

Erdgasfernleitung
NOWAL
(Nordwest-Anbindungsleitung)

Vorbemessung der Bauwasserhaltung

Auftraggeber: GASCADE Gastransport GmbH
Kölnische Straße 108 - 112
34119 Kassel



Auftragnehmer: DAS BAUGRUND INSTITUT
Dipl.-Ing. Knierim GmbH
Wolfhager 427
34128 Kassel
Tel.-Nr.: 0561 / 96994-0
kassel@dasbaugrundinstitut.de



Bearbeiter: Dipl.-Geol. E. Rose
Dipl.-Geol. T. Deichmann

Projekt Nr.: 043/14 g02

Datum: 25.09.2014



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Bauvorhaben	3
2. Geologischer / Hydrogeologischer Überblick	3
3. Maßnahmen zur Wasserhaltung	4
3.1 Offener Rohrgraben / Freie Strecke	4
3.2 Geschlossene Querungen	9
3.3 Grabenquerungen	13
4. Chemismus der Wässer	15
5. Auswirkungen der Grundwasserhaltung	16
5.1 Absenktrichter	16
5.2 Beweissicherung / Monitoring zur Dokumentation an Bauwerken	17
6. Fazit	17

Anlagen:

Anlage 1: Lagepläne 1:5.000

Anlage 2: Vorbemessung Wassermengen

Anlage 3: Chemismus Bauwasser - Laborprotokolle



1. Bauvorhaben

Die **GASCADE Gastransport GmbH, Kassel**, plant den Neubau der **NOrdWestAnbindungsLeitung (NOWAL)** von Rehden (Niedersachsen) bis Drohne (Nordrhein-Westfalen). Die Maßnahme umfasst nach gegenwärtigem Planungsstand die Verlegung einer Leitung mit einem Durchmesser von DN 1200. Die Rohrleitung verläuft zwischen Rehden und Drohne nahezu vollständig in grundwassergefüllten Ablagerungen. Aufgrund der im Rahmen der Baugrunderkundung ermittelten hohen Wasserstände werden hier umfängliche Maßnahmen zur Wasserhaltung erforderlich.

Die Planung für das Bauvorhaben hinsichtlich der wasserrechtlichen Belange wird derzeit durch das **Ingenieur- und Planungsbüro LANGE GbR, Moers**, erstellt. Als Grundlage dieser Arbeiten werden die Vorauswertungen durch **DAS BAUGRUND INSTITUT Dipl.-Ing. Knierim GmbH** erforderlich.

2. Geologischer / Hydrogeologischer Überblick

Im nördlichen Trassenabschnitt (Bereich östlich und südlich von Rehden) dominieren glaziale Ablagerungen (**Geschiebelehme**, Grundmoräne, vermutlich aus der Saale-Kaltzeit / Drenthe-Stadium) aus überwiegend schluffigen bis z.T. sandigen Böden. Die Geschiebelehme können Schichtwasser enthalten, größere Grundwasservorkommen sind hier nicht zu erwarten.

Südwestlich von Rehden (ca. ab „Torfwerk“) tangiert die Trasse die westlichsten Ausläufer des **Rehdener Hochmoors** aus dem Holozän, allerdings sind torfige / organische Ablagerungen aufgrund der Randlage nur in geringer Schichtstärke < 1,5 m vorhanden.

Unterhalb der organischen Ablagerungen befinden sich hier bereits **glazifluviatile / fluviatile Sande** zunächst im „Rehdener Bruch“, später im „Lembrucher Bruch“. Diese Schichten sind überwiegend aus gleichförmigen Feinsanden, mittelsandig mit einem schluffig/tonigen Anteil von ca. 5 – 20 % aufgebaut. Der **Grundwasserstand ist durchgängig hoch** (in der Regel oberhalb 1 m uGOK) und wird durch anthropogene Entwässerungsmaßnahmen z.T. überlagert / künstlich abgesenkt. Diese Sande werden überwiegend der Weichsel-Kaltzeit zugeordnet. Innerhalb des Rehdener Bruchs / Lembruchs sind bereichsweise auch Flugsande eingeschaltet, die für die weitere Beurteilung hinsichtlich der Grundwasserbetrachtung nicht relevant sind. Insbesondere am Südrand des Bruchs sind organische Ablagerungen vorhanden, die Schichtstärken bis 2,5 m erreichen können.

Im Bereich Lemförde ist ein etwas stärkerer Wechsel der oben beschriebenen sandigen, organischen und lehmigen Böden zu verzeichnen bei insgesamt ebenfalls hohen Grundwasserständen.

Erst im südlichsten Trassenabschnitt südlich von Dielingen verlässt die Trasse das quartär geprägte Gelände und erreicht das Mittelgebirge mit **Festgesteinen aus der Kreidezeit** bzw. deren Verwitterungsprodukten / Abtragsböden (Hangschutt). Hier wird keine Grundwasserhaltung mehr erforderlich.



3. Maßnahmen zur Wasserhaltung

Eine konkrete Planung mit Schnittführung, Baugrubentiefen, Bauzeiten, Bauzeitpunkt, vorgesehenen Querungsverfahren etc. liegt zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht vor. Die nachfolgend betrachteten Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung beruhen somit auf Annahmen hinsichtlich der Details der Randbedingungen. Generell wurden die Annahmen so gewählt, dass ein „worst-case Szenario“ beschrieben wird, also hohe Wassermengen abgeschätzt werden, um nachträgliche Erweiterungen der Genehmigung zu vermeiden.

