

# Seetrassen 2030

## Möglicher Einfluss von Horizontalbohrungen auf Süßwasserlinsen unter Langeoog und Baltrum

### Risiko- und Gefährdungsanalyse

Erstellt für:  
TenneT Offshore GmbH  
Bernecker Straße 70  
95448 Bayreuth

Erstellt von:



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH  
Auguste-Viktoria-Straße 10-12  
24103 Kiel



Projekt-Nr.: P 80 726  
Datum: 17.06.2021

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Anlagen .....</b>	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Veranlassung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>9</b>
1.1 Veranlassung .....	9
1.2 Aufgabenstellung .....	9
<b>2 Raumordnungsverfahren Seetrassen 2030 .....</b>	<b>9</b>
<b>3 Offshore-Netzanbindungssystem .....</b>	<b>10</b>
3.1 Allgemeines.....	10
3.2 Horizontalbohrungen .....	11
3.2.1 Technik .....	11
3.2.2 Bohrspülung .....	12
3.2.3 Verdämmung.....	14
3.2.4 Filterkuchen und Filtratwasser.....	14
3.2.5 Spülungsverluste und -ausbrüche .....	15
3.3 Dimensionen .....	16
3.4 Temperaturanstieg in Boden und Grundwasser .....	17
<b>4 Geologische Situation Baltrum und Langeoog .....</b>	<b>17</b>
4.1 Baltrum.....	18
4.2 Langeoog .....	19
<b>5 Hydrogeologische Situation Baltrum und Langeoog .....</b>	<b>19</b>
5.1 Süßwasserlinse Baltrum.....	21
5.2 Süßwasserlinse Langeoog .....	22
5.3 Trinkwasserversorgung .....	23
5.3.1 Trinkwasserversorgung Baltrum .....	23
5.3.2 Trinkwasserversorgung Langeoog .....	23
<b>6 Möglicher Einfluss von Horizontalbohrungen auf die Süßwasserlinsen unter Baltrum und Langeoog – Risiko- und Gefährdungsanalyse .....</b>	<b>23</b>
6.1 Darstellung der Unterfahrungsvarianten zur Kreuzung der Inseln.....	24
6.1.1 Unterfahrung ausschließlich im Salzwasser unterhalb der Süßwasserlinsen.....	24
6.1.2 Unterfahrung ausschließlich im Süßwasser innerhalb der Süßwasserlinsen .....	24
6.1.3 Unterfahrung im Salz- und Süßwasser .....	24

6.1.4	Unterfahrung Baltrum .....	24
6.1.5	Unterfahrung Langeoog .....	25
6.2	Gefährdungen und Risiken.....	25
6.2.1	Prinzipiell denkbare Gefährdungen und Bewertung.....	25
6.2.2	Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Filtratwasser aus der Bohrspülung und durch im Bohrlochbereich verbleibende Bohrspülung.....	30
6.2.3	Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch ausgetretene Bohrspülung (auf ausgedehnten Fließwegen auftretende Spülungsverluste, Spülungsausbrüche = Havariefall).....	32
6.2.4	Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Temperaturanstieg .....	32
6.2.5	Beeinträchtigungen bei Erschließung der Süßwasserlinsen für die Trinkwasserversorgung .....	35
6.3	Gesamtbewertung.....	36

## Anlagen

### Anlage 1 Lagepläne

- Anlage 1.1 Übersichtslageplan der Trassenkorridore und Untersuchungsräume
- Anlage 1.2 Lageplan geologische und hydrogeologische Bohrungen
- Anlage 1.3 Lageplan der Süßwasserlinsen/Versalzung des Grundwassers
- Anlage 1.4 Lageplan der Wasserschutzgebiete

### Anlage 2 Darstellungen Süßwasserlinse Langeoog

- Anlage 2.1 Schnitte 3D-Modell Langeoog
- Anlage 2.2 Schnitte 3D-Modell Langeoog inkl. ungefähre Tiefenlage der Trassen
- Anlage 2.3 Lageplan Bohrein- und Austrittspunkte Trassenkorridore Langeoog (Mittellinie) inkl. ungefährer Korridorbreite

### Anlage 3 Lageplan Wasserschutzgebiete und Bohrtrassen Norderney

Anhang: Produkt- und Sicherheitsdatenblätter

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Arbeitsgänge der Horizontalbohrungen am Beispiel der Ausführungsplanung Norderney [L7] .....	12
Abbildung 2: Ghyben-Herzberg-Gleichung [L13].....	20

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prinzipiell denkbare Gefährdungen und Risiken im Bauzustand.....	26
Tabelle 2: Prinzipiell denkbare Gefährdungen und Risiken im Dauerzustand.....	28

### Abkürzungsverzeichnis

AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BIG	Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft GmbH
BSB <sub>5</sub>	Biologischer Sauerstoffbedarf
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DOC	dissolved organic carbon, gelöster organischer Kohlenstoff
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
GOK	Geländeoberkante
HDD	Horizontal Directional Drilling
HEM	helicopter-borne electromagnetic
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-System
HVDC	High Voltage Direct Current
MS	Meeresspiegel
ONAS	Offshore-Netzanbindungssystem
OOVW	Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband
ROV	Raumordnungsverfahren
sm	Seemeile
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

---

## Quellenverzeichnis

### Standortunterlagen

- [U1] IBL Umweltplanung GmbH: Raumordnungsverfahren Seetrassen 2030. Unterlage A. Erläuterungsbericht, 18.12.2020
- [U2] IBL Umweltplanung GmbH: Raumordnungsverfahren Seetrassen 2030. Unterlage B. Raumverträglichkeitsstudie (RVS) 18.12.2020
- [U3] IBL Umweltplanung GmbH: Raumordnungsverfahren Seetrassen 2030. Unterlage C. Natura 2000 Voruntersuchung (Natura 2000-VU), 18.12.2020
- [U4] IBL Umweltplanung GmbH: Raumordnungsverfahren Seetrassen 2030. Unterlage D. Untersuchung voraussichtlicher raumbedeutsamer Umweltauswirkungen (UVU), 18.12.2020
- [U5] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: NIBIS-Kartenserver. Frühgeschichtliche Hochwasserereignisse, 1:50.000 und 1:500.000
- [U6] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: NIBIS-Kartenserver. Profiltypen des Küstenholozäns, 1:25:000
- [U7] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: NIBIS-Kartenserver. Versalzung des Grundwassers, 1:200.000 (HÜK200)
- [U8] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: NIBIS-Kartenserver. Lage der Grundwasseroberfläche, 1:200.000 (HÜK200)
- [U9] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: NIBIS-Kartenserver. Geologische Bohrungen und Hydrogeologische Bohrungen
- [U10] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: NIBIS-Kartenserver. Durchlässigkeiten der oberflächennahen Gesteine, 1 : 500 000 (HÜK500)
- [U11] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie: NIBIS-Kartenserver. 3D-Modell Langeoog
- [U12] TenneT Offshore GmbH: Karte Seetrassen 2030 Vorzugsvarianten (shapefile)
- [U13] TenneT Offshore GmbH: Karte Seetrassen 2030 Untersuchungsraum (shapefile)
- [U14] Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz: Karte Wasserschutzgebiete Baltrum und Langeoog (shapefile)
- [U15] MOLL-prd GmbH & Co. KG: Machbarkeitsstudie BalWin 1. Längsprofil HDD Insel, Februar 2021 (erster Entwurf)
- [U16] Königlich Preußische Geologische Landesanstalt: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Blatt Langeoog, Berlin, 1912
- [U17] Königlich Preußische Geologische Landesanstalt: Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Langeoog (Ostende), Berlin, 1912
- [U18] Königlich Preußische Geologische Landesanstalt: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Blatt Baltrum, Berlin, 1919
- [U19] Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband: Grundwasseranalysen 2020-05/2021 der Messstellen und Förderbrunnen auf Langeoog und Baltrum
- [U20] sta-fem GmbH: Ergänzungen zur Studie: „Magnetische und thermische Eigenschaften von 252 kV-HGÜ-Landkabeltrassen“, Bocholt, Juni 2021

## Sonstige Literatur

- [L1] Wiederhold, H., Elbracht, J.: Salzwasserintrusion – Gefahr für unser Trinkwasser, Nachdruck aus GMIT, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft Nr. 52, Juni 2013
- [L2] Costabel, S., Siemon, B., Houben, G., Günther, T.: Geophysical investigation of freshwater lens on the island of Langeoog, Germany – Insights from combined HEM, TEM and MRS data, Journal of Applied Geophysics, 136, S. 231-245, 09.11.2016
- [L3] Gonzales, E.; Deus, N., Elbracht, J., Siemon, B., Steuer, A., Wiederhold, H.: Modellierung der küstennahen Grundwasserversalzung in Niedersachsen abgeleitet aus aeroelektromagnetischen Daten, Grundwasser – Zeitschrift für Fachsektion Hydrogeologie, 26, S. 73-85, 24.02.2021
- [L4] Streif, H.: Sammlung Geologischer Führer 57. Das ostfriesische Küstengebiet. Nordsee, Inseln, Watten und Marschen, Gebr. Borntraeger, Berlin – Stuttgart, 01.01.1990
- [L5] Tronicke, J., Blindow, Norbert: Bericht über die geophysikalische Erkundung des Süßwasservorkommens auf der Insel Langeoog, September 1997
- [L6] Arbeitsgemeinschaft HDD DoWin6: Ausführungsplanung „Hilgenriedersiel“, 12.04.2018
- [L7] Arbeitsgemeinschaft HDD DoWin6: Ausführungsplanung „Norderney Nord“, 09.04.2018
- [L8] K2 Engineering GmbH, Planungsgemeinschaft LaReG GbR, planungsgruppe grün gmbh, MOLL-prd GmbH & Co. KG: Erläuterungsbericht zur 600-kV-Leitung „DoWin alpha – Dörpen West“ des Netzanbindungsprojektes DoWin1 für den Bereich 12-Seemeilen-Grenze bis Umspannwerk Dörpen West – Abschnitt Landtrasse. Unterlage zur Planfeststellung, Bayreuth, 30.11.2010
- [L9] SAG CeGIT GmbH, Planungsbüro Laukhuf, Planungsgemeinschaft LaReG GbR: Erläuterungsbericht zur 600-kV-DC-Leitung DoWin beta – Dörpen/West des Netzanbindungsprojektes DoWin2 für den Bereich der 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Dörpen/West – Abschnitt Seetrasse. Unterlage zur Planfeststellung, Bayreuth, 27.04.2012
- [L10] Stein, D., Schößler, B., Statetzni, C.: Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Entwicklung und Erprobung von optimierten Injektionsmitteln und -verfahren zur kontinuierlichen Ringspaltstützung beim Rohrvortrieb im heterogenen Baugrund“, Ruhr-Universität Bochum, 14.11.2007
- [L11] Phrikolat Drilling Specialties GmbH: Wissenscenter <https://www.phrikolat.de/index.php/wissenscenter-horizontalbohren-bohrspuelung/info-horizontalbohrtechnik/grundlagen-bohrspuelung> [online, eingesehen am 26.04.2021]
- [L12] Krentz, M.: Hydraulische Rissbildung in oberflächennahen Bohrlöchern. Gefahr, Beherrschung und Nutzbarmachung eines natürlichen Phänomens, bi-UmweltBau 5, S.36-48, Oktober 2014
- [L13] Elsayeb, S. M., Oumeraci, H.: Breaching of coastal barriers under extreme storm surges and implications for groundwater contamination: State of the Art Report, Technische Universität Braunschweig, March 2017
- [L14] Grube, A., Wichmann, K., Hahn, J., Nachtigall, K. H.: Geogene Grundwasserversalzung in den Porenwasserleitern Norddeutschlands und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft, DVGW, Technologiezentrum Wasser Karlsruhe (TZW), Karlsruhe, 2000
- [L15] Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband: <https://www.oowv.de/wissen/trinkwasser/wasserwerke/> [online, eingesehen am 22.04.2021]
- [L16] Institut Dr. Nowak: Trinkwasseranalyse für das Versorgungsgebiet Wasserwerk Langeoog, 2. Quartal 2020, Prüfbericht 20-10355, Probenahme vom 14.05.2020
- [L17] Horn & Co. Analytics GmbH: Zertifikat über Umweltbedenklichkeit. Bentonit Typ W. Phrikolat Drilling Specialties GmbH, Hünsborn, 26.07.2019

- 
- [L18] Horn & Co. Analytics GmbH: Einstufung WGK. Bentonit W Plus und Bentonit Typ W. Phrikolat Drilling Specialties GmbH, 07.2019
  - [L19] Hygiene-Institut des Ruhrgebiets: Wasserhygienische Prüfung und Bewertung unter Berücksichtigung der Technischen Regeln der LAGA Nr. 20 - „Drill-mix“, Gelsenkirchen, 29.05.2018
  - [L20] Hygiene-Institut des Ruhrgebiets: Phrikolat Bentonit Typ W. Chemisch-toxikologische Untersuchungen, Gelsenkirchen, 11.10.2006
  - [L21] Umweltbundesamt: Rigoletto. Informationsseite „Wassergefährdende Stoffe“ <http://webri-goletto.uba.de/Rigoletto/> [online, eingesehen am 11.05.2021]
  - [L22] Voß, W., Siemon, B., Pielawa, J., Bock, M., Ibs-von-Seht, M.: Technischer Bericht Hubschrauber-geophysik Befliegung Langeoog 2008/09, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 25.01.2015
  - [L23] Siemon, B., Ibs-von-Seht, M., Ullmann, A., Pielawa, J.: Technischer Bericht Hubschrauber-geophysik Befliegung Baltrum/Langeoog 2 Oktober 2014, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 31.03.2017
  - [L24] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: Technische Regel – Arbeitsblatt. DVGW W 116 (A). Verwendung von Spülungszusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwassermessstellen- und Brunnenbau, Dezember 2019
  - [L25] Sturm, S., Kiefer, J.: Risikomanagement im Ressourcenschutz, DVGW-Technologiezentrum Wasser (TWZ), energie/wasser-praxis 6/2020, S. 12-18
  - [L26] Schmoll, O., Bethmann, D. Sturm, S. Schnabel, B.: Das Water-Safety-Plan-Konzept: Ein Handbuch für kleine Wasserversorgungen, Umweltbundesamt und DVGW-Technologiezentrum Wasser (TWZ), 3. Auflage April 2018
  - [L27] CSG, Computer Support Group, Inc. and CSGNetwork.com: Water Density Calculator <http://www.csghnetwork.com/h2odenscalc.html> [online, eingesehen am 27.05.2021]
  - [L28] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz: Umweltkarten Niedersachsen Gewässergüte <https://www.umweltkarten-niedersachsen.de/Umweltskarten/?lang=de&topic=Basisdaten&bgLayer=TopographieGrau> [online, eingesehen, 28.05.2021]
  - [L29] Treskatis, C.: Mikrobiologische Befunde im Brunnenwasser – Hygienische Aspekte bei Bau, Regenerierung und Sanierung von Brunnen, 65. Deutsche Brunnenbautage und BAW-Kolloquium, 7.-9. Mai 2014, Rostrup/Bad Zwischenahn
  - [L30] Landkreis Aurich: Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die Brunnen des Wasserwerkes der Inselgemeinde Baltrum, 16.09.1968
  - [L31] Landkreis Wittmund: Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die Brunnen des Wasserwerkes der Inselgemeinde Langeoog, 26.10.1967
  - [L32] Giebler, C., Kellermann, C., Stumpp, C., Hegler, F., Kuntz, D., Walker-Hertkorn, S.: Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften – Empfehlungen für eine umweltverträgliche Nutzung, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Juli 2015
  - [L33] Brielmann, H., Griebler, C., Schmidt, S. I., Michel, R., Lueders, T.: Effects of thermal energy discharge on shallow groundwater ecosystems, Federation of European Microbiological Societies, Blackwell Publishing Ltd., 14.04.2009
  - [L34] Brielmann, H., Lueders, T., Schreglmann, K., Ferraro, F., Avramov, M., Hammerl, V., Blum, P., Bayer, P., Griebler, C.: Oberflächennahe Geothermie und ihre potenziellen Auswirkungen auf Grundwasserökosysteme, Grundwasser – Zeitschrift für Fachsektion Hydrogeologie, Springer-Verlag, 03.05.2011
  - [L35] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: Information – Erdwärmenutzung in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen, 23.07.2013



