

# Hochwasserschutz Grimma

Fachbericht über die Herstellung  
von Horizontalfiltersträngen am  
Ausführungsbeispiel der  
Hochwasserschutzanlage in  
Grimma



## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1.	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b> 3
2.	<b>VORBEMERKUNG/VERANLASSUNG .....</b> 4
3.	<b>NOTWENDIGKEIT DER BAULEISTUNG .....</b> 6
4.	<b>RANDBEDINGUNGEN.....</b> 7
	<b>4.1 Hydrogeologische Verhältnisse .....</b> 7
	4.1.1 bodenphysikalischen Eigenschaften des Grundwasserleiters..... 7
	4.1.2 Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet .....
	4.1.2 Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet ..... 7
	<b>4.2 Örtliche Verhältnisse, Bauwerke und Besonderheiten .....</b> 8
5.	<b>PLANUNGSIDEE .....</b> 9
	<b>5.1 Funktionsweise der Horizontalfilterbrunnen .....</b> 9
	<b>5.2 mögliche Herstellungsverfahren der Filterstrecken.....</b> 10
	5.2.1 Anforderungen an die Herstellungsverfahren .....
	5.2.1 Anforderungen an die Herstellungsverfahren ..... 10
	5.2.2 Ranney-Verfahren .....
	5.2.2 Ranney-Verfahren ..... 10
	5.2.3 Fehlmann-Verfahren .....
	5.2.3 Fehlmann-Verfahren ..... 11
	5.2.4 PREUSSAG-Kiesmantel Verfahren .....
	5.2.4 PREUSSAG-Kiesmantel Verfahren ..... 12
	5.2.5 WHD (water hydraulic drilling) Verfahren.....
	5.2.5 WHD (water hydraulic drilling) Verfahren..... 13
	<b>5.3 gewählte Lösung .....</b> 15
6.	<b>WICHTIGE AUSFÜHRUNGSDetails .....</b> 16
	<b>6.1 Konstruktive Gestaltung der Filterstrecken .....</b> 16
	<b>6.2 Anpassung der Bohrköpfe.....</b> 17
	<b>6.3 Massenbilanz während der Vortriebsarbeiten .....</b> 18
	<b>6.4 Abstimmung des Filtermaterials .....</b> 19
7.	<b>AUSFÜHRUNGSSCHWIERIGKEITEN UND EMPFEHLUNGEN .....</b> 20
	<b>7.1 Vortriebshindernisse .....</b> 20
	<b>7.2 unzureichender Rückfluss .....</b> 21
	<b>7.3 Sackungen.....</b> 24
	<b>7.4 Gebäudeschäden.....</b> 26
8.	<b>TECHNISCHE DATEN DER REALISIERTEN LÖSUNG.....</b> 28

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

Im August 2002 wurde die Innenstadt von Grimma durch das Hochwasser der Mulde vollständig überflutet. In der Stadt stand das Wasser teilweise bis 3,50 m über Geländehöhe. Bisher gab es in Grimma keine Hochwasserschutzanlagen. Das führte dazu, dass das Hochwasser in ungewöhnlich hoher Menge abfloss und erhebliche Hochwasserschäden in Grimma mit einer Schadenshöhe von etwa 260 Mio. Euro hinterließ. Eindrucksvoll wurde der dringend notwendige Hochwasserschutz durch das wiederkehrende Hochwasser im Juni 2013 untermauert.

Das zu schützende Gebiet der Stadt Grimma wird von einem stark durchlässigen Grundwasserleiter unterlagert. Zur Vermeidung von Gefahrenpotenzial bei Hochwasser erzeugt durch austretendes Grundwasser an der Binnenseite der zu errichtenden Hochwasserschutzmauer, wurde eine 2.053 m lange vollkommene Dichtwand in Form einer überschnittenen Bohrpfahlwand als unterirdisches Hochwasserschutzsystem errichtet. Diese fungiert gleichzeitig als Gründung für die darauf aufsetzende Hochwasserschutzwand.

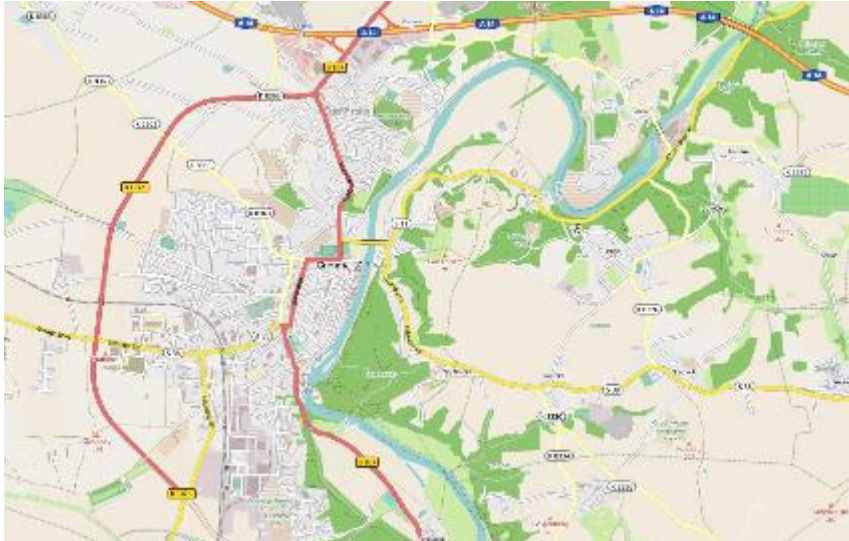
Im Hochwasserfall verhindert die Dichtwand wirkungsvoll ein Unterströmen der Hochwasserschutzmauer und Grundwasseraustritte auf der Binnenseite der Hochwasserschutzanlage. Die Potenziale im Grundwasserleiter werden durch die Dichtwand bei Hochwasser auf ein für die Infrastruktur verträgliches Maß reduziert.