3.1 Offener Rohrgraben / Freie Strecke

Baumaßnahme

Die Rohrgrabensohle wird beim Bau der NOWAL auf der freien Strecke im Normalfall in einer Tiefe von ca. 2,20 bis 2,50 m uGOK liegen (mind. 1 m Überdeckung, ca. 1,2 m Rohrleitung, zzgl. bereichsweise erforderliches Rohraufleger $\geq 0,3$ m). Bei ungünstigen Bodenverhältnissen (zusätzlicher Bodenaustausch organischer oder breiiger Böden) und offenen Querungen kleinerer Straßen / Leitungen kann lokal auch ein tieferer Bodeneingriff erforderlich werden.

Kurz vor Öffnung des Rohrgrabens sollte der tatsächliche Wasserstand zum Bauzeitpunkt erkundet werden. Hierzu können kleine Baggerschürfe unmittelbar im Trassenverlauf bis in Tiefe der Rohrgrabensohle in einem regelmäßigen Abstand ausgeführt werden. Im Ergebnis des Wasserstandes in der Schurfgrube sowie der lokalen Verhältnisse werden dann die erforderlichen Wasserhaltungsmaßnahmen im Detail vor Ort festgelegt. Folgende Szenarien sind möglich:

- Vakuumlansen (*hier vermutlich nur untergeordnet erforderlich*)
- Horizontaldrainagen
- (Schwerkraft-) Brunnen
- Kombinationen aus mehreren Verfahren

Randbedingungen

Innerhalb des gesamten Trassenbereichs mit Ausnahme des nördlichsten und südlichsten Abschnittes ist nahezu durchgängig mit einem Grundwasseranschnitt zwischen 0,5 und 1,5 m uGOK zu rechnen. Die größeren Tiefen treten hierbei bevorzugt in Bereichen auf, in denen der Grundwasserspiegel durch tiefere Entwässerungsgräben beeinflusst wird und der Aufschlusspunkt nahe an diesen Gräben liegt. Es wird überwiegend ein **Grundwasserstand von 0,5 m uGOK bis 1,0 m uGOK** für die freie Strecke angesetzt.

In den bodenmechanischen Laborversuchen wurden nach dem Verfahren von BEYER in den jeweils durchlässigsten Schichten über die Kornverteilungen Durchlässigkeitsbeiwerte („kf-Wert“) von 1×10^{-5} m/s bis 1×10^{-4} m/s ermittelt. Diese Korngrößenspanne liegt im Grenzbereich der Einsatzmöglichkeiten von Gravitationsbrunnen und Horizontaldrainagen. Für die Bemessung wurden die jeweils durchlässigsten Schichten angesetzt und auf **Durchlässigkeitsbeiwerte von 5×10^{-5} m/s bzw. 1×10^{-4} m/s** aufgerundet.



Die angesetzten Werte liegen somit „auf der sicheren Seite“, berücksichtigen allerdings auch die Ausspülung von Feinkorn (die dann zu steigenden K-Werten, Durchfluss / höheren geförderten Wassermengen führt) im Rahmen der Wasserhaltungsmaßnahme.

Berechnungen

Zur überschlägigen Vorbemessung der Wasserhaltung auf der freien Strecke wurde eine Berechnung mit dem Programm MEBRU 98 der Fa. GGU mbH, Braunschweig, ausgeführt. Dabei wurde – als worst-case-Betrachtung - eine überwiegende Absenkung über Gravitationsbrunnen überprüft. Voraussichtlich werden auf der freien Strecke Gravitationsbrunnen zunächst an den Querungen von Wegen, Fremdleitungen und Dükerungen angeordnet sowie zur lokalen Entspannung des Grundwassers dienen. Die Trockenhaltung der Böschungen / Baugruben zur Herstellung des Rohrgrabens der NOWAL wird vermutlich über durchgängige Drainagestränge / Vakuumentwässerung erfolgen. Die in der Drainage anfallenden Wassermengen sind niedriger als die mit Brunnen geförderten Bauwassermengen. Sollten längere Trassenabschnitte ohne Brunnen hergestellt werden können, reduziert sich die Bauwassermenge. Dies ist bauvorbereitend in Erkundungsschürfen festzustellen.

In den folgenden Tabellen 1 und 2 werden die (streckenmäßig dominierenden) Wasserhaltungsabschnitte mit geländenahen Wasserständen sowie die Absenkung über Gravitationsbrunnen betrachtet. Die Berechnung der Grundwasserabsenkung erfolgt für diesen Fall im Hinblick auf eine Entwässerung der Baugruben bis 0,5 m u Baugrubensohle. Hierbei kommen insgesamt 4 Szenarien in Betracht, nämlich Grundwasserstände zwischen 0,5 und 1 m u GOK sowie Durchlässigkeiten von 5×10^{-5} m/s bzw. 1×10^{-4} m/s.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Absenkungsberechnungen freie Strecke Brunnen

