

Auftraggeber: SYNDICAT DES EAUX DU SUD-EST
(SESE)

Inhalt: Errichtung des Brunnens „Schlammstrachen“
bei Schengen
- Entwurfsplanung -

Aufgestellt: August 2020

BIESKE UND PARTNER
Beratende Ingenieure GmbH



Gliederung

1	Allgemeine Situation und Aufgabenstellung	3
2	Umfang der Maßnahme	6
3	Zusammenfassung der Ergebnisse der Vorerkundung	6
3.1	Hydrogeologischer Rahmen	6
3.2	Standort der Erkundungsbohrung	8
3.3	Schichten- und Zuflussprofil	8
3.4	Standörtliche Ergiebigkeit und Fassungskapazität	11
3.5	Hydrochemische Verhältnisse	12
3.6	Zusammenfassung der wasserwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten des mit der Bohrung FRE-135-29 erkundeten Standortes Schlammstrachen	13
3.7	Randbedingungen für die Brunnenbemessung	14
4	Festlegung und Bemessung des Brunnens „Schlammstrachen“	17
4.1	Brunnendimensionierung	17
4.2	Brunnenfilterstrecke	18
4.2.1	Ermittlung Filterkiesschüttungen	18
4.2.2	Ermittlung Filterfläche	19
4.2.3	Filterrohrart und Werkstoff	20
4.2.4	Bemessung der Brunnenrohre	21
4.3	Brunnenabdichtung	21
4.4	Vorläufiges Brunnenkonzept	22
4.5	Stabilitätsberechnungen	24
4.5.1	Anzusetzende Druckhöhen	24
4.5.2	Berechnungen	26
4.5.3	Erforderliche Stabilitäten der Brunnenrohre	28
4.5.4	Erforderliche Zugfestigkeit der Brunnenrohre	31
4.5.5	Axiale Druckbelastung	31
4.5.6	Zusammenstellung der erforderlichen Rohrabmessungen	31
4.6	Oberflächenabschluss	32
5	Ausführung	33
5.1	Arbeitsschritte	33
	Literaturhinweis	37

Erläuterungsbericht

zur Entwurfsplanung für die Errichtung des Brunnens „Schlammstrachen“ bei Schengen

1 Allgemeine Situation und Aufgabenstellung

Das Syndicat des Eaux du Sud-Est (SESE) betreibt im Südosten des Großherzogtums Luxembourg bei der Ortschaft Schengen eine zurzeit aus dem Doppelbrunnen Greissen I/II und dem Brunnen Wintrange bestehende Wassergewinnungsanlage zur Versorgung der Gemeinden Mondorf-les-Bains und Schengen sowie bedarfsweise die Domaine Thermal in Mondorf mit Trinkwasser. Mit den im ab ca. 30 m unter Gelände anstehenden Oberen Muschelkalk verfilterten Brunnen können maximale Förderkapazitäten von bis zu 800.000 m³/Jahr realisiert werden. Im Jahr 2018 wurde erstmalig die Marke von 700.000 m³ mit einer Entnahmemenge von 720.000 m³ überschritten. Bei zuzüglicher Berücksichtigung eines zu erwartenden Bevölkerungswachstums von 2 bis 3 % werden jährliche Bedarfsmengen von bis zu 800.000 m³ für das Jahr 2024 und von bis zu 1.200.000 m³ für das Jahr 2040 erwartet. Die jetzt schon bei ca. 3.000 m³ liegenden täglichen Spitzenverbräuche werden für die Jahre 2024 und 2040 mit bis zu 3.800 bzw. 5.600 m³ erwartet. Folglich strebt das Syndikat SESE zur Bedarfsdeckung die Erschließung weiteren Grundwasserdargebotes an.

Der Bau eines weiteren Brunnens zur eigenen Dargebotsgewinnung wurde bereits vor einigen Jahren beabsichtigt. Dazu wurde im Winter 2014/15 auf einem südlich der Bestandsbrunnen gelegenen Standort mit Benennung „Schlammstrachen“ eine Erkundungsbohrung bis in den auch von den Bestandsbrunnen Greissen und Wintrange genutzten Oberen Muschelkalk abgeteuft und zur dauerhaft nutzbaren Grundwassermessstelle ausgebaut. Die auf einer Halbinsel im Baggersee „Hunnef Rief“ gelegene Bohrung trägt die Kennnummer FRE-135-29 und ist ebenfalls in der Übersichtskarte der Abb. 2 eingetragen. Nach den Erkundungsergebnissen

besteht zwar eine ausreichende standörtliche Ergiebigkeit mit Förderkapazitäten für einen potentiellen Einzelbrunnen von bis zu 80 m³/h. Das Grundwasser ist jedoch mit einem sehr hohen Chloridgehalt sowie hohen Gehalten an Sulfat und Natrium stark mineralisiert. Der hohe Chloridgehalt von bis zu 750 mg/L würde im Parallelbetrieb mit den Brunnen Greissen und Wintrange die Zumischung einer vierfachen Menge des dort geförderten deutlich geringer mineralisierenden Grundwassers erfordern, damit die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden könnten. Somit wurde die wasserwirtschaftliche Nutzung des damals erkundeten Standortes zunächst verworfen.

Bei Vergleich der mit den Bestandsbrunnen Greissen und Wintrange sowie mit der Bohrung FRE-135-29 am Standort „Schlammstrachen“ vorliegenden Kenntnisse fällt auf, dass das Grundwasser im Muschelkalkaquifer eine sich von Norden nach Süden verstärkende Mineralisierung aufweist. Nach dem geologischen Kartenwerk für diesen Bereich liegen die Brunnen Greissen und Wintrange auf einer gemeinsamen Scholle, wofür auch die ähnlichen hydrochemischen Standorteigenschaften sprechen. Südlich der Brunnen Greissen folgen in kurzen Abständen mehrere in Südwest-Nordost-Richtung verlaufende Störungsbahnen mit einer Zerlegung des Gebirges in kleinere Bruchschollen. Je nach hydraulischer Anbindung der Bruchschollen können sich unterschiedliche Grundwasserqualitäten ergeben. Die Erkundung eines weiteren, südlich der Bohrung „Schlammstrachen“ gelegenen Standortes wurde verworfen, da auch hier eine hohe Wahrscheinlichkeit für ungeeignete hydrochemische Parameter durch hochmineralisiertes Grundwasser bestand.

Nach Prüfung von Versorgungsmöglichkeiten von externer Seite durch die Gemeindewasserwerke Perl über die bestehende Zuleitung durch einen Moseldüker besteht auch von dieser Seite nur eine beschränkte Redundanz für die Eigenwassergewinnungsanlagen des SESE. Daher, sowie durch die veränderte Ausgangslage mit höheren Bedarfsmengen, wird jetzt die Nutzung der Bohrung „Schlammstrachen“ nach Ausbau zu einem Entnahmebrunnen in Verbindung mit einer entsprechenden Aufbereitung beabsichtigt.

Der Standort des geplanten Brunnen „Schlammstrachen“ befindet sich im Bereich der vorgesehenen Wasserschutzzone III der Brunnen Greissen und Wintrange für die bei Offenlegung keinerlei Einsprüche Dritter vorgebracht wurden (Abbildung 1).

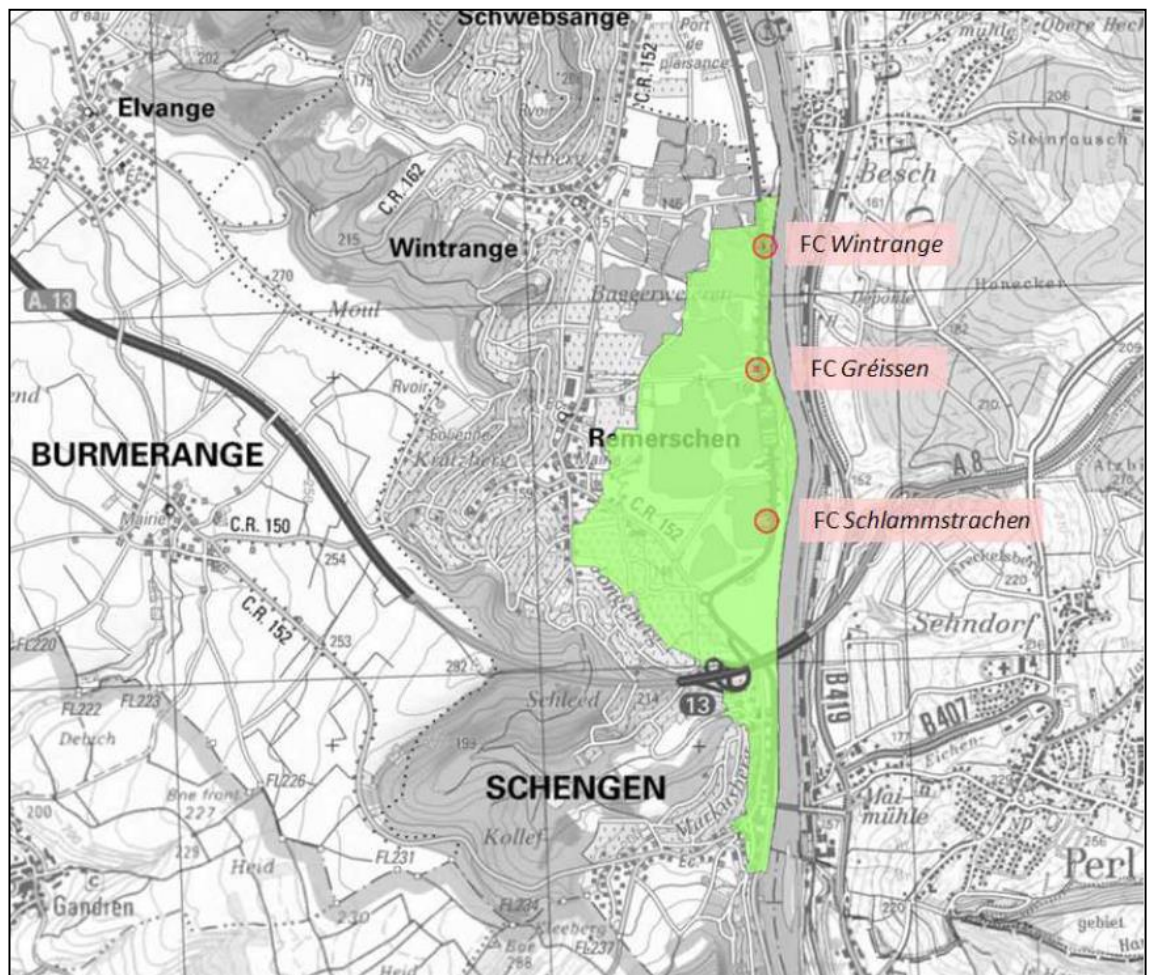


Abb. 1: Lageplan mit Standorten der Bestandsbrunnen Greissen und Wintrange sowie des geplanten Brunnenstandortes „Schlammstrachen“ im Trinkwasserschutzgebiet (aus Unterlagen des SESE).