Die errichtete Dichtwand unterbricht jedoch auch den Grundwasserabstrom aus dem Stadtgebiet in Richtung Mulde bei normaler Wasserführung. Bei niedriger und mittlerer Wasserführung der Mulde sorgt deswegen ein System auf 8 Horizontalfilterbrunnen (HFB) für eine quasinatürliche Grundwasserüberleitung aus dem Stadtgebiet in Richtung Mulde. Jeder Brunnen wurde anstromseitig planmäßig mit 4 bis 6 Horizontalfiltersträngen von je 40 m Länge ausgestattet, die das zuströmende Grundwasser fassen. So waren insgesamt 1.520 m Filterstränge herzustellen. Schwierigkeiten während der Ausführung erforderten teilweise das Einbringen zusätzlicher Filterstränge, da die planmäßigen Stranglängen infolge von Schwierigkeiten bei der Bauausführung nicht überall erreicht werden konnten. Die Überleitung des gefassten Grundwassers durch die Dichtwand in Richtung Mulde erfolgt über eine rückstaugesicherte Rohrleitung.

In diesem Fachbericht wird die Realisierung der Horizontalfilterstränge einschließlich der Schwierigkeiten während der Bauausführung näher beschrieben. Neben grundsätzlichen Informationen zu Randbedingungen, Bauablauf, technischen Merkmalen und Herstellungsverfahren wird auch auf besondere Situationen und Herausforderungen während der Bauausführung eingegangen und dargestellt, welche Schwierigkeiten bei der Ausführung zu überwinden waren. Der Bericht gibt damit neben allgemeinen Informationen zur Herstellung von Horizontalfiltersträngen auch Hinweise und Lösungsansätze an konkreten Ausführungsbeispielen.

## 2. VORBEMERKUNG/VERANLASSUNG

Die Stadt Grimma befindet sich im Landkreis Leipzig direkt an der Bundesautobahn 14, ca. 35 km südlich von Leipzig. Die Altstadt von Grimma befindet sich linksseitig der Vereinigten Mulde in einem ausgeweiteten Talraum eines Mäanders der Mulde. Derzeit besitzt das Stadtgebiet keinen relevanten Schutz und ist aufgrund dieser Lage stark hochwassergefährdet.



Im August 2002 trat das bisher höchste registrierte Hochwasser in der Geschichte der Stadt mit einem Extremhochwasserabfluss von 2.570 m<sup>3</sup>/s auf. Die Wasserstände und monetären Schäden lagen weit über allen bisher aufgetretenen Hochwassern. In der Innenstadt waren Wasserstände von teilweise mehr als 3,50 m über Geländehöhe zu verzeichnen.

Abbildung 2-1 - Lageplan Grimma (Quelle: Open Street Map)

Das Hochwasser hinterließ Schäden an Infrastruktur, öffentlichen und privaten Bauten und an Uferbefestigungen in Höhe von mehr als 250 Millionen Euro. Damit war Grimma die beim Hochwasser 2002 am stärksten geschädigte Kommune an der Mulde. Gewässerbett, Ufersicherungen und Brücken wurden zerstört und beschädigt, unter anderem die bekannte Pöppelmannsche Steinbrücke.



Als Reaktion auf das Hochwasser im Jahre 2002 veranlasste das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft im März 2003 mit dem Erlass zur Erarbeitung von Hochwasserschutzkonzepten für alle Gewässer 1. Ordnung die Neuorganisation des Hochwasserschutzes für den Freistaat.

Abbildung 2-2 - Hochwassersituation am 13.08.2002 (Quelle: LTV Sachsen)

Im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Betrieb Elbaue/Mulde/Untere Weiße Elster wurde das Hochwasserschutzkonzept für die Mulden im Regierungsbezirk Leipzig erstellt. Dieses bildet die Grundlage für die vertiefenden Planungen an den konkreten Standorten.

Im Rahmen der Hochwasserschutzkonzepte wurden umfangreiche Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der Gewässerabschnitte im Stadtgebiet Grimma, zur bestehenden Hochwassergefährdung und zu möglichen Maßnahmen der Verbesserung des Hochwasserschutzes durchgeführt. Schutzziel für die Stadt Grimma ist das HQ 100, d.h. ein Hochwasserabfluss mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 Jahren.

Aufgrund der exponierten Lage von Grimma auf einem angeschwemmten Kiesheger in einem ehemaligen Mäander tritt ein erhebliches Gefahrenpotential durch die Unterströmung der oberirdischen Schutzmauer auf. Deshalb besteht ein wesentlicher Teil des Hochwassersystems aus einer unterirdischen Dichtwand in Verbindung mit einer Grundwasserkommunikationsanlage zur Beherrschung der Grundwasserdynamik bei normaler Wasserführung der Mulde sowie bei Hochwasser.

Die Anlage insgesamt ist ca. 2 km lang und im Schnitt 4-4,5m hoch. Dazu gehören eine ober- und unterirdische Schutzwand, eine Grundwasserkommunikationsanlage sowie ein Schöpfwerk.

### 3. NOTWENDIGKEIT DER BAULEISTUNG

Um die Stadt Grimma wirkungsvoll vor Hochwasser schützen zu können, ist neben einer oberirdischen Hochwasserschutzanlage auch eine vollkommene Dichtwand zum Schutz vor Gefährdungen infolge hoher Grundwasserpotenziale erforderlich. Die Dichtwand begrenzt die sich im Grundwasserleiter einstellenden Potenziale bei Hochwasser in der Mulde auf ein für die vorhandene Infrastruktur verträgliches Niveau. Jedoch unterbricht sie auch den natürlichen Grundwasserabstrom in Richtung Mulde bei mittlerer und niedriger Wasserführung. Zur Aufrechterhaltung des Grundwasserabstroms bei Niedrig- und Mittelwasser ist deswegen eine Grundwasserfassung im Anstrom der Dichtwand mit Überleitung zur Mulde erforderlich.