Bemessungs-Nr.	Bemessung 1	Bemessung 2
Durchlässigkeitsbeiwert des wassergesättigten Lockergesteines	5×10^{-5} m/s	1×10^{-4} m/s
GW-Stand (uGOK)	0,5 m uGOK	0,5 m uGOK
Sohle Rohrgraben	2,5 m uGOK	2,5 m uGOK
Absenkung s (bei 0,5 m unter Baugrubensohle)	2,5 m	2,5 m
Länge des betrachteten Einzelabschnitts (Baugrubenlänge)	50 m	50 m
Anzahl der Brunnen	6	6
Radius der Brunnen	0,100 m	0,100 m
Tiefe der Brunnen	ca. 9,0 m	ca. 9,0 m
Fördermenge im quasistationären Zustand Q_{beh}	23,4 m ³ /h	32,91 m ³ /h
Reichweite R (nach Sichardt)	53 m	75 m



Tabelle 1 (Fortsetzung):

Bemessungs-Nr.	Bemessung 3	Bemessung 4
Durchlässigkeitsbeiwert des wassergesättigten Lockergesteines	5×10^{-5} m/s	1×10^{-4} m/s
GW-Stand (uGOK)	1,0 m uGOK	1,0 m uGOK
Sohle Rohrgraben	2,5 m uGOK	2,5 m uGOK
Absenkung s (bei 0,5 m unter Baugrubensohle)	2,0 m	2,0 m
Länge des betrachteten Einzelabschnitts (Baugrubenlänge)	50 m	50 m
Anzahl der Brunnen	6	6
Radius der Brunnen	0,100 m	0,100 m
Tiefe der Brunnen	ca. 9,0 m	ca. 9,0 m
Fördermenge im quasistationären Zustand Q_{beh}	21,0 m ³ /h	27,70 m ³ /h
Reichweite R (nach Sichardt)	42,4 m	60 m

Wir weisen darauf hin, dass die tatsächlichen Werte von den hier als Vorbemessung berechneten Werten abweichen können, da sie wasserstandsabhängig sind und der Wasserstand jahreszeitlich bedingt schwankt. Für die Absenkung bis zur Erreichung des quasistationären Zustandes ist mit höheren Wassermengen (10-20 %) zu rechnen.

In einzelnen Trassenabschnitten liegen niedrigere Wasserstände vor bzw. wurden in den bodenmechanischen Laborversuchen Bereiche mit geringeren Durchlässigkeiten abgeleitet. Für diese Bereiche wurde eine Absenkung über Horizontaldrainagen überprüft.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Absenkungsberechnungen freie Strecke Drainagen

Bemessungs-Nr.	Bemessung 5	Bemessung 6
Durchlässigkeitsbeiwert des wassergesättigten Lockergesteines	5×10^{-5} m/s	5×10^{-5} m/s
GW-Stand (uGOK)	2,0 m uGOK	0,5 m uGOK
Sohle Rohrgraben	2,5 m uGOK	2,5 m uGOK
Absenkung s (bei 0,5 m unter Baugrubensohle)	1,0 m	2,5 m
Länge des betrachteten Einzelabschnitts	50 m	50 m
Fördermenge im quasistationären Zustand Q_{beh}	2,1 m ³	5,8 m ³
Reichweite R (nach USCE)	14 m	35,4 m

Aus der räumlichen Verteilung der einzelnen Bereiche ergeben sich die in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellten 15 Wasserhaltungsbereiche. Die Bereiche sind von Norden (Rehden) nach Süden (Dielingen) durchnummeriert und in den Lageplänen der Anlage 1 eingetragen. Im südlichsten Trassenabschnitt von Dielingen bis Drohne wird keine vorausseilende Grundwasserhaltung erforderlich.



Tab. 3: Wasserhaltungsbereiche Freie Strecke

Wasserhaltungsbereich Nr.	Länge [m]	Berechnungsverfahren	Einleitstellen [Nrn.]	Wassermengen (je 50m und h) s. Tab. 2/3	Bauzeit [Tage]	Wassermengen (gesamt) [m³]
1	2.748 m	Nur Schicht-, Baugruben-, und Niederschlagswässer	1 - 3	< 5 m³	15	< 5.000
2	1.335 m	Drainagen (Berechnung n. Davidenkoff) (Bemessung 5)	4 - 6	2,1 m³	15	20.185,2
3	2.410 m	Brunnen (Bemessung 1)	7 - 15	23,4 m³	15	406.036,8
4	3.802 m	Brunnen (Bemessung 3)	16 - 30	21,0 m³	15	574.862,4
5	1.288 m	Brunnen (Bemessung 1)	31 - 33	23,4 m³	15	217.002,2
6	1.370 m	Brunnen (Bemessung 3)	34 - 38	21,0 m³	15	207.144,0
7	1.870 m	Brunnen (Bemessung 1)	39 - 45	23,4 m³	15	315.057,6
8	1.720 m	Drainagen (Berechnung n. Davidenkoff) (Bemessung 6)	46 - 50	5,8 m³	15	71.827,2
9	2.137 m	Brunnen (Bemessung 1)	51 - 57	23,4 m³	15	360.041,8
10	950 m	Drainagen (Berechnung n. Davidenkoff) (Bemessung 5)	58	2,1 m³	15	14.364,0
11	578 m	Brunnen (Bemessung 2)	59 - 61	32,9 m³	15	136.916,6
12	1230 m	Drainagen (Berechnung n. Davidenkoff) (Bemessung 6)	62 - 65	5,8 m³	15	51.364,8
13	2297 m	Brunnen (Bemessung 1)	66 - 70	23,4 m³	15	386.998,6
14	997 m	Brunnen (Bemessung 4)	71 - 73, 75	27,7 m³	15	198.841,7
15	501 m	Drainagen (Berechnung n. Davidenkoff) (Bemessung 5)	74	2,1 m³	15	7.575,1



Aus der Zusammenstellung der Tabelle 3 ergibt sich auf der freien Strecke eine Gesamtwassermenge von insgesamt ca. 3.000.000 m³/h.