Die vorliegende Entwurfsplanung für ein Fassungsbauwerk am Standort „Schlammstrachen“ wurde auf Grundlage der im Ergebnisgutachten (BIESKE UND PARTNER/TR-ENGINEERING, 2015) bewerteten der Erkundungsbohrung erarbeitet. Die nach den Richtlinien des technischen Regelwerkes (DVGW-ARBEITSBLÄTTER W 118 UND W 123) erstellten Bemessungen und Dimensionierungen des Brunnen berücksichtigen die standörtlichen Erkundungsergebnisse sowie die Betreiberanforderungen.

2 Umfang der Maßnahme

Mit der Errichtung eines neuen Brunnens am Standort „Schlammstrachen“ sind folgende Einzelgewerke verbunden:

- Überarbeitung und Befestigung des geringfügig befestigten Zufahrtsweges von der C.R. 152 (Schengen - Remerschen) entlang des Angelweihers zum Bohrplatz.
- Anlegen eines befestigten Bohrplatzes am geplanten Brunnenstandort mit Abmessungen von ca. 15 m x ca. 10 m. Teile des Bohrplatzes und des Zufahrtsweges dienen nach späterer Überarbeitung als Bedienungsfläche bzw. als verbleibende Zufahrt für den Brunnen.
- Errichtung des Brunnens bis zu einer Tiefe von ca. 40 m unter Gelände.
- Errichtung eines Brunnenabschlussbauwerkes in oberirdisch angelegter Bauform sowie Einbau und Installation der Brunnenabgangsleitung einschließlich der Mess- und Regelarmaturen.
- Verlegung der Anschlussrohrleitung zur Anbindung des Neubrunnens an das zur geplanten Aufbereitungsanlage Schapp führende Leitungsnetz.
- Auslegung der Brunnenpumpe nach Ergebnissen des im Neubrunnen durchzuführenden Leistungstests sowie nach Vorgaben des Betreibers.
- Elektro- und messtechnische Ausrüstung der Brunnen.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Vorerkundung

3.1 Hydrogeologischer Rahmen

Die wesentlichen Bemessungsdetails wie die erforderliche Brunnentiefe und Positionierung der Filterstrecke ergeben sich durch die Auswertung der Erkundungsbohrung. Wie die Erkundungsergebnisse auch bei Vergleich mit den Verhältnissen an den Standorten der Bestandsbrunnen Wintrange und Greissen gezeigt haben, bestehen kleinräumig **unter-**

schiedliche hydrogeologische Standortfaktoren im Oberen Muschelkalk womit sich auch unterschiedliche Bedingungen für eine wasserwirtschaftliche Nutzung dieses Festgesteinsaquifers ergeben.

Der Horizont Oberer Muschelkalk (mo1, mo2) steht an den im Moseltal gelegenen Standorten der Bestandsbrunnen Wintrange und Greissen mit harten Dolomitbänken und Mergeln in Tiefen von ca. 30 bis ca. 35 m unter Gelände mit einer Mächtigkeit von ca. 60 m an. Die Überdeckung besteht hier aus geringmächtigen quartären Lockersedimenten (Sande und Kiese mit einer Gesamtmächtigkeit von ca. 8 m) und den mergeligen, abdichtend wirkenden Schichten des Mittleren Keupers (km1) und Unteren Keupers (ku) mit einer Gesamtmächtigkeit von bis zu 25 m. Im Liegenden schließen sich gipsführende Mergel des Mittleren Muschelkalks an (mm1, mm2) an.

Der Obere Muschelkalk stellt damit hinsichtlich seiner Ausbildung und Mächtigkeit den einzigen wasserwirtschaftlich nutzbaren Aquifer dar. Durch die schon erwähnte Bruchtektonik mit in West-Ost-Richtung bewirkten, allerdings nur geringen Versatzbeträgen steht der Obere Muschelkalk am Westufer der Mosel zwischen Schwebsange im Norden und Schengen im Süden in unterschiedlichen Tiefen an. Südlich von Schengen wird die Formation bis an die Geländeoberfläche herausgehoben. In Ost-West-Richtung dagegen bestehen entlang einer Hauptstörung große Versatzbeträge, so dass der Obere Muschelkalk schon im Bereich westlich der Baggerseen um bis zu 100 m in die Tiefe abgeschoben wurde und westlich von Remerschen von den Schichten des Jura überdeckt wird.

Die Wasserführung im Oberen Muschelkalk hängt vom Durchtrennungsgrad des Gebirges ab und führt regional zu **unterschiedlichen standörtlichen Ergiebigkeiten**. Der Durchtrennungsgrad des Gebirges und die Öffnungsweite von Klüften nehmen mit zunehmender Tiefe und damit zunehmendem Auflastdruck ab, so dass die produktiven Zuflusszonen demzufolge eher in der oberen Hälfte der Formation zu erwarten sind.

3.2 Standort der Erkundungsbohrung

Der erkundete Standort befindet sich am Baggersee „Hunnef Rief“ westlich der R.N. 10 zwischen dem Kieswerk Hein in Norden und der Anschlussstelle Schengen zur A 13 im Süden (Abbildung 2). Der Standort hat folgende Grundstückskenndaten:

Geländehöhe: ca. NN + 146 m
 Parzellenbezeichnung: 1887/4799
 Lagekoordinaten LUREF: N: 94376 E 61233.

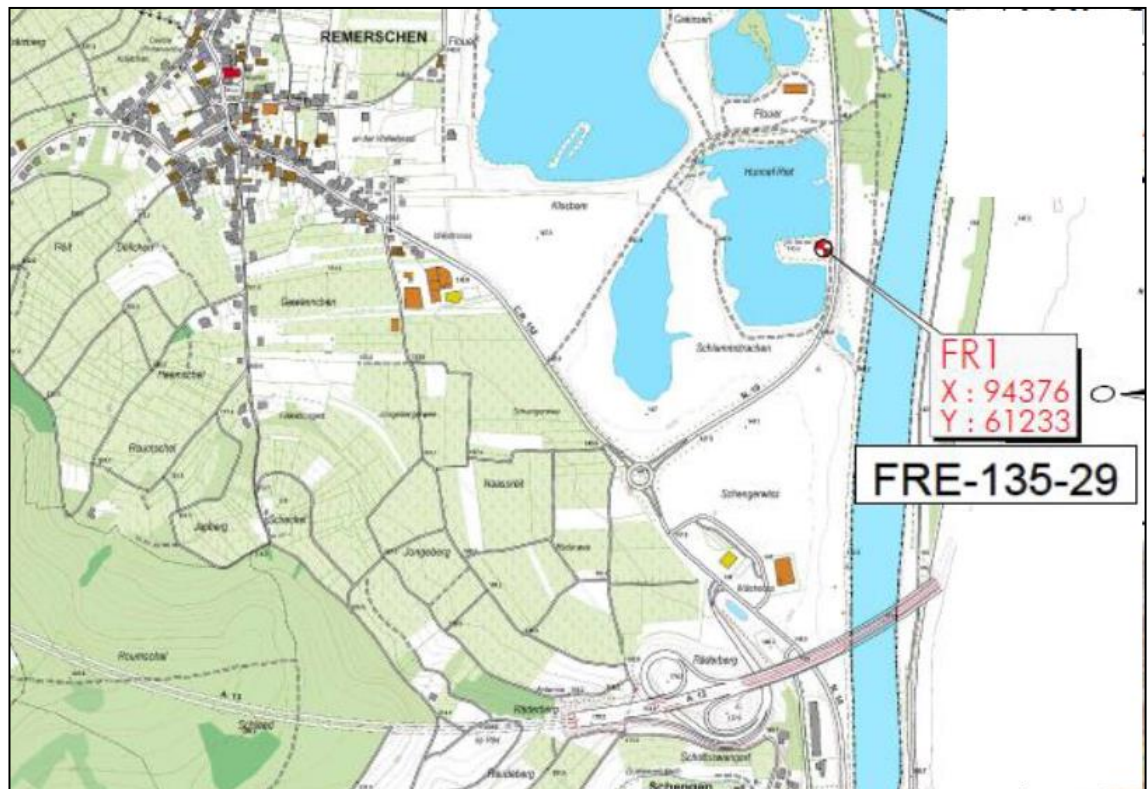


Abb. 2: Lageplan mit Erkundungsstandort (Ausschnitt aus Carte Topographique, Administration du Cadastre et de la Topographie du Luxembourg).

3.3 Schichten- und Zuflussprofil

Die Erkundungsbohrung am Standort „Schlammstrachen“ ergab folgendes Schichtenprofil (Tabelle 1):

Tab. 1: Schichtenprofil nach Bohrgutansprache

Tiefe [m u. Gel.]	Lithologie	Stratigraphische Zuordnung	Farbe
0,0 - 3,0	Kies, Sand, Schluff	Alluvium	weiß, braun
3,0 - 4,0	Schluff, Sand	Alluvium	braun
4,0 - 8,5	Kies	Alluvium	bunt
8,5 - 11,5	Sandstein, Mergelstein	Mittlerer Keuper, km1	bunt, grau
11,5 - 13,0	Tonmergel	Mittlerer Keuper, km1	grau, schwarz
13,0 - 15,0	Mergelstein, Dolomit	Unterer Keuper, ku1	grau
15,0 - 17,0	Mergelstein	Unterer Keuper, ku1	grau, schwarz
17,0 - 21,0	Sandstein, Dolomitbänke	Unterer Keuper, ku1	gelb, grau, bunt
21,0 - 25,0	Sandsteinbänke, dünne Dolomitbänke	Unterer Keuper, ku1	grau-gelb
25,0 - 30,0	Dolomit	Oberer Muschelkalk, mo2	hellgrau
30,0 - 32,0	Dolomit, Kluftminerale (Hinweis auf Klüfte)	Oberer Muschelkalk, mo2	dunkelgrau
32,0 - 36,0	Mergelzwischenlagen, Dolomit	Oberer Muschelkalk, mo2	hellgrau
36,0 - 38,0	Mergelstein, Dolomit	Oberer Muschelkalk, mo2	hellgrau
38,0 - 41,0	Dolomit	Oberer Muschelkalk, mo2	dunkelgrau
41,0 - 42,0	Dolomit, Mergelzwischenlage	Oberer Muschelkalk, mo2	dunkelgrau, hellgrau
42,0 - 45,0	Dolomit, dünne Mergelzwischenlagen	Oberer Muschelkalk, mo2	dunkelgrau, hellgraue Zwischenlage
45,0 - 50,3	Massiver Dolomit	Oberer Muschelkalk, mo2	dunkelgrau

Die Oberkante des Oberen Muschelkalks wurde bei 25 m unter Gelände mit Dolomiten erbohrt (Abbildung 3). Der beim Bohrvorgang ab einer Tiefe von ca. 30 m ansteigende Gegendruck sowie die in den Proben des Dolomitgesteins vorhandenen Kluftminerale waren Indikatoren für eine in dieser Tiefe signifikanten Wasserführung des Gesteins (Abbildung 4).