Das natürliche Abstromverhalten des Grundwassers soll dabei möglichst wenig beeinflusst werden. Als Vorgabe für das Überleitungssystem galt ein zulässiger Grundwasseraufstau an der ungünstigsten Stelle im Stadtgebiet von 0,30m. Die Überleitung soll dabei ohne aktive Hebung unter Ausnutzung des vorhandenen Gradienten erfolgen.

Die Einhaltung dieser Zielvorgaben erfordert eine flächige Fassung des Grundwasseranstroms mit sehr geringen zulässigem Aufstau und geringen hydraulischen Systemverlusten. Darüber hinaus bedingt die dichte Siedlungsstruktur eine weiträumige Grundwasserniederhaltung mit geringen Eingriffen in die vorhandene Infrastruktur.

Für derartige Anforderungen sind horizontale Wasserfassungen besonders geeignet. Sie ermöglichen die weiträumige Beeinflussung eines Grundwasserleiters und die Fassung großer Wassermengen bei sehr geringem Aufstau. Zudem ist die Errichtung der horizontalen Filterstrecken von jeweils einem zentralen Schacht aus mit geringen Eingriffen in die vorhandene Infrastruktur möglich.

Aus den vorgenannten Gründen fiel die Wahl für die zu errichtende Grundwasserkommunikationsanlage auf Horizontalfilterbrunnen mit Filtersträngen als Fassungselementen im Grundwasseranstrom und einer klassischen Rohrableitung in die Mulde.

Detaillierte Ausführungen zur Funktionsweise der Anlage und zur Herangehensweise der Systemfindung sind im „Fachbericht über die Notwendigkeit und Wirkungsweise der Grundwasserkommunikation“ enthalten.

Zum bestmöglichen Schutz der vorhandenen Bebauung waren die Filterstrecken mit verrohrten Bohrungen herzustellen sowie etwaige Bodenauflockerungen bei der Strangherstellung soweit technisch möglich zu begrenzen. Als Herstellungsverfahren für die Filterstrecken wurden deswegen Verfahren zur Anwendung gebracht, die neben der verrohrten Strangherstellung auch den kontrollierten Einbau eines auf den umgebenden Boden abgestimmten Kiesfilters ermöglichen. Diese Verfahren bieten neben der größtmöglichen Sicherheit für die vorhandene Infrastruktur auch hydraulisch sehr gute Eigenschaften für die Fassung des Grundwassers und damit für die dauerhafte Wirksamkeit der Anlage.

## 4. RANDBEDINGUNGEN

### 4.1 Hydrogeologische Verhältnisse

#### 4.1.1 bodenphysikalischen Eigenschaften des Grundwasserleiters

Die Basis des geologischen Modells bildet der präquartäre Festgesteinshorizont. Dieser besteht aus Rhyoliten des Unterrotliegenden, dem Rochlitzer und Grimmaer Quarzporphyr. Dieses Festgestein gilt aufgrund seiner geringen Klüftigkeit und Durchlässigkeit als Grundwasserstauer. Es stellt den Einbindhorizont der Dichtwand dar und liegt im Verlauf der Dichtwand ca. 10 bis 12 m unter Gelände zwischen 115 und 120 NHN.

Der ca. 7 bis 8 m mächtige Grundwasserleiter besteht aus quartären Lockersedimenten. Dabei handelt es im Wesentlichen um mitteldicht bis dicht gelagerte fluviatile Sande und Kiese hoher Durchlässigkeit. Der Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) des Grundwasserleiters schwankt zwischen  $8 \times 10^{-4}$  und  $> 1 \times 10^{-3}$  m/s. Gemäß der Baugrundhauptuntersuchung war davon auszugehen, dass in den Grundwasserleiter immer wieder kleinräumige und geringmächtige Schlufflinsen in unterschiedlichen Tiefenlagen eingeschaltet und die Kiese teilweise stark verbacken sein können. Darüber hinaus war von vereinzelt eingelagerten Steinen und Blöcken auszugehen.

Oberflächlich steht im Bearbeitungsgebiet eine 1,50m bis 2,30 m mächtige Schicht Auffülle an, die von einer 1,20 bis 1,90 m mächtigen Auelehmschicht unterlagert wird. Die Gesamtmächtigkeit dieser, als Grundwasserdeckstauer wirkenden Schicht beträgt zwischen 3,00 und 3,60 m.

#### 4.1.2 Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet

Infolge der hohen Durchlässigkeit des Grundwasserleiters werden die Grundwasserstände im Stadtgebiet direkt durch die Wasserführung der Mulde beeinflusst. Innerhalb weniger Stunden reagieren die Grundwasserstände im Stadtgebiet auf Veränderungen in der Wasserführung der Mulde. Der mittlere Grundwasserflurabstand beträgt ca. 2-3m. In Abhängigkeit der Geländehöhe, Auelehmmächtigkeit und der Wasserführung der Mulde können sich gespannte Grundwasserverhältnisse einstellen.

Der unbeeinflusste Grundwasserabstrom bei mittlerer und niedriger Wasserführung erfolgt vom Stadtgebiet in Richtung Mulde. Bei Hochwasserführung der Mulde kehrt sich die Grundwasserfließrichtung im unbeeinflussten Zustand um und es stellen sich Grundwasserpotenziale im Stadtgebiet ein, welche die vorhandene Infrastruktur gefährden.

Zum Zeitpunkt der Strangherstellung war die Dichtwand bereits teilweise fertig gestellt. Die muldebürtige Grundwasserneubildung war deswegen während der Bauausführung bereichsweise stark beeinträchtigt. Die niederschlagsbürtige Grundwasserneubildung im Stadtgebiet variiert in Abhängigkeit der örtlichen Niederschlagsituation stark. In niederschlagsarmen Zeiträumen kann diese sehr gering sein. Das für die Vortriebsarbeiten nutzbare Grundwasserdargebot war deswegen bereichsweise gering (siehe Abschnitt 7.2).