Die Abgrenzung der Wasserhaltungsbereiche erfolgt auf Grundlage der unterschiedlichen Randbedingungen der Bodenerkundung sowie der Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche und berücksichtigt dementsprechend keine bautechnischen Belange. **Im Rahmen der Bauausführung werden die Grenzen der Wasserhaltungsbereiche daher ggf. angepasst.**

Aus der durchgängig erforderlichen Wasserhaltung auf der freien Strecke mit einer Länge des Wasserhaltungsbereiches von insgesamt ca. 22,5 km und einer anteilig abgeschätzten Wassermenge von im Mittel ca. 20 m³/h für 50 m Trassenlänge ergibt sich die Gesamtwassermenge auf der freien Strecke mit insgesamt ca. 400 m³/h und km (**20 m³/h * 20 Trassenabschnitte á 50 m je km = 400 m³/h und km**). Hieraus resultiert die Notwendigkeit, möglichst kurze Wasserhaltungsabschnitte einzurichten. Um die Gesamtlaufzeit der Grundwasserhaltung möglichst gering zu halten, sollten die einzelnen Grundwasserhaltungsabschnitte möglichst kurz gehalten werden.



3.2 Geschlossene Querungen

Baumaßnahme

Wir gehen nach derzeitigem Planungsstand von folgenden geschlossenen Querungen im Trassenverlauf der NOWAL aus:

Tab. 4: Geschlossene Querungen

Geschlossene Querung	Baugrubentiefe (geschätzt)	Erkundungstiefe	Bodenaufschlüsse	Grundwasser
	[m u GOK]	[m u GOK]		[m u GOK]
Bahnquerung Rehden	5,0	8,0	BS 1.1 BS 2.1	---
Bundesstraße B 214	5,0	7,0	BS 3.1 BS 4.1	2,50* ---
Bundesstraße B 239	5,0	6,0	BS 6 BS 7	4,80* 5,95*
Gewässer "Rhien"	8,0	10,0	BK 13.1	3,0
Landesstraße L 345	4,5	5,0	BS 23 BS 23a	0,7
Kreisstraße K 28	4,5	5,0	BS 26	1,4
Bahnquerung Marl	5,5	10,0	BK 32.1 BS 33	4,5
Bundesstraße B 51	5,5	8,0	BS 34 BS 35 BS 36	1,2
Bundesstraße B 51	5,5	6,0	BS 39 BS 40	0,9
Landesstraße L 346	4,5	5,0	BS 41.1	0,8
Bahnquerung Stemshorn	5,5	10,0	BK 42 BS 43	1,5
Kreisstraße K 34	4,5	5,0	BS 44	1,0
Landesstraße L 766	4,5	5,0	BS 45	4,0

*: Schichtwasser

Für die Entwässerung des überwiegenden Anteils der Baugruben dieser Querungen wird eine **vorausseilende Grundwasserabsenkung** erforderlich. Eine überschlägige Vorbemessung der anfallenden Wassermengen und Reichweiten der Absenkung wird im Folgenden gegeben.

Randbedingungen

Grundwasser wurde in allen Querungen südwestlich von Rehden (= ab Gewässerquerung „Rhien“) flurnah angetroffen (Ausnahme Bahnquerung Marl, hier etwas niedrigere Wasserstände). Schwankungsbereiche zwischen Hoch- und Niedrigwasserständen können hier nicht gesichert angegeben werden.



Für die Betrachtung des Bauvorhabens wird zur Berücksichtigung von Hochwassersituationen ein geringer Zuschlag auf den Wasserstand von ca. 0,20 – 0,40 m vorgenommen. Es wird überwiegend ein **Grundwasserstand von 0,5 m uGOK bis 1,0 m uGOK** angesetzt.

In den bodenmechanischen Laborversuchen wurden nach dem Verfahren von BEYER in den jeweils durchlässigsten Schichten über die Kornverteilungen Durchlässigkeitsbeiwerte („kf-Wert“) von 1×10^{-5} m/s bis 1×10^{-4} m/s ermittelt. Diese Korngrößenspanne liegt im Grenzbereich der Einsatzmöglichkeiten von Gravitationsbrunnen und Horizontaldrainagen. Für die Baugruben ist aufgrund der Tiefe allerdings der Einsatz von Brunnen unumgänglich. Für die Bemessung wurden die jeweils durchlässigsten Schichten angesetzt und auf **Durchlässigkeitsbeiwerte von 5×10^{-5} m/s bzw. 1×10^{-4} m/s** aufgerundet.