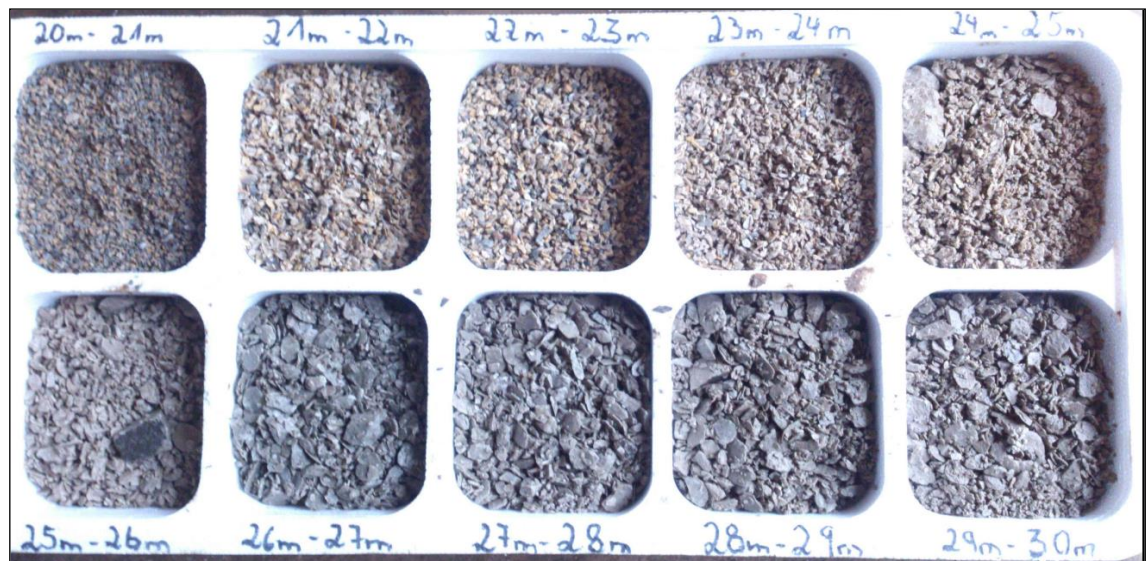


Abb. 3: Bohrproben 20 bis 30 m unter Gelände mit Schichtwechsel Unterer Keuper – Oberer Muschelkalk bei 25 m.

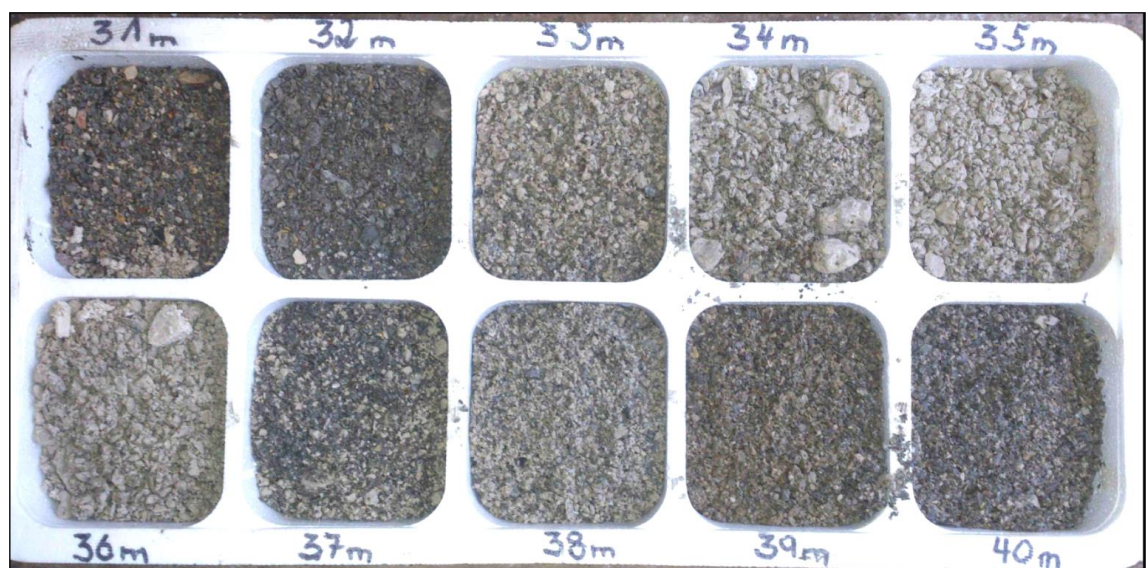


Abb. 4: Bohrproben 30 bis 40 m unter Gelände mit Kluftmineralien bei 31 bis 32 m als Indikator für wasserführende Trennflächen.

Eine Quantifizierung des Grundwasserzulaufes zur Bohrung enthält Tabelle 2.

Tab. 2: Grundwasserdynamik

Teufenbereich [m]	Menge [%]	Art
25,0 - 26,3	10	Über die Abschnittslänge verteilte Zuflüsse. Elektr. Leitfähigkeit ca. 1.500 $\mu\text{S/cm}$.
31,0 - 31,5	75-80	>3/4 der Gesamtzuflussmenge aus Einzelkluft. Unabhängig von der Entnahmemenge relativ gleichbleibender Zufluss. Elektr. Leitfähigkeit zwischen 1.500 und 2.300 $\mu\text{S/cm}$.
31,5 - 32,5	ca. 8	geringer Zufluss
43,2 - 44,0	ca. 6	geringer Zufluss mit hoher elektr. Leitfähigkeit (3.500 $\mu\text{S/cm}$)
48,0 - 49,7	ca. 2	geringer Zufluss mit hoher elektr. Leitfähigkeit (5.500 $\mu\text{S/cm}$)

3.4 Standörtliche Ergiebigkeit und Fassungskapazität

Über Pumpversuche wurde die standörtliche Ergiebigkeit zur Abschätzung der Fassungskapazität ermittelt.

In der zum Versuchsbrunnen ausgebauten Erkundungsbohrung wurden über einen Pumpversuch folgende stationäre Betriebswasserstände gemessen und spezifische Ergiebigkeiten ermittelt (Tabelle 3):

Tab. 3: Ergebnisse Pumpversuch im Versuchsbrunnen FRE-135-29

Förderleistung [m ³ /h]	Wasserstand [m u. Gel.]	Wasserstand [NN+ m]	ΔS [m]	spez. Ergiebigkeit E [(m ³ /(h·m))]
0	4,65	141,35	0	-
25,2	6,66	139,34	2,01	12,5
50,4	12,25	133,75	7,60	6,6
75,6	20,56	125,44	15,91	4,8

Die Ergiebigkeitsgraphik (Abbildung 5) verdeutlicht die mit zunehmender Entnahmemenge abnehmende spezifische Ergiebigkeit. Da beim Festgesteinsaquifer des Oberen Muschelkalks ein gespanntes Grundwasser vorliegt, bewirkt die entnahmebedingte Verringerung des Druckpotentials auch eine Abnahme der spezifischen Ergiebigkeit.

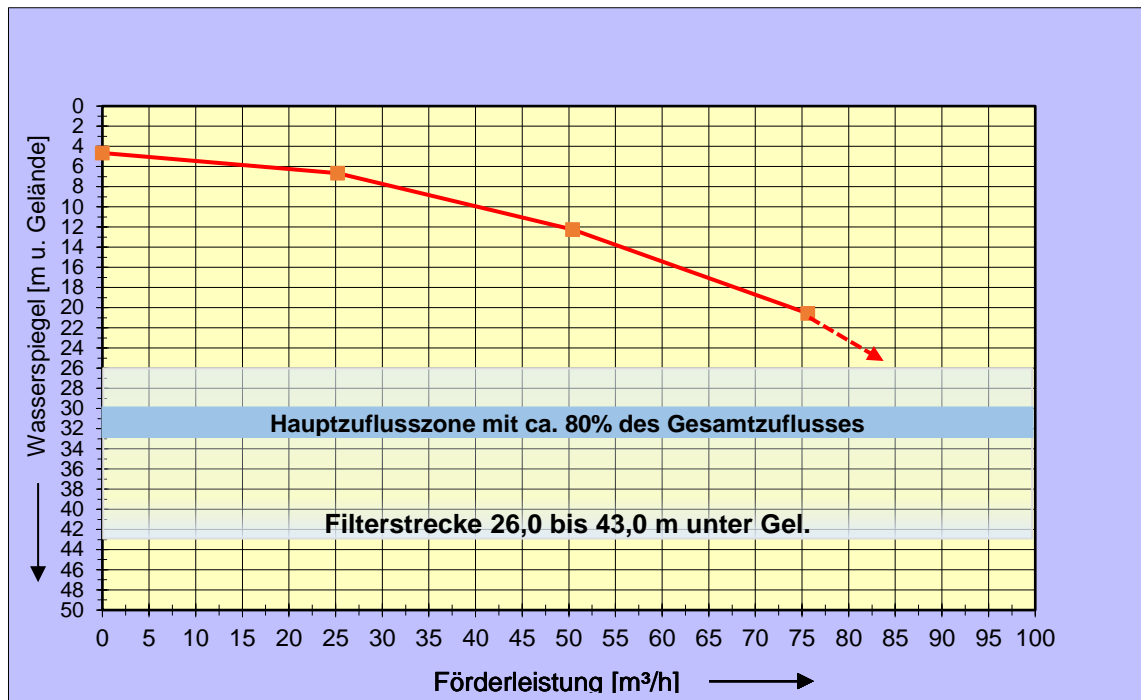


Abb. 5: Ergiebigkeitsgrafik nach Daten des Pumpversuchs Februar 2015.