## 4.2 Örtliche Verhältnisse, Bauwerke und Besonderheiten

Der Stadtkern von Grimma ist durch historisch wertgebende, oft denkmalgeschützte Bauwerke und Gebäude geprägt. Im Verlauf der Hochwasserschutzanlage sind insbesondere folgende exponierte Bauwerke hervor zu heben:

- Polizeiobjekt (ehemalige Amtshauptmannschaft)
- Stadtmauer und Mauerhäuser
- Klosterkirche
- Gymnasium
- Altes Seminar
- Schloss

Die Filterstrecken waren überwiegend unterhalb dichter Siedlungsbebauung einzubringen. Dem Schutz der vorhandenen Bebauung war dementsprechend besondere Bedeutung beizumessen.

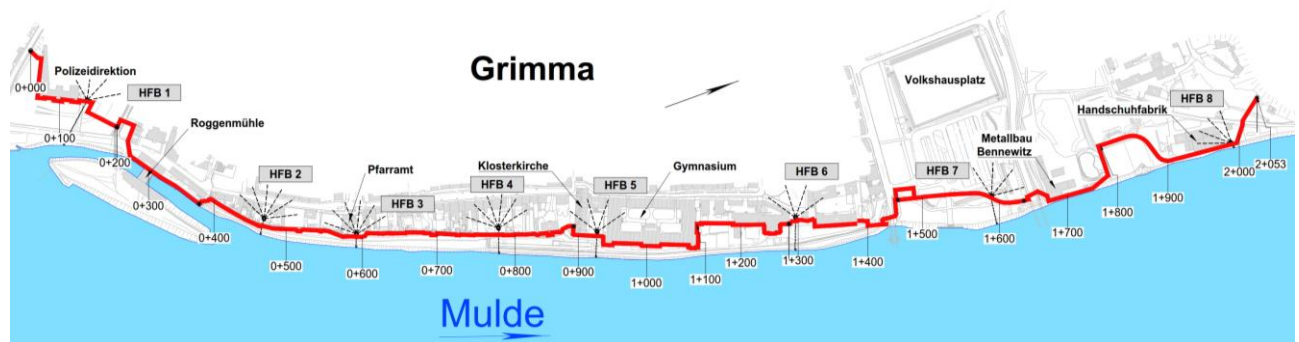


Abbildung 4-1 – Übersichtslageplan der Schachtstandorte

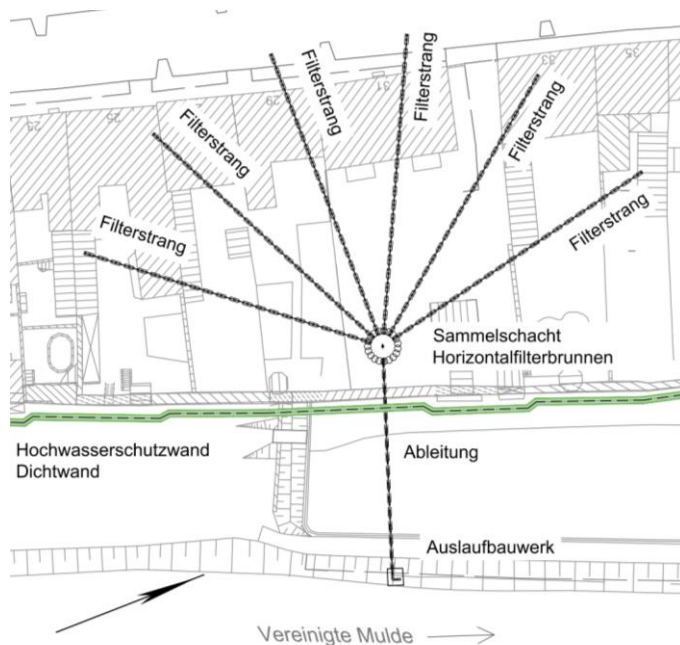


Abbildung 4-2 – Horizontalfilterstrecken unter vorhandener Bebauung



## 5. PLANUNGSDIEE

### 5.1 Funktionsweise der Horizontalfilterbrunnen

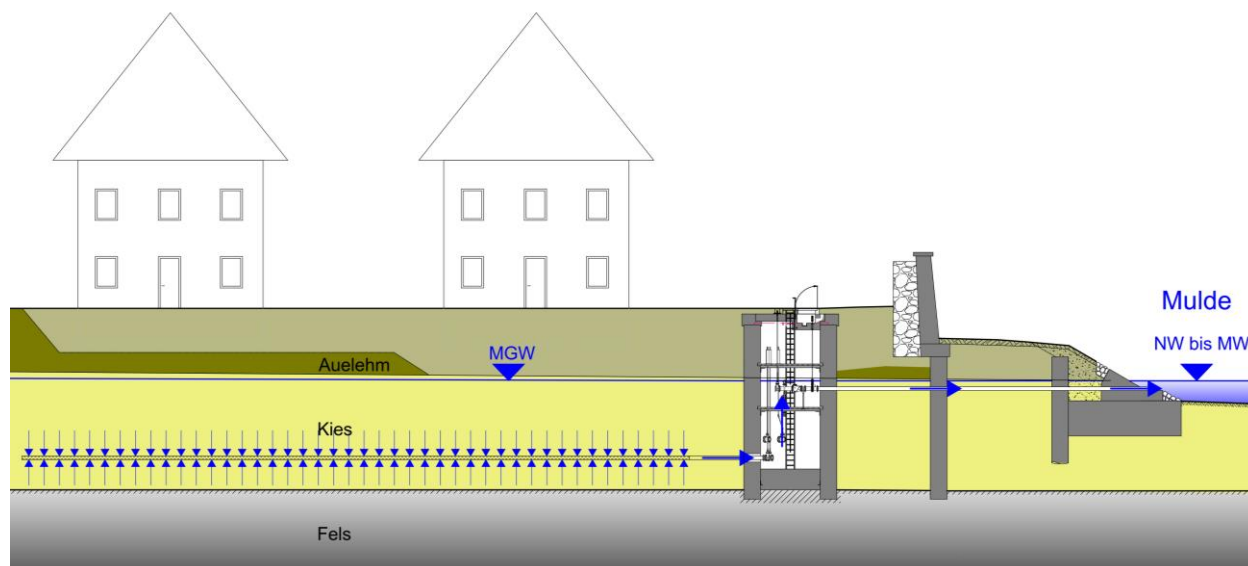


Abbildung 5-1 – System zur Aufrechterhaltung der GW-Kommunikation bei NW bis MW mittels Horizontalfilterbrunnen

Die Grundwasserkommunikationsanlage besteht aus 8 entlang der Hochwasserschutzmauer errichteten Horizontalfilterbrunnen mit (planmäßig) je 4 bis 6 Filterstränge von 40m Länge. Bei mittlerer und niedriger Wasserführung der Mulde wird das anströmende Grundwasser in den Filtersträngen gefasst und dem Sammelschacht zugeleitet. Von diesem fließt das Wasser über die Ableitungsstränge in die Mulde (siehe Abbildung 5-1).

Bei steigenden Muldwasserständen, das heißt sobald der Muldwasserstand über den Grundwasserstand ansteigt, wie dies bei einer anlaufenden Hochwasserwelle der Fall ist, wird das System mittel Rückschlagklappen im Ableitungsstrang selbsttätig automatisiert verschlossen, sodass eine Umkehr der Fließrichtung verhindert wird. Der Grundwasserstand wird so auch bei Hochwasser auf ein für die vorhandene Infrastruktur verträgliches Maß begrenzt.

Detailliertere Ausführungen zur Funktionsweise der Grundwasserkommunikationsanlage sind dem „Fachbericht über die Notwendigkeit und Wirkungsweise der Grundwasserkommunikation“ zu entnehmen.

## 5.2 mögliche Herstellungsverfahren der Filterstrecken

### 5.2.1 Anforderungen an die Herstellungsverfahren

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und zum Schutz der vorhandenen Infrastruktur waren folgende grundsätzliche Anforderungen an die Herstellungsverfahren zur Errichtung der Horizontalfilterstränge zu richten, um die planerische Lösung bautechnisch umzusetzen:

- Anwendung verrohrter Bohrverfahren zum Schutz der vorhandenen Infrastruktur
- Herstellung der Filterstränge als Sacklochbohrungen in grundwasserführenden Schichten
- Minimierung der verfahrensbedingten Bodenauflockerungen

Nachfolgend werden die gebräuchlichsten Herstellungsverfahren für die Errichtung von Horizontalfilterstrecken unter vergleichbaren Bedingungen vorgestellt und in Bezug auf ihre Eignung bewertet.

### 5.2.2 Ranney-Verfahren

Das Ranney-Verfahren wurde in den 1930er Jahren entwickelt. Bei diesem Verfahren werden dickwandige Filterrohre direkt in den Grundwasserleiter eingepresst. Der Vortriebskopf verfügt über Öffnungen an der Ortsbrust über die der zu durchörternde Boden durch den vorhandenen Grundwasserdruck in den Vortriebskopf eingespült und über eine Rückflussleitung innerhalb der Vortriebsrohre in den Schacht gefördert wird, von wo aus dieser gesammelt und abtransportiert werden kann.

Aufgrund des direkten Einpressens der Filterrohre in den Boden sind große Wandstärken erforderlich. Dadurch lassen sich nur verhältnismäßig große Schlitzweiten realisieren. Eine Abstimmung des Filters auf den umgebenden Boden ist nur sehr eingeschränkt möglich. In feinkörnigen Böden kann die Filterstabilität kaum erreicht werden. Das Verfahren ist für solche Böden daher nicht geeignet.

Aufgrund der eingeschränkten Verfahrenseignung kommt das Ranney-Verfahren heutzutage in Europa kaum noch zur Anwendung. Für die Horizontalfilterbrunnen in Grimma wurde es aufgrund der unzureichenden Verfahrenssicherheit für die vorhandene Bebauung und der fehlenden Möglichkeit des Einbaus eines stabilen Filtermaterials nicht angewendet.

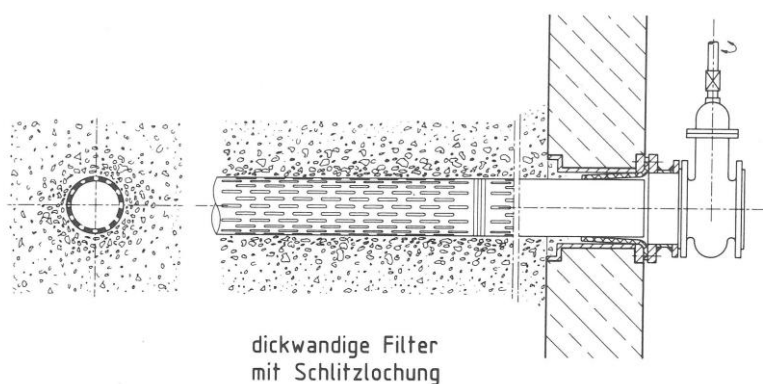


Abbildung 5-2 Ranney Verfahren

Bildquelle: Wasser und Boden, Band 1, PREUSSAG Anlagenbau GmbH

### 5.2.3 Fehlmann-Verfahren

Eine Weiterentwicklung des Ranney-Verfahrens stellt das Fehlmann-Verfahren dar, welches seit den 1940er Jahren Verwendung findet. Der entscheidende Unterschied zum Ranney-Verfahren besteht darin, dass die Filterrohre nicht mehr direkt in den Boden eingepresst werden, sondern im Schutze einer Verrohrung eingebaut werden, die nach dem Filtereinbau wieder gezogen wird.