- [L36] Schippers, A., Reichling, J.: Laboruntersuchungen zum Einfluss von Temperaturveränderungen auf die Mikrobiologie des Untergrundes, Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, Springer-Verlag, 1/2006
- [L37] Bonte, M., van Breukelen, B.M., Stuyfzand, P.J.: Temperature-induced impacts on groundwater quality and arsenic mobility in anoxic aquifer sediments used for both drinking water and shallow geothermal energy production, Water research, Volume 47, Issue 14, 15.09.2013, S. 5088-5100
- [L38] Ast, M., Eckl, H., Elbracht, J., Fischer, K., Fritz, J., Henke-Jelit, S., Jensen, H., Pester, S., Sbresny, J.: Leitfaden Erdwärmenutzung in Niedersachsen. Rechtliche und technische Grundlagen, GeoBerichte 24, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover 2012



## **1 Veranlassung und Aufgabenstellung**

### **1.1 Veranlassung**

Derzeit wird ein Raumordnungsverfahren (ROV) zur Eröffnung des Grenzkorridors N-III zur Führung von Offshore-Netzanbindungssystemen (ONAS) über die Inseln Baltrum und Langeoog durchgeführt. Es ist bei der Realisierung der Vorhaben geplant, die Inseln mittels ca. 1.500 m langen Horizontalbohrungen zu kreuzen. Seitens der Inselgemeinden wurde während der Vorbereitungen des ROV die Frage aufgeworfen, ob dieses Vorhaben Einfluss auf die dortigen Süßwasserlinsen und damit die Trinkwasserversorgung haben wird. Die Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft (BIG) wurde am 04.03.2021 von der TenneT Offshore GmbH mit der Erstellung eines Gutachtens zur Beantwortung dieser Fragestellung beauftragt.

### **1.2 Aufgabenstellung**

Im Hinblick auf die geplanten Horizontalbohrungen zur Kreuzung der Inseln ist zu untersuchen, ob eine Beeinflussung der chemisch-physikalischen oder auch biologischen Beschaffenheit des Grundwassers in der Süßwasserlinse durch die bei der Bohrung eingesetzten Materialien (Bohrspülung, Verdämmung) möglich ist und ob eine schädliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit zu erwarten ist. Dazu sind zum einen die eingesetzten Stoffe zu bewerten und zum anderen ist abzuklären, ob beim Bohrvorgang überhaupt eingesetzte Stoffe signifikant ins Grundwasser übertreten können (Filterkuchen, Spülungsverluste). Weiterhin wäre, sollte ein signifikanter Übertritt stattfinden, abzuklären, ob die Veränderung eine Beeinflussung der hydrochemischen Gleichgewichte in der Übergangszone Süßwasser-Brackwasser-Salzwasser hervorrufen kann und ob diese sich auf die Lage der Abgrenzungen auswirken kann.

Zusätzlich ist zu untersuchen, ob der Vorgang der Durchführung einer Horizontalbohrung und der damit einhergehende Abtrag von Bohrgut bzw. die Abströmung von Filtratwasser oder – im Falle von Spülungsverlusten – Bohrspülung einen Einfluss auf die Gleichgewichtszustände zwischen der Süßwasserlinse, der Brackwasserzone und der meerwassererfüllten Zone erwarten lässt. Dabei sollten auch mögliche Havariefälle (Spülingausbrüche) bewertet werden.

Weiterhin ist zu klären, ob im Endzustand veränderte Strömungsverhältnisse (z.B. durch Temperaturänderung) und damit ein Einfluss auf die Gleichgewichtszustände zwischen der Süßwasserlinse, der Brackwasserzone und der meerwassererfüllten Zone zu erwarten sind.

## **2 Raumordnungsverfahren Seetrassen 2030**

Um die Offshore-Ausbau-Ziele in der deutschen Nordsee von 20 GW bis 2030 und 40 GW bis 2040 zu erreichen werden für den Stromtransport über Offshore-Netzanbindungssysteme (ONAS) zusätzliche Trassenkorridore zur Verlegung von Seekabeln benötigt.

Das Raumordnungsverfahren „Seetrassen 2030“ [U1] dient der Ermittlung weiterer Trassenkorridore zur Querung des niedersächsischen Küstenmeeres (12 sm-Zone) für künftige ONAS, die aus der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) kommend in das Küstenmeer eintreten und als Seekabel bis zum Anlandungspunkt an der Küste verlegt werden. Die betrachteten Trassenkorridore reichen demnach von der 12 sm-Linie bis zum jeweiligen Anlandungspunkt.

Insgesamt wurden für das Raumordnungsverfahren „Seetrassen 2030“ vier unterschiedliche Varianten der Trassenkorridorführung untersucht, welche mittels einer vorlaufenden Desktopstudie aus 21 Varianten als Vorzugsvarianten ermittelt wurden.

Der Übertritt von der AWZ in das Küstenmeer erfolgt über festgelegte Grenzkorridore. Die vier untersuchten Trassenkorridore dienen der Eröffnung des Grenzkorridores N-III und starten daher alle

am Grenzkorridor N-III. Anschließend queren zwei der möglichen Trassenkorridore die Insel Baltrum (Baltrum-Korridore) und landen im Bereich westlich Dornumersiel an (C3 und C3a). Die anderen beiden möglichen Trassenkorridore queren die Insel Langeoog (Langeoog-Korridore) und landen im Bereich östlich von Ostbense (C6a) bzw. im Bereich westlich von Neuharlingersiel (C6b) an. Der Verlauf der Trassenkorridore (Mittellinie) sowie der Untersuchungsräume kann Anlage 1.1 entnommen werden. Leichte Abweichungen im Trassenverlauf und bei den genannten Dimensionen sind im weiteren Planungsverlauf möglich. Die Festlegung der genauen Trassenführung innerhalb der Trassenkorridore erfolgt erst im späteren Planfeststellungsverfahren.

Die Korridore C3, C3a und C6b bieten Platz für jeweils 5 ONAS und der Korridor C6a Platz für 2-3 ONAS. Insgesamt ist bei Feststellung aller Trassenkorridore die Verlegung von 13 ONAS möglich, da im Baltrum-Korridor nur eine der beiden Varianten ausführbar ist, im Langeoog-Korridor jedoch beide Varianten parallel ausgeführt werden können.

### **3 Offshore-Netzanbindungssystem**

#### **3.1 Allgemeines**

Die in den geplanten Trassenkorridoren zur Ausführung kommenden ONAS sind mit einer Übertragungsleistung von 2 GW geplant. Es ist davon auszugehen, dass hierfür  $\pm 525$  kV-HGÜ-Systeme (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-Systeme) zur Ausführung kommen.

Die Herstellung eines ONAS in den geplanten Trassenkorridoren umfasst folgende Teilschritte [U1]:

- Erstellung eines Leerrohrbauwerks zur Kreuzung des Landesschutzdeiches mittels Horizontalbohrung (HDD) vom Festland zum Rückseitenwatt
- Erstellung eines Leerrohrbauwerks zur Kreuzung der jeweiligen Insel mittels Horizontalbohrung (HDD) vom Rückseitenwatt an den Nordstrand
- Verlegung der Kabel im Watt mit Kabeleinzug in Richtung Festland
- Verlegung der Kabel im Flachwasserbereich
- Kabeleinzug in die Leerrohrbauwerke zur Kreuzung der Inseln vom Watt oder vom Nordstrand aus
- Verlegung der Kabel im Tiefwasserbereich

Für ein  $\pm 525$  kV-HGÜ-System werden insgesamt vier Kabel benötigt: zwei Gleichstromkabel/HVDC-Kabel (+/- Pole), ein Lichtwellenleiter (LWL) und ein metallischer Rückleiter. Im Watt, im Flachwasser- und im Tiefwasserbereich werden die Kabel als Bündel verlegt. Zur Kreuzung der Inseln werden die Kabel getrennt und auf Leerrohrbauwerke aufgeteilt. Für jedes Kabel außer dem LWL muss ein eigenes Leerrohrbauwerk hergestellt werden. Der LWL kann gemeinsam mit einem der anderen Kabel in einem Leerrohrbauwerk verlegt werden. Somit ergeben sich pro ONAS drei Bohrungen bzw. drei Leerrohrbauwerke je Insel- bzw. Landesschutzdeichkreuzung.

## 3.2 Horizontalbohrungen

Das für die Herstellung der Leerrohrbauwerke eingesetzte Horizontalbohrverfahren (HDD) wird im folgenden Abschnitt näher erläutert. Hierbei wird in Bezug auf die Aufgabenstellung der Fokus auf die Herstellung der Leerrohrbauwerke zur Kreuzung der Inseln gelegt. Die Herstellung des Leerrohrbauwerks zur Kreuzung des Landesschutzdeiches ist für die vorliegende Fragestellung nicht relevant. Unter der Insel Norderney wurden bereits entsprechende Horizontalbohrungen ausgeführt (siehe auch Anlage 3).

### 3.2.1 Technik

Der standardmäßige Ablauf einer gesteuerten Horizontalbohrung lässt sich in drei Hauptarbeitsschritte unterteilen [U1], [L7]:

In einem ersten Schritt werden Start- und Zielbaugrube angelegt. Bei Anzeichen von Instabilitäten können Casingrohre am Eintrittsbereich der Bohrungen installiert werden. Die Casingrohre dienen der Zentrierung der Politbohrgarnitur und der Vermeidung von Spülsausrüchen im Eintrittsbereich der Bohrungen. Nachdem das Bohrgerät installiert und in der Lage gesichert ist, wird mit einem Pilotbohrgestänge (z.B. Gestänge mit Pilotbohrkopf/Rollenmeißel  $12 \frac{1}{4}'' = 311 \text{ mm}$ ) der erste Arbeitsgang begonnen. Der Verlauf des Bohrkanals wird während des Vorgangs mittels bent und orienting sub gemessen. Bei Abweichungen zum Sollverlauf wird steuernd in den weiteren Verlauf eingegriffen. Zusätzlich zur Positionsbestimmung werden mittels pressure sub die Ringraumdrücke im Bohrkanal gemessen. Im vorliegenden Fall handelt es sich um Lockergesteinsbohrungen und es kommt ein so genanntes Jet Assembly zum Einsatz. Hierbei wird der Boden fast ausschließlich hydraulisch gelöst und das Bohrklein mittels Bohrspülung über den Ringraum aus dem Bohrkanal ausgetragen.

Im zweiten Arbeitsgang wird am Austrittspunkt ein Räumler montiert und in Richtung Bohreintrittspunkt zurückgezogen. Anschließend erfolgt bei Bedarf ein Cleaning Run, um im Bohrkanal verbliebene Cuttings (Bohrklein/Feststoffe) auszutragen. Es wird wahlweise ein Fly Cutter oder Barrel Reamer eingesetzt mit dem der Bohrkanal in Abhängigkeit der Abmessungen des Schutzrohres sowie unter Berücksichtigung der Geologie aufgeweitet wird. I.d.R. ist von einem Überschnitt von 1,3 auszugehen, d.h. bei einem Schutzrohr von 450 mm ist eine Aufweitung von ca. 600 mm notwendig.

Im dritten Arbeitsgang wird das Schutzrohr (z.B. PE-HD-Rohr 450-500 mm, Durchmesser abhängig von Kabeldicken), das in voller Länge vorgefertigt wird, in den Bohrkanal eingezogen. Zusammen mit dem PE-HD-Rohr wird ein kleines Gestänge zum späteren Verdämmen des Ringraumes in den Bohrkanal eingezogen (z.B. Verdämmrohr 82 mm). Während des Verdämmvorgangs wird das als Verdämmrohr genutzte Gestänge sukzessive beim Zurückziehen wieder aus dem Bohrkanal herausgezogen. Beim Ziehen wird Dämmmaterial verpumpt. Die im Bohrkanal anstehende Bohrspülung wird somit durch das Dämmmaterial verdrängt und tritt am Bohrein- oder Austrittspunkt aus. Bis zum Einzug der Kabel werden die Rohre mit Wasser in Trinkwasserqualität ballastiert, wasserdicht verschlossen und, die Enden mit Betonringen ballastiert, bis zum Kabeleinzug eingegraben.

In Abbildung 1 sind die Arbeitsgänge schematisch dargestellt.

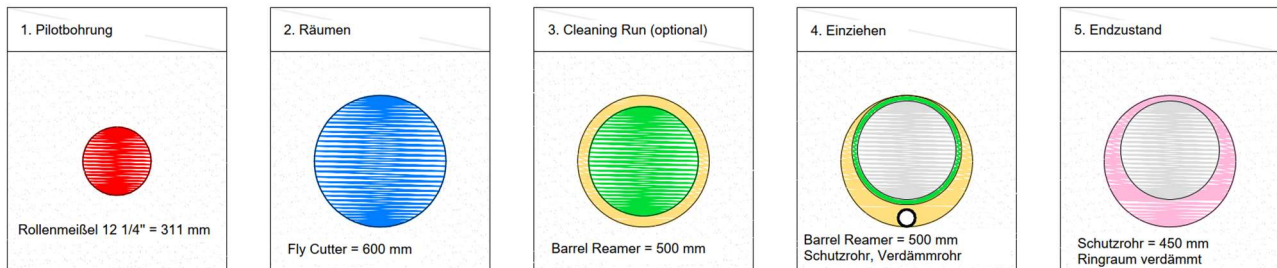


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Arbeitsgänge der Horizontalbohrungen am Beispiel der Ausführungsplanung Norderney [L7]

Die Horizontalbohrungen zur Kreuzung von Langeoog und Baltrum können nur aus dem Wattbereich und nicht von den Inseln gestartet werden, da der fehlende logistische Ausbau einen An- und Abtransport des Bohrequipments nicht möglich macht. Hierzu ist es notwendig das Bohrgerät auf großen, trockenfallenden Pontons vor den wattseitig gelegenen Bohreintrittspunkten zu errichten. Gleichzeitig muss eine Baugrubenumschließung installiert werden, um die während des Bohrprozesses anfallende Bohrspülung auffangen zu können. Die Aufbereitung, Separation und Lagerung der Bohrspülung werden auf einem im Bereich des Fahrwassers installierten weiteren Ponton erfolgen. Das separierte Bohrklein wird dabei in bereitliegenden Schuten oder ähnlichem gelagert und anschließend abtransportiert und entsorgt. Zwischen beiden Pontonkomplexen werden eine Fährverbindung zur Versorgung des Bohreintrittspunktes und mehrere Rohrleitungen zum Transport der Bohrspülung installiert werden. Der Bohraustrittspunkt am Nordstrand wird so gestaltet werden, dass zum einen die im Zielbereich einer Horizontalbohrung notwendigen Arbeiten verrichtet und zum anderen der Rohrstrang für den Einzug in die Horizontalbohrung zwischengelagert und gehändelt werden kann. Die dort anfallende Bohrspülung wird in einer Grube aufgefangen und über eine Rückspüleleitung oder mittels Schuten wieder zum Bohreintrittspunkt verbracht. [U1]

