im Zuge der Bauausführung anfallenden bzw. gehobenen Wassermengen schadfrei über nahegelegene Verbandsgewässer/Verrohrungen der zuständigen Wasser- und Bodenverbände (Schmalfelder Au, GPV Osterau und Großensepe-Wiemersdorf) abgeleitet bzw. flächenhaft verrieselt/versickert (siehe Anhang 1 und 2). Diese wasserwirtschaftlichen Maßnahmen sind temporär. Nach Abschluss der Bauarbeiten und Wiederherstellung der Baufläche stellen sich in der Regel die natürlichen Grundwasserverhältnisse wieder ein.

In den für eine Bauwasserhaltung identifizierten Bereichen sind folgende Tätigkeiten im Rahmen der Bauausführung erforderlich:

- Ausheben von offenen Kabelgräben, Einbau der Schutzrohre
- Anlegen von Muffengruben.

Werden im Bereich der Kabeltrasse Rohrleitungen bzw. Dränagen angetroffen bzw. durchschnitten, so werden diese kurzzeitig im Rahmen der Baumaßnahme verschlossen. Im Anschluss der Baumaßnahme wird die Funktionsfähigkeit der Dränleitungen und der Abfluss in den Sammlern und Rohrleitungen wiederhergestellt.

Zu den wasserwirtschaftlichen Maßnahmen gehört die Vermeidung und schadlose Entsorgung kontaminierter Wässer, die im Zuge der Bauausführung anfallen oder angetroffen werden können. Bei Verdacht auf Kontaminationen ist unverzüglich die zuständige Aufsichtsbehörde zu informieren. Kontaminiertes Wasser gilt als Sonderabfall und muss gesammelt und entsprechend entsorgt werden. Bisher liegt kein Verdacht auf kontaminiertes Wasser vor. Wird im Zuge der Baumaßnahme kontaminiertes Wasser angetroffen, wird die Wasserhaltung eingestellt.

2.3 Geologisch/hydrogeologische Verhältnisse

2.3.1 Geologie

Für die Bewertung der geologisch/hydrogeologischen Verhältnisse und Eigenschaften der im Untersuchungsgebiet anstehenden Sedimente wurde der Trassenkorridor im Jahr 2023 geotechnisch erkundet. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden unter anderem an 100 Rammkernsondierbohrungen (BS), bis in maximal 8 m Tiefe, die Bodenarten bestimmt, Schichtverzeichnisse und Wasserstände aufgenommen, geotechnische und bodenkundliche Laboruntersuchungen an Bodenproben vorgenommen. Die Ergebnisse sind in der Geotechnischen Stellungnahme Baugrunduntersuchung (Dipl.-Ing. Egbert Mücke Ingenieurbüro für Geotechnik, 2024) /2/ dokumentiert und die Lage der Aufschlüsse in den Lageplänen der Anlage 1 in /2/ dargestellt.

Im Folgenden werden die hydrogeologisch relevanten Ergebnisse aus /2/ zusammengefasst dargestellt. Diese bilden die Grundlage für die hydrogeologische Beurteilung des Trassenkorridors und die Ableitung der ggf. notwendigen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen.

Im Untersuchungsgebiet (Erdkabeltrasse) stehen glazifluviale Ablagerungen (Sander, Sande, untergeordnet Kiese, Geschiebelehm/-mergel) der Weichsel-Kaltzeit sowie glazifluviale Ablagerungen

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

(Sand, untergeordnet Kies) und glazigene Ablagerungen Till der Grundmoränen und Endmoränen (Schluff, tonig, sandig, kiesig; Geschiebelehm/Geschiebemergel) des Saale-Komplex an.

Die nachfolgenden Schichten wurden durch die Erkundungsbohrungen im Bereich der Erdkabeltrasse aufgeschlossen. Die kompletten Schichtenverzeichnisse der Aufschlüsse sind in /2/ enthalten und können dort bei Bedarf eingesehen werden.

Oberboden (Mutterboden)

- Schichtmächtigkeit zwischen 0,1 m bis 0,6 m
- Schichtunterkante zwischen 0,1 m bis 0,6 m u. GOK
- Grob bis gemischtkörnige Böden mit humosen Beimengungen

Aufschüttungen

- vereinzelt unter dem Oberboden (BS 74 - Stat. +6,648 und BS 87 Stat. + 8,652)
- Schichtmächtigkeit 0,1 m bis 1,2 m
- Schichtunterkante 0,4 m bis 1,2 m u. GOK
- gemischtkörniger Sand sowie Schluff-/Sandgemische, vereinzelt Ziegelreste

Sand

- Schichtmächtigkeit zwischen 0,5 m bis 7,5 m (deutliche Schwankungen)
- Schichtunterkante 0,6 m bis 8,0 m u. GOK
- vorwiegend Mittelsand mit feinkörnigen Anteilen, im gesamten Trassenverlauf breites Spektrum von Feinsanden über Mittel- bis Grobsande bis zu Kiesen mit unterschiedlich hohen Anteilen an Schluff, Fein-, Mittel- und Grobsand

Geschiebeböden

- Schichtmächtigkeit 0,4 m bis 6,5 m (erbohrt)
- Schichtunterkante 0,9 m bis 8,0 m u. GOK (erbohrt)
- Geschiebeboden unterhalb bzw. den Sanden zwischengelagert
- in den „oberen Bereichen“ als Geschiebelehm (natürliche Entkalkung) bzw. in den „tieferen Bereichen“ als Geschiebemergel, tonige Schluff-/Sand-/Kiesgemische, die vorwiegend unterschiedlich hohe Anteile an Sand sowie teilweise Sandbänder aufweisen

Schluff

- Schichtmächtigkeit zwischen 0,2 m bis 1,2 m
- Schichtunterkante zwischen 3,0 m und 6,5 m u. GOK
- tonige Schluff-/Feinsandgemische, lokal mit humosen und organischen Bestandteilen, vereinzelt mit Pflanzenresten

Organische Böden

- im Trassenbereich in unterschiedlichen Tiefen und Mächtigkeiten angetroffen
- BS 1 bis BS 3 - Stat. +0,012 bis +0,109, zwischen 4,2 m bis 6,9 m u. GOK
- BS 15 bis BS 16 - Stat. +1,236 bis +1,292, zwischen 0,3 m bis 3,0 m u. GOK
- BS 40 bis BS 45 - Stat. +3,433 bis +3,673, zwischen 4,5 m bis 7,6 m u. GOK
- BS 62 - Stat. +5,240, zwischen 2,6 m bis 3,1 m u. GOK
- Torf und Mudde, Bodenarten die unterschiedlich hohe humose/organische und mineralische Anteile sowie teilweise Sandbänder und Schluffbänder aufweisen

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

2.3.2 Hydrogeologie/Grundwasser

Die Ergebnisse der Aufschlüsse und die daraus erstellten geotechnischen Längsschnitte in /2/ lassen erkennen, dass im Bereich der Trasse bis zur relevanten Einbindetiefe der Baugruben in den meisten Abschnitten ein fast homogener, oberflächennaher Grundwasserleiter ausgebildet ist. Im Rahmen der Rammkernsondierbohrungen wurden Wasserstände zwischen 0,3 m bis 7,9 m u. GOK bzw. „kein Wasser“ festgestellt. Nach /2/ ist allgemein von Grundwasser sowie Schichtenwasser auszugehen, welches sich in den Sanden relativ frei bewegen und über bindigen Schichten aufstauen kann. Jahreszeitlich- und witterungsbedingt sind jedoch Schwankungen des Wasserstandes im Dezimeterbereich möglich. In Bereichen mit oberflächennahem Wasserstand von <0,4 m u. GOK und oberflächennah anstehenden Geschiebeböden mit aufstauendem Schichtenwasser kann ein Aufstau bis über die Geländeoberkante möglich sein.

Die im Zuge der Baugrunduntersuchung /2/ für die einzelnen Abschnitte gemessenen Wasserstände, die Klassifizierung nach Grund- und Schichtenwasser sowie die aus der Kornverteilung ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Relevante Ergebnisse der Baugrunduntersuchung aus /2/

Abschnitt	Station		Durchlässigkeit k_r [m/s]		Wasserstand [m u. GOK]		Wassereinwirkung		
	V: Vortrieb	G: Graben	Start km	End km	min	max		min	max
V	1		0,012	0,109	2,00E-05	7,80E-04	0,55	1,3	Grundwasser
G		1	0,109	0,599	4,70E-04	5,20E-04	0,97	kein Wasser	Grundwasser an BS 4, Stauwasser
V	2		0,599	0,724	1,40E-04	1,40E-04	0,5	1,25	Grundwasser
G		2	0,724	1,076	1,90E-04	3,80E-04	0,5	0,9	Grundwasser
V	3		1,076	1,536	1,90E-04	1,90E-04	0,9	1,35	Grundwasser
G		4	1,536	2,533	1,50E-04	1,90E-04	0,8	1,4	Grundwasser
V	4		2,533	2,633	1,50E-04	5,60E-05	1,4	7,5	Grundwasser
G		5	2,633	2,828	5,60E-05	5,60E-05	7,5	<8,0	Grundwasser
V	5		2,828	2,856	1,20E-05	1,20E-05	7,9	<8,0	Grundwasser
G		6	2,865	3,172	6,40E-05	6,40E-05	3,3	7,9	Grundwasser
V	6		3,172	3,687	8,60E-06	5,30E-05	0,83	1,3	Grundwasser
V	7		3,713	4,011	9,10E-05	9,10E-05	1,3	<8,0	Grundwasser
G		7	4,011	5,068	1,00E-05	1,00E-05	2,7	<4,0	Grundwasser, Stauwasser
V	8		5,068	5,102	1,00E-05	1,00E-05	2,6	2,7	Grundwasser
G		8	5,102	5,425	1,00E-05	1,00E-05	2,1	2,7	Stauwasser an BS 63 möglich
V	9		5,425	5,459	1,00E-05	1,00E-05	5,3	6,05	Stauwasser an BS 63 möglich
G		9	5,459	5,954	7,20E-05	7,20E-05	2,7	5,3	Stauwasser an BS 66 möglich
V	10		5,954	5,984	5,80E-05	7,20E-05	2,15	2,7	Grundwasser

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Abschnitt		Station		Durchlässigkeit k_r [m/s]		Wasserstand [m u. GOK]		Wassereinwirkung
		Start km	End km	min	max	min	max	
V: Vortrieb	G: Graben							
G	10	5,984	6,138	5,80E-05	8,80E-05	0,48	2,14	Grundwasser
V	11	6,138	6,178	5,80E-05	8,80E-05	0,48	0,7	Grundwasser
G	11	6,178	6,641	4,80E-05	8,80E-05	0,55	2,2	Grundwasser
V	12	6,641	6,676	1,00E-05	1,00E-05	2,2	2,75	Grundwasser
G	12	6,676	7,234	4,60E-05	4,80E-05	0,8	2,75	Grundwasser
V	13	7,234	7,265	4,80E-05	4,80E-05	0,8	0,8	Grundwasser
G	13	7,265	8,013	4,80E-05	1,00E-04	0,3	1,4	Grundwasser bis an GOK möglich
V	14	8,013	8,107	1,00E-04	2,10E-04	0,3	0,6	Grundwasser bis an GOK möglich
G	14	8,107	8,333	1,30E-04	2,10E-04	0,3	0,8	Grundwasser bis an GOK möglich
V	15	8,333	8,380	1,30E-04	1,50E-04	0,8	0,3	Grundwasser bis an GOK möglich
G	15	8,380	10,199	1,50E-04	2,50E-04	0,25	1,4	Grundwasser bis an GOK möglich
V	16	10,199	10,235	2,50E-04	2,50E-04	0,7	0,7	Grundwasser
G	16	10,235	11,051	1,50E-04	4,20E-04	0,4	0,65	Grundwasser
V	17	11,051	11,079	4,20E-04	4,20E-04	0,6	0,6	Grundwasser

Im Abschnitt Graben (G17) km 11,079 – 12,156 wurden bisher keine Baugrunduntersuchungen durchgeführt. Für diesen Bereich werden Annahmen (Worst Case) für die Berechnungen getroffen.