Tab. 5: Randbedingungen Geschlossene Querungen

Geschlossene Querung	Grundwasserstand, mit Zuschlag [m uGOK]	Absenkungsbetrag bis 0,5 m uBGS [m]	Bemerkung	Kf-Wert
Bahnquerung Rehden	---	---	Geschiebelehm, Schichtwasser	$< 1 \times 10^{-6}$ m/s
Bundesstraße B 214	---	---	Geschiebelehm, Schichtwasser	$< 1 \times 10^{-6}$ m/s
Bundesstraße B 239	---	---	Geschiebelehm, Schichtwasser	$< 1 \times 10^{-6}$ m/s
Gewässer "Rhien"	2,5	6,0	Sand, schluffig	5×10^{-5} m/s
Landesstraße L 345	0,5	4,5	Sand, schluffig	5×10^{-5} m/s
Kreisstraße K 28	1,0	4,0	Sand, schluffig	5×10^{-5} m/s
Bahnquerung Marl	4,0	2,0	Sand, schluffig	1×10^{-4} m/s
Bundesstraße B 51	1,0	5,0	Sand, schluffig	1×10^{-4} m/s
Bundesstraße B 51	0,5	5,5	Sand, schluffig	1×10^{-4} m/s
Landesstraße L 346	0,5	4,5	Sand, schluffig	5×10^{-5} m/s
Bahnquerung Stemshorn	1,0	5,0	Sand, schluffig	1×10^{-4} m/s
Kreisstraße K 34	0,5	4,5	Sand, schluffig	1×10^{-4} m/s
Landesstraße L 766	3,5	2,0	Sand, schluffig	1×10^{-5} m/s



Berechnungen

Zur überschlägigen Vorbemessung der Wasserhaltung wurde eine Berechnung mit dem Programm MEBRU 98 der Fa. GGU mbH, Braunschweig, ausgeführt. Dabei wurde aufgrund der Lage des Grundwasservorkommens innerhalb der Sande eine Absenkung über **Gravitationsbrunnen** überprüft. Die Möglichkeit der zusätzlichen Vakuumentwässerung wird damit nicht ausgeschlossen. Änderungen sind vor allem über die Bemessung und Anordnung der Einzelbrunnen möglich.

Es wurde zunächst eine unverbaute Baugrube überprüft. Zusätzlich wurde ein Spundwandverbau angesetzt, der einige Meter unterhalb der Baugrubensohle endet. Nach unserer Einschätzung werden die Baugruben überwiegend mit Verbau hergestellt, insbesondere im Bereich der Bahn- und Gewässerquerungen.

Tab. 6: Berechnungsergebnisse Geschlossene Querungen

Geschlossene Querung	Absenkungs- betrag bis 0,5 m uBGS [m]	Startgrube (un- verbaut) Wassermengen [m ³ / h]	Reichweite nach SICHARDT [m]	Startgrube (Spundwand) Wassermengen [m ³ / h]
Bahnquerung Rehden	Schichtwasser	< 5 m ³ /h		< 5 m ³ /h
Bundesstraße B 214	Schichtwasser	< 5 m ³ /h		< 5 m ³ /h
Bundesstraße B 239	Schichtwasser	< 5 m ³ /h		< 5 m ³ /h
Gewässer "Rhien"	6,0	34,54 m ³ /h	127,3 m	18,26 m ³ /h
Landesstraße L 345	4,5	26,73 m ³ /h	95,5 m	13,77 m ³ /h
Kreisstraße K 28	4,0	23,05 m ³ /h	84,9 m	13,91 m ³ /h
Bahnquerung Marl	2,0	18,32 m ³ /h	60 m	13,56 m ³ /h
Bundesstraße B 51	5,0	56,78 m ³ /h	150 m	25,55 m ³ /h
Bundesstraße B 51	5,5	64,58 m ³ /h	165 m	34,80 m ³ /h
Landesstraße L 346	4,5	26,73 m ³ /h	95,5 m	13,77 m ³ /h
Bahnquerung Stemshorn	5,0	56,78 m ³ /h	150 m	28,27 m ³ /h
Kreisstraße K 34	4,5	46,75 m ³ /h	135 m	25,95 m ³ /h
Landesstraße L 766	2,0	7,73 m ³ /h	19 m	3,97 m ³ /h



Für die zusätzliche Entwässerung der jeweiligen **Zielgruben** sollte ein Zuschlag auf die ermittelte Wassermenge von jeweils 50 % erfolgen. Die Überlagerung der Absenktrichter bei gleichzeitiger Wasserhaltung je Querung bleibt hierbei unberücksichtigt. Sie schwankt in Abhängigkeit der unterschiedlichen Querungslänge bzw. dem Abstand der Baugruben.

Die **absoluten Wassermengen** sind neben den Schwankungen des natürlichen Wasserstandes zum Bauzeitpunkt sowie den angesetzten Durchlässigkeiten des umgebenden Bodens insbesondere von der Dauer der Bauwasserhaltung abhängig.

Die exakte Dauer der Einzelbaumaßnahmen ist stark vom gewählten Bauverfahren abhängig und daher zum gegenwärtigen Zeitpunkt im Detail nicht vorhersagbar. Für die weitere Betrachtung werden Annahmen getroffen, die auf vergleichbaren Baumaßnahmen beruhen. Die in der folgenden Zusammenstellung vorhandenen Unterschiede in der Zeitdauer sind durch die verschiedenen Querungslängen und Baugrubentiefen begründet.