### 3.2.2 Bohrspülung

Die Bohrspülung hat im Wesentlichen zwei Aufgaben:

- Lösen und Transport des Bohrkleins im Bohrkanal
- Stabilisierung und Abdichtung des Bohrkanals

Die Bohrspülung, welche sich aus Bohrsuspension und Bohrklein zusammensetzt, fließt während der Bohrung im Ringraum zurück und fördert das Bohrklein aus dem Bohrkanal. Während der Pilotbohrung tritt die mit Bohrklein beladene Spülung auf der Startseite (Watt) aus. Während der Räumphasen tritt ein Großteil der beladenen Spülung zeitweise auch auf der Zielseite (Nordstrand) aus und wird von dort über eine installierte Rückspüleleitung, Schuten, einen Ponton mit Tankcontainer o.ä. zurück zur Startseite gepumpt bzw. transportiert. Die Spülung wird recycelt und wiederverwendet. [L7]

Die Zusammensetzung der Bohrsuspension und die Festlegung der rheologischen Parameter der Bohrspülung sind von den Baugrundverhältnissen und der Bohrungsgeometrie abhängig.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Zusammensetzung der Bohrsuspension ähnlich oder vergleichbar der Zusammensetzung der Bohrsuspension ausfallen wird, welche für die Horizontalbohrungen zur Kreuzung der Insel Norderney über den Grenzkorridor N-II eingesetzt wurde [L7]:

- Süßwasser in Trinkwasserqualität
- Bentonit Typ W Premium der Firma Phrikolat (durchschnittlich 40-45 kg/m<sup>3</sup>)
  - Hauptbestandteil: Bentonit (vorrangig Montmorillonit)
  - Nebenbestandteile (geringe Mengen): Calciumcarbonat, Carboxymethylcellulose, Cristobalit, Polyacrylsäure, Quarz
- PAC (U)LV –Carboxymethylcellulose (durchschnittlich 1-2 kg/m<sup>3</sup>)
- Soda Ash – Natriumcarbonat (durchschnittlich 0,2-0,6 kg/m<sup>3</sup>)
- Modivis 900 – Biopolymer (Xanthan Gummi) (optional, n.B.)

Der pH-Wert der Spülung wird, damit das Bentonitpulver optimal aufquillt und die Spülung stabil bleibt, permanent im Bereich 9,0-9,5 gehalten.

Gemäß Produktdatenblättern (siehe Anhang) können die einzelnen Bestandteile wie folgt beschrieben werden:

- *Beim Bentonit Typ W – Premium handelt sich um ein Bentonit, welches speziell für den Einsatz in der HDD Großbohrtechnik entwickelt wurde. Das Produkt zeichnet sich durch eine besonders scherverflüssigende Rheologie, ein hohes Austragvermögen auch über sehr lange Fließstrecken und einen sehr geringen Fließwiderstand im Bohrkanal aus, welcher das Risiko von Ausbläsern deutlich reduziert. Die hohe Sofortgelstärke nach einem Pumpenstopp sichert das In-Schwebe-Halten des Bohrkleins (Cuttings) besser, als es mit Standardprodukten und –rezepturen gleicher Viskosität möglich ist.*
- *PAC (U)LV ist ein modifiziertes, polyanionisches Polymer auf Zellulosebasis mit nur geringem Einfluss auf die Viskosität der Suspension. PAC (U)LV senkt zuverlässig die Filtratwasserverluste einer Bentonitspülung und erhöht die Wasserabgabezeit. [...] Zudem reduziert PAC (U)LV die Quellung und den Zerfall erbohrter Tone und stabilisiert das Bohrloch in wasserempfindlichen Formationen.*
- *Soda Ash oder mit korrekter Bezeichnung Natriumcarbonat ist ein Natriumsalz der Kohlensäure. [...] Eine Aufbereitung des Anmachwassers von Bohrspülungen mit Soda Ash führt zu einer verbesserten Hydratation von Bentonit und Polymeren. [...] Zudem wird Soda Ash zur Anhebung des pH-Wertes des Anmachwassers oder der Bentonitsuspension sowie zur Wasserenthärtung verwendet.*
- *Modivis 900 ist ein pulverförmiges und sehr leicht lösliches hochmolekulares Biopolymer aus der Familie der Polysaccharide. Modivis 900 verbessert die rheologischen Eigenschaften aller süß- oder salzwasserbasischen Spülungen. Modivis 900 erhöht die Gelstärke der Bohrspülung ohne unnötigen Viskositätsanstieg und verbessert gleichzeitig die Austragfähigkeit für erbohrte Cuttings.*

Auch bei den Pumpraten kann davon ausgegangen werden, dass diese ähnlich der Pumpraten ausfallen werden, welche für die Horizontalbohrungen zur Kreuzung der Insel Norderney über den Grenzkorridor N-II vorgesehen wurden [L7]:

- Pilotbohrung: 800 l/min
- Räumvorgang: 1.500-2.000 l/min



### 3.2.3 Verdämmung

Es kann davon ausgegangen werden, dass als Verdämmmaterial das gleiche oder ein ähnliches Material eingesetzt wird, welches für die Horizontalbohrungen zur Kreuzung der Insel Norderney über den Grenzkorridor N-II eingesetzt wurde [L7]:

- Selbstaushärtende Bohrsuspension: Drillmix 160 (hier mod. 1b) der Firma HeidelbergCement

Gemäß Produkt- und Sicherheitsdatenblatt (siehe Anhang) ist Drillmix ein hydraulisch abbindender Trockenmörtel für den Einsatz im Erd- und Tiefbau. Neben Zement enthält Drillmix Hüttensand, Aluminiumhydrosilikat (Bentonit) und weitere Additive. Das Produkt wird ohne weitere Zuschlagstoffe nur durch Zugabe von Wasser angemischt. Im Produktdatenblatt (siehe Anhang) wird eine Filtratwassermenge von 40 ml und eine Suspensionsdichte von ca. 1,11 t/m<sup>3</sup> angegeben.

Pumprate und Ziehgeschwindigkeit werden auf die Gestängelänge abgestimmt. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese ähnlich der Pumprate und Ziehgeschwindigkeit ausfallen werden, welche für die Horizontalbohrungen zur Kreuzung der Insel Norderney über den Grenzkorridor N-II vorgesehen wurde, z.B. 350 l/m theoretischer Ringraum → Pumprate 350 l/min → Zugzeit 1 m/min bzw. 3 min je Bohrgestänge à 3 m [L7].

### 3.2.4 Filterkuchen und Filtratwasser

Je nach Porenraumstruktur des Bodens kommt es zu unterschiedlicher Ausbildung von Filterkuchen an der Bohrlochwand. Hierbei kann in äußerer und innerer Filterkuchen unterschieden werden.

Äußerer Filterkuchen (Filterkruste), wenige Millimeter:

Sind die Feststoffpartikel der Bohrspülung größer als der Durchmesser der Poren des Bodens, werden die Poren vollkommen verschlossen und die an der Bohrlochwand liegenden Bodenkörner in der Lage fixiert. Feinstes Bohrklein und Spülungszusätze lagern sich ab und bilden einen Filterkuchen. Die Suspension kann somit nicht mehr in den Porenraum des Bodens eindringen. Durch den Druckunterschied zwischen Suspension und Porenraum kommt es zur teilweisen Trennung der festen und flüssigen Phasen der Suspension (Filtration). Die Feststoffpartikel werden an der Bohrlochwand ausgefiltert und das Filtrat fließt in den Boden ab. Die Durchlässigkeit des Filterkuchens ist abhängig von der Art des Bentonits und der Additive, dem Feststoffgehalt und der Dichte der Bohrspülung. Ziel ist es, eine möglichst undurchlässige Schicht zu bilden. Zur Filtratreduzierung können Polymere eingesetzt werden, die eine Hydrathülle bilden und intensiv an die Tonpartikel des Bentonits adsorbiert werden. Hierdurch werden die Zwischenräume zwischen den Tonpartikeln bei der Filterkuchenbildung verkleinert und die Durchlässigkeit des Filterkuchens sowie die Filtratmenge nehmen ab. Zudem wird die Durchlässigkeit des Filterkuchens durch Einbau frei vorliegender Polymerpartikel vermindert. Bei konstanten Bedingungen von Druck, Temperatur, etc. nimmt die Filtratmenge exponentiell mit der Konzentration ab. [L10], [L11]

Innerer Filterkuchen, Zentimeter bis Dezimeter:

Sind die Feststoffpartikel der Bohrspülung kleiner als der Durchmesser der Poren des Bodens, werden diese nicht verschlossen. Die Suspension dringt ohne Filterkuchenbildung in den Porenraum des Bodens ein. Aufgrund der Fließgrenze der Suspension werden Schubspannungen entlang der Wandungen der Porenkanäle erzeugt. Beim weiteren Eindringen der Suspension in den Boden nimmt der Flüssigkeitsdruck durch Übertragung auf das Korngerüst ab und der Fließvorgang stagniert, wenn das über der Porenkanaloberfläche gebildete Integral der Schubspannungen mit der

Differenzdruckkraft zwischen Suspension und Grundwasser im Gleichgewicht steht. Im Porenraum des Bodens entsteht über den Bereich, in den die Suspension eingedrungen ist, eine nahezu wasserundurchlässige Zone. Die Eindringtiefe hängt neben der Druckdifferenz von der Korngröße des anstehenden Bodens und von der Scherfestigkeit der Suspension ab. [L10], [L11]

In den meisten Fällen ist die Porenraumstruktur des Bodens so beschaffen, dass beide Mechanismen zusammen auftreten. Gemäß Angaben des Herstellers Phrikolat [L11] sind Bohrspülungen mit einem spezifischen Gewicht von  $1.02 - 1.06 \text{ kg/dm}^3$  ausreichend, damit sich ein Filterkuchen ausbildet. Die voraussichtlichen Spüldichten im Rückfluss liegen in Analogie zu den Horizontalbohrungen zur Kreuzung der Insel Norderney über den Grenzkorridor N-II mit ca.  $1,16 \text{ kg/dm}^3$  (Pilotbohrung) und ca.  $1,24 \text{ kg/dm}^3$  (Aufweiten) deutlich über diesem Wert [L7].

### 3.2.5 Spülungsverluste und -ausbrüche

Bei sehr grobkörnigen Böden ist damit zu rechnen, dass die Spülung in die Poren eindringt und den Porenraum ausfüllt, wodurch es zu Spülungsverlusten kommen kann.

Spülungsverluste bzw. Spülsaustritte entstehen dadurch, dass sich die Bohrspülung andere Fließwege sucht und nicht mehr im Bohrkanal zurückfließt. Insbesondere bei Horizontalbohrungen besteht zudem die Gefahr von Spülsausrüchen, d.h. von Spülsaustritten an der Oberfläche. Spülsausrüchen entstehen durch hydraulische Rissbildung bis zur Oberfläche, wenn der in der Bohrung herrschende Spüldruck/Ringraumdruck (im Bohrkanal wirkender Druck = hydrostatischer + hydrodynamischer Druck) den Widerstand des umgebenden Bodens, d.h. den hydrostatischen Druck des Erdreichs und des Grundwassers durch Auflast, übersteigt [L12].

Insbesondere bei folgenden Gegebenheiten ist die Gefahr von Spülsausrüchen erhöht [L7]:

- Geologische Schichtgrenzen: Bei Durchbohren von Schichtgrenzen können zwischen den Schichtgrenzen neue Fließwege entstehen.
- Veränderte geologische Verhältnisse (z.B. Kiesnester): Bei Durchbohren von Kiesnestern oder Kieslinsen kommt es zu größeren Spülungsverlusten. Kiesschichten sind weniger stabil als Sand- oder Tonschichten. Je nach Ausdehnung und Lage können neue Fließwege entstehen. Zudem kann sich hoher Druck aufbauen.
- Geologische Erkundungsbohrungen, die nicht einwandfrei verschlossen wurden: Bei Durchbohren nicht ordnungsgemäß verfüllter Bohrlöcher kommt es zu einem Kurzschluss zwischen der Pilotbohrung und der Erkundungsbohrung und die Bohrspülung gelangt annähernd widerstandslos an die Oberfläche.
- Grundwassermessstellen, wenn ihr Ringraum nicht ausreichend mit Tonsperren versehen ist: Im durchlässigen Ringraum können neue Fließwege entstehen.
- Kollabieren des Bohrlochs: Durch Kollabieren des Bohrlochs auf einem Abschnitt zwischen Anlage und Bohrkopf wird der Spülrückfluss unterbrochen. Es baut sich hoher Druck im Ringraum auf, der den Widerstand der umgebenden Formation übersteigt.

In homogenen Sandhorizonten sind Spülungsverluste eher unwahrscheinlich. Problematisch sind jedoch Torflinsen oder Weichschichten innerhalb der Bohrtrasse. Da es sich hier um besonders druckschwache Horizonte handelt, kann es zu einem Überschreiten des zulässigen Druckes kommen.

Durch die Messung der Ringraumdrücke im Bohrkanal (nur bei Pilotbohrung möglich) können Druckanstiege und damit die Gefahr von potenziellen Spülsaustritten an der Oberfläche frühzeitig erkannt und vermieden werden. Zuvor durchgeführte Spüldruckberechnungen liefern die maximal



zulässigen Spülungsdrücke und hieraus resultierend die maximal zulässigen Pumpraten im jeweiligen Bohrungsbereich um keine Spannungsüberschreitungen des umgebenden Erdreiches zu provozieren. Die Pumpraten richten sich zudem nach dem Volumen des abgebauten Bodens, welches aus dem Bohrkanal heraustransportiert werden muss und stehen in Abhängigkeit mit der Bohrgeschwindigkeit. Die bei der Bohrung tatsächlich auftretenden Spülungsdrücke dürfen die berechneten maximal zulässigen Spülungsdrücke nicht übersteigen. Bei Feststellung eines Druckanstieges (z.B. durch Ringraumverstopfung, Querschnittseinengung, Zusammenfall) kann durch teilweise oder vollständige Reduzierung der Pumprate und Zurückziehen des Bohrstranges ein weiteres Ansteigen des Druckes verhindert werden. Es wird hiermit versucht, den Bohrkanal zu reinigen und die Verstopfung zu beseitigen, um den Spülungsdruck wieder zu normalisieren. Der Rückzug erfolgt so lange bis der Spülungsdruck wieder den vorgegebenen Parametern entspricht.

Zusätzlich werden die Spülmengen (Ein- und Austritt) mittels induktiver Durchflussmesser kontrolliert. Ein gewisser Verlust an Bohrsuspension (ca. 10%) ist hierbei üblich, da beim Auffahren der Bohrung, bevor sich ein äußerer Filterkuchen aufbaut Bohrspülung in den umgebenden Boden gelangt bzw. ein innerer Filterkuchen aufgebaut wird.

Die Gefahr von Spülsausrüchen ist am Bohrein- und Austrittspunkt am größten. Aus diesem Grund können z.B. bei Anzeichen von Instabilitäten im Bohreintrittsbereich Casingrohre installiert werden, wodurch Spülsausrüche auf den ersten Bohrmetern verhindert werden.