Die hydraulische Durchlässigkeit der bei der Erkundung angetroffenen Schichten kann wie folgt zusammengefasst werden und bildet eine wichtige Eingangsgröße für die Wasserhaltungsberechnungen. Die in Tabelle 2 aufgeführten Spannen der Durchlässigkeitsbeiwerte für die Schichten beruhen auf den Ergebnissen der Untersuchungen sowie auf Erfahrungswerten /2/.

Tabelle 2: Wasserdurchlässigkeit der angetroffenen Schichten /2/

Bodenart	Durchlässigkeitsbeiwert k_r [m/s]
Aufschüttungen	$1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-4}$
Sand	$1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-4}$ ($2,0 \cdot 10^{-5} \dots 7,8 \cdot 10^{-4}$)*
Geschiebeböden	$1 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^{-5}$ ($4,0 \cdot 10^{-8} \dots 1,0 \cdot 10^{-6}$)*
Schluff	$1 \cdot 10^{-9} \dots 1 \cdot 10^{-7}$
Organische Böden (Torfe und Mudden)	$1 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^{-5}$

* im Erdbaulabor ermittelt

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Für die Baumaßnahme der Kabeltrasse ist bei den Erdarbeiten vor allem in den Sanden mit einem höheren Wasserzufluss zu rechnen. Dagegen ist der bindig und gering durchlässig ausgeprägte Geschiebelehm/-mergel vor allem oberflächennah als gering ergiebiger Aquifer mit wenig Grundwasserbewegung zu betrachten. Allerdings ist in den Geschiebeböden mit Sandlagen/-bänder zu rechnen, die somit eine höhere Durchlässigkeit und eine bessere Wasserwegsamkeit in diesen bewirken können. Dies ist für die Baumaßnahme zu beachten.

Versickerungsfähigkeit der anstehenden Schichten

Die geotechnischen Untersuchungen zum Baugrund und die Ermittlung der hydraulische Durchlässigkeit der bei der Erkundung angetroffenen Schichten /2/ entlang der Kabeltrasse bilden die Grundlage bezüglich der Versickerungsfähigkeit der anstehenden Böden und Untergrundschichten.

Gemäß DIN 18130-1 wird die Versickerungsfähigkeit (Wasserdurchlässigkeit, k_f -Wert) von Böden wie folgt eingeteilt:

- Sehr stark durchlässig: $k_f > 10^{-2}$ m/s
- Stark durchlässig: $k_f 10^{-2} - 10^{-4}$ m/s
- Durchlässig: $k_f 10^{-4} - 10^{-6}$ m/s
- Schwach durchlässig: $k_f 10^{-6} - 10^{-8}$ m/s
- Sehr schwach durchlässig: $k_f < 10^{-8}$ m/s

Je größer der k_f -Wert, desto besser ist die Versickerungsfähigkeit.

Die Versickerungsfähigkeit der anstehenden Böden/Schichten liegt in einem durchlässig bis stark durchlässigen Bereich von $k_f 9 \cdot 10^{-6}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Die vorgesehenen Flächen können somit als versickerungsfähig eingeschätzt werden.

2.4 Beseitigung von Wässern aus Wasserhaltungsanlagen

2.4.1 Allgemeines

Während der Bauausführungsarbeiten werden zur Gewährleistung von trockenen Baugruben temporäre Wasserhaltungsmaßnahmen (Grundwasserabsenkung) erforderlich.

Das temporäre Entnehmen, Zutagefördern und Ableiten von Grundwasser einerseits und das Einleiten von Grundwasser in oberirdische Gewässer gemäß § 3 Nummer 1 WHG andererseits stellen jeweils für sich genommen Benutzungen von Gewässern im Sinne des § 9 WHG in Verbindung mit § 14 Nummer 3 LWG dar. Für das Vorhaben notwendige wasserrechtliche Zulassungsentscheidungen werden hiermit beantragt.

Hiervon unberührt bleiben die privatrechtlich erforderlichen Gestattungen zur Benutzung von Grundstücken sowie die einschlägige Satzung der betroffenen Wasser- und Bodenverbände.

2.4.2 Verfahren Wasserhaltung

Grundsätzlich gibt es unterschiedliche Verfahren zur Absenkung des Grundwasserspiegels bei der Herstellung von Baugruben. Die Abbildung 2 zeigt schematisch die verschiedenen Grundprinzipien der Grundwasserabsenkungen zur Trockenhaltung von Baugruben.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Das technisch einfachste Verfahren zur Entwässerung ist die **offene Wasserhaltung** in einer geböschten bzw. einer mittels Verbau gesicherten Baugrube. Das anfallende Grundwasser wird im Pumpensumpf gesammelt und mittels Schmutzwasser-Tauchpumpe über Schlauchleitungen der Vorflut zugeführt oder flächenhaft versickert. Alternativ zur offenen Wasserhaltung kann die Entwässerung der Baugrube auch mit Hilfe einer **geschlossenen Wasserhaltung** durchgeführt werden. Dabei erfolgt die Grundwasserabsenkung in der Baugrube durch Wasserentnahme über Brunnen/Vakuumanlagen, welche um die Baugrube angeordnet werden, aus dem Aquifer.

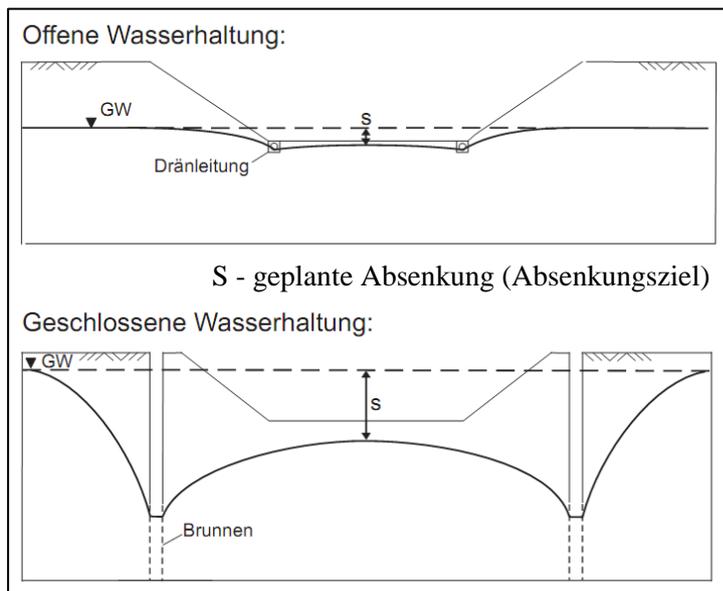


Abbildung 2: Arten der Grundwasserhaltung /4/

2.4.3 Abgeleitete wasserwirtschaftliche Maßnahmen

Generell ist zur Fassung von Niederschlags- und Sickerwasser in den Baugruben der Baumaßnahmen eine offene Wasserhaltung vorzuhalten. Kleinere anfallende Wassermengen können im Arbeitstreifen, an denen keine Bautätigkeit stattfindet, versickert werden. In der Tabelle 3 (Erdkabeltrasse) und der (Muffen) sind die Bereiche für eine notwendige temporäre Wasserhaltung zur Gewährleistung einer trockenen Baugrube ausgewiesen. Die abgeleiteten Standorte für die Wasserhaltungsmaßnahmen (WH) sind in den Lageplänen im Anhang 2 dargestellt. Für den Kabelgraben und die Muffengruben betrifft dies vor allem solche Abschnitte, bei welchen während der Erkundung /2/ Grundwasserstände über bzw. im Bereich der geplanten Kabelverlegetiefe (1,50 m Tiefe bei offener Bauweise) angetroffen wurden. Für den Kabelgraben, offene Bauweise, reicht dabei jeweils der ggf. notwendige Wasserhaltungsabschnitt von HDD-Bohrung zu HDD-Bohrung (in der Tabelle als Vortrieb bezeichnet), wobei dieser in Bauabschnitte von etwa 150 m unterteilt wird und für die Wasserentnahme jeweils eine Einleitstelle bzw. Versickerungsfläche geplant ist.

Um Gräben und Baugruben mit diesen Voraussetzungen trocken zu legen, ist damit ein geschlossenes Verfahren zur Wasserhaltung im Bereich von Baugruben und Gräben anzuwenden. Um eine Grundwasserabsenkung zu erreichen, kann die geschlossene Wasserhaltung mittels Brunnen zur Grundwasserabsenkung durchgeführt werden. Zur Trockenhaltung einer Baugrube werden im Regelfall bei einer geschlossenen Wasserhaltung nicht Einzelbrunnen, sondern Mehrbrunnenanlagen eingesetzt, wobei die Brunnen um die Baugrube angeordnet werden.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Für die geplanten Vortriebstrassen mittels HDD-Bohrungen werden keine Wasserhaltungsmaßnahmen vorgesehen. Für Baugruben und für die Leitungsgräben ist zur Fassung und Abführung von ggf. anfallendem Niederschlags- und Sickerwasser eine offene Wasserhaltung vorzuhalten.