Die realisierbare Förderkapazität ist von der Lage der Hauptzuflusszone abhängig. Aufgrund des hohen Anteils der im Tiefenbereich zwischen ca. 30,5 und ca. 32 m unter Gelände nachgewiesenen Hauptzuflusszone von ca. 80 % am Gesamtzufuss muss diese jederzeit hydraulisch am Brunnen angeschlossen bleiben. Wird der Brunnenwasserspiegel entnahmebedingt bis unter diese Hauptzuflusszone abgesenkt, stellen sich defizitäre Entnahmebedingungen mit einem stetig fallenden Brunnenwasserspiegel ein.

Zuzüglich eines von der Hauptzuflusszone einzuhaltenden „Sicherheitsabstands“ sollte eine Absenkungsgrenze von 26 m unter Gelände eingehalten werden, so dass die realisierbare Förderkapazität mit ca. 80 m³/h angegeben werden kann.

3.5 Hydrochemische Verhältnisse

Die wichtigsten Parameter der Analyse sind in der Tabelle 4 aufgelistet und hinsichtlich erkennbarer Trends ausgewertet worden. Die der Analyse zugrunde liegende Wasserprobe wurde während des Pumpversuchs nach

einer Entnahmedauer von 5 Tagen und einer zum Zeitpunkt der Probenahme durchgeführten Förderleistung von ca. 75 m³/h entnommen.

Tab. 4: Auswertung der Wasseranalyse

Parameter	Grenzwert TrinkwV (mg/L)	Messwert Beprobung (mg/L)	Bemerkung
Leitfähigkeit	2.500 µS/cm bei 20 °C	2.921 µS/cm	indiziert hohe Mineralisierung des Wassers (leichte Erhöhung mit zunehmender Entnahmedauer und nach Erhöhung der Fördermenge)
pH	6,5 – 9,5	7,11	neutraler Bereich, konstant während des Pumpversuches
Nitrat	50	19	indiziert merklichen Oberflächeneinfluss
Chlorid	250	749	eigentlich Indikator für anthropogene Beeinflussung, sehr hoher Chloridgehalt hier geogen bedingt
Sulfat	250	290	deutliche Überschreitung des Grenzwertes, geogen bedingt
Natrium	200	288	deutliche Überschreitung des Grenzwertes, geogen bedingt
Kalium		7,5	
Magnesium		70	deutlicher Gehalt, geogen bedingt
Calcium		265	geogen bedingt
Karbonathärte		37,1°dH	Härtebereich „sehr hart“
Gesamthärte		53,4°dH >90°f	Härtebereich „sehr hart“
Säurekapazität		5,48	

3.6 Zusammenfassung der wasserwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten des mit der Bohrung FRE-135-29 erkundeten Standortes „Schlammstrachen“

Nach der Erkundung ergeben sich folgende Feststellungen hinsichtlich einer Bewirtschaftung des Festgesteinsaquifers im Oberen Muschelkalk am Standort der Bohrung FRE-135-29:

- Die Wasserführung in der Bohrung wird zu ca. 80 % aus dem Bohrlochabschnitt zwischen 31,0 m und 32,5 m unter Gelände gestellt. Weitere 10 % des Gesamtzuflusses stammen aus dem Übergangsbereich zwischen Keuper und Oberen Muschelkalk zwischen 25,0 und 26,3 m unter Gelände. Aus tieferen Bohrlochabschnitten fließen nur geringe Zuflussmengen mit hoher Mineralisierung zu. Für eine wasserwirtschaftliche Erschließung des Standortes ist eine **Brunnentiefe von ca. 40 m unter Gelände** völlig ausreichend, da damit die Hauptzuflüsse erschlossen werden.
- Die standörtliche Ergiebigkeit liegt in der Größenordnung wie am Brunnenstandort Greissen. Unter ordnungsgemäßen Bedingungen eines Brunnenbetriebes bei dem die betriebsbedingte Absenkung des Brunnenwasserspiegels nicht in den Bereich der Hauptzuflusszonen abgesenkt wird, können Förderleistungen von bis zu 85 m³/h erreicht werden. **Eine dauerhafte Regelförderleistung von 60 m³/h und eine maximale kurzfristige Förderleistung von 80 m³/h wird empfohlen.**
- **Das Grundwasser ist hinsichtlich der Parameter Chlorid (740 mg/L), Sulfat (290 mg/L) und Natrium (288 mg/L) stark mineralisiert und bedarf vor seiner Nutzung zu Trinkwasserzwecken einer Aufbereitung und/oder Zumischung** von an den Standorten Greissen und Wintrange geförderten Wassers (Chloridgehalte bis ca. 100 mg/L).

3.7 Randbedingungen für die Brunnenbemessung

Tabelle 5 enthält eine Zusammenfassung der wichtigsten über die Erkundung ermittelten hydrogeologischen Standortfaktoren und hydraulischen Aquiferparameter für den zu planenden Brunnen „Schlammstrachen“:

Tab. 5: Zusammenstellung der Erkundungsergebnisse

Standortfaktoren	Brunnen „Schlammstrachen“
Grundstücksdaten	Katasternummer 1887/4799
Geländehöhe Ansatzpunkt	NN + ca. 146 m
Maximale Fassungskapazität für Bemessung	80 m ³ /h Technische Brunnenbemessungsgrenze 100 m ³ /h

Standortfaktoren	Brunnen „Schlammstrachen“
Druckpotential Oberer Muschelkalk	NN + ca. 141 m ca. 5 m u. Gel.
Mächtigkeit Deckschichten	25 m
Mächtigkeit produktiver, zustromwirksamer Aquiferabschnitt	25 m bis 50 m unter Gel. Basis Oberer Muschelkalk nicht erbohrt
Aquiferverhältnisse	gespannt

Auf Grundlage der Erkundungsergebnisse ergeben sich die in Tabelle 6 zusammengestellten Randbedingungen für die standortgerechte Brunnenbemessung. Diese erfolgt nach den geltenden Regeln der Technik (DVGW-ARBEITSBLATT W 118) sowie unter Berücksichtigung eines nach geltendem Regelwerk (DVGW-ARBEITSBLATT W 125) zu erfolgreichem Brunnenbetriebes.

Tab. 6: Bemessungstechnische und betriebliche Anforderungen an ein Fassungskonzept am erkundeten Standort Schlammstrachen

Konzeptdetail	Anforderung	Brunnenkonzept
Brunnen- dimension	<ul style="list-style-type: none"> - wirtschaftlich unter Beachtung der Faktoren Fassungsvermögen/Wasserandrang - Bemessungsförderleistung 100 m³/h - Platzbedarf für ordnungsgemäßen Einbau der Kiesschüttung (DVGW-AB W 123) 	<ul style="list-style-type: none"> - Rohrnennweite DN 400 - Endbohrdurchmesser 800 mm, größere Bohrdurchmesser im Festgestein sind mit hohen Kosten verbunden
Filterrohrposition	<ul style="list-style-type: none"> - Ausnutzung aller Zuflusszonen >5 % Zuflussanteil an Gesamtzufluss 	<ul style="list-style-type: none"> - Filterposition zwischen ca. 25 und 35 m unter Gel.
Pumpenposition	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Tiefe der Hauptzuflusszonen bis ca. 33 m unter Gel. erfordert betriebsbedingte Absenkung des Brunnenwasserspiegels bis zur Filteroberkante 	<ul style="list-style-type: none"> - Einbau in ausreichend langem Sumpfrohr unterhalb Filterstrecke - Brunnenausbautiefe ca. 40 m unter Gel.
Brunnentiefe	<ul style="list-style-type: none"> - Pumpe unterhalb Filterrohr 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiefe bis ca. 40 m unter Gel.
Filterrohrlänge	<ul style="list-style-type: none"> - Einhaltung Strömungsgeschwindigkeit (DVGW-AB W 123) $V_{kritisch} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ $L_{Filter} = \frac{Q}{d_a \cdot v_{krit} \cdot \pi}$ - Abdeckung der Zuflusszonen mit Filterrohr 	<ul style="list-style-type: none"> - erforderliche Länge bei DN 400 und 100 m³/h: 8,8 m

Konzeptdetail	Anforderung	Brunnenkonzept
Filterrohr	<ul style="list-style-type: none"> - minimale Eintrittswiderstände - gute Entsandbarkeit - gute Regeneriereigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> - Wickeldrahtfilter - möglichst große Schlitzweite
Ausbauwerkstoff	<ul style="list-style-type: none"> - beständig gegen korrosiv wirkende Wässer, hier hoher Chloridgehalt von 750 mg/L 	<ul style="list-style-type: none"> - Edelstahl 1.4439 oder 1.4539, Empfehlung laut Merkblatt 830 ab Chloridgehalt von 500 mg/L (INFORMATIONSTELLE EDELSTAHL ROSTFREI, 2012)
Abdichtung	<ul style="list-style-type: none"> - Schutz vor möglichem Standwasser bei Überflutung an der Geländeoberfläche - Beachtung des durch die Nutzungsformen im Umfeld einzustufenden „hohen“ Vulnerabilitätspotentials 	<ul style="list-style-type: none"> - Abdichtung des Ringraumes in Deckschichtenmächtigkeit der Hangendhorizonte
Abdichtungswerkstoff	<ul style="list-style-type: none"> - beständig gegen mäßig angreifendes Grundwasser der Expositionsklasse XD2 und XA2 	<ul style="list-style-type: none"> - Spezialzementierung, (z. B. Holcim-Aqua 4, Holcim oder HS-Dämmer® Spezial, Heidelberger Cement AG) - Sperrrohr aus Stahl mit Einkapselung durch Innen- und Außenzementierung - Alternativ: Sperrrohr aus Glasfaserkunststoff (GFK)
Oberflächenabschluss	<ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung von hohen, geländegleichen Grundwasserständen - Pumpenwechsel unabhängig vom Grundwasserstand - Überflutungssicher - technische Handhabung, Arbeitssicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> - oberirdische auf gegenüber dem Gelände erhöhter Aufschüttung
Dimension Abgangsleitung	<ul style="list-style-type: none"> - Strömungsgeschwindigkeit ca. 1,5 m/s bei Bemessungsleistung von 100 m³/h 	<ul style="list-style-type: none"> - DN 150