Der Vortrieb der vollwandigen Vortriebsrohre erfolgt ähnlich wie beim Ranney-Verfahren. Unter Ausnutzung des vorhandenen Wasserdrucks wird der zu lösende Boden über den Vortriebskopf in das Rücklaufgestänge eingespült und in den Schacht gefördert. Die Vortriebsrohre haben nur etwas größeren Durchmesser als die einzubauenden Filterrohre. Diese können anhand von Siebanalysen des Rückflussgutes in ihren Schlitzweiten auf die Korngrößen des zu durchörternden Bodens angepasst werden. Die Wandstärke der Filterrohre muss dabei nur auf die Belastungen aus dem umgebenden Boden bemessen sein, sodass diese geringer als beim Ranney-Verfahren ausfallen kann. Dadurch können auch kleinere Schlitzweiten realisiert und feinkörnigere Böden gefasst werden.

Beim Ziehen der Vortriebsrohre stürzt der umgebende Boden im Nahbereich der Filterrohre in sich zusammen, sodass eine aufgelockerte Zone um das Filterrohr herum entsteht. Durch die Entsandung und Brunnenentwicklung nach Einbau der Filterrohre wird dieser Zone Feinkorn entzogen, sodass eine grobkornangereicherte Kornstruktur um das Filterrohr entsteht, die das Fassungsvermögen begünstigt.

Mit diesem Verfahren können feinkörnigere Böden als mit dem Ranney-Verfahren gefasst werden. Jedoch sind auch hier der Filterabstimmung durch die realisierbaren Schlitzweiten Grenzen gesetzt. Die mit dem Verfahren einhergehenden Auflockerungsvorgänge um das Filterrohr herum können beim Antreffen enggestufter, feinkörniger Böden, zu größerem Bodenentzug führen bzw. die Brunnenentwicklung durch Entsanden einschränken.

Infolge der verfahrensbedingten Auflockerungsvorgänge sind Sackungen an der Geländeoberfläche beim Vortrieb in geringen Tiefen nicht gänzlich auszuschließen. Dieser Aspekt kann die Verfahrenseignung, insbesondere beim Unterfahren vorhandener Bebauung einschränken und war auch der Hauptgrund dafür, dass dieses Verfahren für die Filterstrecken in Grimme nicht zur Anwendung kam.

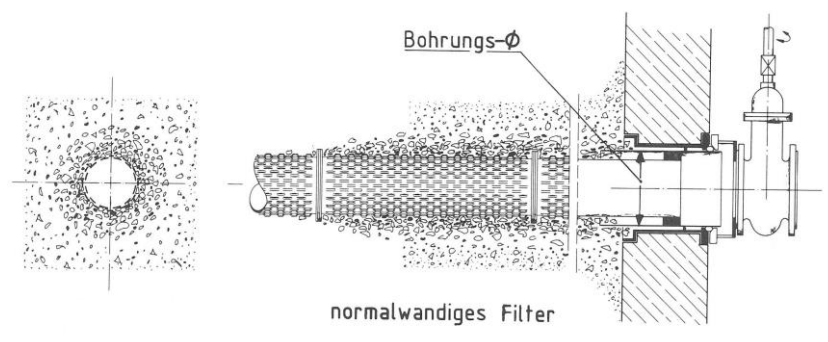


Abbildung 5-3 Fehlmann-Verfahren

Bildquelle: Wasser und Boden, Band 1, PREUSSAG Anlagenbau GmbH

### 5.2.4 PREUSSAG-Kiesmantel Verfahren

Eine nochmalige Weiterentwicklung stellt der in den 1950er Jahren entwickelte Kiesmantelbrunnen dar. Der Unterschied zum Fehlmann-Verfahren besteht im Wesentlichen darin, dass in den Ringraum zwischen Vortriebs- und Filterrohr ein abschnittsweise auf anstehenden Boden abgestimmter Filterkies eingespült wird. Die Realisierung dieses Kiesmantels erfordert größere Vortriebsrohre, ermöglicht jedoch eine noch bessere Abstimmung der Filterkonstruktion auf das durchhörterte Gebirge. Dadurch gelten Kiesmantelbrunnen gegenüber anderen Bauformen als leistungsfähiger sowie als weniger versandungs- und alterungsanfällig.

Durch den eingespülten Filter sackt beim Ziehen der Verrohrung lediglich Material in der Mächtigkeit der Wandstärke der Vortriebsrohre nach, was die Auflockerung des Gebirges im Bereich der Filterstrecken reduziert und größere Sicherheit beim Vortrieb unter vorhandener Bebauung bietet.

Aufgrund der hohen Sicherheit des PREUSSAG-Kiesmantel Verfahrens für die vorhandene Infrastruktur, der Möglichkeit einen qualifizierten Filter einzubauen sowie des günstigeren Alterungsverhaltens wurde dieses Verfahren seitens der Planung als am besten geeignet für die zu errichtenden Horizontalfilterbrunnen eingeschätzt und zur Ausführung vorgesehen.