Tabelle 3: Wasserwirtschaftliche Maßnahmen Erdkabeltrasse

Station		Baumaßnahme (Baugrube)	Wasserstand [m u. GOK] /2/		Wasserhaltung (WH)
Start km	End km		min	max	
0,012	0,109	Vortrieb	0,55	1,3	
0,109	0,599	Graben	0,97	kein Wasser	WH 1
0,599	0,724	Vortrieb	0,5	1,25	
0,724	1,076	Graben	0,5	0,9	WH 2
1,076	1,536	Vortrieb	0,9	1,35	
1,536	2,533	Graben	0,8	1,4	WH 3
2,533	2,633	Vortrieb	1,4	7,5	
2,633	2,828	Graben	7,5	<8,0	
2,828	2,856	Vortrieb	7,9	<8,0	
2,865	3,172	Graben	3,3	7,9	
3,172	3,675	Vortrieb	0,83	1,3	
3,675	3,714	Graben	2,0	2,6	
3,714	3,991	Vortrieb	1,3	<8,0	
3,991	5,048	Graben	2,7	<4,0	
5,048	5,082	Vortrieb	2,6	2,7	
5,082	5,405	Graben	2,1	2,7	
5,405	5,439	Vortrieb	5,3	6,05	
5,439	5,934	Graben	2,7	5,3	
5,934	5,964	Vortrieb	2,15	2,7	
5,964	6,118	Graben	0,48	2,14	WH 4
6,118	6,158	Vortrieb	0,48	0,7	
6,158	6,628	Graben	0,55	2,2	WH 5
6,628	6,656	Vortrieb	2,2	2,75	
6,656	7,214	Graben	0,8	2,75	WH 6
7,214	7,245	Vortrieb	0,8	0,8	
7,245	7,993	Graben	0,3	1,4	WH 7
7,993	8,087	Vortrieb	0,3	0,6	
8,087	8,313	Graben	0,3	0,8	WH 8
8,313	8,360	Vortrieb	0,8	0,3	
8,360	10,179	Graben	0,25	1,4	WH 9
10,179	10,215	Vortrieb	0,7	0,7	
10,215	11,031	Graben	0,4	0,65	WH 10
11,031	11,059	Vortrieb	0,6	0,6	
11,059	12,156	Graben	ca. 0,5	ca. 0,5	WH 11

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek
Tabelle 4: Wasserwirtschaftliche Maßnahmen Muffen

Station	Baumaßnahme	Wasserstand /2/	Wasserhaltung (WH)
[km]	(Baugrube)	[m u. GOK]	
0,734	Muffe 1	0,5	WH-M 1
1,536	Muffe 2	1,3	WH-M 2
2,262	Crossbonding Muffe 3	0,9	WH-M 3
2,640	Muffe 4	7,5	
3,162	Muffe 5	3,3	
3,991	Crossbonding Muffe 6	7,9	
4,682	Muffe 7	ca. 3,0	
5,395	Muffe 8	6,1	
5,934	Crossbonding Muffe 9	2,7	
6,621	Muffe 10	2,2	
7,380	Muffe 11	1,4	WH-M 11
7,997	Crossbonding Muffe 12	0,3	WH-M 12
8,714	Muffe 13	0,3	WH-M 13
9,490	Muffe 14	ca. 1,0	WH-M 14
10,220	Crossbonding Muffe 15	0,7	WH-M 15
10,832	Muffe 16	0,6	WH-M 16
11,554	Muffe 17	ca. 0,5	WH-M 17

Da der genaue bauzeitliche Ablauf für die Errichtung der Abschnitte der Erdkabeltrasse und Muffengruben noch nicht feststeht, wurde für einen Bauabschnitt von 150 m offener Graben sowie für die Herstellung einer Muffengrube eine Bauzeit von jeweils 1 Monat (30 Tage) angenommen und bei den jeweiligen Berechnungen verwendet.

2.4.4 Notwendigkeit der Beseitigung von Niederschlagswasser

Niederschlagswasser ist dann zu beseitigen, wenn es in Form von Oberflächenabfluss in den Baugruben bzw. Leitungsgräben und deren unmittelbarem Umfeld anfällt, die Ausführung der Arbeiten behindert oder während der Baumaßnahmen zu Schäden führen kann, sodass prinzipiell über die gesamte zu betrachtende Länge eine offene Wasserhaltung für die Ableitung von Niederschlägen vorzuhalten ist.

Dabei kann es sich um Abflüsse handeln, welche durch die Veränderung aufgrund der Baumaßnahme selbst zusätzlich zu den normalen Abflüssen auf der Fläche entstehen, z. B. auf versiegelten oder verdichteten Flächen (Zuwegungen, Stellflächen, Rampen usw.). Ebenfalls zu beseitigen sind Abflüsse, welche im Anstrom oder Umfeld der Baustelle als Folge von Starkniederschlägen, Schneeschmelze oder bei Niederschlägen auf gesättigtem oder gefrorenem Boden gebildet werden und der Baustelle zufließen, sofern sie sich innerhalb der Baugrubengeometrie sammeln und nicht im Untergrund versickern oder verdunsten.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Ausschlaggebend für die Ermittlung der Niederschlagsabflussmenge sind die regionalen Starkniederschlagsangaben der Anwendung KOSTRA-DWD 2020. Bei dem am häufigsten angewandten Zeitbewertungsverfahren gemäß Abschnitt 5.4.1.1 DWA-A 118 /5/ erfolgt die Ermittlung des maßgeblichen Regenabflusses Q_R mit nachfolgender Formel:

$$Q_R = r_{D,n} \cdot A_{E,k} \cdot \psi_s$$

wobei gilt:	Q_R	Niederschlagswasserabfluss in l/s
	$r_{D,n}$	Regenspende in Abhängigkeit von Dauer und Häufigkeit n in l/(s·ha), hier D = 15 min und n = 1 Jahr
	$A_{E,k}$	Fläche des kanalisierten Einzugsgebietes (hier: zu entwässernde Arbeitsfläche) in ha
	ψ_s	Spitzenabflussbeiwert gemäß Tabelle 6 DWA-A 118 /5/

Gemäß den Angaben nach KOSTRA-DWD 2020 werden für die Berechnung folgende Werte angesetzt. Die Trassenführung betrifft dabei die Zeilen 73 (Hardebek), 74 (Wiemersdorf) und 75 (Bad Bramstedt) in Spalte 142 der Anwendung.

$$r_{D,n} = 97,8 \text{ l/(s·ha)} \quad (\text{Hardebek, Wiemersdorf, Bad Bramstedt})$$

$$\psi_s = 0,5$$

Es wird pauschal eine abflusswirksame Breite von 20 m zu Grunde gelegt, worin neben der Baugrube, den Böschungen und den Entnahmebrunnen auch noch eine temporäre Baustraße Berücksichtigung findet. Somit gilt pro Meter Baugrube bzw. Graben überschlägig $A_{E,k}$ mit 20 m² bzw. 0,002 ha.

Infolge der beschriebenen Festlegungen ergibt sich die spezifische maximale Abflussspende aus Niederschlägen je Meter offene Baugrube zu:

$$Q_R = 97,8 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}} \cdot 0,002 \text{ ha} \cdot 0,5 = 0,1 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Dieser Wert sollte für die Trasse angesetzt werden und bietet gleichermaßen noch genügend Sicherheit für die anzulegenden Muffenbaugruben.

Es wird zudem darauf hingewiesen, dass es sich bei einer Bauzeit von <1 Jahr um ein statistisch einmaliges Ereignis handelt, sodass nur ein anteilig kleiner, gerade geöffneter, Flächenabschnitt der Gesamtmaßnahme hiervon betroffen ist. Nimmt man eine zu berücksichtigende Strecke von max. 150 m für die Ableitung von Starkregenwässern an, so ergibt sich für D = 15 Minuten bzw. 900 Sekunden eine über die Wasserhaltung zu fassende Starkniederschlagsmenge von $Q_{R,ges.} = 13,5 \text{ m}^3$.

Die während der Bauzeit (1 Monat) anteilig anfallende Niederschlagsmenge, welche außerhalb von Starkregenereignissen durch Wasserhaltungsanlagen von Baugruben abzuleiten ist, lässt sich nur grob überschlägig abschätzen. Das Verhältnis von Abflusshöhe zur jährlichen Niederschlagshöhe bei befestigten Flächen und flach geneigtem Gelände (Verh-A-N) beträgt erfahrungsgemäß etwa 51 %. Der langjährige mittlere Jahresniederschlag (N_{ma}) im Bereich der geplanten Maßnahme beträgt gemäß

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

DWD (Station Wittenborn, vieljähriger Mittelwert 1991 - 2020) etwa 844 mm/a. Für die Berechnung der in der Baugrube (Standzeit ca. 1 Monat) ergibt sich:

Spezifischer jährlicher Abfluss $q_{R,ges.a}$ von befestigten Flächen

$$q_{R,ges.a} = 844 \text{ mm/a} \cdot 51 \%$$

$$q_{R,ges.a} = 0,43 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Befestigte Fläche A_u

$$A_u = (20 \text{ m} \cdot 150 \text{ m})$$

$$A_u = 3.000 \text{ m}^2$$

Anteilige Niederschlagswassermenge $Q_{R,ges}$

$$Q_{R,ges} = 1/12 \text{ a} \cdot q_{R,ges.a} \cdot A_u$$

$$Q_{R,ges} = 1/12 \text{ a} \cdot 0,43 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \cdot 3.000 \text{ m}^2$$

$$Q_{R,ges} = 107,5 \text{ m}^3$$

Nach DWA-A 118 resultiert ein Oberflächenabfluss aus Starkniederschlag von $Q_R = 13,5 \text{ m}^3$ für die abflussrelevante und befestigte Arbeits- und Baugrubenfläche auf einer Länge von 150 m. Unter der Annahme einer voraussichtlichen Standzeit der Baugrube von maximal 1 Monat ergibt sich zudem eine jahresanteilig in einem Baugrubenabschnitt von 150 m zu fassende Niederschlagswassermenge von 107,5 m³. Über die Erdkabeltrasse im **offenen Grabenbau** von etwa 10,14 km errechnen sich nahezu $Q_{R,ges} \approx 7.270 \text{ m}^3$ bzw. $10,1 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. $2,8 \text{ l/s}$. Für die geplanten Vortriebsabschnitte mittels **HDD-Bohrungen** werden keine Maßnahmen zur Fassung Niederschlägen erforderlich.

Tabelle 5: Niederschlagsabflussmenge Muffengruben aus Starkniederschlag

Baumaßnahme	Länge	Breite	$A_{E,k}$	$r_{D,n}$	Ψ_s	Q_R	D	$Q_{R,ges.}$
	[m]	[m]	[ha]	[l/(s·ha)]		[l/s]	[s]	[m ³]
Muffengruben	10	10	0,010	97,8	0,5	0,49	900	0,44

Nach DWA-A 118 resultiert ein Oberflächenabfluss aus Starkniederschlag von $Q_R = 0,5 \text{ l/s}$ für die abflussrelevanten und Baugrubenfläche der Muffengruben. Daraus ergibt sich für $D = 15$ Minuten bzw. 900 Sekunden eine über die Wasserhaltung maximal zu fassende Starkniederschlagsmenge von $Q_{R,ges.} = 0,44 \text{ m}^3$ (1 Muffengrube) bzw. $Q_{R,ges.} = 7,5 \text{ m}^3$ (Gesamtmenge für 17 Muffengruben).

Tabelle 6: Niederschlagsabflussmenge Muffengruben (Bauzeit 1 Monat)

Baumaßnahme	Länge	Breite	A_u	N_{ma}	Verh-A-N	$q_{R,ges.a}$	D	$Q_{R,ges.}$
	[m]	[m]	[m ²]	[mm/a]	[%]	[m ³ /(m ² ·a)]	[mon]	[m ³]
Muffengruben	10	10	100	844	51	0,43	1	3,59

Unter der Annahme einer voraussichtlichen Standzeit der Baugrube von maximal 1 Monat, ergibt sich eine anteilig in der Baugrube zu fassende Niederschlagswassermenge von $Q_{R,ges} = 3,59 \text{ m}^3$ (1 Muffengrube) bzw. $Q_{R,ges} = 61 \text{ m}^3$ (Gesamtmenge für 17 Muffengruben).