Konzeptdetail	Anforderung	Brunnenkonzept
Brunnenbetrieb	<ul style="list-style-type: none"> - ordnungsgemäßer Betrieb gemäß DVGW-AB W 125 zur Minimierung von Brunnenalterungseffekten - Berücksichtigung von Brunnenalterungsprozessen 	<ul style="list-style-type: none"> - Begrenzung der entnahmebeeinflussten Absenkung des Brunnenwasserspiegels bis zur Oberkante der Filterstrecke zur Vermeidung des direkten Sauerstoffzutritts in die Filterstrecke - Einrechnung von Absenkungszuschlägen bei der Brunnenbemessung

4 Festlegung und Bemessung des Brunnens „Schlammstrachen“

4.1 Brunnendimensionierung

Die Leistungsfähigkeit eines Brunnens wird einerseits durch das technische Fassungsvermögen, andererseits durch den Wasserandrang aus dem Grundwasserleiter bestimmt. Das **Fassungsvermögen** beschreibt den Volumenstrom, der von einem entsprechend dimensionierten Brunnenbauwerk pro Zeiteinheit und bei vorgegebener maximaler Eintrittsgeschwindigkeit theoretisch gefasst werden kann. Beim **Wasserandrang** handelt es sich um die Wassermenge je Zeiteinheit, die aus einem Grundwasserleiter mit einer bestimmten wassererfüllten Mächtigkeit einem Brunnen zuströmt. Während das technische Fassungsvermögen mit zunehmenden Brunnendurchmesser erhöht werden kann, ist der Wasserandrang vom natürlichen gewinnbaren Grundwasserdargebot abhängig.

Nach den Erkundungsergebnissen wird das Grundwasser aus dem Kluftgrundwasserleiter des Oberen Muschelkalks am Gewinnungsstandort „Schlammstrachen“ nahezu vollständig aus zwei Zuflusszonen gewonnen. Diese müssen mit der gewählten Länge des Filterrohres hydraulisch an den Brunnen angeschlossen werden. Die Nennweite des Brunnenrohres wird dann nach technischen Erfordernissen festgelegt und muss einen problemlosen Ein- und Ausbau der Pumpe mit Steigleitung zuzüglich der

erforderlichen oder vom Betreiber gewünschten Messsonden ermöglichen. Bei einer Bemessungsleistung von bis zu 100 m³/h und der aufgrund der langen Leitungslänge großen Förderhöhe wird die Pumpe einen Außendurchmesser von bis zu 220 mm haben. Damit wird ein Brunnenrohr mit der Nennweite DN 400 gewählt.

Durch diesen zonierten Eintritt des Grundwassers in das Brunnenfilterrohr entstehen Strömungsspitzen mit hohen Eintrittsgeschwindigkeiten. In der Folge werden Verwitterungstone aus den Kluftzonen der Zuflussbereiche herausgespült und in den Brunnen eingetragen. Da diese Trübstoffführungen besonders beim Anfahren des Brunnens auftreten, wird der Brunnen mit einer fest installierten Abschlagsleitung ausgestattet. Damit besteht die Möglichkeit, das in der ersten Zeit nach Anfahren des Brunnens geförderte, mit Trübstoffen beeinträchtigte Wasser nicht in das Netz, sondern in den angrenzenden Baggersee abzuführen.

Der Endbohrdurchmesser von 800 mm entspricht dem gemäß DVGW-ARBEITSBLATT W 118 einzuhaltenden Verhältnis von mindestens 2 : 1 zwischen Bohr- und Ausbaudurchmesser, bei dem der Filterkies in den Brunnenringraum mit Schüttrohren eingebaut werden kann.

4.2 Brunnenfilterstrecke

4.2.1 Ermittlung Filterkiesschüttungen

Die einzubauende Filterkiesschüttung ist bei Lockergesteinsaquiferen auf die Körnung der in den Aquifersedimenten enthaltenen Feinkornanteile abzustimmen. Bei Festgesteinsaquiferen mit festem Gesteinsverband erfüllt die im Ringraum zwischen Brunnenrohr und Bohrlochwand eingebrachte Kiesschüttung eine Stützfunktion. Mögliche Trübstoffführungen durch aus den Trennflächen des Oberen Muschelkalks ausgespülte Verwitterungstone können durch den Filterkies nicht zurückgehalten werden.

Bei in Kluftgrundwasserleitern verfilterten Brunnen muss in der ersten Zeit nach Brunnenerrichtung mit Trübstoffführungen bei Einschalten des Brunnens gerechnet werden. Nach einer gewissen Anlaufphase verschwindet die Trübstoffführung wieder, bevor sie beim nächsten Anlaufvorgang erneut kurzzeitig auftritt. Der Auswaschungsprozess dieser Fein- und Feinstsedimente aus den hydraulisch an die Brunnenfilterstrecke angeschlossenen Klüften kann einige Monate und teilweise auch Jahre dauern. Die beim Anfahren des Brunnens gerade in der ersten Zeit nach Inbetriebnahme auftretenden Trübstoffführungen müssen abgeschlagen werden.

Der Einbau von Glaskugeln ist bei Kluftgrundwasserleitern nicht zielführend, da Fein- und Feinstsedimente die glatten Glaskugeln passieren. Filterkieskörnungen haben auch bei „gewagter“ Bemessung mit grober Kornfraktion aufgrund ihrer Heterogenität und ihres Anlagerungsvermögens an die strukturierte Kornoberfläche ein gewisses Rückhaltevermögen für Feinpartikel. Außerdem würden sich gerade bei langen Filterstrecken in Festgesteinsbrunnen sehr hohe Kostensteigerungen gegenüber eines Ringraumausbaus mit Filterkies ergeben.

Im vorliegenden Fall des Neubrunnens „Schlammstrachen“ wird eine Filterschlitzweite von 2,0 mm vorgesehen. Damit kann die Körnungsfraction 3,15 bis 5,6 mm eingesetzt werden, die einerseits noch ein gewisses Rückhaltevermögen für Feinsedimente hat und andererseits aber ein ausreichendes Porenvolumen zur Vermeidung überhöhter Eintrittswiderstände bietet.

4.2.2 Ermittlung Filterfläche

Zur Berechnung der erforderlichen offenen Filterfläche wird die kritische Filtereintrittsgeschwindigkeit von $2,5 \cdot 10^{-3}$ m/s beim Filterkiesaustritt am Übergang zum Filterrohr als Grenzkriterium nach DVGW-ARBEITSBLATT W 118 zugrunde gelegt. Die erforderliche Filterrohrlänge L_F bemisst sich in Abhängigkeit von der kritischen Fließgeschwindigkeit ($V_{krit.}$), der Zielentnahmemenge (Q) und dem Außendurchmesser des Filterrohres (d_a) zu

$$L_F = \frac{Q}{d_a \cdot v_{krit} \cdot \pi}$$

Somit ergibt sich bei Ansatz der gewählten Filterrohrnennweite DN 400 und einer Bemessungsförderleistung von 100 m³/h eine erforderliche Filterlänge von 8,8 m. Die gewählte Filterrohrlänge von 10 m erfüllt diese Bedingung, wurde aber prioritär für den hydraulischen Anschluss der beiden Hauptzuflusszonen festgelegt.

4.2.3 Filterrohrart und Werkstoff

Die Filterrohre der Brunnen werden in **Wickeldrahttechnologie** ausgeführt. Gegenüber anderen Filterrohrarten bieten Wickeldrahtfilter optimale Voraussetzungen für die Entwicklung des Brunnens sowie für spätere Regenerierungen. Die konischen, zum Brunneninnenraum erweiterten Schlitze begünstigen den Eintritt von Unterkorn aus der Filterkiesschüttung und feinen Sedimenten aus dem Bohrlochumfeld, die bei der Brunnenentwicklung aus dem Brunnenfilter ausgewaschen werden sollen. Bei verschiedenen Regenerierv Verfahren (Kolben, Hochdruckverfahren) wird die kinetische Energie des aus dem Filterrohr in die Filterkiesschüttung ausströmenden Wassers erhöht.

Nach den geltenden Regeln der Technik werden vor allem bei wechselnden hydrochemischen Zusammensetzungen des Grundwassers Brunnenrohre in der Edelstahlqualität mit der Werkstoff-Nr. 1.4571 ausgeführt. Nach Wasserproben aus der Erkundungsbohrung liegen jedoch Chloridgehalte von bis zu 750 mg/L vor. Nach dem Merkblatt 830 der INFORMATIONSTELLE EDELSTAHL ROSTFREI (2012) wird für die Verwendung der genannten Edelstahlspezifikation für Rohrverbindungen und speziell verarbeiteten Rohren wie Wickeldrahtfilter eine Obergrenze für einen Chloridgehalt von 500 mg/L angenommen. Daher sollte aufgrund des in der Erkundungsbohrung gemessenen Chloridgehalts von 750 mg/L eine höhere Edelstahlqualität für die Brunnenrohre angesetzt werden.

4.2.4 Bemessung der Brunnenrohre

Neben den bautechnischen Anforderungen sind für die Dimensionierung des Filterrohres auch die hydraulischen Verhältnisse im Filterrohr maßgebend. Um eine gleichmäßige Brunnenanströmung und geringe Rohrreibungsverluste im Filterrohr zu erzielen, sollte die Fließgeschwindigkeit in der Ausbauverrohrung <1 m/s sein (DVGW-ARBEITSBLATT W 118). Die maximale Geschwindigkeit im Filterrohr berechnet sich nach folgender Formel:

$$v_{\text{Rohr}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_i^2} \quad [\text{m/s}]$$

Bei einer maximalen Bemessungsleistung von $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ und der gewählten Rohrnennweite DN 400 ergibt sich eine Geschwindigkeit im Filterrohr von $v_{\text{Rohr}} = 0,22 \text{ m/s}$.

Neben der Brunnenanströmung sind insbesondere auch die hydraulischen Verhältnisse bei der Anströmung der Fördereinrichtung zu beachten. Die maximale Anströmgeschwindigkeit im Ringspalt sollte aus diesem Grund nach DVGW-ARBEITSBLATT W 118 <2 m/s sein. Für die Anströmgeschwindigkeit gilt:

$$v_{\text{Ringspalt}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (d_i^2 - d_p^2)} \quad [\text{m/s}]$$

Selbst bei einem maximalen Pumpendurchmesser d_p von ca. 250 mm (10“) wird mit einer sich aus o. a. Beziehung ergebenden Anströmgeschwindigkeit von $v_{\text{Ringspalt}} = 0,36 \text{ m/s}$ dieses Kriterium eingehalten.