Die Verdämmung erfolgt unter moderatem Druck. Aus diesem Grund sind Spülingsverluste und -ausrüche hier unwahrscheinlich.

### 3.3 Dimensionen

Zur Kreuzung der Inseln sind in den geplanten Trassenkorridoren Horizontalbohrungen mit Längen von ca. 1.500 m notwendig. Der Durchmesser der Bohrungen im Endzustand ergibt sich in Abhängigkeit des Durchmessers des Leerrohres (vgl. hierzu auch Abschnitt 3.2.1).

Der Mindestabstand zwischen den Kabelbündeln der einzelnen ONAS beträgt 50 m im Watt. Im Flach- und Tiefwasserbereich wird dieser zur Erleichterung von Wartungs- und Reparaturarbeiten auf 100 m erweitert.

Für ein ONAS werden zur Kreuzung der Inseln mit dem  $\pm 525$  kV-HGÜ-System drei Bohrungen bzw. drei Leerrohrbauwerke benötigt. Der Abstand zwischen den Leerrohrbauwerken innerhalb einzelner ONAS beträgt aufgrund der wechselseitigen thermischen Beeinflussungen der Kabel 20 m. Es ist geplant das Leerrohrbauwerk für den metallischen Rückleiter ca. 5 m tiefer mittig zwischen den Leerrohrbauwerken für die beiden Pole herzustellen. Da der metallische Rückleiter nicht ständig stromführend ist, kann hier der Abstand zu den anderen beiden Kabeln geringer ausfallen. Zwischen den Leerrohrbauwerken benachbarter ONAS ergeben sich aufgrund der o.g. Abstände zwischen den Kabelbündeln sowie den Abständen der Leerrohrbauwerke innerhalb eines ONAS Abstände zwischen 30 m auf der Wattseite (Eintrittsbereich HDD) und 80 m auf der Nordstrandseite (Austrittsbereich HDD).

Mit der genannten Anordnung und den genannten Abständen ergibt sich bei zwei nebeneinander liegenden ONAS eine Breite von ca. 70 m bis 120 m, bei drei nebeneinanderliegenden ONAS eine Breite von ca. 120 m bis 220 m und bei fünf nebeneinanderliegenden ONAS eine Breite von ca. 220 m bis 420 m für den Trassenkorridor (Abstand zwischen den zwei äußersten Bohrungen).

Für den Schutz der Leitungen ist die Einrichtung eines Schutzbereiches/Schutzstreifens beidseitig der Leerrohrbauwerke erforderlich. Der Schutzbereich stellt eine vom Bau über den Betrieb bis zum Rückbau der Leitungen dauerhaft in Anspruch genommene Fläche dar. Dieser Schutzbereich hat eine Breite von jeweils ca. 6 m (3 m links und 3 m rechts neben dem Leerrohrbauwerk).

Bei der Tiefe der Bohrung ist mit einer durchschnittlichen Überdeckung von ca. 25 m für die Pole und ca. 30 m für den metallischen Rückleiter zu rechnen. Eine detaillierte Planung kann jedoch erst mit Vorliegen des Baugrundgutachtens erfolgen.

### 3.4 Temperaturanstieg in Boden und Grundwasser

Zum Temperaturanstieg in Boden und Grundwasser während der Betriebsphase der Kabel liegen Berechnungen vor [U20]. Hier wurde die zu erwartende Erwärmung im die Leerrohre umgebenden Boden berechnet. Es wurde der symmetrische Fall (metallischer Rückleiter stromlos = Regelfall) unter Dauerlast und bei anzunehmendem Windlastprofil (77% Last im Regelfall, Berücksichtigung siebentägiger Starkwindphase mit 99% Last und anschließendem Rückgang auf 77% Last) betrachtet. Es wurde von einem Leiterquerschnitt von 2.500 mm<sup>2</sup>, einer Boden- bzw. Grundwassertemperatur von 15 °C und wassergesättigtem Boden mit einer Wärmeleitfähigkeit von 1,43 W/mK ausgegangen.

Bei Dauerlast liegt die Temperatur im verdämmten Bereich bei 29,7°C, beim Windlastprofil zwischen 26,8 °C, d.h. bei + 11,8 K im Vergleich zur Ausgangstemperatur von 15 °C, und 28,1 °C (siebentägige Starkwindphase). In zunehmender Entfernung zum Leerrohr nimmt die Erwärmung asymptotisch ab. In 20 m Entfernung liegt diese bei etwa 17,8 °C, d.h. + 2,8 K im Vergleich zur Ausgangstemperatur von 15 °C. Ab 52,6 m Entfernung liegt die Erwärmung bei unter + 1 K.

Bei einer Boden- bzw. Grundwassertemperatur von 10 °C kann in Analogie von einer Temperatur im verdämmten Bereich von 21,8 °C und von 12,8 °C in 20 m Entfernung zum Leerrohr ausgegangen werden, da die Erwärmung der Kabel von der Umgebungstemperatur abhängt.

## 4 Geologische Situation Baltrum und Langeoog

Bei den ostfriesischen Inseln handelt es sich um Barriere-Inseln entlang der ostfriesischen Küste. Sie sind entstanden aus ehemaligen Geestkerninseln, die nach dem Pleistozän überflutet und von holozänen Sedimenten überschüttet wurden. Es entstanden die sogenannten Sandplaten.

Heutzutage ist der Großteil der Inseloberflächen durch Dünenbildungen geprägt. Auf der Seeseite befinden sich Sandstrände und die dem Festland zugewandten Seite ist durch ins Watt übergehende Salzwiesen gekennzeichnet. Die einzelnen Inseln sind durch Seegaten voneinander getrennt.

In die eiszeitlichen Sedimente der Geestkerne sind holozäne Rinnen zum Teil tief eingeschnitten und mit jüngeren, feinsandigen bis schluffigen Wattsedimenten gefüllt.

Das Quartär ist gekennzeichnet durch zyklische Klimaschwankungen. Diese haben in der südlichen Nordsee und den angrenzenden Festlandsgebieten eine Schichtenfolge hinterlassen, die durch eine größere Zahl von Meerestransgressionen und –regressionen gegliedert ist.

So lag z.B. vor 18.000 Jahren, zum Höchststand der letzten Kaltzeit in Europa, der Weichsel-Kaltzeit, der Wasserstand der Nordsee etwa 110 m bis 130 m tiefer als heute, und die Küstenlinie hatte sich weit nach Norden bis ca. 350 km nördlich der Doggerbank zurückgezogen [L4]. Mit der Wiedererwärmung stieg der Meeresspiegel an, und die Küstenlinie verschob sich rasch über ehemalige eiszeitliche Landschaften hinweg landeinwärts.

Der holozäne Meeresspiegelanstieg verlief zunächst rasch und kontinuierlich, erst ab 5.000 v. Chr. verlangsamte sich der Anstieg deutlich und es wechselten sich Vorstoß- und Rückzugsphasen ab. Diese Phasen zeichnen sich im geologischen Aufbau des Küstenholozän durch eine Wechselfolge organogener und klastischer Ablagerungen ab, wobei Torfe bzw. Bodenbildungen Regressionsphasen und die klastischen Sedimente Transgressionsphasen entsprechen.

Auch die heutige Form der Inseln wird ständig durch marine morphodynamische Prozesse gestaltet. Aufgrund der vorherrschenden westlichen Windrichtung resultiert strömungstechnisch ein Längstransport von Sedimenten in östliche Richtung.

Dass die Ostfriesischen Inseln nicht lagestabil sind, ist durch geologische Untersuchungen und aktuelle Beobachtungen hinlänglich bekannt. Bedingt durch marine Morphodynamik hat sich die Position und Form sowie der Verlauf der Inselkette in den letzten Jahrhunderten stetig verändert. Durch eine Nord-Süd gerichtete Verlagerung schob sich zum Beispiel die Dünenfront der Inseln in den letzten 2.000 Jahren um mindestens 500 m auf die jeweiligen Salzwiesen der Inseln vor. Dies hat zur Folge, dass diese von den Inseldünen überdeckt und der ursprüngliche Entwicklungszustand konserviert wurde. Heute werden solche älteren Salzwiesen bzw. Wattablagerungen erosiv am Strand freigelegt.

#### 4.1 Baltrum

Baltrum ist mit 6,2 km<sup>2</sup> die kleinste der bewohnten ostfriesischen Inseln und erstreckt sich parallel zur Festlandküste 4,8 km in Ost-West-Richtung und hat eine Breite von max. 1,7 km in Nord-Süd-Richtung [L4].

Die geologischen Verhältnisse der Insel Baltrum gestalten sich sehr einfach; sie ist aufgebaut aus der Sandplate, der Dünenlandschaft und dem Schlicksaum auf der Südseite (Watt).

Das Fundament der Insel bildet eine der Küste parallele langgestreckte Sandbank, eine sogenannte Sandplate, die aus zumeist feinkörnigen Sanden besteht. Der Charakter der Sandplate tritt besonders deutlich im östlichen Teil der Insel hervor. Die Sandplate bildet eine meist nur + 1 m NHN hoch gelegene Sandebene.

Auf dieser Sandplate haben sich große zusammenhängende Flugsandbildungen (Dünen) angehäuft, die auf Baltrum Höhen bis zu + 16 m NHN erreichen. Durch starke Sturmfluten und durch Windwirkung wurden die ehemals mächtigen Dünenkämme zerstört und in einzelne Teildünen zergliedert.

Baltrum wird dem Profiltyp „X1 – Klastische Sequenz“ des Küstenholozäns zugeordnet.

Im für das ROV festgelegten Untersuchungsraum für die Baltrum-Korridore liegen drei zu Erkundungszwecken abgeteufte geologische Bohrungen (siehe Anlage 1.2). Hier wurden Fein- und Mittelsande bis in eine Tiefe von 29,5 m u. GOK (Bohrendteufe der tiefsten Bohrung) mit dünnen Lagen/Linsen aus Grobsand, Watt, Ton oder Torf angetroffen. Zudem werden die Fein- und Mittelsande von unterschiedlich dicken Kleilagen/-linsen durchzogen, welche mit Mächtigkeiten zwischen wenigen Dezimetern bis max. 2,5 m angetroffen wurden. In einer Bohrung wurde ab 28,4 m u. GOK der Lauenburger Ton angetroffen. Die Unterkante wurde mit der Bohrendteufe von 29,0 m u. GOK nicht erreicht. [U9]

## 4.2 Langeoog

Langeoog besitzt eine Fläche von 20,4 km<sup>2</sup> und erstreckt sich 10,9 km in Ost-West-Richtung. Sie ist damit die längste der ostfriesischen Inseln. Die Nord-Süd-Ausdehnung nimmt von 3,5 km im Westen nach 1,6 km bis 1,3 km im Osten ab. [L4]

Ebenso wie auf Baltrum wird auch auf Langeoog das Fundament von einer Sandplate gebildet. Auf der Sandplate steht oberflächennah Dünensand bis maximal etwa + 19,5 m NHN an, der von holozänen Wattsanden bis in - 10 bis - 20 m NHN unterlagert wird. Anschließend folgen pleistozäne glaziofluviale Sedimente. Zwischen den holozänen und pleistozänen Schichten steht der Lauenburger Ton in Tiefen zwischen - 15 m NHN und - 35 m NHN an. Hierbei variieren die Tiefenlage und Mächtigkeit stark. Der Lauenburger Ton fungiert als Grundwasserstauer, ist jedoch nicht durchgängig ausgebildet. [L2]

Die Dünenkette von Langeoog wurde in der Vergangenheit bei Sturmfluten durchbrochen, z.B. Große Schlopp. Im Bereich Pirolatal wurden künstliche Dünen angelegt.

Langeoog wird wie Baltrum zum Großteil dem Profiltyp „X1 – Klastische Sequenz“ des Küstenholozäns zugeordnet. Einzelne kleine Bereiche im westlichen Teil der Insel werden zudem dem Profiltyp „Y2 – Obere klastische Sequenz über Aufspaltungssequenz (organische Schichten) über Aufspaltungssequenz (klastische Schichten) über Aufspaltungssequenz (organische Schichten) über untere klastische Sequenz über organische Basalsequenz“ sowie dem Profiltyp „X2 – Klastische Sequenz über organische Basalsequenz“ zugeordnet. [U6]

Im für das ROV festgelegten Untersuchungsraum für die Langeoog-Korridore liegen neun zu Erkundungszwecken abgeteufte geologische Bohrungen (siehe Anlage 1.2). Hier wurden vorrangig Feinsande bis in eine Tiefe von 31,0 m u. GOK (Bohrendteufe der tiefsten Bohrung) mit dünnen Lagen/Linsen aus Schluff, Ton, Torf oder Mudde angetroffen. Zudem werden die Feinsande von unterschiedlich dicken Kleilagen/-linsen durchzogen, welche mit Mächtigkeiten zwischen wenigen Dezimetern bis max. 3,0 m angetroffen wurden. In mehreren Bohrungen wurden Tonlagen angetroffen, bei denen es sich um den Lauenburger Ton handeln könnte. [U9]

## 5 Hydrogeologische Situation Baltrum und Langeoog

Aufgrund der Lage in der Nordsee mit salzigem Meerwasser – die Salinität liegt bei etwa 3,5 ‰, das entspricht 35 g/kg – tritt im Untergrund der ostfriesischen Inseln Salzwasser auf. Durch Versickerung von Niederschlagswasser wird insbesondere unter den Dünen ein Grundwasserkörper mit süßem Wasser aufgebaut.

Süßwasserlinsen unterhalb von Inseln entstehen als Resultat eines hydrostatischen Gleichgewichtszustandes zwischen versickerndem Niederschlagswasser und meerwassererfülltem Grundwasser. Durch das geringere spezifische Gewicht des Niederschlagswassers bildet sich unterhalb von Inseln mit sandigem Untergrundaufbau auf dem meerwassererfüllten, versalzten Grundwasser ein linsen- bzw. eisbergförmiger Süßwasserkörper. Der Gleichgewichtszustand wird neben dem Dichteunterschied zwischen Süßwasser und Salzwasser von diffusiv-dispersiven Vorgängen beeinflusst. An der Grenze zwischen Süßwasser und Salzwasser kommt es zur Ausbildung einer Grenzschicht/Übergangszone (= interface). In den Randbereichen der Süßwasserlinsen findet ein ständiger Abfluss von süßem Grundwasser zum Meer statt, der mit der Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag im Gleichgewicht steht. Durch die meerwärts gerichtete Grundwasserbewegung wird das Brackwasser an der Grenzfläche zwischen Süß- und Salzwasser ständig mit abgeführt, während von unten Meerwasser nachströmt. Die Mächtigkeit der Grenzschicht ist abhängig von der Porosität und der Porenform des Grundwasserleiters sowie von den Wasserspiegelschwankungen aufgrund des Tidehubs, der natürlichen Grundwasserneubildung und des Grundwasserabflusses und liegt im Bereich von mehreren Metern. [L4], [L1]

Das ausgebildete hydrostatische Gleichgewicht ist jedoch labil, da es von dynamischen Vorgängen wie Veränderungen der Grundwasserneubildung, Grundwasserförderung, Tidenhub etc. beeinflusst wird. Besonders problematisch in der Beeinflussung von Süßwasserlinsen ist, dass Schäden irreversibel sein können.