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek
2.4.5 Ermittlung der temporär anfallenden Wassermengen

Nachfolgend werden diejenigen Bereiche der Trasse ausgeführt, für welche mit flurnahen Wasserständen und daher mit einer Wasserhaltung während der Bauphase zu rechnen ist bzw. diese nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann (siehe Tabelle 7 sowie Anhang 2).

Tabelle 7: Identifizierte Wasserhaltungsstrecken

Wasserhaltung (WH)	Station		Baumaßnahme	Länge	Breite	Tiefe
	Start km	End km	(Baugrube)	[m]	[m]	[m]
Kabelgraben						
WH 1	0,109	0,599	Graben	490	2	1,50
WH 2	0,724	1,076	Graben	352	2	1,50
WH 3	1,536	2,533	Graben	997	2	1,50
WH 4	5,964	6,118	Graben	154	2	1,50
WH 5	6,158	6,628	Graben	470	2	1,50
WH 6	6,656	7,214	Graben	558	2	1,50
WH 7	7,245	7,993	Graben	748	2	1,50
WH 8	8,087	8,313	Graben	226	2	1,50
WH 9	8,360	10,179	Graben	1.819	2	1,50
WH 10	10,215	11,031	Graben	816	2	1,50
WH 11	11,059	12,156	Graben	1.097	2	1,50
Muffen						
WH-M 1	0,734		Muffe 1	10	10	1,50
WH-M 2	1,536		Muffe 2	10	10	1,50
WH-M 3	2,262		Crossbonding Muffe 3	10	10	1,50
WH-M 11	7,380		Muffe 11	10	10	1,50
WH-M 12	7,997		Crossbonding Muffe 12	10	10	1,50
WH-M 13	8,714		Muffe 13	10	10	1,50
WH-M 14	9,490		Muffe 14	10	10	1,50
WH-M 15	10,220		Crossbonding Muffe 15	10	10	1,50
WH-M 16	10,832		Muffe 16	10	10	1,50
WH-M 17	11,554		Muffe 17	10	10	1,50

Zur Berechnung des stationären Wasserandranges in einem beliebigen vollkommenen Brunnen gilt unter Lockergesteinsbedingungen bei ungespanntem Grundwasser nach Dupuit–Thiem allgemein $3/3$:

$$Q = \frac{\pi * k_f * (H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}$$

- mit Q Wasserandrang in m³/s (entspricht Förderleistung)
k_f Durchlässigkeitsbeiwert in m/s
H Mächtigkeit des Grundwasserleiters in m

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

- h abgesenkte Mächtigkeit des Grundwasserleiters in m (es gilt $h = H - s$)
- R Reichweite in m
- r effektiver Brunnenradius in m

Für kleinere Absenkungen und langgestreckte Baugruben (d. h. Gräben) erfolgt eine Korrektur nach WEYRAUCH /3/:

$$Q = \pi \cdot k_f \cdot (H^2 - h^2) \cdot \left(2 \frac{r_E}{R} + 0,25\right)$$

Für den jeweils zu erwartenden Wasserandrang werden folgende Annahmen hinsichtlich eines ungünstigen (Worst-Case) und somit sicheren Betriebszustandes getroffen:

- Die grundwassererfüllte Mächtigkeit H wird entsprechend der Differenz zwischen Erkundungstiefe (8 m unter Gelände) und dem Bauwasserspiegel von 2,0 m u. GOK auf 6,0 m festgelegt. Eine anschließende Optimierung dieser Annahme wurde softwareseitig durchgeführt.
- Die Durchlässigkeit k_f ergibt sich aus den durchgeführten Laboruntersuchungen zur Kornverteilung. Dem vor Ort vorwiegend angetroffenen Mittelsand wird der Durchlässigkeitsbeiwert gemäß Tabelle 2 zugeordnet. Die jeweils angesetzte Höchstdurchlässigkeit gilt als maßgebend für die Berechnungen.
- Neben der Mindestentwässerungstiefe bis zur Baugrubensohle liegt den Berechnungen ein Sicherheitszuschlag z in Höhe von 0,50 m zugrunde.
- Das notwendige Absenkungsziel s ergibt sich aus der Differenz zwischen Bauwasserspiegel und geplanter Baugrubensohle, erhöht um den Sicherheitszuschlag z.
- Der Ersatzbrunnenradius r resultiert aus der Baugrubendimensionierung und errechnet sich zu

$$r = \sqrt{\frac{\text{Fläche [m}^2\text{]}}{\pi}}$$

- Die Reichweite R wird im Allgemeinen nach SICHARDT berechnet:

$$R = 3000 * s * \sqrt{k_f} \quad \text{bzw.} \quad 3000 * (H - h) * \sqrt{k_f}$$

Tabelle 8: Eingangsdaten der Wasserhaltungen

Wasserhaltung (WH)	Station		Wasserstand	Baugrubensohle	Absenkziel	Durchlässigkeit
	Start km	End km	[m u. GOK]	[m u. GOK]	[m u. GOK]	K_f [m/s]
Kabelgräben						
WH 1	0,109	0,599	1,0	1,5	2,0	5,0E-04
WH 2	0,724	1,076	0,5	1,5	2,0	4,0E-04
WH 3	1,536	2,533	0,8	1,5	2,0	2,0E-04

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Wasserhaltung (WH)	Station		Wasserstand	Baugrubensohle	Absenkziel	Durchlässigkeit
	Start km	End km	[m u. GOK]	[m u. GOK]	[m u. GOK]	K _f [m/s]
WH 4	5,964	6,118	0,5	1,5	2,0	9,0E-05
WH 5	6,158	6,628	0,5	1,5	2,0	9,0E-05
WH 6	6,656	7,214	0,8	1,5	2,0	5,0E-05
WH 7	7,245	7,993	0,5	1,5	2,0	1,0E-04
WH 8	8,087	8,313	0,3	1,5	2,0	2,0E-04
WH 9	8,360	10,179	0,3	1,5	2,0	2,5E-04
WH 10	10,215	11,031	0,5	1,5	2,0	4,0E-04
WH 11	11,059	12,156	0,5	1,5	2,0	4,0E-04
Muffen						
WH-M 1	0,734		0,5	1,5	2,0	1,4E-04
WH-M 2	1,536		1,0	1,5	2,0	1,5E-04
WH-M 3	2,262		1,0	1,5	2,0	1,5E-04
WH-M 11	7,380		1,0	1,5	2,0	5,0E-05
WH-M 12	7,997		0,3	1,5	2,0	1,5E-04
WH-M 13	8,714		0,3	1,5	2,0	1,5E-04
WH-M 14	9,490		1,0	1,5	2,0	1,5E-04
WH-M 15	10,220		0,5	1,5	2,0	2,5E-04
WH-M 16	10,832		0,5	1,5	2,0	2,5E-04
WH-M 17	11,554		0,5	1,5	2,0	2,5E-04

Ziel soll es sein eine bauzeitliche Entwässerung sicher zu gewährleisten. Die notwendigen Berechnungen für die geschlossene Wasserhaltung mittels Mehrbrunnenanlagen wurden mithilfe der Software GGU-DRAWDOWN (Version 4.10) durchgeführt.

Die Ergebnisdarstellungen im Sinne einer Vordimensionierung befinden sich in Anhang 3. Die darin enthaltenen Darstellungen umfassen die Eingangsdaten (oben links), die Berechnungsergebnisse für eine geschlossene Wasserhaltung (oben mittig) sowie die grafische Aufbereitung in Form eines schematischen Schnittes durch die Baugrube (oben rechts). Zentral zeigt sich die Draufsicht der Baugruben mit den Brunnen und den aus der Absenkung resultierenden Isohypsen. Bei den angetragenen Werten handelt es sich um die Absenkung [m] unter der Baugrubensohle. Für die Berechnung des Kabelgrabens wurde generell eine Einheitsbaugrube für einen Bauabschnitt von 150 m Länge, 2 m Breite und einer Tiefe von 1,5m verwendet. Die Teilmengenberechnung der Kabelgrabenabschnitte wurde in der Tabelle 9 auch auf die gesamte Baugrubenkontur hochgerechnet. Für die Muffengruben kam eine Einheitsbaugrube 10 m x 10 m x 1,5 m Tiefe zu Ansatz.

Die Gesamtwassermenge ergibt sich im geschlossenen Fall aus der Anzahl der Einzelbrunnen und deren jeweils möglicher Fördermenge. Die für die Absenkung mindestens erforderliche benetzte Filterstrecke wird in Tabelle 9 aufgeführt. Hieraus lässt sich die Filterunterkante ableiten. Mithilfe des Programms wurde nach Möglichkeit eine Optimierung sowohl in Bezug auf die Brunnenanzahl wie

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

auch auf deren Tiefe vorgenommen. Ebenfalls Berücksichtigung fand ein möglicher Zustrom von unten (unvollkommener Brunnen) in Höhe von 20 % und ein weiterer Aufschlag von 10 % für den Beharrungszustand.

Die Berechnungen im Hinblick auf eine geschlossene Wasserhaltung wurden mittels einer allseitig um die Baugrube angeordneten Brunnengalerie durchgeführt. Der Brunnenradius r wurde in den meisten Fällen der Kabeltrasse mit 0,058 m (DN 115) bzw. für die Muffengruben mit $r = 0,05$ m (DN 100) angesetzt. Der Brunnenabstand zum Baugrubenrand beträgt durchgängig 1,0 m. In Bezug auf die Trasse und die Muffengruben wurden die durch das Programm vorgeschlagene „Minimalvariante“ mit einer möglichst geringen Anzahl an Einzelfassungen zugrunde gelegt.

Tabelle 9: Ergebnisse der Wasserhaltungsberechnung (Grundwasser)

Wasserhaltung (WH)	Station		Länge (L)	geschlossene WH		Erf. benetzte Filterstrecke	Anzahl Brunnen
	Start km	End km	[m]	BA L=150 m Q [m³/h]	BA L gesamt Q [m³/h]	h' [m]	BA L=150 m
Kabelgraben							
WH 1	0,109	0,599	490	22,31	72,88	0,96	12
WH 2	0,724	1,076	352	38,90	91,29	1,85	12
WH 3	1,536	2,533	997	17,79	118,24	1,20	12
WH 4	5,964	6,118	154	17,50	17,97	1,76	12
WH 5	6,158	6,628	470	17,50	54,83	1,76	12
WH 6	6,656	7,214	558	11,85	44,08	1,60	12
WH 7	7,245	7,993	748	18,39	91,70	1,75	12
WH 8	8,087	8,313	226	28,64	43,15	1,12	12
WH 9	8,360	10,179	1.819	32,96	399,69	1,15	12
WH 10	10,215	11,031	816	38,90	211,62	1,85	12
WH 11	11,059	12,156	1.097	38,90	284,49	1,85	12
Muffen							
WH-M 1	0,734				10,19	1,43	8
WH-M 2	1,536				4,76	0,51	8
WH-M 3	2,262				4,76	0,51	8
WH-M 11	7,380				3,06	0,56	8
WH-M 12	7,997				7,58	0,46	10
WH-M 13	8,714				7,58	0,46	10
WH-M 14	9,490				4,76	0,51	8
WH-M 15	10,220				12,14	1,02	8
WH-M 16	10,832				12,14	1,02	8
WH-M 17	11,554				12,14	1,02	8

BA – Bauabschnitt, L – Baugrubenlänge [m]

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Folgende Reichweiten bezüglich der Wasserhaltung nach Weyrauch für langgestreckte Baugruben (d. h. Gräben) bzw. nach Sichardt berechnet.