4.3 Brunnenabdichtung

Die Abdichtung des Brunnens zur Geländeoberfläche wird mit einem Sperrrohr ausgeführt. Das Sperrrohr wird in die Vorbohrung innerhalb der Deckschichten eingebaut und gegen die Bohrlochwand und das Gebirge einzementiert. Es erfüllt während des Bohrvorgangs eine stabilisierende Funktion gegen nachbrechende Deckschichten und wird dann als Brunnenabdichtung zur Geländeoberfläche genutzt. Dabei ist die Grundwasserqualität mit hohen Gehalten an Chlorid ($\sim 750 \text{ mg/L}$), Sulfat ($\sim 300 \text{ mg/L}$), freier

Kohlensäure (40 mg/L) zu beachten, wonach ein schwach bis mäßig angreifendes Wasser vorliegt. Danach kann für das Sperrrohr eine Ausführung in Glasfaserkunststoff vorgesehen werden oder eine Einkapselung durch eine Vollzementierung vorgenommen werden. Die Expositionsklassen sind auch bei der Auswahl des Grundstoffs für die Zementierung zu beachten.

4.4 Vorläufiges Brunnenkonzept

Nach den bisher behandelten Bemessungskriterien ergeben sich die in Tabelle 7 aufgelisteten Entwurfsdetails als Grundlage für den Brunnenentwurf sowie für die Stabilitätsberechnungen.

Dabei werden folgende machbare Entwurfsvarianten aufgestellt:

Variante 1

mit Sperrrohr aus Glasfaserkunststoff und kompletter Innenverkiesung. Da das Grundwasser auch das Sperrrohr berührt, muss ein Edelstahlrohr in erforderlicher Materialspezifikation oder ein Glasfaser-kunststoffrohr eingebaut werden. Ein hochlegiertes Edelstahlrohr in der Nennweite DN 900 führt zu einer hohen Kostensteigerung (ca. EUR 2.500,00 pro Meter). Glasfaserkunststoffrohre haben sehr lange Lieferzeiten von bis zu 6 Monaten.

Die Ausbauvariante ermöglicht das Nachfüllen von Filterkies bei Setzungen der Kiessäule. Diese Setzungen können sich bei durch Schaltvorgänge des Brunnens bewirkte Nachverdichtungen der Kiessäule ergeben oder durch Abwandern von Kiesen in die Klüfte des Festgesteinsaquifer erzeugt werden. Andererseits kann jedoch stagnierendes Wasser innerhalb der Kiesschüttung eine mikrobiologische Beeinträchtigung des Brunnens bewirken.

Variante 2

mit eingekapseltem Stahlsperrrohr durch Einbau einer Innen- und Außenzementierung. Diese Variante wird zurückbehalten.

Tab. 7: Festlegung der Entwurfsdetails

Entwurfsdetail	Ausführungs- und Bemessungskriterien	Brunnenentwurf
Brunnen-dimension	<ul style="list-style-type: none"> - Rohrnennweite Minimum DN 300, Maximum DN 400 - Endbohrdurchmesser = annähernd doppelter Rohrdurchmesser 	<ul style="list-style-type: none"> - Rohrnennweite DN 400 - Endbohrdurchmesser 800 mm
Filterrohrlänge	<ul style="list-style-type: none"> - Einhaltung Grenzkriterien nach DVGW-AB W 118 - Abdeckung der Zuflusszonen 	- Filterlänge 10 m
Position Filterstrecke	- hydraulischer Anschluss der Hauptzuflusszonen	- 26,0 bis 36,0 m u. Gel.
Pumpenposition	- Sumpfrohr unterhalb der Filterstrecke	- Sumpfrohr von 36,0 bis 40,0 m u. Gel.
Brunnentiefe	- Beginn nichtproduktiver Aquiferabschnitt	- 40,0 m
Filterrohr	<ul style="list-style-type: none"> - minimale Eintrittswiderstände - gute Entsandbarkeit - gute Regeneriereigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> - Wickeldrahtfilter - Schlitzweite: 2,0 mm
Filterkies-schüttung	<ul style="list-style-type: none"> - Stützfunktion - Filterfunktion - minimale Eintrittswiderstände - gute Regeneriereigenschaften 	- Körnung 3,15 bis 5,6 mm oder 5,6 bis 8,0 mm
Ausbauwerkstoff Brunnenrohr	<ul style="list-style-type: none"> - Beständigkeit - hoher Chloridgehalte 	- Edelstahl 1.4539
Abdichtung	- Abdichtung der gesamten Deckschichtenmächtigkeit und Hangendhorizonte	- Sperrrohr mit Innen- und Außenzementierung, alternativ Sperrrohr aus Edelstahl 1.4539 oder GFK
Sperrrohr	<ul style="list-style-type: none"> - Sperrrohrdurchmesser > Endbohrdurchmesser 800 mm - Ausführungs- und Funktionssicherheit der Sperrrohrabdichtung durch Einhaltung Ringraumdurchmesser mind. 10 cm 	<ul style="list-style-type: none"> - Sperrrohrdurchmesser Ø 900 mm - Durchmesser Vorbohrung mind. 1.200 mm

Entwurfsdetail	Ausführungs- und Bemessungskriterien	Brunnenentwurf
Oberflächenabschluss	<ul style="list-style-type: none"> - Überflutungsgefahr >1 m über Gel. - oberirdisches Bauwerk mit Ausführung nach Betriebsvorgabe 	<ul style="list-style-type: none"> - oberirdische Bauform auf Aufschüttung mit Höhe von ca. 1,5 m - Bauform Brunnenhaus, System Brunnengarage oder ä.
Steigleitung	<ul style="list-style-type: none"> - Bemessungsfördermenge bis 100 m³/h 	<ul style="list-style-type: none"> - DN 150, Länge 39 m

4.5 Stabilitätsberechnungen

4.5.1 Anzusetzende Druckhöhen

Der auf die Brunnenrohre wirkende Außendruck ergibt sich im Wesentlichen aus dem hydrostatischen Überdruck der Ringraumverfüllung gegenüber dem Wasserstand im Brunnenrohr. Den kritischsten Zustand stellt dabei der dynamische Zustand während des Einbaus der Ringraumverfüllung dar, für den die Brunnenrohre auszulegen sind. Nach DVGW-ARBEITSBLATT W 118 ist der auf die Brunnenrohre wirkende Außendruck zu berechnen. Zu berücksichtigen sind des Weiteren fallspezifische Sicherheitszuschläge zwischen 1,2 und 1,6.

Die Außendruckfestigkeit der Filterrohre ist abhängig von ihrer Konstruktion. Hinter den Filterrohren erfolgt die Einbringung der Filterkiesschüttung, wobei aufgrund des möglichen hydrostatischen Druckausgleichs über die Filterschlitze nur geringe Kräfte wirken. Daher wird die errechnete Druckbelastung ohne Sicherheitsfaktor angesetzt.

Der auf das Brunnenrohr wirkende Außendruck P errechnet sich zu:

$$P_{\text{ist}} = P_{\text{außen}} - P_{\text{innen}}$$

Dabei berechnet sich der hydrostatische Außendruck in Abhängigkeit von Art, Dichte und Füllhöhe der Ringraumverfüllung, die im vorliegenden Fall durchgehend mit Kiesen durchgeführt wird. Damit wird der Außendruck nach folgender Formel berechnet:

$$P_{\text{au\ss en}} = \rho_{\text{F\"ull}} \cdot g \cdot h_{\text{F\"ull}}$$

mit:

$P_{\text{au\ss en}}$ = Au\ss endruck auf das Brunnenrohr [bar]

$\rho_{\text{F\"ull}}$ = Dichte des Verf\"ullmaterial [kg/m³]

- Ringraumkies nicht grundwassererf\"ullt = 1.800 kg/m³
- Ringraumkies wassererf\"ullt (Annahme 30 % wassererf\"ulltes Porenvolumen ab Brunnenwasserspiegel) =
1.800 kg/m³ + (1.100 kg/m³ x 30/100 %) = 2.130 kg/m³
- Abdichtungssuspension = 1.530 kg/m³
- Tonabdichtung bei Pelletsch\"uttung = 1.400 kg/m³.

g = Erdbeschleunigung [9,81 m/s²]

$h_{\text{F\"ull}}$ = F\"ullh\"ohe des F\"ullmaterials [m].

Der Innendruck ergibt sich aus der Wassers\"aule im Brunnenrohr zu

$$P_{\text{innen}} = \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot h_{\text{Wasser}}$$

mit:

P_{innen} = Innendruck im Brunnenrohr [bar]

ρ_{Wasser} = Dichte des Wassers = 1.000 kg/m³

g = Erdbeschleunigung [9,81 m/s²]

h_{Wasser} = Wassers\"aule im Brunnenrohr [m]

Nach DVGW-ARBEITSBLATT W 118 sind des Weiteren im Nachweis der Au\ss endruckfestigkeit Wandst\"arketoleranzen, Korrosionssch\"aden, Unrundheiten der Rohre sowie dynamische Belastungen w\"ahrend des Brunnen-einbaus (Einbringung der Ringraumf\"ullung) mit einem fallspezifischen Sicherheitsfaktor zwischen 1,2 und 1,6 bar zu ber\"ucksichtigen.

Die Berechnungen werden f\"ur die beiden m\"oglichen Neuausbauvarianten durchgef\"uhrt. F\"ur die drei Abschnitte des Brunnenrohres Vollwandrohr, Filterrohr und Sumpfrohr ergeben sich nachfolgende Berechnungsans\"atze.