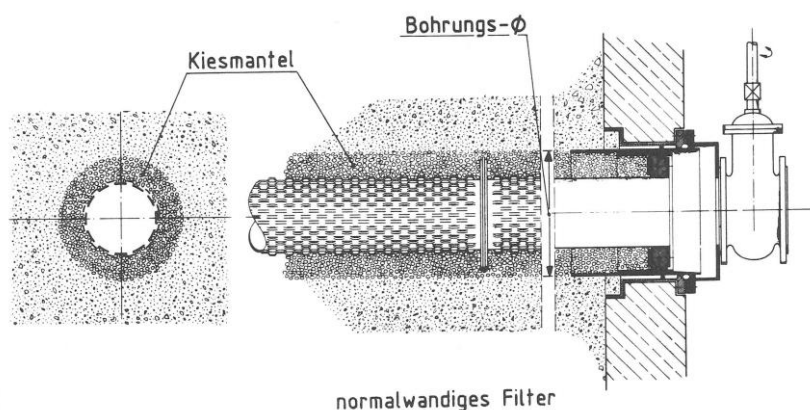


Abbildung 5-4 PREUSSAG-Kiesmantel-Verfahren

Bildquelle: Wasser und Boden, Band 1, PREUSSAG Anlagenbau GmbH

### 5.2.5 WHD (water hydraulic drilling) Verfahren

Ein relativ neu entwickeltes Verfahren zum Einbau der Filterstrecken stellt das WHD-Verfahren dar, welches bei gleichen Sicherheits- und Qualitätsmerkmalen die Anwendungsgrenzen des PREUSSAG-Kiesmantel Verfahrens noch erweitern soll. Mit dem neu entwickelten WHD-Verfahren sollten auch Bodenformationen durchteuft werden können, die bei den klassischen Vortriebsverfahren zu Strangabbrüchen führen würden, wie beispielsweise Gesteinshorizonte, Steine, Blöcke, Verbackungen und andere Vortriebshindernisse, die mit den klassischen Vortriebsverfahren nicht beherrscht werden können.

Beim Ranney-, Fehlmann und Kiesmantelverfahren handelt es sich um Pressbohrverfahren, bei denen der Lösungsvorgang an der Ortsbrust mittels statischer Bohrköpfe unter Ausnutzung des hydrostatischen Wasserdrucks erfolgt. Der Lösungsvorgang erfolgt dabei durch einen kontinuierlichen Wechsel zwischen Bodenentnahme, Vorpressen und Zurückziehen des gesamten Vortriebsstrangs. Das an der Ortsbrust anstehende Material wird so durch den vorhandenen Wasserdruck in den Vortriebskopf eingespült und durch ein Rücklaufgestänge in den Schacht gefördert. Die Verfahren erfordern dementsprechend einen Grundwasserstand, der während der Vortriebsarbeiten permanent ausreichend hoch über der Vortriebsstrecke liegt und können in Bodenschichten angewendet werden die einen derartigen Lösungsvorgang zulassen.

Ein unzureichender Grundwasserdruck an der Ortsbrust und Vortriebshindernisse wie Steine und Blöcke, verfestigte Sedimente, verbackene Lockergesteine, bindige Linsen und ähnliches können den Vortrieb behindern und einen Strangabbruch zur Folge haben.

Das relativ junge WHD Verfahren (erster Praxiseinsatz 2009, Donauinsel Augsburg) verfolgt das Ziel, diese Verfahrenseinschränkungen zu reduzieren und Horizontalvortriebe für Sacklochbohrungen auch in schwierigen geologischen Verhältnissen zu ermöglichen. Anders als bei den Pressbohrverfahren verwendet das WHD Verfahren dafür einen rotierenden Bohrkopf, der mit Wasserhochdruck hydraulisch angetrieben wird. Der Bohrkopf ist mit Meißeln für das Lösen und Brechen des Bohrgutes ausgestattet und kann auf das jeweils zu durchörternde Gebirge abgestimmt werden. Während bei den Pressbohrverfahren mit verlorenen Bohrköpfen gearbeitet wird, kann der rotierende Bohrkopf des WHD Verfahrens in die Schutzverrohrung zurückgezogen werden, wobei das Bohrohr stets druckwasserdicht verschlossen bleibt.



Abbildung 5-5 WHD-Bohrkopf (Bildquelle links: BHG Brechtel GmbH)



Abbildung 5-6 WHD Bohrsystem im praktischen Einsatz

### 5.3 gewählte Lösung

Im Ergebnis der Planung war vorgesehen, eine Grundwasserkommunikationsanlage aus 8 Horizontalfilterbrunnen mit (planmäßig) 4 bis 6 Horizontalfilterstrecken im Anstrom, je einem Bohrfahlschacht von 3,20m Innendurchmesser und einer rückstaugesicherten Rohrleitung in die Mulde zu errichten. Die Herstellung der Horizontalfilterstrecken sollte planungsseitig im PREUSSAG-Kiesmantel-Verfahren erfolgen. Die mit der Ausführung beauftragte Bohrfirma sah unter Würdigung der zu erwartenden schwierigen Baugrundverhältnisse zusätzlich zum PREUSSAG-Kiesmantel-Verfahren auch den Einsatz des WHD-Verfahrens vor, um besser auf schwierige Vortriebssituationen reagieren zu können.