Tabelle 10: Reichweiten der Wasserhaltung

Wasserhaltung (WH)	Station		Reichweite	Ermittlungs- grundlage
	Start km	End km	[m]	
Kabelgraben				
WH 1	0,109	0,599	200,2	Weyrauch
WH 2	0,724	1,076	222,6	Weyrauch
WH 3	1,536	2,533	142,9	Weyrauch
WH 4	5,964	6,118	111,7	Weyrauch
WH 5	6,158	6,628	111,7	Weyrauch
WH 6	6,656	7,214	83,2	Weyrauch
WH 7	7,245	7,993	117,7	Weyrauch
WH 8	8,087	8,313	162,0	Weyrauch
WH 9	8,360	10,179	181,1	Weyrauch
WH 10	10,215	11,031	222,6	Weyrauch
WH 11	11,059	12,156	222,6	Weyrauch
Muffen				
WH-M 1	0,734		53,2	Sichardt
WH-M 2	1,536		36,7	Sichardt
WH-M 3	2,262		36,7	Sichardt
WH-M 11	7,380		21,2	Sichardt
WH-M 12	7,997		62,5	Sichardt
WH-M 13	8,714		62,5	Sichardt
WH-M 14	9,490		36,7	Sichardt
WH-M 15	10,220		71,2	Sichardt
WH-M 16	10,832		71,2	Sichardt
WH-M 17	11,554		71,2	Sichardt

Es ist zu erkennen, dass die Reichweiten allesamt kleiner 230 m ausfallen, wobei die nach Weyrauch berechneten gegenüber Sichardt höhere Werte liefern.

Die in Tabelle 11 ermittelten Wasserhaltungsmengen (Grundwasser) wurden anhand der in Tabelle 9 enthaltenen Werte auf einen Bauzeitraum von jeweils 30 Tagen bezogen. Die Wasserhaltungsmengen (Grundwasser) werden sowohl für einen 150 m Bauabschnitt als auch für die gesamte Bauabschnittslänge angeben.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek
Tabelle 11: Anfallende Wassermengen (Grundwasser) über einen Zeitraum von 30 Tagen

Wasserhaltung (WH)	Station		geschlossene Wasserhaltung (Grundwasser)			
	Start km	End km	Länge (L) Bauabschnitt [m]	Q _{BA-L150m} [m ³]	Länge (L) gesamt [m]	Q _{Lgesamt} [m ³]
Kabelgraben						
WH 1	0,109	0,599	150	16.063	490	52.473
WH 2	0,724	1,076	150	28.008	352	65.725
WH 3	1,536	2,533	150	12.809	997	85.136
WH 4	5,964	6,118	150	12.600	154	12.936
WH 5	6,158	6,628	150	12.600	470	39.480
WH 6	6,656	7,214	150	8.532	558	31.739
WH 7	7,245	7,993	150	13.241	748	66.027
WH 8	8,087	8,313	150	20.621	226	31.069
WH 9	8,360	10,179	150	23.731	1.819	287.780
WH 10	10,215	11,031	150	28.008	816	152.364
WH 11	11,059	12,156	150	28.008	1.097	204.832
Muffen						
WH-M 1	0,734					7.337
WH-M 2	1,536					3.427
WH-M 3	2,262					3.427
WH-M 11	7,380					2.203
WH-M 12	7,997					5.458
WH-M 13	8,714					5.458
WH-M 14	9,490					3.427
WH-M 15	10,220					8.741
WH-M 16	10,832					8.741
WH-M 17	11,554					8.741

Bei den längsgestreckten Baugruben offener Kabelgraben (WH 1 bis WH 11) ist zudem festzuhalten, dass diese im Zuge der Berechnung in mehrere Abschnitte unterteilt werden mussten. Die anschließende Multiplikation erfolgte ohne Berücksichtigung gemeinsamer Überschneidungen, d. h. nach Absenkung eines ersten Abschnittes wurde für den unmittelbar angrenzenden Nachbarabschnitt wiederum ein unbeeinflusster Grundwasserleiter angenommen. Real wirkt sich die Absenkung im ersten Teil auch auf den Wasserandrang im zweiten aus, was zu einer Reduzierung der Gesamtmenge führt.

2.4.6 Gesamt anfallende Wassermenge in den Baugruben

Die von offenen oder geschlossenen Wasserhaltungsanlagen gefassten anteiligen Wassermengen aus Niederschlags-, Stau- und Schichtenwasser bzw. freiem Grundwasser lassen sich mit den vorhandenen Planungsgrundlagen abschätzen. Es ist davon auszugehen, dass damit zumindest im Mittel die berechneten Regenabflüsse und Grundwasserzuflüsse, die von der jeweiligen Wasserhaltungsanlage in der Baugrube gefasst und abzuleiten sind, abgedeckt werden.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Je nach Witterungsverhältnissen und Grundwasserstand kann es unterschiedlich ausgeprägt zum Anfall von Niederschlags-, Stau- und Schichtenwasser bzw. freiem Grundwasser in der Baugrube kommen. Die berechneten Wassermengen, bestehend aus Regenabfluss und Grundwasserzufluss, sind als durchschnittliche mit Unsicherheiten behaftete Richtwerte anzusehen und in **Tabelle 12** enthalten. Die tatsächlichen Zuflüsse können davon abweichen, wobei mit sehr großen Sicherheiten gerechnet wurde. In den folgenden Tabellen 12 bis 15 sind die jeweiligen maximalen Abflüsse aus der Wasserhaltungsanlage einer Baugrube (Erdkabel, Muffen) aufgeführt, welche sich aus der Summe des maximalen Regenabflusses und des maximalen Grundwasserzuflusses je nach Situation ergeben. Es werden folgende Situationen betrachtet:

0. Anfall Niederschlagswasser $\cong 0$ l/s / Anfall Grundwasser $\cong 0$ l/s
1. Anfall Niederschlagswasser > 0 l/s / Anfall Grundwasser $\cong 0$ l/s
2. Anfall Niederschlagswasser $\cong 0$ l/s / Anfall Grundwasser > 0 l/s
3. Anfall Niederschlagswasser ≥ 0 l/s / Anfall Grundwasser ≥ 0 l/s Worst Case (Summe Situation 1 und 2).

Vereinfachend und mit ausreichender Genauigkeit wird gemäß Abschnitt 2.4.5 der maximale Grundwasserzufluss verwendet. Die Regenabflüsse werden gemäß Abschnitt 2.4.4 berechnet und für die Errichtung des Kabelgrabens und Muffengruben verwendet. Unter Berücksichtigung dieser Berechnungsansätze sowie einer maximalen Betriebsdauer der Wasserhaltungsanlage von etwa einem Monat (30 Tage) kann die absolute Gesamtwassermenge, die von der Wasserhaltungsanlage der Baugrube gefasst wird (bestehend aus der gefassten Gesamtniederschlagsmenge und der gefassten Grundwassermenge), ermittelt werden. Die Gesamtwassermenge berechnet sich dabei aus dem Produkt der gefassten Gesamtwassermenge und der gesamten Betriebsdauer der Wasserhaltungsanlage. Für den Erdkabelgraben werden die Wassermengen sowohl für eine Bauabschnittslänge von 150 m (blau markiert) als auch für die jeweilige gesamte Bauabschnittslänge (orange markiert) angegeben. Die gesamte Bauabschnittslänge für einen Kabelgraben, offene Bauweise, reicht dabei jeweils von HDD-Bohrung zu HDD-Bohrung.

Tabelle 12: Wassermengen ($Q_{E, ges}$) aus Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben Erdkabeltrasse, angenommene Niederschlagsmenge: 70 mm/30d

Station		Baumaßnahme	Bauabschnitt	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Start km	End km	WH-GW	Länge [m]	$Q_{E, ges}$	$Q_{E, ges}$	$Q_{E, ges}$
0,109	0,599	Graben (WH 1)	490	351,2 m ³	52.473 m ³	52.824 m³
			150	107,5 m ³	16.063 m ³	16.171 m³
				0,15 m ³ /h 0,041 l/s	22,31 m ³ /h 6,20 l/s	
0,724	1,076	Graben (WH 2)	352	252,3 m ³	65.725 m ³	65.978 m³
			150	107,5 m ³	28.008 m ³	28.116 m³
				0,15 m ³ /h 0,041 l/s	38,90 m ³ /h 10,81 l/s	
1,536	2,533	Graben (WH 3)	997	714,5 m ³	85.136 m ³	85.850 m³
			150	107,5 m ³	12.809 m ³	12.916 m³
				0,15 m ³ /h 0,041 l/s	17,79 m ³ /h 4,94 l/s	

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Station		Baumaßnahme	Bauabschnitt	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Start km	End km	WH-GW	Länge [m]	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}
2,633	2,828	Graben	195	139,8 m ³		140 m ³
			150	107,5 m ³		108 m ³
				0,15 m ³ /h		
				0,041 l/s		
2,865	3,172	Graben	307	220,0 m ³		220 m ³
			150	107,5 m ³		108 m ³
				0,15 m ³ /h		
				0,041 l/s		
3,675	3,714	Graben	39	28,0 m ³		28 m ³
			150	107,5 m ³		108 m ³
				0,15 m ³ /h		
				0,041 l/s		
3,991	5,048	Graben	1.057	757,5 m ³		758 m ³
			150	107,5 m ³		108 m ³
				0,15 m ³ /h		
				0,041 l/s		
5,082	5,405	Graben	323	231,5 m ³		232 m ³
			150	107,5 m ³		108 m ³
				0,15 m ³ /h		
				0,041 l/s		
5,439	5,934	Graben	495	354,8 m ³		355 m ³
			150	107,5 m ³		108 m ³
				0,15 m ³ /h		
				0,041 l/s		
5,964	6,118	Graben (WH 4)	154	110,4 m ³	12.936 m ³	13.046 m ³
			150	107,5 m ³	12.600 m ³	12.708 m ³
				0,15 m ³ /h	17,50 m ³ /h	
				0,041 l/s	4,86 l/s	
6,158	6,628	Graben (WH 5)	470	336,8 m ³	39.480 m ³	39.817 m ³
			150	107,5 m ³	12.600 m ³	12.708 m ³
				0,15 m ³ /h	17,50 m ³ /h	
				0,041 l/s	4,86 l/s	
6,656	7,214	Graben (WH 6)	558	399,9 m ³	31.739 m ³	32.139 m ³
			150	107,5 m ³	8.532 m ³	8.640 m ³
				0,15 m ³ /h	11,85 m ³ /h	
				0,041 l/s	3,29 l/s	
7,245	7,993	Graben (WH 7)	748	536,1 m ³	66.027 m ³	66.564 m ³
			150	107,5 m ³	13.241 m ³	13.348 m ³
				0,15 m ³ /h	18,39 m ³ /h	
				0,041 l/s	5,11 l/s	
8,087	8,313	Graben (WH 8)	226	162,0 m ³	31.069 m ³	31.231 m ³
			150	107,5 m ³	20.621 m ³	20.728 m ³
				0,15 m ³ /h	28,64 m ³ /h	
				0,041 l/s	7,96 l/s	
8,360	10,179	Graben (WH 9)	1.819	1.303,6 m ³	287.780 m ³	289.084 m ³