Tab. 7: Abschätzung Wassermengen Geschlossene Querungen

Geschlossene Querung	Wasserhaltungsbereich	Start- und Zielgrube (unverbaut) Wassermengen	Start- und Zielgrube (Spundwand) Wassermengen	Dauer Wasserhaltung [Tage]	Start- und Zielgrube (unverbaut) Gesamt	Start- und Zielgrube (Spundwand) Gesamt
	Nr.	[m ³]	[m ³]		[m ³]	[m ³]
Bahnquerung Rehden	1	< 5 m ³ /h		50	<5.000 m ³	<5.000 m ³
Bundesstraße B 214	1	< 5 m ³ /h		50	<5.000 m ³	<5.000 m ³
Bundesstraße B 239	1	< 5 m ³ /h		50	<5.000 m ³	<5.000 m ³
Gewässer "Rhien"	4	51,8 m ³ /h	27,4 m ³ /h	50	62.160 m ³	32.880 m ³
Landesstraße L 345	7	40,1 m ³ /h	20,7 m ³ /h	40	38.496 m ³	19.872 m ³
Kreisstraße K 28	8	34,6 m ³ /h	20,9 m ³ /h	40	33.216 m ³	20.064 m ³
Bahnquerung Marl	10	27,5 m ³ /h	20,3 m ³ /h	40	26.400 m ³	19.488 m ³
Bundesstraße B 51	11	85,2 m ³ /h	38,3 m ³ /h	50	102.240 m ³	45.960 m ³
Bundesstraße B 51	13	96,9 m ³ /h	52,2 m ³ /h	50	116.280 m ³	62.640 m ³
Landesstraße L 346	13	40,1 m ³ /h	20,7 m ³ /h	40	38.496 m ³	19.872 m ³
Bahnquerung Stemshorn	14	85,2 m ³ /h	42,4 m ³ /h	50	102.240 m ³	50.880 m ³
Kreisstraße K 34	14	70,1 m ³ /h	38,9 m ³ /h	40	67.296 m ³	37.344 m ³
Landesstraße L 766	15	11,6 m ³ /h	6,0 m ³ /h	40	11.316 m ³	5.760 m ³



Bei einer überschlägigen Dauer der Wasserhaltungsmaßnahmen von ca. 40 - 50 Tagen je Baugrube ergeben sich Gesamtwassermengen von ca. **598.140 m³ für die unverbaute Baugrube sowie 314.760 m³ für die verbaute Baugrube**. Aus dieser großen Wassermenge resultiert die Notwendigkeit, die zeitliche Abfolge der Baugrubenherstellung und dem geschlossenen Rohrvortrieb zu optimieren / minimieren, um möglichst kurze Bauzeiten je Querung zu erreichen.

Die **prognostizierten Wassermengen reduzieren sich bei Spundwandverbau** in Abhängigkeit der Spundwandtiefen (je tiefer die Spundwand einbindet, desto weniger Wasser wird gefördert). Allerdings verbleiben durch den Wasserandrang von unten auf die Baugrubensohle größere Wassermengen bestehen (s. Tab. 7). Eine mögliche wasserdichte Ausführung z.B. über eine UW-Betonsohle oder die Einbindung der Spundwände in natürlich stauende Bodenschichten (in der Erkundungstiefe nicht durchgängig angetroffen) wurde nicht betrachtet.

Die **Reichweiten** wurden für die unverbaute Baugrube nach SICHARDT ermittelt. Bei Einsatz eines Spundwandverbaus verkleinert sich der Absenktrichter. Eine Berechnung der Reichweite im Detail ist für diesen Fall nur über eine Grundwassermodellierung möglich. Es sollten dementsprechend die Maximalwerte der unverbauten Baugrube angesetzt werden.

Wir weisen darauf hin, dass die tatsächlichen Werte von den hier als Vorbemessung berechneten Werten abweichen können, da sie wasserstandsabhängig sind und der Wasserstand jahreszeitlich bedingt schwankt. Für die Absenkung bis zur Erreichung des quasistationären Zustandes ist mit höheren Wassermengen (10-20%) zu rechnen.

Die Lage der angesetzten geschlossenen Querungen ist in den Lageplänen der Anlage 1 verzeichnet. Die ausgeführten Vorbemessungen der Wasserhaltung an den jeweiligen Querungen sind in der Anlage 2 diesem Bericht beigelegt.

3.3 Grabenquerungen

Im Trassenverlauf auf der freien Strecke werden zahlreiche Entwässerungsgräben gequert. Für die notwendigen Dükerungen sind Vertiefungen des Rohrgrabens erforderlich. Die Anzahl der zu querenden Gräben bzw. die jeweiligen Grabentiefen sind im Detail gegenwärtig nicht bekannt. Für eine überschlägige Ermittlung der zusätzlichen Wassermengen setzen wir insgesamt 16 Grabenquerungen an. Wir gehen von einer Vertiefung um 2 m im Vergleich zur Regelverlegung aus.

Zur überschlägigen Vorbemessung der Wasserhaltung wurde eine Berechnung mit dem Programm MEBRU 98 der Fa. GGU mbH, Braunschweig, ausgeführt. Dabei wurde aufgrund der Lage des Grundwasservorkommens innerhalb der Sande eine Absenkung über **Gravitationsbrunnen** überprüft.

In den bodenmechanischen Laborversuchen wurden nach dem Verfahren von BEYER in den jeweils durchlässigsten Schichten über die Kornverteilungen Durchlässigkeitsbeiwerte („kf-Wert“) von 1×10^{-5} m/s bis 1×10^{-4} m/s ermittelt. Diese Korngrößenspanne liegt im Grenzbereich der Einsatzmöglichkeiten von Gravitationsbrunnen und Horizontaldrainagen.



Für die Baugruben ist aufgrund der Tiefe allerdings der Einsatz von Brunnen unumgänglich. Für die Bemessung wurden die jeweils durchlässigsten Schichten angesetzt und auf **Durchlässigkeitsbeiwerte von 5×10^{-5} m/s bzw. 1×10^{-4} m/s** aufgerundet.