Form und Mächtigkeit der Süßwasserlinsen hängen von den jeweiligen hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnissen ab. Die Oberfläche der Süßwasserlinse ist, bei ausreichender Höhe der Dünen, im Zentrum des Einzugsgebietes. Der Rand der Süßwasserlinsen ist auf das Tidemittelwasser (ungefähr NHN) eingestellt [L4]. Die Basis bzw. die Mächtigkeit der Süßwasserlinsen können anhand der Ghyben-Herzberg-Gleichung abgeschätzt werden:

$$h_{uMS} = \frac{\rho_{\text{süß}}}{\rho_{\text{salz}} - \rho_{\text{süß}}} \times h_{oMS}$$

$\rho_{\text{süß}}$  = Dichte des Süßwassers = 0,99...1,00 kg/l

$\rho_{\text{salz}}$  = Dichte des Salzwassers = 1,02...1,03 kg/l

$h_{uMS}$  =  $h_s$  = Lage des Süßwassers unterhalb des Meeresspiegels in Metern

$h_{oMS}$  =  $h_f$  = Höhe des Süßwassers oberhalb des Meeresspiegels in Metern

Hierbei ist die Mächtigkeit der Süßwasserlinse direkt von der Höhe des Grundwasserspiegels abhängig. Die Ghyben-Herzberg-Gleichung setzt jedoch einen homogenen Aquifer voraus. Bei inhomogenen Aquiferen wird die Abschätzung zunehmend ungenauer.

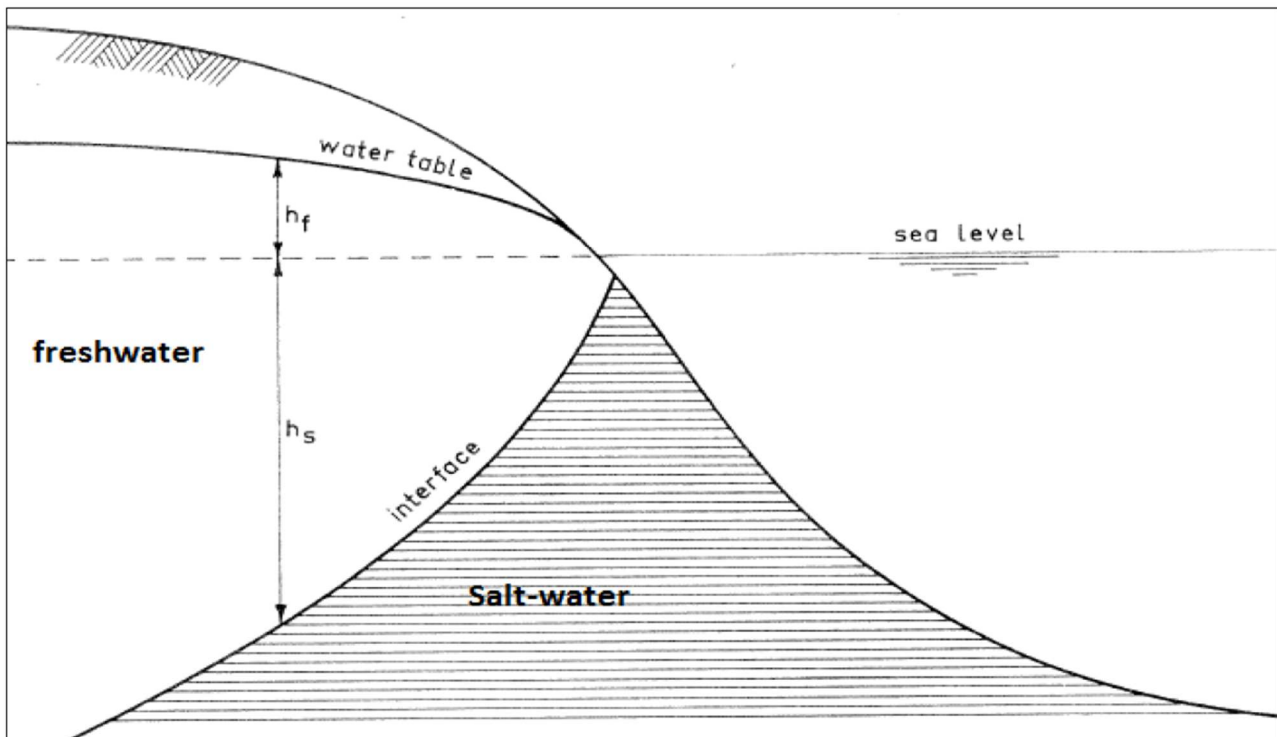


Abbildung 2: Ghyben-Herzberg-Gleichung [L13]



Da die Ghyben-Herzberg-Gleichung insbesondere bei inhomogenen Aquiferen nur eine grobe Abschätzung darstellt, wurden Süßwasserlinsen in der Vergangenheit zudem mittels verschiedener Verfahren erkundet. Durch den großen Kontrast im spezifischen elektrischen Widerstand zwischen Meerwasser ( $< 2 \Omega\text{m}$ ) und Süßwasser ( $> 30 \Omega\text{m}$ ) können Süßwasserlinsen mit geophysikalischen Techniken (Widerstandsverfahren wie Geoelektrik und Geomagnetik) erkundet werden. Durch Kombination der Messergebnisse mit Daten aus anderen Erkundungsverfahren (z.B. Wasseranalysen, Aufschlussbohrungen) können Form und Mächtigkeit der Süßwasserlinsen modelliert werden. Per Definition wird ein Wasser als versalzt bezeichnet, wenn der Chloridgehalt über 250 mg/l liegt. Dementsprechend wird von Süßwasser gesprochen, wenn der Chloridgehalt unter 250 mg/l liegt. [L1], [L2], [L5]

## 5.1 Süßwasserlinse Baltrum

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Süßwasserlinse unter Baltrum sich über eine Fläche von ca. 1,54 km<sup>2</sup> mit einer Ost-West-Ausdehnung von ca. 2.100 m und einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 950 m erstreckt (siehe Anlage 1.3). Die Süßwasserlinse entspricht dem Bereich, in dem nur der untere Teil des Grundwasserleiters versalzt ist. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die zugrunde liegende Karte [U7] mit Publikationsdatum 01.01.1987 nur sehr grob ist (Maßstab 1:200.000), die Darstellung auf einer geringen Datengrundlage basiert und keine Tiefenangaben aufweist. Eine aktualisierte Karte der Versalzung inkl. Tiefenangaben wie sie für weite Teile Niedersachsens bereits vorliegt (Publikationsdatum 01.02.2020), liegt für die Insel Baltrum noch nicht vor.

Da keine Tiefenangaben zur Süßwasserlinse unter Baltrum vorliegen, erfolgt eine Abschätzung der Mächtigkeit mit der Ghyben-Herzberg-Gleichung. Nach [U8] liegt die Grundwasseroberfläche im Zentrum der Süßwasserlinse bei 1-5 m NHN. Die Geländeoberkante liegt hier bei ca. 3 m NHN, wodurch sich, sollte das Grundwasser direkt unter der Oberfläche anstehen, eine max. Höhe der Grundwasseroberfläche von ca. 3 m NHN ergibt. Hiermit lässt sich die Basis der Süßwasserlinse unter Annahme der mittleren Dichten von Süßwasser und Salzwasser mit der Ghyben-Herzberg-Gleichung wie folgt berechnen:

$$h_{uMS} = \frac{0,995 \frac{kg}{l}}{1,025 \frac{kg}{l} - 0,995 \frac{kg}{l}} \times 1 m = 33 m$$

$$h_{uMS} = \frac{0,995 \frac{kg}{l}}{1,025 \frac{kg}{l} - 0,995 \frac{kg}{l}} \times 3 m = 100 m$$

Die theoretische Mächtigkeit der Süßwasserlinse im Zentrum liegt demnach im Bereich zwischen 34 m (33 m unter MS und 1 m über MS) und ca. 103 m (100 m unter MS und 3 m über MS). Diese Werte stellen jedoch nur eine grobe Abschätzung dar, da bei der Berechnung mittels der Ghyben-Herzberg-Gleichung ausschließlich die Höhe der Grundwasseroberfläche berücksichtigt und ein homogener Aquifer vorausgesetzt wird (vgl. Abschnitt 5). Zudem liegen keine Messdaten zu den vorhandenen Grundwasserspiegelhöhen vor.

Die Durchlässigkeit der quartären Sedimente von Baltrum wird als „hoch“ klassifiziert [U10].

## 5.2 Süßwasserlinse Langeoog

Die Süßwasserlinse von Langeoog wurde aufgrund mehrerer großer Hochwasserereignisse bzw. Sturmfluten in drei Süßwasserlinsen (West, Mitte, Ost) aufgeteilt. Diese sind jedoch nicht komplett voneinander getrennt, sondern, bedingt durch die erneute Grundwasserneubildung durch die Versickerung von Niederschlagswasser, oberflächennah miteinander verbunden [U11]. Die Mächtigkeit des Süßwassers in diesen Zwischenbereichen beträgt jedoch nur wenige Meter.

Gemäß [U7] erstreckt sich die westliche Linse über eine Fläche von ca. 2,28 km<sup>2</sup> mit einer Ost-West-Ausdehnung von ca. 3.100 m und einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 800 m, die mittlere Linse über eine Fläche von 0,37 km<sup>2</sup> mit einer Ost-West-Ausdehnung von ca. 950 m und einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 500 m und die östliche Linse über eine Fläche von 2,30 km<sup>2</sup> mit einer Ost-West-Ausdehnung von ca. 4.150 m und einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 650 m bzw. erstreckt sich die gesamte Linse (West, Mitte, Ost) gemäß [U11] über eine Fläche von 12,22 km<sup>2</sup> (siehe Anlage 1.3). Die Süßwasserlinse entspricht dem Bereich, in dem nur der untere Teil des Grundwasserleiters versalzt ist. Analog zu Abschnitt 5.1 ist zu beachten, dass die zugrunde liegende Karte [U7] mit Publikationsdatum 01.01.1987 nur sehr grob ist (Maßstab 1:200.000), die Darstellung auf einer geringen Datengrundlage basiert und keine Tiefenangaben aufweist. Eine aktualisierte Karte der Versalzung inkl. Tiefenangaben wie sie für weite Teile Niedersachsens bereits vorliegt (Publikationsdatum 01.02.2020), liegt für die Insel Langeoog noch nicht vor.

Im Gegensatz zu Baltrum wurden die Süßwasserlinsen unter Langeoog jedoch seit 1987 bereits intensiv mittels verschiedener Verfahren erkundet, wodurch umfangreiche Informationen zu den Dimensionen der Süßwasserlinsen vorliegen und nicht auf die Abschätzung mittels Ghyben-Herzberg-Gleichung zurückgegriffen werden muss. In den Jahren 2008/2009 sowie 2014 wurden auf Langeoog aerogeophysikalische bzw. aeroelektromagnetische Grundwassererkundungen durchgeführt (helicopter-borne electromagnetic (HEM) surveys). Unter Einbeziehung von Wasseranalysen, geoelektrischen Sondierungen und Bohrlochgeophysik wurde ein 3D-Modell der Süßwasserlinse unter Langeoog (Publikationsdatum 01.10.2016) erstellt [U11], [L2], [L3]. Die Fläche der gesamten Linse (West, Mitte, Ost) beträgt hiernach, wie bereits weiter oben erwähnt, 12,22 km<sup>2</sup>. Die maximale Mächtigkeit der westlichen Süßwasserlinse liegt bei ca. 54 m und die der östlichen Süßwasserlinse bei ca. 64 m. Die geringere Mächtigkeit der westlichen Süßwasserlinse lässt sich hierbei vermutlich auf die Trinkwasserförderung aus dieser Linse zurückführen, siehe auch Abschnitt 5.3.2. Durch den Lauenburger Ton wird die Süßwasserlinse, zumindest in den Bereichen, wo dieser ausgebildet ist, nach unten hin begrenzt [L2]. Schnitte aus dem 3D-Modell sind in Anlage 2.1 zu finden.

Im Vergleich des 3D-Modelles mit der Karte aus 1987 kann festgestellt werden, dass Lage und Größe der östlichen und mittleren Grundwasserlinse grundsätzlich übereinstimmen bzw. nur leicht variieren. Die Größe der westlichen Grundwasserlinse wurde jedoch 1987 deutlich geringer abgeschätzt (vgl. Anlage 1.3). Dies kann unter anderem damit zusammenhängen, dass die Karte aus 1987 keine Tiefenangaben enthält. Da die Süßwasserlinse unter dem südwestlichen Ende von Langeoog gemäß 3D-Modell nur sehr geringmächtig ist, wurde dieser Teil des Grundwasserleiters vermutlich 1987 als „vollständig oder fast vollständig versalzt“ klassifiziert und erscheint daher nicht als Teil der Süßwasserlinse.

Die Durchlässigkeit der quartären Sedimente von Langeoog wird als „hoch“ bzw. „stark variabel“ im westlichen Teil der Insel klassifiziert [U10].



## 5.3 Trinkwasserversorgung

### 5.3.1 Trinkwasserversorgung Baltrum

Baltrum wird über eine Leitung vom Festland mit Trinkwasser versorgt. Das 1971 in Betrieb genommene Wasserwerk Baltrum wird als Notwasserwerk und als Speicherpumpwerk betrieben. Bei Unterbrechung der Versorgung vom Festland wird eine Notversorgung aus den fünf Brunnen der Insel aufrechterhalten. Das Wasserwerk wird vom Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) betrieben [L14].

Die Baltrum-Korridore kreuzen Schutzzone III des Wasserschutzgebietes, der zugehörige Untersuchungsraum im westlichen Randbereich die Schutzzone II (siehe Anlage 1.4).

### 5.3.2 Trinkwasserversorgung Langeoog

Im Gegensatz zu Baltrum erfolgt auf Langeoog die Trinkwasserversorgung ausschließlich über das auf der Insel gelegene Wasserwerk. Das Trinkwasser wird aus der westlichen der drei vorhandenen Süßwasserlinsen gefördert. Die Förderung erfolgt über 17 Vertikalbrunnen, welche alternierend betrieben werden. Die Filtertiefen liegen zwischen 14 m und 20 m und die Förderleistung je Brunnen bei 11-18 m<sup>3</sup>/Std. [L14]. Die Aufbereitung mit einer maximalen Aufbereitungsleistung von 100 m<sup>3</sup>/Std. erfolgt über drei Filterstufen:

- Filterstufe 1: Enteisenung, Belüftung, Entgasung
- Filterstufe 2: Entmanganung
- Filterstufe 3: Trübstoffentfernung

Die Langeoog-Korridore kreuzen die Schutzzone III des Wasserschutzgebietes (siehe Anlage 1.4).

## 6 Möglicher Einfluss von Horizontalbohrungen auf die Süßwasserlinsen unter Baltrum und Langeoog – Risiko- und Gefährdungsanalyse

Im Folgenden wird ein möglicher Einfluss von Horizontalbohrungen auf die Süßwasserlinsen unter Baltrum und Langeoog basierend auf den in Abschnitt 2 bis 5 dargestellten Gegebenheiten analysiert und in Anlehnung an das DVGW-Merkblatt W 1001 anhand einer Gefährdungsanalyse betrachtet und einer Risikoabschätzung bewertet.

In einem ersten Schritt werden die vorstellbaren Unterfahrungsvarianten zur Kreuzung der Inseln dargestellt und anschließend anhand der in Abschnitt 2 bis 5 dargestellten Gegebenheiten die für Baltrum und Langeoog technisch mögliche und maßgebende Variante herausgearbeitet.