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Station		Baumaßnahme	Bauabschnitt	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Start km	End km	WH-GW	Länge [m]	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}
			150	107,5 m ³	23.731 m ³	23.839 m³
				0,15 m ³ /h	32,96 m ³ /h	
				0,041 l/s	9,16 l/s	
10,215	11,031	Graben (WH 10)	816	584,8 m ³	152.364 m ³	152.948 m³
			150	107,5 m ³	28.008 m ³	28.116 m³
				0,15 m ³ /h	38,90 m ³ /h	
				0,041 l/s	10,81 l/s	
11,059	12,156	Graben (WH 11)	1.097	786,2 m ³	204.832 m ³	205.618 m³
			150	107,5 m ³	28.008 m ³	28.116 m³
				0,15 m ³ /h	38,90 m ³ /h	
				0,041 l/s	10,81 l/s	

Tabelle 13: Maximale Wassermengen (Q_{E,max}) aus Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben Erdkabeltrasse, die bei einem 15 min Starkregenereignis auftreten können

Station		Baumaßnahme	Bauabschnitt	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Start km	End km	WH-GW	Länge [m]	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}
0,109	0,599	Graben (WH 1)	150	15,00 l/s	6,20 l/s	21,20 l/s
				13,5 m ³	5,6 m ³	19,1 m³
0,724	1,076	Graben (WH 2)	150	15,00 l/s	10,81 l/s	25,81 l/s
				13,5 m ³	9,7 m ³	23,2 m³
1,536	2,533	Graben (WH 3)	150	15,00 l/s	4,94 l/s	19,94 l/s
				13,5 m ³	4,4 m ³	17,9 m³
2,633	2,828	Graben	150	15,00 l/s		15,00 l/s
				13,5 m ³		13,5 m³
2,865	3,172	Graben	150	15,00 l/s		15,00 l/s
				13,5 m ³		13,5 m³
3,675	3,714	Graben	39	3,90 l/s		3,90 l/s
				3,5 m ³		3,5 m³
3,991	5,048	Graben	150	15,00 l/s		15,00 l/s
				13,5 m ³		13,5 m³
5,082	5,405	Graben	150	15,00 l/s		15,00 l/s
				13,5 m ³		13,5 m³
5,439	5,934	Graben	150	15,00 l/s		15,00 l/s
				13,5 m ³		13,5 m³
5,964	6,118	Graben (WH 4)	150	15,00 l/s	4,86 l/s	19,86 l/s
				13,5 m ³	4,4 m ³	17,9 m³
6,158	6,628	Graben (WH 5)	150	15,00 l/s	4,86 l/s	19,86 l/s
				13,5 m ³	4,4 m ³	17,9 m³
6,656	7,214	Graben (WH 6)	150	15,00 l/s	3,29 l/s	18,29 l/s
				13,5 m ³	3,0 m ³	16,5 m³
7,245	7,993	Graben (WH 7)	150	15,00 l/s	5,11 l/s	20,11 l/s
				13,5 m ³	4,6 m ³	18,1 m³
8,087	8,313	Graben (WH 8)	150	15,00 l/s	7,96 l/s	22,96 l/s

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Station		Baumaßnahme	Bauabschnitt	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Start km	End km	WH-GW	Länge [m]	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}
				13,5 m ³	7,2 m ³	20,7 m ³
8,360	10,179	Graben (WH 9)	150	15,00 l/s	9,16 l/s	24,16 l/s
				13,5 m ³	8,2 m ³	21,7 m ³
10,215	11,031	Graben (WH 10)	150	15,00 l/s	10,81 l/s	25,81 l/s
				13,5 m ³	9,7 m ³	23,2 m ³
11,059	12,156	Graben (WH 11)	150	15,00 l/s	10,81 l/s	25,81 l/s
				13,5 m ³	9,7 m ³	23,2 m ³

Tabelle 14: Wassermengen (Q_{E, ges}) aus Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben Muffen, angenommene Niederschlagsmenge: 70 mm/30d

Station	Baumaßnahme	Situation 1	Situation 2	Situation 3
[km]	WH-GW	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}
0,734	Muffe 1 (WH-M 1)	3,6 m ³	7.337 m ³	7.340 m ³
		0,005 m ³ /h	10,19 m ³ /h	
		0,001 l/s	2,83 l/s	
1,536	Muffe 2 (WH-M 2)	3,6 m ³	3.427 m ³	3.431 m ³
		0,005 m ³ /h	4,76 m ³ /h	
		0,001 l/s	1,32 l/s	
2,262	Crossbonding Muffe 3 (WH-M 3)	3,6 m ³	3.427 m ³	3.431 m ³
		0,005 m ³ /h	4,76 m ³ /h	
		0,001 l/s	1,32 l/s	
2,640	Muffe 4	3,6 m ³		4 m ³
		0,005 m ³ /h		
		0,001 l/s		
3,162	Muffe 5	3,6 m ³		4 m ³
		0,005 m ³ /h		
		0,001 l/s		
3,991	Crossbonding Muffe 6	3,6 m ³		4 m ³
		0,005 m ³ /h		
		0,001 l/s		
4,682	Muffe 7	3,6 m ³		4 m ³
		0,005 m ³ /h		
		0,001 l/s		
5,395	Muffe 8	3,6 m ³		4 m ³
		0,005 m ³ /h		
		0,001 l/s		
5,934	Crossbonding Muffe 9	3,6 m ³		4 m ³
		0,005 m ³ /h		
		0,001 l/s		
6,621	Muffe 10	3,6 m ³		4 m ³
		0,005 m ³ /h		
		0,001 l/s		
7,380	Muffe 11 (WH-M 11)	3,6 m ³	2.203 m ³	2.207 m ³

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Station	Baumaßnahme	Situation 1	Situation 2	Situation 3
[km]	WH-GW	$Q_{E, ges}$	$Q_{E, ges}$	$Q_{E, ges}$
		0,005 m ³ /h	3,06 m ³ /h	
		0,001 l/s	0,85 l/s	
7,997	Crossbonding Muffe 12 (WH-M 12)	3,6 m ³	5.458 m ³	5.461 m³
		0,005 m ³ /h	7,58 m ³ /h	
		0,001 l/s	2,11 l/s	
8,714	Muffe 13 (WH-M 13)	3,6 m ³	5.458 m ³	5.461 m³
		0,005 m ³ /h	7,58 m ³ /h	
		0,001 l/s	2,11 l/s	
9,490	Muffe 14 (WH-M 14)	3,6 m ³	3.427 m ³	3.431 m³
		0,005 m ³ /h	4,76 m ³ /h	
		0,001 l/s	1,32 l/s	
10,220	Crossbonding Muffe 15 (WH-M 15)	3,6 m ³	3.427 m ³	3.431 m³
		0,005 m ³ /h	4,76 m ³ /h	
		0,001 l/s	1,32 l/s	
10,832	Muffe 16 (WH-M 16)	3,6 m ³	8.741 m ³	8.744 m³
		0,005 m ³ /h	12,14 m ³ /h	
		0,001 l/s	3,37 l/s	
11,554	Muffe 17 (WH-M 17)	3,6 m ³	8.741 m ³	8.744 m³
		0,005 m ³ /h	12,14 m ³ /h	
		0,001 l/s	3,37 l/s	

Tabelle 15: Maximale Wassermengen ($Q_{E,max}$) aus Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben Muffen, die bei einem 15 min Starkregenereignis auftreten können

Station	Baumaßnahme	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Start km	WH-GW	$Q_{E, ges}$	$Q_{E, ges}$	$Q_{E, ges}$
0,734	Muffe 1 (WH-M 1)	0,49 l/s	2,83 l/s	3,32 l/s
		0,44 m ³	2,5 m ³	3,0 m³
1,536	Muffe 2 (WH-M 2)	0,49 l/s	1,32 l/s	1,81 l/s
		0,44 m ³	1,2 m ³	1,6 m³
2,262	Crossbonding Muffe 3 (WH-M 3)	0,49 l/s	1,32 l/s	1,81 l/s
		0,44 m ³	1,2 m ³	1,6 m³
2,640	Muffe 4	0,49 l/s		0,49 l/s
		0,44 m ³		0,4 m³
3,162	Muffe 5	0,49 l/s		0,49 l/s
		0,44 m ³		0,4 m³
3,991	Crossbonding Muffe 6	0,49 l/s		0,49 l/s
		0,44 m ³		0,4 m³
4,682	Muffe 7	0,49 l/s		0,49 l/s
		0,44 m ³		0,4 m³
5,395	Muffe 8	0,49 l/s		0,49 l/s
		0,44 m ³		0,4 m³
5,934	Crossbonding Muffe 9	0,49 l/s		0,49 l/s
		0,44 m ³		0,4 m³
6,621	Muffe 10	0,49 l/s		0,49 l/s

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Station	Baumaßnahme	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Start km	WH-GW	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}	Q _{E, ges}
		0,44 m ³		0,4 m³
7,380	Muffe 11 (WH-M 11)	0,49 l/s	0,85 l/s	1,34 l/s
		0,44 m ³	0,8 m ³	1,2 m³
7,997	Crossbonding Muffe 12 (WH-M 12)	0,49 l/s	2,11 l/s	2,60 l/s
		0,44 m ³	1,9 m ³	2,3 m³
8,714	Muffe 13 (WH-M 13)	0,49 l/s	2,11 l/s	2,60 l/s
		0,44 m ³	1,9 m ³	2,3 m³
9,490	Muffe 14 (WH-M 14)	0,49 l/s	1,32 l/s	1,81 l/s
		0,44 m ³	1,2 m ³	1,6 m³
10,220	Crossbonding Muffe 15 (WH-M 15)	0,49 l/s	1,32 l/s	1,81 l/s
		0,44 m ³	1,2 m ³	1,6 m³
10,832	Muffe 16 (WH-M 16)	0,49 l/s	3,37 l/s	3,86 l/s
		0,44 m ³	3,0 m ³	3,5 m³
11,554	Muffe 17 (WH-M 17)	0,49 l/s	3,37 l/s	3,86 l/s
		0,44 m ³	3,0 m ³	3,5 m³

Aufgrund der vorherrschenden Grundwasserverhältnisse sind einige Bauabschnitte (siehe Tabelle 3) und Muffen (siehe Tabelle 4) keine Wasserhaltungsmaßnahmen bezüglich Anfalls von Grundwasser in Baugruben notwendig. Jedoch ist eine Bauwasserhaltung (offene Wasserhaltung) für eventuell anfallendes Schichten-, Stau-, Oberflächen- und Niederschlagswasser zur Ableitung dieser Wässer vorzuhalten. Innerhalb der bereits in Tabelle 7 aufgezeigten Abschnitte ist zudem mit den aufgezeigten Grundwassermengen zu rechnen, welche über eine geschlossene Wasserhaltung abzuleiten sind. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 12 bis 15 enthalten.