4.5.2 Berechnungen

Sperrverrohrung

- Hinterrohrzementierung von ca. 2 m über Gel. bis 24,0 m unter Gel.

$$\begin{aligned} p_{\text{außen}} &= [1.530 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 26,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm}] \\ &= 0,39 \text{ N/mm}^2 \\ &\approx 3,9 \text{ bar} \end{aligned}$$

Der auf das Sperrrohr wirkende Innendruck bei einem niedrigsten Grundwasserspiegel von angenommen 10 m unter Gelände errechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned} P_{\text{innen}} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times (24,0-10,0 \text{ m}) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm} \\ &= 0,14 \text{ N/mm}^2 \\ &\approx 0,14 \text{ bar} \end{aligned}$$

Demnach errechnet sich der auf das Sperrrohr wirkende Außendruck

$$P_{\text{ist}} = P_{\text{außen}} - P_{\text{innen}} = \text{ca. } 2,5 \text{ bar}$$

Bei nachfälligem Festgestein wird ein Sicherheitsfaktor von 1,6 angesetzt:

$$2,5 \text{ bar} \cdot 1,6 = \underline{\underline{4,0 \text{ bar}}}$$

Vollwandrohre

- Einbau von ca. 2,2 m über Gel. bis 26,0 m unter Gel.
- Abdichtung von 1,7 über Gel. 24,0 m unter Gel. mit Ton-Zement-Suspension und von 24,0 bis 24,5 m unter Gel. mit Ton
- Verkiesung von 24,5 m bis 26,0 m unter Gel.

$$\begin{aligned} P_{\text{außen}} &= [1.530 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 25,7 \text{ m} \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm}] + \\ &\quad [1.400 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,5 \text{ m} \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm}] + \\ &\quad [(1.800 \text{ kg/m}^3 + (1.100 \text{ kg/m}^3 \times 30/100 \%)] \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,5 \text{ m} \times \\ &\quad 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm}] \\ &= 0,42 \text{ N/mm}^2 \\ &\approx 4,2 \text{ bar} \end{aligned}$$

Der auf das Vollwandrohr wirkende Innendruck bei einem Brunnenwasserspiegel von 10,0 m unter Gelände errechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned} P_{\text{innen}} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times (26,0-10,0 \text{ m}) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm} \\ &= 0,16 \text{ N/mm}^2 \\ &\approx 1,6 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$P_{\text{ist}} = P_{\text{außen}} - P_{\text{innen}} = 2,6 \text{ bar}$$

Bei nachfälligem Festgestein wird ein Sicherheitsfaktor von 1,6 angesetzt:

$$P_{\text{Ansatz}} = 2,6 \text{ bar} \cdot 1,6 = \underline{\underline{4,2 \text{ bar}}}$$

Filterrohre

- Einbau von 26,0 bis 36,0 m unter Gel.
- Verkiesung über gesamte Länge

$$\begin{aligned} P_{\text{außen}} &= 0,42 \text{ N/mm}^2 + \\ &\quad [(1.800 \text{ kg/m}^3 + (1.100 \text{ kg/m}^3 \times 30/100 \%)] \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 10,0 \text{ m} \\ &\quad \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm}] \\ &= 0,63 \text{ N/mm}^2 \\ &\approx 6,3 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{innen}} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 10 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm} \\ &= 0,1 \text{ N/mm}^2 \\ &\approx 1,0 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$P_{\text{ist}} = P_{\text{außen}} - P_{\text{innen}} = \underline{\underline{5,3 \text{ bar}}}$$

Sumpfrohr

- Einbau von 36,0 bis 40,0 m unter Gel.
- Verkiesung über gesamte Länge

$$\begin{aligned}
 P_{\text{außen}} &= 0,42 \text{ N/mm}^2 + \\
 &\quad [(1.800 \text{ kg/m}^3 + (1.100 \text{ kg/m}^3 \times 30/100 \%)] \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 14,0 \text{ m} \\
 &\quad \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm}] \\
 &= 0,71 \text{ N/mm}^2 \\
 &\approx 7,1 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{innen}} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 30 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mm} \\
 &= 0,29 \text{ N/mm}^2 \\
 &\approx 2,9 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{ist}} = P_{\text{außen}} - P_{\text{innen}} = 4,2 \text{ bar}$$

Bei nachfälligem Festgestein wird ein Sicherheitsfaktor von 1,6 angesetzt:

$$P_{\text{Ansatz}} = 4,2 \text{ bar} \cdot 1,6 = \underline{\underline{6,7 \text{ bar}}}$$

Zusammengefasst ergeben sich damit folgende anzusetzende Außendrucke für die Brunnenrohre (Tabelle 8):

Tab. 8: Ergebnisse für die anzusetzenden Außendruckfestigkeiten

Brunnenrohrabschnitt [m unter Gelände]	anzusetzender Außendruck
Vollwandrohr DN 400: 2,2 ü. Gel. bis 26,0 u. Gel.	4,2 bar
Filterrohr DN 400: 26,0 bis 36,0 m u. Gel.	5,3 bar
Sumpfrohr DN 400: 36,0 bis 40,0 m u. Gel.	6,7 bar

4.5.3 Erforderliche Stabilitäten der Brunnenrohre

Vollwandrohre

Die kritische Außendruckfestigkeit (p) der zu wählenden Brunnenrohre muss größer als der auf die Ausbauverrohrung wirkende Außendruck sein. Bei der Wandstärke der Rohre sind die auftretenden Liefertoleranzen (Mi-

nimalwandstärken) zugrunde zu legen. Zur Berechnung der kritischen Außendruckfestigkeit (p) für Brunnenvollwandrohre aus Stahl wird die Formel nach WAGNER herangezogen:

$$p_{\text{kritisch}} = 2,2 \cdot E \left(\frac{s_r}{d_i} \right)^3 \cdot 10 \text{ [bar]}$$

Darin bedeuten:

E = Elastizitätsmodul (Maß für den Widerstand, den ein Werkstoff seiner elastischen Verlängerung entgensetzt):
195.000 N/mm² für CrNiMoTi-Stahl (Edelstahl)

s_r = Wandstärke abzüglich Liefertoleranz [mm]

d_i = Rohrinne Durchmesser [mm] = 390 mm (Prüfdorn).

Der kritische Außendruck wird hier für die geplante Rohrenweite DN 400 und die bei diesen Nennweiten handelsüblichen Wandstärken berechnet. Nach den vorab dargestellten Berechnungen ergeben sich die nachfolgend aufgeführten kritischen Außendruckfestigkeiten und die damit erforderlichen Wandstärken für die Brunnenrohre (Tabelle 9):

Tab. 9: Ergebnisse der Stabilitätsberechnungen Brunnenvollwandrohre

Brunnenrohr-nennweite	Wand-stärke [mm]	Tole-ranz [mm]	berechnete kriti-sche Außendruck-festigkeit p_{krit} [bar]	Prüfung der Anforderung nach DVGW-AB W 118 $p_{\text{ist}} < p_{\text{krit}}$
DN 400 Edelstahl AußenØ 406,4 mm	4	0,3	3,7	nicht ausreichend
	5	0,3	6,6	ausreichend für Vollwand-rohre
	6	0,3	10,8	ausreichend für die Sumpfrohre

Filterrohre

Die Filterrohre werden als Wickeldrahtkonstruktion vorgesehen. Die Filterkonstruktion besteht aus den miteinander verschweißten Komponenten des äußeren Wickeldrahtprofils sowie der inneren Stützstäbe. Das Wickeldrahtprofil bestimmt aufgrund von Kopfbreite und Profilhöhe die Außendruckfestigkeit. Dabei richtet sich gemäß den Einbauempfehlungen

der Hersteller die mögliche Einbautiefe nach der Stärke des Konstruktionsprofils. Unter Normalbedingungen wird pro Meter Einbautiefe eine Außendruckfestigkeit von 1 PSI (Pfund/Quadratzoll entspricht 0,068 bar) empfohlen. Bei Spülungseinsatz und nachfälligem Gebirge in der offenen Bohrung wäre ein Sicherheitszuschlag von 1,5 einzukalkulieren, so dass sich eine Außendruckfestigkeit von 1,5 PSI oder 0,1 bar pro Meter Einbautiefe ergibt. Der Nachweis der ausreichenden Stabilität erfolgt unter Ansatz von Profilen gemäß Herstellerempfehlung. Hier werden für die Nennweite DN 400 die Profile 375 und 400 für die Berechnungen angesetzt. Nach der vom Hersteller „Johnson“ benutzten Formel

$$p = 2,2 \cdot E \left(\frac{te}{d_A} \right)^3 \cdot \left(\frac{W}{W + S} \right) \text{ [bar]}$$

mit:

E = Elastizitätsmodul (Maß für den Widerstand, den ein Werkstoff seiner elastischen Verlängerung entgegensetzt):

195.000 N/mm² für CrNiMoTi-Stahl (Werkstoff-Nr. 1.4571)

te = Widerstand als Äquivalentwert für diverse Profile (Johnson)
(Profil 375: 4,5720, Profil 400: 5,5118)

d_A = Rohraußendurchmesser [mm]

W = Profilbreite [mm]

S = Schlitzweite [mm]

Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 gegenübergestellt.

Tab. 10: Ergebnisse der Stabilitätsberechnungen Brunnenfilterrohre

Abmessungen Brunnen- filterrohr	Profil- breite [mm]	Schlitz- weite [mm]	Berechnete kriti- sche Außendruck- festigkeit p _{krit} [bar]	Prüfung der Anforderung nach DVGW-AB W 118 p _{ist} < p _{krit}
DN 400 Edelstahl	3,75	2,0	4,1	nicht ausreichend
AußenØ 406,4 mm InnenØ 387 mm	4,00	2,0	7,1	ausreichend

4.5.4 Erforderliche Zugfestigkeit der Brunnenrohre

Für den aus Vollwandrohren, Filterrohren und dem Sumpfrohr der Nennweite DN 400 bestehenden Brunnenrohrstrang sind nach Angaben der Hersteller folgende Einzelgewichte anzusetzen:

- | | |
|---|----------|
| • 28,2 m Vollwandrohre DN 400 à 70,0 kg/m: | 1.974 kg |
| • 10,0 m Wickeldrahtfilterrohre DN 400 à 42,9 kg/m: | 429,0 kg |
| • 4,0 m Sumpfrohre DN 400 à 70,0 kg/m: | 280,0 kg |
| • 5 Zentrierungen 400/800 mm à 8 kg: | 40,0 kg |

Damit ergibt sich ein Gesamtgewicht von 2.723 kg, die als Zugbelastung auf die oberste Rohrverbindung wirkt. Für die beim Einbau der Kiesschüttung auftretenden Zugbelastungen wird ein Sicherheitsfaktor von 1,5 multipliziert. Damit sind an den unterschiedlichen Rohrverbindungen folgende Zugbelastungen anzusetzen:

- | | |
|---------------------------|--------|
| • Oberkante Vollwandrohr: | 4,10 t |
| • Oberkante Filterrohr: | 1,12 t |
| • Oberkante Sumpfrohr: | 0,42 t |

4.5.5 Axiale Druckbelastung

Da die Bohrung verrohrt ausgeführt und die Bohrlochverrohrung während des Kieseinbaus in den Ringraum sukzessive gezogen wird, muss dabei der Brunnenrohrstrang auf der Bohrlochsohle abgesetzt werden. Der Brunnenrohrstrang steht dann unter Druckbelastung infolge seiner Eigenmasse. Die Gefahr einer Verformung durch Ausknicken wird durch die Montage von Zentrierungen gemindert.