Anschließend werden basierend auf den in Abschnitt 2 bis 5 dargestellten Gegebenheiten und den maßgebenden Unterfahrungsvarianten prinzipiell denkbare Gefährdungen dargestellt und im Hinblick darauf ausgewertet, ob diese in der vorliegenden Situation und unter den vorliegenden Randbedingungen ausgeschlossen (Eintrittswahrscheinlichkeit  $\approx 0$ , kein Risiko) werden können oder ob diese näher zu betrachten sind (Eintrittswahrscheinlichkeit  $> 0$ , Risiko vorhanden bzw. zu überprüfen). Alle näher zu betrachtenden Risiken werden näher erläutert und bewertet.

Basierend auf der Bewertung einzelner Risiken und Gefährdungen erfolgt abschließend eine Gesamtbewertung.

## 6.1 Darstellung der Unterfahrungsvarianten zur Kreuzung der Inseln

Entsprechend der geometrischen Situation sind im Falle, dass die geplanten Trassenkorridore die Süßwasserlinsen der Inseln queren, die in den Abschnitten 6.1.1 bis 6.1.3 dargestellten Unterfahrungsvarianten vorstellbar.

### 6.1.1 Unterfahung ausschließlich im Salzwasser unterhalb der Süßwasserlinsen

Eine Unterfahung der Inseln ausschließlich im Salzwasser würde zum einen bedeuten, die Bohrungen mit Start- und Zielbaugrube am Nordstrand und im Watt außerhalb der Süßwasserlinsen aufzufahren. Zum andern müssten die Bohrungen zur Unterfahung unterhalb der Süßwasserlinsen sehr tief geführt werden. Bei den Bohrungen sind Tiefen bzw. Überdeckungen von deutlich über 30 m jedoch aus wärmetechnischer Sicht nicht möglich, da die Erhöhung der Verlegetiefe mit einer zunehmend schlechteren Abfuhr der Wärme der Kabel einhergeht und somit zu einer stärkeren Erwärmung und ggf. einer Überschreitung der zulässigen Leitertemperaturen führt. Aus diesem Grund besteht die Möglichkeit der Unterfahung unterhalb der Süßwasserlinse mit ausreichend vertikalem Abstand nur, wenn die Mächtigkeit der Süßwasserlinse deutlich unter 30 m liegt. Da im vorliegenden Fall die Mächtigkeit der Süßwasserlinsen deutlich über 30 m liegt, wird diese Variante in der Risiko- und Gefährdungsanalyse nicht weiter betrachtet.

### 6.1.2 Unterfahung ausschließlich im Süßwasser innerhalb der Süßwasserlinsen

Eine Unterfahung der Inseln ausschließlich im Süßwasser wäre nur möglich, wenn sich die Süßwasserlinsen über die gesamte Breite der Inseln erstrecken würden und zusätzlich der logistische Ausbau für einen An- und Abtransport des Bohrequipments vorhanden wäre, sodass die Start- und Zielbaugruben im Küstenbereich der Inseln aufgefahren werden könnten. Da die Süßwasserlinsen sich jedoch nicht über die komplette Breite der Inseln erstrecken und zudem der logistische Ausbau auf den Wattseiten der Inseln fehlt, besteht diese Möglichkeit nicht, wenn die Inseln vollständig unterfahren werden sollen. Aus diesem Grund wird diese Variante in der Risiko- und Gefährdungsanalyse nicht weiter betrachtet.

### 6.1.3 Unterfahung im Salz- und Süßwasser

Eine Unterfahung der Inseln im Salz- und Süßwasser stellt in Bereichen der Süßwasserlinsen den Regelfall dar. Hierbei können drei verschiedenen Szenarien unterschieden werden:

- Start- und Zielbaugrube außerhalb der Süßwasserlinse, Bohrung mit Übertritt von Salz- in Süßwasser und von Süß- in Salzwasser
- Startbaugrube innerhalb der Süßwasserlinse, Zielbaugrube im Salzwasser, Bohrung mit Übertritt von Süß- in Salzwasser
- Startbaugrube im Salzwasser, Zielbaugrube innerhalb der Süßwasserlinse, Bohrung mit Übertritt von Salz- in Süßwasser

### 6.1.4 Unterfahung Baltrum

Nach Auswertung der Lage und Dimension der Süßwasserlinse unter Baltrum konnte der Sonderfall festgestellt werden, dass die geplanten Trassenkorridore C3 und C3a trotz der mit einer Unsicherheit behafteten Lage der Süßwasserlinse (vgl. hierzu Abschnitt 5.1) in einem so großen Abstand an dieser vorbeilaufen, dass von einer Unterfahung der Insel im Salzwasser auszugehen ist (siehe Anlage 1.3). Die Trassenkorridore verlaufen innerhalb der Wasserschutzzone III – Weitere Schutzzone (siehe Anlage 1.4). Der Abstand zwischen den Trassenkorridoren (Mittellinie) und dem östlichen

Rand der Süßwasserlinse liegt bei ca. 1.800 m. Bei einem ca. 220 bis 420 m breiten Trassenkorridor ergibt sich somit ein Mindestabstand von ca. 1.600 m zwischen dem östlichen Rand der Süßwasserlinse und der westlichsten Bohrung. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die zugrundliegende Ausdehnung der Süßwasserlinse auf einer alten Datengrundlage basiert (vgl. hierzu Abschnitt 5.1). Da der Abstand von 1.600 m jedoch erheblich ist, wird davon ausgegangen, dass trotz der evtl. vorhandenen Ungenauigkeit die Trassenkorridore außerhalb der Süßwasserlinse verlaufen.

Die Risiko- und Gefährdungsanalyse reduziert sich daher hier auf die Fragestellung, ob dieser Abstand ausreichend ist.

### **6.1.5 Unterfahrung Langeoog**

Nach Auswertung der Lage und Dimension der Süßwasserlinsen unter Langeoog konnte festgestellt werden, dass die geplanten Trassenkorridore C6a und C6b die östliche, derzeit nicht für die Trinkwasserversorgung genutzte, Süßwasserlinse kreuzen (siehe Anlage 1.3, 2.2 und 2.3). Die Trassenkorridore verlaufen innerhalb der Wasserschutzzone III – Weitere Schutzzone. (siehe Anlage 1.4). Es ist von einer Unterfahrung im Salz- und Süßwasser mit Lage der Startbaugrube außerhalb der Süßwasserlinse im Watt auszugehen. Die Zielbaugrube hingegen liegt vermutlich im Übergangsbereich von Süßwasser zu Salzwasser, wobei dies abhängig von der genauen Bohrtrasse ist und auch eine Lage innerhalb der Süßwasserlinse denkbar ist (siehe Anlage 2.3).

## **6.2 Gefährdungen und Risiken**

### **6.2.1 Prinzipiell denkbare Gefährdungen und Bewertung**

In den folgenden Tabellen werden alle prinzipiell denkbaren Gefährdungen für die Süßwasserlinse für die Unterfahrungsvariante im Salz- und Süßwasser unterteilt nach Bau- und Dauerzustand aufgelistet und anschließend im Hinblick darauf ausgewertet, ob diese in der vorliegenden Situation und unter den vorliegenden Randbedingungen ausgeschlossen (Eintrittswahrscheinlichkeit  $\approx 0$ , kein Risiko) werden können oder ob diese näher zu betrachten sind (Eintrittswahrscheinlichkeit  $> 0$ , Risiko vorhanden bzw. zu überprüfen). Alle zu überprüfenden Risiken werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert und bewertet.

Tabelle 1: Prinzipiell denkbare Gefährdungen und Risiken im Bauzustand

<b>Prinzipiell denkbare Gefährdungen</b>	<b>Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit</b>
<p>Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Filtratwasser aus der Bohrspülung und durch im Bohrlochbereich verbleibende Bohrspülung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrochemisch durch z.B. Änderung des pH-Wertes oder der Leitfähigkeit</li> <li>• Biologisch durch z.B. Eintrag von Nährstoffen (Verkeimung)</li> </ul>	<p>Ein Eintrag von Filtratwasser aus der Bohrspülung ist zu erwarten, da auch mit Einsatz von Polymeren zur Filtratreduzierung weiterhin Filtratwasser in geringen Mengen in den Boden eindringen wird. Auch beim Verdämmvorgang bildet sich ein Filterkuchen und es kommt zur Abgabe von Filtratwasser. Weiterhin ist davon auszugehen, dass ein geringer Anteil an Bohrspülung vor Aufbau des äußeren Filterkuchens (Filterkruste) bzw. als innerer Filterkuchen im Bohrlochbereich verbleibt. Ebenso verbleibt das (ausgehärtete) Verdämmmaterial im Bohrlochbereich.</p> <p>Ein möglicher Einfluss auf die hydrochemischen Parameter des Grundwassers, wie z.B. den pH-Wert oder die Leitfähigkeit, ist zu überprüfen.</p> <p>Ein aktiver Eintrag von Keimen wird durch die Verwendung von Anmachwasser in Trinkwasserqualität verhindert. Spülmittelzusätze aus organischen Substanzen (hier Carboxymethylcellulose und Xanthan Gummi) wirken jedoch als Nährstoffe für heterotrophe Bakterien und können zu einer Erhöhung der Koloniezahl führen [L24]. Diese Gefährdung ist zu bewerten.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit &gt; 0</p>
<p>Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch ausgetretene Bohrspülung (auf ausgedehnten Fließwegen auftretende Spülungsverluste, Spülungsausbrüche = Havariefall)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrochemisch durch z.B. Änderung des pH-Wertes oder der Leitfähigkeit</li> <li>• Biologisch durch z.B. Eintrag von Nährstoffen (Verkeimung)</li> </ul>	<p>Spülungsverluste und Spülungsausbrüche können trotz der in Abschnitt 3.2.5 dargestellten Gegenmaßnahmen nicht ausgeschlossen werden. Entscheidend sind die Druckverhältnisse (vgl. hierzu Abschnitt 3.2.5).</p> <p>Ein möglicher Einfluss auf die hydrochemischen Parameter des Grundwassers, wie z.B. den pH-Wert oder die Leitfähigkeit, ist zu überprüfen.</p> <p>Ein aktiver Eintrag von Keimen wird durch die Verwendung von Anmachwasser in Trinkwasserqualität verhindert. Spülmittelzusätze aus organischen Substanzen (hier Carboxymethylcellulose und Xanthan Gummi) wirken jedoch als Nährstoffe für heterotrophe Bakterien und können zu einer Erhöhung der Koloniezahl führen [L24]. Diese Gefährdung ist zu bewerten.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit &gt; 0</p>

<b>Prinzipiell denkbare Gefährdungen</b>	<b>Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit</b>
<p>Veränderung der Strömungsverhältnisse durch Veränderungen in der Durchlässigkeit durch ausgetretene Bohrspülung (auf ausgedehnten Fließwegen auftretende Spülungsverluste, Spülungsausbrüche = Havariefall)</p>	<p>Großräumige Änderungen der Durchlässigkeit sind auch bei Spülungsverlusten bzw. Spülungsausbrüchen nicht zu erwarten, da es sich hier um linienhafte Elemente (Risse) handelt. Analog zum Bohrkanal bildet sich an den Risswänden ein Filterkuchen aus, welcher die vollflächige Imprägnation des Bodens mit Bohrspülung verhindert. Im natürlichen Grundwasserabstrom erfolgt eine Umströmung solcher Art erzeugter, räumlich begrenzter gering durchlässiger Linien- oder Flächenelemente (3D-Strömung). Die Auswirkungen auf die großräumigen Strömungsverhältnisse sind vernachlässigbar.</p> <p><i>Hinweis: Diese Beurteilung gilt nur, wenn durch die in Abschnitt 3.2.5 genannten Maßnahmen das Auftreten von Spülungsausbrüchen geringgehalten wird.</i></p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit <math>\approx 0</math></p>
<p>Veränderung des hydrochemischen Gleichgewichtes beim Bohren aus der Salzwasserzone in die Süßwasserlinse bzw. aus der Süßwasserlinse in die Salzwasserzone</p>	<p>In der Übergangszone zwischen Süßwasser und Salzwasser stellt sich durch Konzentrationsausgleich ein hydrochemisches Gleichgewicht ein. Dieses hydrochemische Gleichgewicht könnte prinzipiell durch den Bohrvorgang gestört werden. Die Durchführung der Bohrung erfolgt jedoch unter Überdruck. Bohrspülung bzw. Filtratwasser kann daher nur radial aus der Bohrung abströmen mit allen Einschränkungen im Hinblick auf die Wassermenge pro Zeiteinheit (geringdurchlässiger Filterkuchen). Eine horizontale Wasserbewegung in Bohrrichtung von außerhalb der Süßwasserlinse (Salzwasser) nach innerhalb (Süßwasser) findet außerhalb des Bohrkannals bzw. am Bohrkannal nicht statt. Innerhalb des Bohrkannals findet ein Spülungstransport entgegen der Bohrrichtung statt. Der Boden wird hydraulisch gelöst und das Bohrklein mittels Bohrspülung in Gegenrichtung über den Ringraum aus dem Bohrkannal ausgetragen. Eine hydraulische Beeinträchtigung der Strömungsverhältnisse außerhalb des Bohrkannals durch die Strömung der Bohrspülung innerhalb des Bohrkannals ist aufgrund der radialstrahlig auftretenden hydraulischen Gradienten ausgeschlossen.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit <math>\approx 0</math></p>

Tabelle 2: Prinzipiell denkbare Gefährdungen und Risiken im Dauerzustand

<b>Prinzipiell denkbare Gefährdungen</b>	<b>Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit</b>
Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Filtratwasser aus der Bohrspülung und/oder dem Verdämmmaterial und durch im Bohrbereich verbleibende Bohrspülung bzw. das (ausgehärtete) Verdämmmaterial	Bewertung siehe Tabelle 1. Es erfolgt jedoch keine Nachlieferung von Filtratwasser oder Bohrspülung, da kein Spülungsdruck mehr aufgebracht wird. Die Verdämmung ist gering durchlässig gegenüber dem umgebenden Grundwasserleiter und außerdem abgebunden. Das Restwasser ist im Porenraum des Verdämmmaterials gebunden und praktisch immobil.
Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch ausgetretene Bohrspülung (auf ausgedehnten Fließwegen auftretende Spülungsverluste, Spülungsausbrüche = Havariefall)	Bewertung siehe Tabelle 1. Es erfolgt jedoch keine Nachlieferung von Bohrspülung, sondern es handelt sich um verbliebene Reste.
Veränderung der Strömungsverhältnisse durch Veränderungen in der Durchlässigkeit durch ausgetretene Bohrspülung (Spülungsverluste, Spülungsausbrüche)	Bewertung siehe Tabelle 1.
Veränderung der Strömungsverhältnisse durch Veränderungen in der Durchlässigkeit durch verdämmte Bohrkanäle	<p>Großräumige Änderungen der Durchlässigkeit sind nicht zu erwarten, da es sich hier um linienhafte Elemente handelt. Es erfolgt eine Umströmung der räumlich begrenzten geringer durchlässigen Linien (3D-Strömung). Die Auswirkungen auf die großräumigen Strömungsverhältnisse sind vernachlässigbar. Auch verbesserte Wegsamkeiten werden durch die Verdämmung des Bohrkanals verhindert.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit <math>\approx 0</math></p>
Veränderung des hydraulischen Gleichgewichts durch Veränderung des hydraulischen Gradienten (Grundwasserspiegelhöhen)	<p>Es ist nicht von einer Änderung der Grundwasserneubildungsrate auszugehen. Eingriffe in den oberflächennahen Bereich erfolgen ausschließlich lokal und zeitlich begrenzt am Start- und Zielpunkt der Bohrungen.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit <math>\approx 0</math></p>
<p>Austritt von Stoffen durch Undichtigkeiten in den Leerrohren</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor Kabeleinzug</li> <li>• Nach Kabeleinzug</li> </ul>	<p>Durch die Verdämmung wird das Leerrohr geschützt. Selbst bei Undichtigkeiten würde die Verdämmung einen Austritt von im Leerrohbauwerk befindlichen Stoffen verhindern. Hinzu kommt, dass das vor Kabeleinzug zur Ballastierung in den Leerrohren befindliche Wasser Trinkwasserqualität hat und die das Kabel nach Kabeleinzug umgebende Bentonitsuspension so dickflüssig ist, dass hier ein Austritt als unwahrscheinlich angesehen wird.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit <math>\approx 0</math></p>