Der Berechnung liegen die in Tab. 4 stehenden Eingangsdaten zugrunde:

Tabelle 8: Eingangsdaten der Absenkungsberechnungen Grabenquerungen

Durchlässigkeitsbeiwert des wassergesättigten Lockergesteines	5×10^{-5} m/s	1×10^{-4} m/s
GW-Stand (uGOK)	0,5 m uGOK	0,5 m uGOK
Sohle Rohrgraben	4,5 m uGOK	4,5 m uGOK
Absenkung s	4,0 m	4,0 m

Aus den Eingangsdaten o. g. ergeben sich nach der Berechnung die in der folgenden Tabelle dargestellten Werte.

Tabelle 9: Ergebnisse der Absenkungsberechnungen

Länge des betrachteten Einzelabschnitts (Baugrubenlänge)	12 m	12 m
Anzahl der Brunnen	4	4
Radius der Brunnen	0,100 m	0,100 m
Tiefe der Brunnen	ca. 12,0 m	ca. 12,0 m
Fördermenge im quasistationären Zustand Q_{beh}	20,1 m ³ /h	42,79 m ³ /h
Reichweite R (nach SICHARDT)	84,9 m	120 m
Anzahl	Ca. 12 Stck.	Ca. 4 Stck.

Aus der erforderlichen Wasserhaltung in **Dükerungen** ergibt sich unter Ansatz einer Anzahl von 16 Gräben eine Gesamtwassermenge von **412,36 m³/h**. Bei einer überschlägigen Dauer der Wasserhaltungsmaßnahmen von ca. 10 Tagen je Dükerung ergeben sich Gesamtwassermengen von $412,36 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h} \cdot 10 \text{ d} = \mathbf{98.966 \text{ m}^3}$.

Wir weisen darauf hin, dass die tatsächlichen Werte von den hier als Vorbemessung berechneten Werten abweichen können, da sie wasserstandsabhängig sind und der Wasserstand jahreszeitlich bedingt schwankt. Für die Absenkung bis zur Erreichung des quasistationären Zustandes ist mit höheren Wassermengen (10-20 %) zu rechnen.

Die exemplarisch ausgeführten Vorbemessungen der Wasserhaltung sind in der Anlage 2 diesem Bericht beigefügt.



4. Chemismus der Wässer

Hinsichtlich der Einleitung der geförderten Wässer wurden verschiedene Erkundungsaufschlüsse zu temporären Pegeln ausgebaut, beprobt und hinsichtlich der einleitungsrelevanten Parameter pH-Wert, Mangan, $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ analysiert. Zusätzlich wurden aus verschiedenen Oberflächengewässern, die sich vorzugsweise in der Nähe von Baugrundaufschlüssen befanden, ebenfalls Proben entnommen und auf dieselben Parameter untersucht. Das Ergebnis der Untersuchungen ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 6: Grundwasseranalysen im Baubereich

Aufschluss-Nr.	Oberflächenwasser				Grundwasser			
	pH-Wert	Mangan [mg/l]	Fe ²⁺ [mg/l]	Fe ³⁺ [mg/l]	pH-Wert	Mangan [mg/l]	Fe ²⁺ [mg/l]	Fe ³⁺ [mg/l]
BS 11 (12)	6,8	0,31	0,79	5,7	7,0	0,70	0,68	0,82
BS 13 (14)	7,4	0,22	0,37	1,5	6,3	0,41	5,2	8,8
BS 16	7,3	0,9	10	7,5	6,4	0,87	3,7	5,8
BS 21	7,7	0,028	0,18	<0,05	6,3	0,36	1,3	0,9
BS 25	7,5	0,027	0,46	0,49	6,5	0,56	0,49	12,51
BS 30 (noch nicht gebohrt)	7,4	1,0	0,21	2,2				
BS 36	6,9	0,068	1,4	1,3	6,2	0,37	0,48	3,22
BS 40	7,6	0,027	0,062	0,074	6,6	0,8	1,9	5,5
BS 42 (43)	7,6	0,018	0,052	0,14	6,6	1,8	1,2	3,7

Der Mangan-Gehalt im Grundwasser liegt leicht oberhalb der Konzentration im Oberflächenwasser. Die Abweichungen sind moderat. Der pH-Wert ist unauffällig.

Für Eisen lässt sich keine einheitliche Korrelation von Grundwasser- und Oberflächenwasserchemismus feststellen. Tendenziell ist der Eisengehalt im Grundwasser höher als im Oberflächenwasser, allerdings liegt der Fe^{2+} -Gehalt auch in 3 der 8 Analysen im Oberflächenwasser höher als im Grundwasser. Ein signifikanter Unterschied, aus der sich die Forderung einer generellen Enteisung der Bauwässer vor Einleitung in die Vorflut ableiten ließe, ist auf Grundlage dieser Messergebnisse unserer Auffassung nach nicht möglich.

Aus den weiteren Grundwasseruntersuchungen an den Aufschlüssen zu geschlossenen Querungen ist bekannt, dass bereichsweise mit stärker angreifenden Wässern aufgrund von kalklösender Kohlensäure (Übergang von schwach angreifend zu stark angreifend) zu rechnen ist.



Die Aufschlusspunkte der Grundwasserproben sowie die Entnahmestellen der Oberflächenwasserproben sind in den Lagekarten der Anlage 1 enthalten. Die Analyseberichte der Wasseruntersuchungen sind diesem Bericht in der Anlage 3 beigelegt.