4.5.6 Zusammenstellung der erforderlichen Rohrabmessungen

Nach den vorstehenden Berechnungen ergeben sich beim Brunnen „Schlammstrachen“ folgende Materialanforderungen an die Brunnenrohre (Tabelle 11):

Tab. 11: Zusammenfassung der erforderlichen Rohrabmessungen

Brunnenrohrabschnitt [m unter Gelände]	Rohrspezifikation und -abmessungen
Vollwandrohr DN 400: 2,2 ü. Gel. bis 26,0 u. Gel.	s = 5,0 mm $\varnothing_{\text{Außen}} = 406,4 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{Prüfdorn}} = 386 \text{ mm}$ $P_{\text{Ansatz}} = 6,6 \text{ bar}$
Filterrohr DN 400: 26,0 bis 36,0 m u. Gel.	$\varnothing_{\text{Außen}} = 406,4 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{Innen}} = 387 \text{ mm}$ sw = 2,0 mm $P_{\text{Ansatz}} = 7,1 \text{ bar}$ z. B. Profil B x H mit 4,0 x 7,25 offene Filterfläche 33 %
Sumpfrohr DN 400: 36,0 bis 40,0 m u. Gel.	s = 6,0 mm $\varnothing_{\text{Außen}} = 406,4 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{Prüfdorn}} = 386 \text{ mm}$ $P_{\text{Ansatz}} = 10,8 \text{ bar}$

4.6 Oberflächenabschluss

Gemäß DVGW-ARBEITSBLATT W 122 werden Brunnen an der Geländeoberfläche mit oberirdisch oder unterirdisch angelegten Bauwerken abgeschlossen. Die unterirdisch in der Regel als Schachtanlage oder oberirdisch als Bauwerk vorgesehenen Brunnenabschlussbauwerke werden meist in Form einer aus Betonfertigteilen montierter Raumzelle ausgeführt.

Da sich der Brunnenstandort „Schlammstrachen“ im Überflutungsgebiet der Mosel befindet, wird der Brunnen mit einem oberirdisch anzulegenden Bauwerk abgeschlossen. Bei möglichen Überflutungshöhen >1 m wird das Bauwerk auf einer Aufschüttung platziert. Dabei ist zu gewährleisten, dass ein Eindringen von Wasser in das Bauwerk vermieden wird. Zur Umsetzung der Anforderungen des DVGW-ARBEITSBLATTES W 122 wird die Ringraumabdichtung des Brunnens bis zur Unterkante der Bauwerkssohle geführt.

Das Brunnenabschlussbauwerk enthält dann die Mess- und Regelarmaturen einschließlich der erforderlichen Formstücke der Abgangsleitung zum Netz sowie der für Spülvorgänge erforderlichen Abschlagsleitung. Außerdem können hier Schaltschränke mit der Elektroinstallation für die Energieversorgung und Steuerung der Brunnenpumpe untergebracht werden.

Das Betonfertigteil des Abschlussbauwerkes mit dem in der Bodenplatte einbetonierten Durchgang für die Abgangsleitung und dem ebenfalls einbetonierten Schutzrohr des Brunnenkopfes wird über das Sperrrohr des Brunnens gestellt. Sämtliche Ringräume zwischen den Verrohrungen (Brunnenrohr-Sperrrohr, Schutzrohr-Sperrrohr sowie Durchgang-Abgangsleitung) sind mit Link-Seal-Dichtungen abzudichten. Am auf das Schutzrohr des Brunnenkopfes montierten Flanschdeckel hängt die Steigleitung mit Pumpe.

Das Brunnenabschlussbauwerk ist mit einer Sicherheitstür mit der Sicherheitsklasse RC 3 (EN 1627) auszurüsten, wobei die dafür erforderliche Wandstärke von mindestens 12 cm des Betonfertigteils zu berücksichtigen ist. Ebenfalls ist im Dach des Bauwerkes eine Montageöffnung für Pumpenein- und -ausbauvorgänge vorzusehen.

Das Umfeld eines Brunnens sollte in den Abmessungen der Schutzzone I (20 m x 20 m, dabei 10 m allseitig vom Brunnenstandort) eingezäunt und durchgehend begrünt werden (DVGW-ARBEITSBLATT W 101).

Der Aufbau des vorgesehenen Abschlussbauwerkes mit Armaturen und Formstücken ist den beigegeführten Plänen zu entnehmen.

5 Ausführung

5.1 Arbeitsschritte

Für die Errichtung sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

Schritt 1: Vorarbeiten

- Ausbessern und Nachbefeigen des Zufahrtsweges sowie Befestigen der Geländeoberfläche am Bohransatzpunkt für die Herstellung eines Planums mit den Abmessungen von ca. 20 m x 15 m einschließlich einer Befestigungsfläche von ca. 15 m x ca. 10 m als Einrichtungsfläche für die maschinelle Baustelleneinrichtung und als Aufstellfläche für ein Bohrgerät (Gesamtgewicht ca. 30 t) am Bohransatzpunkt.

Der Aufbau ist aus einer Vliesunterlage und Auflage aus ca. 40 cm Natursteinmaterial mit den Anforderungen für Wasserschutzgebiete (anthropogen unbeeinflusstes Material mit Zuordnungsasse Z0 nach LAGA M 20, TR Boden) vorzusehen.

Der Schritt 1 wird von einer örtlichen Erdbaufirmen am Brunnenstandort ausgeführt.

Schritt 2: Baustelleneinrichtung

Die Baustelleneinrichtung muss ein ausreichend dimensioniertes Bohrgerät mit entsprechender Hakenlast für Bohr- und Einbauvorgänge für die entsprechende Bohrtiefe bei den entsprechenden Bohrdurchmessern von bis zu 1.200 mm vorsehen. Die Bohrausrüstung muss Schwerstangen und entsprechende Meißel für Bohrungen in harten Gesteinen umfassen.

Schritt 3: Vorbohrung und Einbau einer Sperrverrohrung

- Vorbohrung mit Durchmesser von ca. 1.200 mm bis ca. 25 m unter Gel. (Oberkante Oberer Muschelkalk).
- Einbau eines Sperrrohres aus Stahl mit Durchmesser von ca. 900 mm einschließlich Außenabdichtung zur Bohrlochwand und Fußzementierung mit einer volumenstabil abbindenden Ton-Zement-Suspension.

Schritt 4: Hauptbohrung

- Hauptbohrung mit Durchmesser von ca. 800 mm bis zur vorgesehenen Brunnenendtiefe im Oberen Muschelkalk.
- Geophysikalische Bohrlochvermessung zur Qualitätsüberprüfung des Bohrvorganges (Vertikalität, Überprüfung Schichteneinordnung, Qualitätsprüfung Sperrverrohrung).

Schritt 5: Brunnenausbau

- Ausbau der Brunnenbohrung mit Vollwandrohren und Wickeldrahtfilterrohren DN 400.
- Einbau des Filterkieses unter Benutzung von Schüttrohren die sukzessive mit dem Verfüllstand im Brunnenringraum wieder gezogen werden. Durchführung der Vorgänge „Kiessetzungspumpen“ und „Kolben“ zum Erzielen einer mittleren Lagerungsdichte ohne Setzungsgefahr.
- Einbau der Innenabdichtung in der Sperrverrohrung durch Einbau einer volumenstabil abbindenden Ton-Zement-Suspension. Berücksichtigung eines Gegenfilters zur Filterkiesschüttung sowie eines Tonfundamentes.

Schritt 6: Brunnenentwicklung

- Brunnenentwicklung durch die Vorgänge
 - o Kolben des Brunnens zur Vorentsandung;
 - o Intensiventsandung nach den Richtlinien des DVGW-MERKBLATTES W 119;
 - o Reinigung und Entsandung des Brunnens mit dem Wasserhochdruckspülverfahren.
- Pumpversuch zur Erprobung der Brunnenleistungsfähigkeit.

Schritt 7: Errichtung des Brunnenabschlussbauwerkes

- Errichtung und Nachbefestigung des Planums im Bereich der Abmessungen des Abschlussbauwerkes, Errichten einer Aufschüttung mit Höhe von ca. 1,60 m, Errichten von zwei zusätzlichen Streifenfundamenten.
- Aufstellung des Fertigteilgehäuses über den Brunnen und Montage der Abdichtungen der jeweiligen Schnittstellen der Bauteile des Abschlussbauwerkes.
- Anschluss der Abgangsleitung an die Transportleitung zum Wasserwerk.

Schritt 8: Gestaltung Brunnenumfeld

- Einzäunung des Brunnens in den Abmessungen der Schutzzone I (20 m x 20 m, dabei 10 m allseitig vom Brunnenstandort) und Anlage einer durchgehenden Begrünung als freie Grasfläche (DVGW-ARBEITS-BLATT W 101).

Literaturhinweis

BIESKE UND PARTNER /TR-ENGINEERING (2015):

Bewertung der Ergebnisse der Erkundungsbohrung Schengen (FRE-135-29). Unveröffentlichtes Gutachten, Lohmar.

DVGW-ARBEITSBLATT W 101 (2006):

Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser. – DVGW-Regelwerk, Bonn, 24 S.

DVGW-ARBEITSBLATT W 118 (2005):

Bemessung von Vertikalfilterbrunnen. – DVGW-Regelwerk, Bonn, 19 S.

DVGW-MERKBLATT W 119 (2002):

Entwickeln von Brunnen durch Entsandern – Anforderungen, Verfahren, Restsandgehalte. – DVGW-Regelwerk, Bonn, 23 S.

DVGW-ARBEITSBLATT W 122 (2013):

Abschlussbauwerke für Brunnen der Wassergewinnung. – DVGW-Regelwerk, Bonn, 24 S., Anhang.

DVGW-ARBEITSBLATT W 123 (2001):

Bau und Ausbau von Vertikalfilterbrunnen. – DVGW-Regelwerk, Bonn, 29 S.

DVGW-ARBEITSBLATT W 125 (2004):

Brunnenbewirtschaftung – Betriebsführung von Wasserfassungen. –DVGW-Regelwerk, Bonn, 17 S.

INFORMATIONSTELLE EDELSTAHL ROSTFREI MERKBLATT 830 (2012):

Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern. – Düsseldorf, 17 S.