Prinzipiell denkbare Gefährdungen	Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit
<p>Veränderung der Übergangszone bzw. Verschiebung der Grenzschicht zwischen Salzwasser und Süßwasser durch temperaturbedingte Änderungen der Dichte bzw. Veränderung der Strömungsverhältnisse (Dichteströmung) durch Temperaturanstieg</p>	<p>Auch bei temperaturbedingter Änderung der Dichte des Salz- oder Süßwassers fällt der grundsätzliche Dichteunterschied zwischen Salz- und Süßwasser weiterhin weit höher aus, sodass keine Veränderung der Übergangszone bzw. Verschiebung des Grenzbereichs zwischen Salzwasser und Süßwasser zu erwarten ist.</p> <p>Der Salzgehalt der Nordsee liegt durchschnittlich bei 3,5%, der von Süßwasser bei &lt;0,1%. Hieraus ergeben sich bei Temperaturen von 10°C und 60°C folgende Dichten [L27]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichte Salzwasser (3,5%) bei 10°C: 1,0270 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Dichte Salzwasser (3,5%) bei 60°C: 1,0088 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Dichte Süßwasser (0,1%) bei 10°C: 1,0005 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Dichte Süßwasser (0,1%) bei 60°C: 0,9840 g/cm<sup>3</sup></li> </ul> <p>Eine Temperaturerhöhung des Grundwassers auf bis zu 60°C ist jedoch ausgeschlossen (vgl. Abschnitt 3.4) und dient hier nur der Verdeutlichung.</p> <p>Weiterhin ist auch keine großräumige Veränderung der Strömungsverhältnisse zu erwarten. Lokal kann es durch die geringere Dichte von erwärmten Grundwasserbereichen zu einem aufwärts gerichteten Gradienten kommen. Durch die i.d.R. im Vergleich zur horizontalen Durchlässigkeit bis zu zehnmal geringere vertikale Durchlässigkeit des Aquifers ist jedoch eine derartige Strömung stark behindert und für die großräumigen Strömungsverhältnisse nicht entscheidend. Selbst wenn eine geringe vertikale Strömungskomponente von unten nach oben durch die Erwärmung des Wassers in der Umgebung der Leitung induziert werden sollte, wäre eine potenzielle Anhebung der Grenzfläche Salzwasser/Süßwasser unterhalb der Leitung in deren Verlauf minimal, denn der Dichteunterschied Salzwasser/Süßwasser überwiegt diesen Effekt bei weitem, vgl. auch Abschnitt 5.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit ≈ 0</p>
<p>Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Temperaturanstieg (z.B. Verkeimung)</p>	<p>Eine Veränderung der Temperatur beeinflusst den Stoffwechsel von Organismen und somit auch wichtige biogeochemische Prozesse. Ein Einfluss auf die Grundwasserbeschaffenheit ist zu überprüfen.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit &gt; 0</p>



Prinzipiell denkbare Gefährdungen	Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit
Beeinträchtigungen bei Erschließung der Süßwasserlinsen für die Trinkwasserversorgung	<p>Durch die Dimensionen der Trassenkorridore von bis zu 420 m, in denen bis zu 15 Bohrtrassen mit jeweils 6 m breiten Schutzstreifen verlaufen, ist eine mögliche Beeinträchtigung bei der Erschließung der Süßwasserlinse nicht auszuschließen und zu überprüfen.</p> <p>Eintrittswahrscheinlichkeit &gt; 0</p>

Alle nicht in den Tabellen von vornherein ausgeschlossenen Risiken werden nachfolgend in den Abschnitten 6.2.2 bis 6.2.5 erörtert.

*Hinweis: Der Havariefall umfasst ausschließlich den Fall auf ausgedehnten Fließwegen auftretender Spülungsverluste und Spülsausrüche; Havarien durch unsachgemäßen Gebrauch der Geräte und Maschinen bzw. Gefahren aus Betriebsmitteln wie Gestängefett oder Hydrauliköl werden hier nicht betrachtet.*

## 6.2.2 Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Filtratwasser aus der Bohrspülung und durch im Bohrlochbereich verbleibende Bohrspülung

Bei den möglichen Auswirkungen von Filtratwasser oder im Bohrlochbereich verbleibender Bohrspülung auf die Grundwasserbeschaffenheit ist in Auswirkungen auf die hydrochemische bzw. chemisch-physikalische Beschaffenheit, Auswirkungen auf das hydrochemische Gleichgewicht in der Übergangszone und Auswirkungen auf die biologische Beschaffenheit zu unterscheiden. Hydrochemische bzw. chemisch-physikalische Parameter umfassen Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential, Sauerstoffgehalt, anorganische und organische Inhaltsstoffe. Änderungen dieser Parameter können zudem Auswirkungen auf das hydrochemische Gleichgewicht sowie auf die biologische Beschaffenheit haben. Auswirkungen auf die Temperatur sind während des Bohrvorgangs nicht zu erwarten. Alle anderen Parameter werden im Folgenden berücksichtigt.

Von den Komponenten der Bohrspülung geht keine Umwelt- oder Wassergefährdung aus. Alle eingesetzten Produkte gehören zu den Spülungsprodukten, die nach DVGW W 116 beim Bohren im Grundwasser eingesetzt werden können und auch bei der Trinkwassergewinnung zum Einsatz kommen [L24].

Bentonit Typ W Premium ist zum überwiegenden Anteil ein natürliches Mineral und kann analog der Produkte Bentonit W Plus und Bentonit Typ W als nicht wassergefährdend eingestuft werden [L18]. Das Produkt Bentonit Typ W Premium unterscheidet sich von den beiden anderen Produkten durch den Anteil höherwertiger Tonkomponenten und den etwas geringeren Anteilen an Zusatzstoffen. Das Produkt Bentonit Typ W Premium besteht zum Großteil aus Bentonit sowie aus geringen Anteilen an Calciumcarbonat, Carboxmethylzellulose, Cristobalit, Polyacrylsäure und Quarz. Von diesen Bestandteilen sind Carboxymethylzellulose und Polyacrylsäure als schwach wassergefährdend (WGK 1) einzustufen. Da diese jedoch nicht in signifikanten Konzentrationen enthalten sind, kann das Produkt insgesamt als nichtwassergefährdend eingestuft werden [L18]. Für den Bentonit Typ W Premium liegt eine chemisch-toxikologische Untersuchung des Hygieneinstitutes Gelsenkirchen mit Einstufung nach LAGA in die Stufe Z0 sowie nach Deponieverordnung in die Stufe DK0 vor [L7]. Bentonit ist schlecht bis nicht wasserlöslich und hat daher nur eine niedrige Mobilität in den meisten Böden. Bentonit ist nicht biologisch abbaubar.

Carboxymethylzellulose, Natriumcarbonat, und Xanthan Gummi sind gemäß Sicherheitsdatenblättern (siehe Anhang) bzw. der Rigoletto-Datenbank „Wassergefährdende Stoffe“ des Umweltbundesamtes [L21] als schwach wassergefährdend (WGK 1) einzustufen. Carboxymethylzellulose ist biologisch abbaubar, Xanthan Gummi ist leicht biologisch abbaubar und zudem gut wasserlöslich [L7].

Drillmix ist bei normaler Verwendung als nicht gefährlich für die Umwelt einzustufen. Drillmix ist ein hydraulisch abbindender Trockenmörtel und enthält neben Zement Hüttensand, Aluminiumhydroxid (Bentonit) und weitere Additive. Das Produkt wird ohne weitere Zuschlagstoffe nur durch Zugabe von Wasser angemischt [L7]. Da es sich um einen hydraulisch abbindenden Mörtel handelt, kann es im Laufe von Baumaßnahmen zu pH-Wert-Verschiebung und bei Vorhandensein von CO<sub>2</sub> zur Anreicherung von Calciumcarbonat im ggf. anstehendem Grund- bzw. Oberflächenwasser kommen, welche jedoch nur als lokal begrenzt und temporär anzusehen sind [L19].

Die Menge an Filtratwasser hängt mit der Ausbildung des Filterkuchens an der Bohrlochwand zusammen. An der Bohrlochwand kommt es zur Trennung der festen und flüssigen Phasen der Suspension (Filtration). Die Feststoffpartikel werden durch den Filterkuchen an der Bohrlochwand ausgefiltert und das Filtrat fließt in den Boden ab. Hierbei ist die Durchlässigkeit des Filterkuchens abhängig von der Art des Bentonits und der Additive, dem Feststoffgehalt und der Dichte der Bohrspülung. Sowohl das Bentonit als auch die Cuttings (Bohrklein) liegen als Feststoffpartikel suspendiert in der Bohrspülung vor. Somit bilden diese den Filterkuchen bzw. werden durch diesen ausgefiltert. Carboxymethylzellulose wird zur Verbesserung des Filterkuchens und zur Reduzierung der Filtratwasserabgabe eingesetzt. Dieses bildet eine Hydrathülle und adsorbiert an die Tonpartikel des Bentonits. Im Filtrat sind bei entsprechend geringer Durchlässigkeit des Filterkuchens ausschließlich gelöste Stoffe vorhanden. Eine hohe Filtratwasserabgabe geht außerdem mit dem Vorhandensein von freiem, ungebundenem Wasser in der Suspension einher, welches nicht von hydraulischen Bindemitteln oder quellfähigen Phasen aufgenommen werden kann. Jedoch ist es gerade Sinn und Zweck dickflüssiger Bentonit-Wasser-Pasten oder Bentonitsuspensionen, die Mobilität des gebundenen Porenwassers auf ein Minimum zu reduzieren. Damit wird auch der Abtransport von im Wasser gelösten Stoffen behindert. Bevor sich ein äußerer Filterkuchen aufbaut, kann Bohrspülung in den umgebenden Boden gelangen bzw. wird ein innerer Filterkuchen aufgebaut. Es ist davon auszugehen, dass die Bohrspülung hier max. einige Dezimeter in den umgebenden Boden eindringt (vgl. hierzu auch Abschnitt 3.2.4).

Grundsätzlich können in das Grundwasser eingebrachte organische Substanzen wie z.B. Carboxymethylzellulose und Xanthan Gummi, da diese als Nährstoffe für heterotrophe Bakterien und andere Mikroorganismen dienen, eine Veränderung der biologischen Grundwasserbeschaffenheit und somit eine Verkeimung herbeiführen. Im Brunnenbau wird versucht durch intensives Klarpumpen die Bohrspülung vollständig zu entfernen [L24], dies stellt sich jedoch bei Spülungsverlusten teilweise schwer bis unmöglich dar [L29]. Auch im vorliegenden Fall ist vorgesehen, die initiale Bohrspülung durch das Verdämmmaterial mittels Verdrängung vollständig aus dem Bohrkanal zu entfernen. Am Rand des Bohrkanals bzw. im umgebenden Boden können jedoch geringe Mengen der Bohrspülung verbleiben. Insgesamt stellt sich jedoch die Situation anders als im Brunnenbau dar und eine Verkeimung ist trotz im Untergrund verbleibender Bohrspülung unwahrscheinlich. Im Brunnenbau verbleiben Reste der Bohrspülung insbesondere im gut durchlässigen Filterkies, welcher das Brunnenrohr umgibt. Durch den intensiven Sauerstoffaustausch und das hierdurch bedingte oxidierende Milieu kann es schnell zur Verkeimung kommen. Im Gegensatz hierzu herrscht im Lockergesteinsaquifer der Süßwasserlinse ein reduzierendes Milieu vor (Sauerstoffgehalt Grundwasser Langeoog gemäß [L28]: 0,2 mg/l bzw. gemäß [U19]: <0,1 mg/l bis 0,3 mg/l). Weiterhin muss erst ein Kontakt zwischen den Mikroorganismen im Grundwasser und den in der Bohrspülung enthaltenen organischen Bestandteilen zustande kommen, damit ein Abbau stattfinden kann. Dieser ist aufgrund des Filterkuchens (siehe oben) insbesondere in Bezug auf Carboxymethylzellulose stark eingeschränkt. Ein pH-Anstieg über 12, wie er beim Aushärten von Zement bzw. Bentonit (Verdämmvorgang) auftritt, ist für viele Mikroorganismen letal, wodurch die Gefahr einer Verkeimung weiter reduziert wird

[L32]. Sollte es lokal zum Abbau kommen ist hinzuzufügen, dass Carboxymethylcellulose und Xanthan Gummi kurze Abbauzeiten aufweisen und somit der Nährstoffüberschuss nur kurzzeitig zur Verfügung steht.

Von einer Änderung der elektrischen Leitfähigkeit, des Redoxpotentials, des Sauerstoffgehaltes sowie der anorganischen und organischen Inhaltsstoffe des Grundwassers ist demnach nicht auszugehen. Einzig eine lokale Erhöhung des pH-Wertes ist denkbar (initiale Bohrspülung: pH-Wert 9-9,5, Verdämmmaterial: pH-Wert 12), diese wird sich jedoch durch fehlende Nachlieferung an Filtratwasser und Bohrspülung nur temporär ausbilden. Eine Auswirkung auf das hydrochemische Gleichgewicht in der Übergangszone ist somit ebenso nicht zu erwarten.

Insgesamt ist demnach eine Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Filtratwasser aus der Bohrspülung und durch im Bohrlochbereich verbleibende Bohrspülung nicht zu besorgen bzw. so geringfügig, dass diese nicht relevant ist.

*Hinweis: Die vorliegende Bewertung bezieht sich auf die in Abschnitt 3.2.2 beschriebene Zusammensetzung der Bohrspülung bzw. eine ähnliche oder vergleichbare Zusammensetzung. Diese Bewertung gilt analog für Produkte ähnlicher oder vergleichbarer Zusammensetzung anderer Hersteller.*

### **6.2.3 Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch ausgetretene Bohrspülung (auf ausgedehnten Fließwegen auftretende Spülungsverluste, Spülsausrüche = Havariefall)**

Wie bereits in Abschnitt 6.2.1 in Bezug auf Veränderungen der Strömungsverhältnisse durch Veränderung der Durchlässigkeit bei ausgetretener Bohrspülung dargestellt, bildet sich an den Risswandungen analog zum Bohrkanal ein Filterkuchen aus, welcher die vollflächige Imprägnation des Bodens mit Bohrspülung verhindert. Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit durch ausgetretene Bohrspülung im Rahmen von Spülungsverlusten auf ausgedehnten Fließwegen und Spülsausrüche sind demnach analog den Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit durch Filtratwasser aus der Bohrspülung und durch im Bohrlochbereich verbleibende Bohrspülung zu beurteilen (vgl. Abschnitt 6.2.2). Eine Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit ist nicht zu besorgen bzw. so geringfügig, dass diese nicht relevant ist. Da die ausgetretene Bohrspülung einen gering durchlässigen Bereich innerhalb des Grundwasserleiters bildet, ist ebenfalls keine Durchströmung mit Grundwasser und somit ein Austrag oder eine Verteilung der Inhaltsstoffe zu erwarten.