5. Auswirkungen der Grundwasserhaltung

5.1 Absenktrichter

Durch die Grundwasserhaltung entsteht um den jeweiligen Absenkbrunnen ein Absenktrichter. Dieser ist nahe dem Brunnen relativ steil und nähert sich zum Trichterrand an den Ausgangswasserspiegel an. Der absolute Absenkungsbetrag verläuft innerhalb des Trichters nicht linear, sondern hyperbelartig, so dass die Grundwasserabsenkung zu den Rändern hin nur noch wenige cm beträgt. Die Auswirkungen liegen in diesen Bereichen in der Regel unter der natürlichen saisonalen Schwankungsbreite, die zwischen 0,5 m und ca. 1,5 m betragen kann.

Bei den in den bodenmechanischen Laborversuchen abgeschätzten Durchlässigkeiten der von der Wasserhaltung betroffenen Sande ist im Fall einer Absenkung über Gravitationsbrunnen generell mit Reichweiten von maximal ca. 75 m auf der freien Strecke bzw. maximal 165 m im Bereich der nicht gespundeten Baugruben zu rechnen. Die Berechnungen zur Reichweite können den Datenblättern der Grundwasservorbemessung in Anlage 3 entnommen werden. Die tatsächlichen Reichweiten zum Bauzeitpunkt können in Abhängigkeit des bauzeitigen Grundwasserstandes und der Durchlässigkeiten der im Absenkbereich vorhandenen Böden schwanken. Beschränken sich die Maßnahmen zur Wasserhaltung auf offene Wasserhaltungen / Drainagen / Vakuumanlagen, werden niedrigere Reichweiten eintreten.

In der Regel liegen sowohl die Bereiche mit Grundwasserhaltung in so großer Entfernung zur Bebauung, dass die Absenkung die saisonalen Schwankungen nicht übertrifft. Aufgrund der o. g. Geometrie der Absenktrichter werden Schäden an den Gebäuden hier voraussichtlich ausbleiben. Von den Absenktrichtern der Grundwasserhaltungen sind somit überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen und Straßen bzw. Wege betroffen. Dauerhafte Schäden an der Vegetation sind durch die Grundwasserabsenkungen wegen der begrenzten Dauer der Wasserhaltungsmaßnahmen in der Regel nicht zu erwarten.

Generell lassen sich Beeinträchtigungen an Gebäuden und Bauwerken durch die Grundwasserabsenkung nicht ausschließen, insbesondere in setzungsempfindlichen bindigen Böden und Torfen. Potenziell gefährdet sind insbesondere die Rehdener Hütte (Gewässerquerung Rhien), die Bebauung in Lemförde-Nord im Absenktrichter der Baugruben zur Unterquerung der B 51, sowie die Bebauung in Stemshorn an den Querungen der L 346 und der K 34. Für diese Bauwerke ist eine weitere Betrachtung / Beweissicherung zu empfehlen.



5.2 Beweissicherung / Monitoring zur Dokumentation an Bauwerken

Die Erfassung der Bauwerke im Bereich des Absenktrichters muss vor Installation der Wasserhaltungsmaßnahmen in Abstimmung mit den Eigentümern fachtechnisch erfolgen und fotografisch dokumentiert werden. Über die Dauer der Wasserhaltungsmaßnahme sind die Gebäude / Bauwerke in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren und dokumentieren. Dieses Monitoring ist nach Abschluss der Baumaßnahme bei Erreichen des Ausgangswasserspiegels abzuschließen.

Belastbare Beweisführungen sind mit Grundwassermessstellen zu erzielen, die nahe an der Bebauung in Richtung der Grundwasserabsenkung zu positionieren sind. Diese Grundwassermessstellen können als Kleinmessstellen (z. B. Rammpegel) errichtet werden und sind regelmäßig zu messen. Das Anbringen, Einmessen und Beobachten von Höhenbolzen wird als generell nicht verhältnismäßig angesehen, kann im Einzelfall als ergänzende Maßnahme jedoch ausgeführt werden.

6. Fazit

Aus den geschlossenen Querungen ergeben sich Wassermengen von ca. 600.000 m³, bei durchgängiger Spundung ca. 310.000 m³ (s. Kap. 3.1). Für die Dükerungen ist bei Ansatz von 16 Gräben mit ca. 100.000 m³ Wassermenge zu rechnen (s. Kap. 3.2). Die für die freie Strecke prognostizierten Wassermengen (Kap. 3.3) liegen mit 500 m³/h und km aufgrund des angesetzten Wasserstandes und des zugrunde gelegten Kf-Wertes auf der sicheren Seite. Zudem ist die Überlagerung der Wasserhaltungen im Bereich der Querungen nicht berücksichtigt. Dennoch ist davon auszugehen, dass für die gesamte Maßnahme mit Wassermengen in der Größenordnung von 3.000.000 m³ zu rechnen ist.

Dieser Wert würde nur bei weitgehendem Verzicht auf Absenkbrunnen (d.h. wasserdichte Ausführung von Baugruben, ggf. Nassverlegung bei Grabendükern, Absenkung auf der Strecke weitestgehend ohne Brunnen) möglicherweise unterschritten. Dies ist im weiteren Planungsprozess zu berücksichtigen.

Dipl.-Geol. Rose

Dipl.-Geol. Deichmann