Die Ergebnisse der Berechnungen der maximalen Grundwasserentnahmemengen aus den Wasserhaltungsanlagen von Baugruben in Verbindung mit der Zuordnung der einzelnen Trassenabschnitten und Muffen der geplanten 110-kV-Leitung Bad Bramstedt - Hardebek zu den jeweiligen Übergabepunkten/Einleitstellen im Bereich der weiterführenden Vorflut bzw. Versickerungsstellen sind dem Anhang 1 und 2 zu entnehmen. Die Einleitstellen für die Ableitung von Wässern aus Wasserhaltungsanlagen liegen im Zuständigkeitsbereich der Wasser- und Bodenverbände (Schmalfelder Au, GPV Osterau und Großenaspe-Wiemersdorf).

Es wird an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorstehend berechneten Zuflüssen (Niederschlagsabfluss und Grundwasserzufluss) zu Wasserhaltungsanlagen im Bereich von Baugruben um mit Unsicherheiten behaftete Rechenwerte, hier Worst Case, handelt und die tatsächlich über die Wasserhaltung zu fassenden und abzuführenden anteiligen Abflüsse deutlich abweichende Größenordnungen annehmen können.

2.4.7 Maßnahmen zur Beseitigung von Wässern aus Wasserhaltungsanlagen

In Anbetracht der Tatsache, dass im Trassenbereich der geplanten 110-kV-Leitung Bad Bramstedt - Hardebek (vgl. Tabelle 7) innerhalb von Baugruben mit Anfall von Grundwasser sowie ggf. bei feuchter Witterung von oberflächlich zufließendem Niederschlagswasser zu rechnen ist, sind temporäre Maßnahmen zur Beseitigung von diesen Wässern durch Wasserhaltungsanlagen erforderlich.

Zur Sicherstellung einer trockenen Baugrube während der Bauzeit sind prinzipiell Verfahren zur Entwässerung durch offene bzw. geschlossene Wasserhaltung möglich. Bei der **offenen Wasserhaltung**

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

wird das in der Baugrube durch die Sohle und aus den Böschungen anfallende Grund-/Schichtenwasser dabei zusammen mit dem Niederschlagswasser über Gräben und Rinnen in Pumpensümpfen gesammelt und von dort ständig oder zeitweise abgepumpt und der Vorflut bzw. einer Versickerung zugeführt. In einfachen Fällen wird das Wasser auf der Baugrubensohle oberflächlich in Mulden oder Tiefpunkten (sogenannter Pumpensumpf) gesammelt und von dort mit Schmutzwasser-Tauchpumpen gefördert. Bei tieferen Baugruben und erhöhtem Wasserzufluss sind zur Wasserfassung entsprechend dem Fortschritt der Schachtarbeiten absatzweise Pumpensümpfe anzulegen. Die Anzahl ist so zu bemessen, dass jeweils mindestens ein Sumpf zur Tieferlegung außer Betrieb genommen werden kann.

Bei kleinen Baugruben wird häufig ein gelochter Schachtring als Pumpensumpf eingesetzt (siehe Abbildung 3). Dabei ist darauf zu achten, dass um den Schachtring wie bei einem Bohrbrunnen ein ausreichend dicker Kiesfilter zum Ausfiltern der feineren Kornfraktionen eingebaut wird. Zur Abwehr von Sandeintrieb ist deshalb der Einsatz eines Filtervlieses zwischen anstehendem Boden und Kiesfilter empfehlenswert /7/.

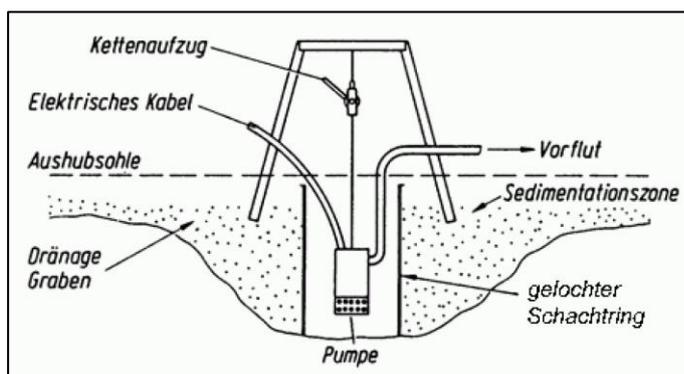


Abbildung 3: Offene Wasserhaltung, Pumpensumpf /7/

Bei hohem Wasserandrang im Bereich der Baugrube kann es zum Einsatz von einem wasserdichten Verbau, z. B. mittels Spundwänden, Kanaldielen etc. kommen. Im Bereich aushaltender Grundwasserleiter, in denen vorgesehene Maßnahmen mittels offener Wasserhaltung zu keiner trockenen Baugrube führen, sind **geschlossene Wasserhaltungen** mittels Brunnen notwendig.

Bei dem geschlossenen Verfahren zur Grundwasserabsenkung werden vor Baubeginn Brunnen, Leitungen und Pumpen installiert. Die Absenkung erfolgt, abhängig von der Größe der Baugrube, dem Bodenaufbau und der Durchlässigkeit, entweder durch Schwerkraft oder durch ein Vakuum. In dichteren Ton- oder Schluffböden wird häufig Vakuum eingesetzt, während Kies- und Sandböden das Wasser einfach mithilfe von Schwerkraft in die Filterbrunnen fließen lassen.

Nach den aktuellen Erkenntnissen (siehe Abschnitt 2.4.3) ist vor allem für die in Tabelle 7 und in Anhang 2 dargestellten Trassenabschnitte und Muffengruben ein geschlossenes Verfahren zur Wasserhaltung im Bereich von Baugruben anzuwenden. Weiterhin ist für den gesamten Kabeltrassenbereich sowie für die Baugruben Muffen zur Fassung und schadlosen Ableitung von Niederschlags- und Sickerwasser eine offene Wasserhaltung vorzuhalten. Kleinere anfallende Wassermengen können im Arbeitstreifen, an denen keine Bautätigkeit stattfindet, versickert werden.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Der genaue zeitliche Ablauf wird mit der Ausführung geplant. Die Einleitstellen bzw. Versickerungsflächen werden je nach Bauablauf in Anspruch genommen, wobei die Einleitung in diese größtenteils nacheinander je Bauabschnitt erfolgen soll.

Die von der Wasserhaltung der Baugrube gefassten Wässer werden bei Bedarf, zur Vermeidung des Eintrags von Schwimm-, Schweb- und Sinkstoffen in die Vorflut, unter Zwischenschaltung einer mechanischen Behandlungsanlage bzw. über eine Sammelleitung in ein Mehrkammerabsetzbecken gefördert. Durch Trennwände im Absetzbecken wird die Fließgeschwindigkeit des geförderten Wassers aus der Baugrube stark reduziert, sodass sich mögliche Schwimm-, Schweb- und Sinkstoffe aus diesem am Boden des Absetzbeckens absetzen können. Die abzuleitende Wassermenge wird über eine geeignete Wassermengenzähleinheit erfasst.

Die Ableitung der geförderten Wässer erfolgt in der Regel über handverlegte flexible Leitungen/fliegende Schlauchleitungen im Freigefälle in Richtung des nächstgelegenen ÜP - Übergabepunktes (hier: Übergabe von Wasser aus der Wasserhaltung in die weitere Vorflut mit wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung zur weiteren Ableitung in Richtung Vorflut mit wasserwirtschaftlicher übergeordneter Bedeutung, Gewässer II. Ordnung, Verbandsgewässer) bzw. ES - Einleitstelle (hier: Einleitung von Wasser aus der Wasserhaltung in die weitere Vorflut mit wasserwirtschaftlicher übergeordneter Bedeutung, Gewässer II. Ordnung, Verbandsgewässer). Die jeweiligen Übergabepunkte bzw. Einleitstellen von Wässern aus der Wasserhaltung werden an den Enden der fliegenden Schlauchleitungen im Falle von offenen oberirdischen Gewässern gemäß § 3 Nummer 1 WHG mit geeigneten Maßnahmen gegen Erosion gesichert. Damit wird ebenfalls sichergestellt, dass bei der Einleitung dieser Wässer keine Schäden am Gewässerprofil (z. B. Auskolkungen) entstehen. Die Schlauchleitungen werden - soweit möglich - über die Grabenböschung bis unter den Wasserspiegel des oberirdischen Gewässers geführt. Bei der Vor-Ort-Begehung durch den Verfasser wurden die Gräben und Verbandsgewässer für die Einleitung der Wässer aus den Wasserhaltungsmaßnahmen gesichtet als geeignet befunden.

Wird im Zuge der Bauausführung von den geplanten Wasserhaltungsanlagen Grundwasser mit signifikanten Eisen- und Mangan-Konzentrationen gefasst und entnommen, erfolgt vor der Einleitung dieser Wässer in ein oberirdisches Gewässer gemäß § 3 Nummer 1 WHG eine Behandlung mit einem geeigneten Wasseraufbereitungsverfahren (z. B. Grundwasserenteisung über Sauerstoffeintrag und Filtration oder gleichwertig). Eine Kontrolle des einzuleitenden Wassers sowie des für die Einleitung vorgesehenen Gewässers ober- und unterhalb der Einleitstelle erfolgt durch die Messung und Auswertung der Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur sowie einem Schnelltest auf die Parameter Eisen und Mangan. Dadurch wird sichergestellt, dass durch die Einleitung des Wassers keine chemische Veränderung im oberirdischen Gewässer stattfindet.

Das mit der Baugrubenwasserhaltung geförderte Wasser wird im ersten Schritt durch eine organoleptische Prüfung kontrolliert. Des Weiteren erfolgt eine Überprüfung der Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur sowie ein Schnelltest auf die Parameter Eisen und Mangan. Besteht während der Bauausführung der Verdacht, dass mit der geplanten Wasserhaltung kontaminiertes Wasser bzw. signifikante Konzentrationen bezüglich Eisen und Mangan gefasst bzw. entnommen wird, wird die Wasserhaltung gestoppt und die für die Baumaßnahme vorgehaltene Wasseraufbereitung installiert. Umgehend erfolgt eine Information an die zuständige Aufsichtsbehörde. Das kontaminierte Wasser muss ordnungsgemäß entsorgt bzw. wiederaufbereitet werden.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Generell ist zu beachten, dass gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) für die Gewässer gilt, das ökologische Potenzial bzw. den guten Zustand, welches neben der allgemeinen Gewässerökologie auch den chemischen Zustand des Gewässers beinhaltet, zu bewahren. Demzufolge sind insbesondere Störungen des Wasserhaushaltes und des Abflussregimes in Folge von Wasserhaltungsmaßnahmen so gering wie möglich zu halten. Die Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung und -wiedereinleitungen sind somit auf den notwendigen Umfang der Baumaßnahme zu reduzieren.