### **6.2.4 Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch Temperaturanstieg**

Da der sich im vorliegenden Fall durch den Betrieb der Kabel einstellende Temperaturanstieg in die Leerrohre umgebenden Boden mit Wärmeeinträgen aus Anlagen der Erdwärmenutzung oder thermischen Grundwasserspeichern vergleichbar ist, werden zur Beurteilung möglicher Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit hierzu vorliegende Unterlagen herangezogen.

Vom DVGW wurde eine Information zur Erdwärmenutzung in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen herausgebracht [L35]. Hiernach ist die Erdwärmenutzung aus Vorsorgegründen in den Schutzzonen I, II und III/III A zu unterlassen, da geothermische Anlagen nachteilige Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt und insbesondere die stoffliche Beschaffenheit des Grundwassers haben können. Falls die hydrogeologischen Bedingungen eine nachteilige Veränderung des Grundwassers infolge von geothermischen Anlagen nicht besorgen lassen, ist im Einzelfall eine Ausnahme nur in Schutzzone III B möglich.

Obwohl die hier vorliegende Situation in Bezug auf den Temperaturanstieg des Grundwassers mit geothermischen Anlagen vergleichbar ist, werden in der DVGW-Information neben einer Beschaffenheitsveränderung des Grundwassers durch Wärmeentzug/-eintrag insbesondere folgende Aspekte kritisch gesehen, welche im vorliegenden Fall nicht relevant sind: Stoffeinträge aus wasserschädigenden Betriebsmitteln während der Bohr- und Ausbauphase, Leckagen der Sonde während der Betriebsphase, Schaffung unerwünschter hydraulischer Verbindungen zwischen Grundwasserleitern unterschiedlicher Wasserbeschaffenheit und Hydrodynamik durch fehlerhaften Ausbau der Bohrung.

Grundsätzliche Unterschiede zu der hier vorliegenden Situation ergeben sich dadurch, dass Erdwärmebohrungen vertikal ausgeführt werden und hierdurch trennende Schichten zwischen Grundwasserleitern durchdrungen und diese somit hydraulisch verbunden werden können. Dies ist bei horizontalen Bohrungen i.d.R. nicht der Fall und in der vorliegenden Situation auch nicht relevant. Weiterhin zirkuliert in den Erdwärmesonden ein Wärmeträgerfluid, welches bei Leckagen zu einer Wassergefährdung führen kann. Im vorliegenden Fall werden hingegen ausschließlich nicht wassergefährdende Stoffe bzw. gering wassergefährdende Stoffe nur in geringen Mengen eingesetzt, welche zudem nach DVGW W 116 beim Bohren im Grundwasser zugelassen sind und auch bei der Trinkwassergewinnung zum Einsatz kommen (vgl. hierzu auch Abschnitt 6.2.2).

In Niedersachsen liegt zudem ein Leitfaden zur Erdwärmenutzung vor. Hierin sind ebenfalls Kriterien zur wasserrechtlichen Beurteilung der verschiedenen geothermischen Systeme enthalten, wobei analog eine Erdwärmenutzung in Schutzzone I und II unzulässig, in Schutzzone III, IIIA und IIB unter bestimmten Voraussetzungen jedoch möglich ist.

Biologische Prozesse und damit auch die Vermehrung und Aktivität von Mikroorganismen werden stark von den vorherrschenden Temperaturen beeinflusst. Bei nicht-limitierenden Wachstumsbedingungen gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen Temperatur und mikrobieller Aktivität (z.B. kommt es bei einer Erhöhung von + 10 K zu einer Verdoppelung der Geschwindigkeit von Enzymreaktionen). Nicht-limitierende Wachstumsbedingungen liegen in der Umwelt nicht vor. Demnach führt in nährstoffarmen (oligotrophen) Systemen eine Temperaturerhöhung nicht automatisch zu einer Erhöhung der mikrobiellen Aktivität. In der Regel sind Grundwasserökosysteme durch die Verfügbarkeit von gut verwertbarem organischem Kohlenstoff in ihrer Produktivität limitiert. Kurzfristig kann eine Temperaturerhöhung zu einer Erhöhung der Produktivität und des Umsatzes von organischem Kohlenstoff und damit einhergehender Sauerstoffzehrung führen. Langfristig wird der verfügbare organische Kohlenstoff oder Nährstoffe jedoch schneller erschöpft und die mikrobielle Aktivität geht trotz erhöhter Temperaturen auf ein niedriges Niveau zurück. [L34][L32]

Nach derzeitigem Kenntnisstand hat eine moderarte Temperaturerhöhung (+ 5 K) in unbelasteten, nährstoffarmen Grundwasserleitern keine signifikanten Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen [L32]. Über längere Zeiträume kommt es jedoch zu Veränderungen in der Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaften (psychrophil, psychrotolerant, mesophil, thermophil). Die natürliche Grundwassertemperatur (etwa 10-12 °C) stellt optimale Wachstumsbedingungen für psychrophile und psychrotolerante Mikroorganismen dar, eine Temperaturerhöhung auf 15 bis 20 °C fördert mesophile und noch höhere Temperaturen > 40 °C fördern thermophile Arten [L32], [L34]. Vorherrschende Temperaturverhältnisse beeinflussen neben der Reproduktion auch die Sorption – (temporäre) Inaktivierung – von Bakterien und Viren an Oberflächen. Im Allgemeinen gilt, dass pathogene Viren und Bakterien, sofern sie nicht aus durch hohe Temperaturen gekennzeichneten Lebensräumen stammen (thermophil), länger bei niedrigen Temperaturen überdauern und aktiv bleiben als bei hohen. Eine Vermehrung von pathogenen Mikroorganismen (z.B. Legionellen) bei Temperaturanstieg kann jedoch nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. [L32]

Bei Laboruntersuchungen an Probenmaterial aus dem Bremer Raum zum Einfluss von Temperaturveränderungen auf die Mikrobiologie des Untergrundes mit Versuchstemperaturen zwischen - 20°C und + 30 °C konnte bei Temperaturen zwischen 8 °C und 30 °C kein signifikanter Einfluss auf die Gesamt- und Lebendkeimzahl im Untergrund nachwiesen werden [L36]. In einer Feldstudie in einem



unbelastetem oberflächennahen quartären Grundwasserleiter im Münchner Norden wurden die ökologischen Auswirkungen von Grundwassererwärmung auf die Lebensgemeinschaften und Ökosystemfunktionen untersucht. Bei einer Höchsttemperatur von 19°C und einem durchschnittlichen Temperaturspektrum von 8,5 °C bis 17,8 °C wurden keine maßgeblichen Veränderungen in der Gesamtkeimzahl und der Lebendkeimzahl im Wasser festgestellt und allein die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften reagierte signifikant auf die Temperaturveränderungen. Weiterhin konnte kein gehäuftes Auftreten von coliformen Bakterien und E.coli in temperaturbeeinflussten Bereichen beobachtet werden [L33], [L34]. Grundsätzlich hat die Nährstoff- und Substratverfügbarkeit einen entscheidenderen Einfluss auf die Vermehrung und Aktivität der Mikroorganismen als der Temperaturanstieg [L32], [L34]. Somit kann jedoch bei belasteten Grundwasserleitern bereits eine moderate Temperaturerhöhung (+ 5 K) höhere Keimzahlen und Aktivitäten zur Folge haben [L32].

Temperaturveränderungen im Grundwasser haben nicht nur einen Einfluss auf biologische Prozesse, sondern auch auf physikalisch-chemische Verhältnisse, die ihrerseits wiederum biologische Prozesse beeinflussen können. Temperaturveränderungen führen zu einer Veränderung von Lösungs- und Sorptionsgleichgewichten. Es kann z.B. zu Carbonatausfällungen, einer erhöhten Lösung silikatischer Mineralien und anderer Salze, der Mobilisierung von organischem Material begleitet durch die vermehrte CO<sub>2</sub>-Abgabe aus den Sedimenten und einer geringeren Löslichkeit von Sauerstoff führen. [L32], [L34]

In Säulenversuchen mit Material aus dem o.g. nährstoffarmen, sauerstoffreichen, quartären Porengrundwasserleiter im Münchner Norden wurde die Veränderung hydrochemischer Parameter über ein Temperaturspektrum von 4 °C bis 45 °C untersucht. Hierbei wurden jedoch abgesehen von einer Abnahme des pH-Wertes und des Sauerstoffgehaltes mit steigender Temperatur nur sehr geringe Änderungen für die Chemie des Porenwassers festgestellt. Eine weitere Studie belegt ebenfalls keine deutlichen Änderungen in der Porenwasserbeschaffenheit zwischen 10 °C und 40°C. Bei > 70 °C wurde eine maßgebliche Mobilisierung von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC = dissolved organic carbon) festgestellt. In einer anderen Studie mit einem Temperaturspektrum von 5 °C bis 60°C konnte hingegen gezeigt werden, dass in einem anoxischen Grundwasserleiter Temperaturerhöhungen zur Mobilisierung verschiedenster Schwermetalle und natürlicher Kontaminanten führten. Hierbei kam es jedoch erst bei 60°C zu einer signifikanten Mobilisierung bzw. im Falle von Arsen bei 25 °C. [L32], [L34], [L37]

Ab ca. 8 m Entfernung zum Leerrohr beträgt die Temperaturänderung < + 5 K [U20] (vgl. auch Abschnitt 3.4) und liegt somit in dem Bereich, indem für unbelastete, nährstoffarme Grundwasserleiter keine signifikanten Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit zu erwarten sind. Ab 52,6 m Entfernung liegt diese sogar bei < + 1 K. Ebenfalls liegt diese Temperaturänderung auch im Rahmen der generell für geothermische Anlagen gemäß VDI (4640) tolerierbaren Temperaturänderung von ± 6 K [L33].

Im Umkreis von bis zu 8 m um das Leerrohr ist hingegen mit stärkeren Erwärmungen von bis zu 28,1 °C zu rechnen (vgl. Abschnitt 3.4). Es wird jedoch auch hier nicht damit gerechnet, dass es zu einer signifikanten Änderung der Grundwasserbeschaffenheit kommt. Im Lockergesteinsaquifer der Süßwasserlinse herrscht erwartungsgemäß ein reduzierendes Milieu mit geringen Sauerstoffgehalten (zwischen < 0,1 mg/l und 0,3 mg/l) und zugehörigen erhöhten DOC-Gehalten (zwischen 2,3 mg/l und 32 mg/l) vor. Der biologische Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>) ist mit <3 mg/l und der chemische sauerstoffbedarf (CSB) mit < 15 mg/l gering. [U19] Das Verhältnis von BSB zu CSB von 1/5 weist auf schlecht biologisch abbaubare Stoffe hin. Durch das reduzierende Milieu ist selbst bei geringfügigem Nährstoffeintrag aus der Bohrspülung nicht von einer stark erhöhten Reproduktionsrate der Mikroorganismen auszugehen. Sollte es lokal zum Abbau kommen, wird der Nährstoffüberschuss nur kurzzeitig zur Verfügung stehen und die Vermehrung schnell wieder zum Erliegen kommen (vgl. hierzu auch Abschnitt 6.2.2).

### 6.2.5 Beeinträchtigungen bei Erschließung der Süßwasserlinsen für die Trinkwasserversorgung

Die Trassenkorridore werden auf ihrer gesamten Breite von bis zu 420 m aufgrund der Abstände zwischen den einzelnen Bohrungen von 10 m (Abstand zwischen Pol und metallischem Rückleiter) bis 80 m (Abstand zwischen den Polen zweier benachbarter ONAS am Nordstrand) nicht bzw. nur sehr eingeschränkt für eine Trinkwassergewinnung nutzbar sein. Innerhalb der 6 m breiten Schutzstreifen der einzelnen Leerrohre ist eine Trinkwassergewinnung in jedem Fall ausgeschlossen. Eine Kreuzung der Bohrtrassen mittels Strom- oder Wasserleitungen ist jedoch bei entsprechend geringer Verlegetiefe grundsätzlich möglich. Zwischen den einzelnen ONAS sind Brunnen für eine Trinkwassergewinnung unter Umständen denkbar, da die Fassungstiefe von i.d.R. 10-20 m u. GOK auf Langeoog geringer als die durchschnittliche Überdeckung der Bohrungen von 25-30 m ausfällt. Im Hinblick auf die Einrichtung eines Wasserschutzgebietes (Schutzzone I + II) bei Einrichtung einer weiteren Trinkwassergewinnungsanlage und den vorsorgenden Trinkwasserschutz ist dies jedoch unrealistisch.

In Anlage 2.3 ist die vermutliche Korridorbreite der Trassenkorridore Langeoog bei maximaler Anzahl an ONAS dargestellt. Der Großteil der östlichen Süßwasserlinse bleibt auch in diesem Fall weiterhin nutzbar. Die Trassenkorridore nehmen weniger als 1/5 der Ost-West-Ausdehnung der östlichen Süßwasserlinse von ca. 4.150 m ein. Die räumliche Nähe der Trassenkorridore zur einer einzurichtenden Schutzzone II im Falle einer zukünftigen Trinkwassergewinnung ist hierbei unproblematisch, vgl. hierzu auch die Situation auf Norderney (Anlage 3). Es wird davon ausgegangen, dass für eine einzurichtende Schutzzone II ähnliche Dimensionen wie bei Schutzzone II im Osten der Insel anzunehmen sind (hier Ost-West-Ausdehnung der Schutzzone II ca. 2.690 m).



### 6.3 Gesamtbewertung

Der Abstand zur Süßwasserlinse bei der Unterfahrung von Baltrum kann als ausreichend angesehen werden, da in über 1 km Entfernung zu den Bohrungen keine Einflüsse durch die Horizontalbohrungen zu erwarten sind. Auch der Abstand zur Schutzzone II kann mit Verweis auf die Horizontalbohrungen unter Norderney (vgl. Anlage 3) als ausreichend angesehen werden.

Bei der Unterfahrung von Langeoog im Süß- und Salzwasser ist weder ein signifikanter Einfluss auf die Dimensionen der Süßwasserlinse, d.h. das hydrostatische bzw. hydrochemische Gleichgewicht, noch ein signifikanter Einfluss auf die chemisch-physikalische und biologische Beschaffenheit des Grundwassers zu erwarten. Lokal sind geringfügige Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit durch den Eintrag von Bohrspülung oder Filtratwasser bzw. durch den Temperaturanstieg im Nahbereich der Leerrohre nicht vollständig auszuschließen. Da diese jedoch lokal begrenzt und/oder nur temporär zu erwarten sind, wird hierdurch die Süßwasserlinse in ihrer Gesamtheit nicht beeinträchtigt.

In Bezug auf eine zukünftige Trinkwassergewinnung im Osten der Insel ist jedoch anzumerken, dass im Bereich des Trassenkorridors eine Trinkwassergewinnung aufgrund der Abstände der Leerrohre zueinander und im Hinblick auf den vorsorgenden Trinkwasserschutz unrealistisch ist. Der Bereich der Süßwasserlinse außerhalb der Trassenkorridore ist hingegen weiterhin uneingeschränkt nutzbar.

Hamburg, den 17.06.2021

**Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH**



Dr. Winfried Entenmann



Dipl.-Geol. Hilke Pulkowski



Katharina Kippert, M.Sc.