2.5 Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern

Die Einteilung der oberirdischen Gewässer beruht auf dem LWG in seiner Fassung vom 13.11.2019 mit der letzten Änderung am 06.12.2022. Nach § 2 Abs. 1 des LWG werden die oberirdischen Gewässer sowie die Küstengewässer, mit Ausnahme des wild abfließenden Wassers, unterteilt in Gewässer erster und zweiter Ordnung. Von dem Bau der geplanten der 380-kV-Leitung sind Entwässerungssysteme bzw. oberirdische Gewässer gemäß § 3 Satz 1 WHG betroffen. Dies umfasst:

1. **Entwässerungssysteme ohne Gewässereigenschaften** (offen oder verrohrt) gemäß § 3 Satz 1 WHG in Verbindung mit § 1 Abs. 2 Satz 1 LWG, z. B. Gräben, Gräben, Dränagen, Rohrleitungen, Durchlässe usw. auf landwirtschaftlichen Flächen,
2. **Kleine Gewässer zweiter Ordnung** (offen oder verrohrt) gemäß § 3 Satz 1 WHG in Verbindung mit § 2 Abs. 1 Satz 2 LWG, § 28 Abs. 2 LWG und § 23 LWG die sich nicht im Eigentum oder Zuständigkeitsbereich eines Wasser- und Bodenverbandes befinden, z. B. Gräben, Gräben, Rohrleitungen, Durchlässe usw.,
3. **Gewässer zweiter Ordnung** (offen oder verrohrt) gemäß § 3 Satz 1 WHG in Verbindung mit § 2 Abs. 1 Satz 1 und Satz 2 LWG und § 23 LWG die sich im Eigentum oder im Zuständigkeitsbereich eines Wasser- und Bodenverbandes befinden, bzw. zugehörige Gewässerrandstreifen gemäß § 38 WHG in Verbindung mit § 26 LWG oder satzungsgemäße Schutzstreifen von Wasser- und Bodenverbänden.

Mit der geplanten 110-kV-Leitung Bad Bramstedt - Hardebek sind keine Gewässer erster Ordnung betroffen.

Mit den geplanten Maßnahmen werden temporäre/dauerhafte Anlagen in, an bzw. unter oberirdischen Gewässern gemäß § 1 Abs. 2 Satz 1 LWG sowie § 2 Abs. 1 Satz 1 und 2 LWG bzw. zugehörigen Gewässerrandstreifen gemäß § 38 WHG in Verbindung mit § 26 LWG oder satzungsgemäßen Schutzstreifen eines Wasser- und Bodenverbandes errichtet.

Die o. g. „Entwässerungssysteme ohne Gewässereigenschaften“ (Gräben und kleine Wasseransammlungen von wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung und ohne Gewässereigenschaft im wasserrechtlichen Sinne) sind auf Grundlage des § 2 Abs. 2 WHG in Verbindung mit § 1 Abs. 2 Satz 1 von weiteren Bestimmungen des WHG (mit Ausnahme des § 22 WHG) und LWG ausgenommen. Für die Errichtung bzw. wesentliche Änderung von Anlagen in oder an oberirdischen Gewässern gemäß § 3 Satz 1 WHG bedarf es somit für diese Entwässerungssysteme aus wasserwirtschaftlicher Sicht keiner wasserrechtlichen Genehmigung.

Bei den mit der Maßnahme betroffenen Gewässern zweiter Ordnung gemäß § 2 Abs. 1 Satz 2 LWG handelt es sich um oberirdische Gewässer gemäß § 3 Satz 1 WHG, auf die die weiteren Bestimmungen des WHG und LWG vollumfänglich anzuwenden sind. Die Errichtung oder wesentliche Änderung

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

von Anlagen in, an bzw. unter diesen Gewässern ist gemäß § 36 WHG in Verbindung mit § 23 LWG grundsätzlich genehmigungspflichtig. Die temporäre Errichtung von Anlagen in oder an diesen Gewässern bzw. innerhalb der jeweiligen Gewässerrandstreifen/Schutzstreifen ist aus wasserrechtlicher Sicht hingegen mit Verweis auf § 36 Abs. 1 und § 38 Abs. 4 Satz 4 WHG zulässig und genehmigungsfrei.

2.5.1 Anlagen im Zuständigkeitsbereich von Wasser- und Bodenverbänden

Dem Verfasser wurde vor Beginn der Vor-Ort-Arbeiten für die betroffenen Wasser- und Bodenverbände (WBV) das digitale Anlagenverzeichnis für die Bearbeitung des Wasserhaltungskonzeptes zur Verfügung gestellt. Anhand dieser Daten konnten für die Erdkabeltrasse die Zuständigkeitsbereiche der Wasser- und Bodenverbände wie folgt zugeordnet werden:

Station km 0,000 – 0,367	WBV Schmalfelder Au
Station km 0,367 – 3,962	GPV Osterau
Station km 3,962 – 12,156	WBV Großenaspe-Wiemersdorf.

Im Anhang 1 sind tabellarisch die wasserwirtschaftlichen Belange für jeden Kabelgraben und Muffenstandort zusammengefasst enthalten sowie in den Lageplänen im Anhang 2 dargestellt. In der Tabelle im Anhang 1 wurden für die Einleitstellen der Gewässername/-nummer und die Gewässerstation der WBV Gewässer sowie die in Abschnitt 2.4.6 ermittelte maximalen und gesamten Einleitmengen aus Wässern aus Wasserhaltungsanlagen für die Übergabepunkte und Einleitstellen angegeben.

2.5.2 Gewässerkreuzungen

Die Bauarbeiten für die geplante 110-kV-Leitung Bad Bramstedt - Hardebek betreffen Entwässerungssysteme und oberirdische Gewässer gemäß § 3 Satz 1 des WHG. Dies schließt Entwässerungssysteme ohne Gewässereigenschaften (offen oder verrohrt), kleine Gewässer zweiter Ordnung (offen oder verrohrt) sowie Gewässer zweiter Ordnung (offen oder verrohrt) ein, die sich im Eigentum oder im Zuständigkeitsbereich eines Wasser- und Bodenverbandes befinden.

Für die Errichtung oder wesentliche Änderung von dauerhaften oder temporären Anlagen (Gewässerkreuzungen) in oder an Entwässerungssysteme ohne Gewässereigenschaften ist eine Erteilung von wasserrechtlichen Genehmigungen gemäß § 23 LWG nicht erforderlich. Hingegen ist die Errichtung oder wesentliche Änderung von dauerhaften oder temporären Anlagen in oder an kleinen Gewässern II. Ordnung von wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung gemäß § 2 Abs. 1 Satz 2 LWG in Verbindung mit § 28 Abs. 2 LWG bzw. die Errichtung oder wesentliche Änderung von dauerhaften oder temporären Anlagen in oder an Gewässern II. Ordnung gemäß § 2 Abs. 1 Satz 2 LWG gemäß § 23 LWG genehmigungspflichtig.

Entsprechend den Ergebnissen der Vor-Ort-Aufnahmen und dem digitalen Anlagenverzeichnis der Wasser- und Bodenverbände werden verrohrte Gewässer als auch offene Gewässer durch die Erdkabeltrasse dauerhaft und durch Zuwegung (Überfahrt, Brücke), Arbeitsflächen und Schlauchleitungen für die Errichtung der Erdkabeltrasse temporär gequert. Dabei handelt es sich um Verbandsgewässer sowie um Gräben welche sich nicht im Eigentum oder im Zuständigkeitsbereich eines Wasser- und Bodenverbandes befinden. Die jeweiligen Gewässerkreuzungen sind im Kreuzungsverzeichnis in der Anlage 7.4 enthalten.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

Die Gewässerkreuzungen mit Zuwegung und Arbeitsflächen sind für die temporäre Benutzung während der Bauphase durch geeignete Maßnahmen, wie das Auslegen mit einer Vliesschicht (Geotextil), der Auftrag einer Sandschicht, das Auflegen von Platten aus Holz oder Stahl bzw. durch das Auslegen mit Baggermatratzen oder anderer geeigneter Methoden, zu sichern. Es ist dabei darauf zu achten, dass keine Erdbaustoffe oder Geotextilien in die Gewässer gelangen.

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

3

3 Abkürzungsverzeichnis

- Text und Anhang –

BA	Bauabschnitt
BGM	Baugrubenmitte
BGS	Baugrubensohle
BS	Rammkernsondierbohrung
EG-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
ES	Einleitstelle
GOK	Geländeoberkante
GPV	Gewässerpflegeverband
GW	Grundwasser
GWK	Grundwasserkörper
GWL	Grundwasserleiter
HDD	Horizontal Directional Drilling (Horizontalspülbohrverfahren)
k_f -Wert	Durchlässigkeitsbeiwert
LWG	Landeswassergesetz - Schleswig-Holstein –
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
OWK	Oberflächenwasserkörper
PFU	Planfeststellungsunterlage
S	geplante Absenkung (Absenkungsziel)
SHNG	Schleswig-Holstein Netz AG
ÜP	Übergabepunkt
UW	Umspannwerk
WBV	Wasser- und Bodenverband
WH	Wasserhaltungsmaßnahmen
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

LH-13-1011 Bad Bramstedt - Hardebek

4 Quellen

- /1/ SH Netz (2024): Erläuterungsbericht – Anlage 1, Planfeststellungsunterlagen LH-13-1011 Bad Bramstedt – Hardebek, EQOS 02/2024.
- /2/ Dipl.-Ing. Egbert Mücke Ingenieurbüro für Geotechnik (2024): Baugrunduntersuchungen für eine 110kV-Erdkabeltrasse zwischen Bad Bramstedt und Brockenlande, Geotechnische Stellungnahme, Schwentimental, 03/2024
- /3/ HERTH, W.; ARNDTS, E.: Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin, 1994.
- /4/ KATZENBACH, R.: Studienunterlagen Geotechnik, XIII Grundwasserhaltung, Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Bau- und Umwelt-Ingenieurwissenschaften, Institut und Versuchsanstalt für Geotechnik, Darmstadt, November 2011
- /5/ Arbeitsblatt DWA-A 118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen - März 2006, Stand: korrigierte Fassung September 2011
- /6/ Mario Riesner Pumpen GmbH, online:
<http://www.riesner-pumpen.de/geschlossene-wasserhaltung.php>
- /7/ SCHANZ, T.: Arbeitsblätter für Grundbau, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Grundbau, Boden- und Felsmechanik, Bochum, 10/2012.