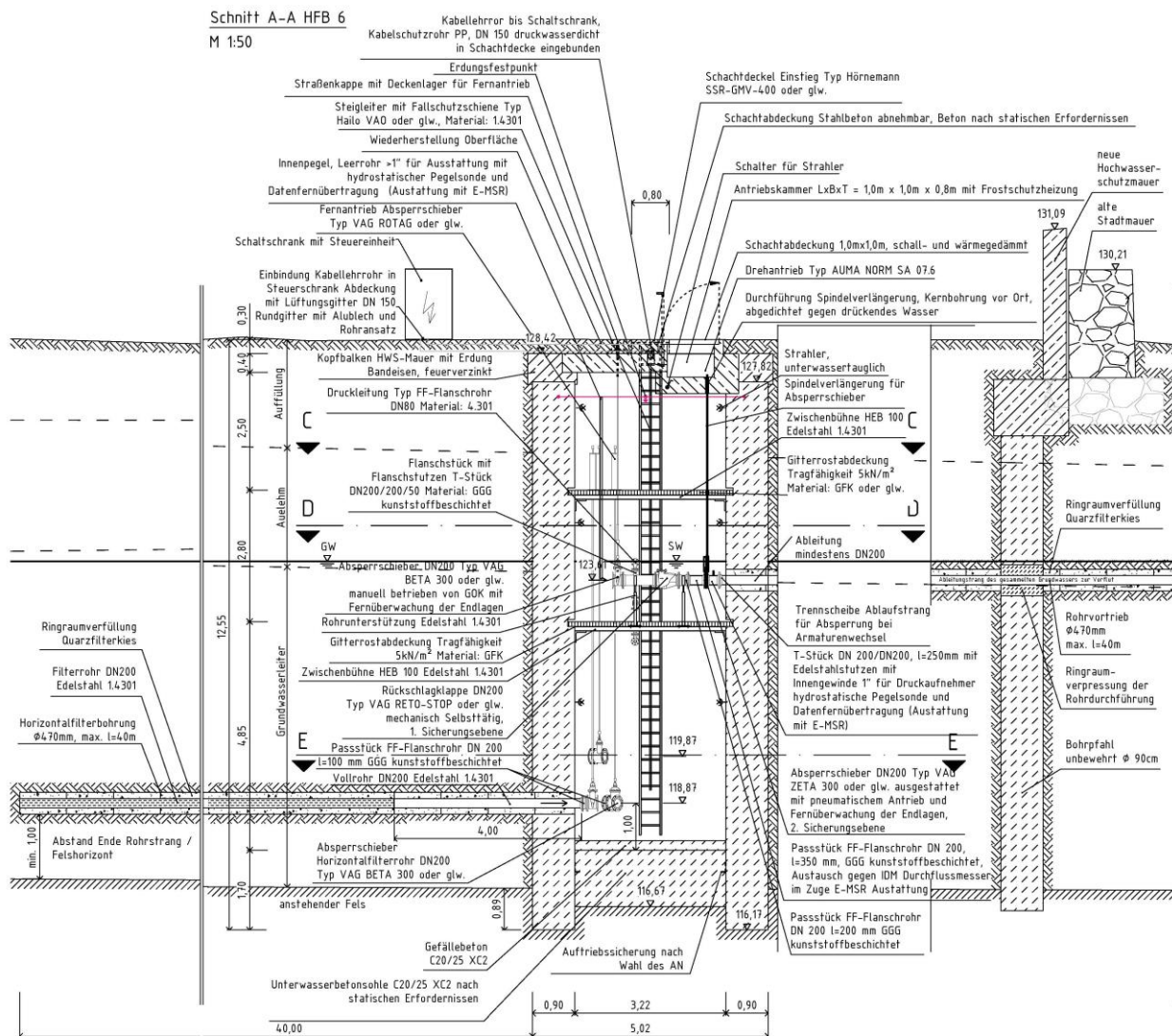


Abbildung 5-7 Horizontalfilterbrunnen zur Grundwasserkommunikation

## 6. WICHTIGE AUSFÜHRUNGSDETAILS

### 6.1 Konstruktive Gestaltung der Filterstrecken

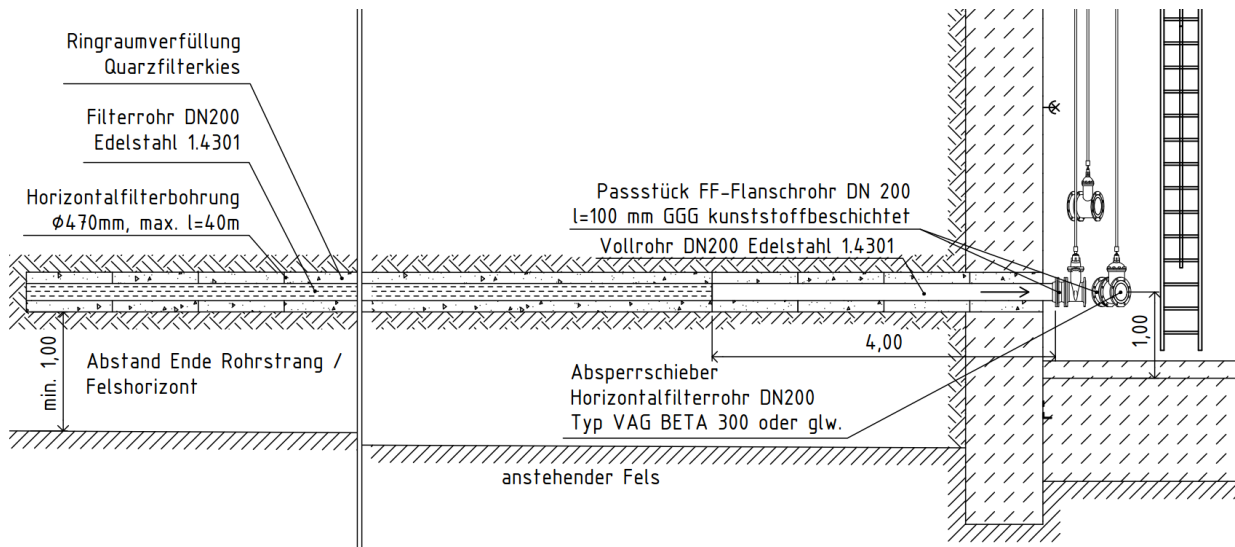


Abbildung 6-1 – Schnittdarstellung Filterstrangaufbau

Die Horizontalfilterstrecken waren mit folgendem konstruktiven Aufbau zu errichten:

- Horizontalfilterbohrung DN 470
- Filter- und Vollrohre DN 200 in Edelstahl 1.4301 (4m Vollrohr, 36m Filterrohr)
- Ringraumverfüllung mit Quarzkies als Filterschüttung, abschnittsweise gemäß DVGW-W 113 auf die Korngröße des umgebenden Bodens abgestimmt
- Strangendverschluss mit Absperrschieber DN 200
- 1,0m Abstand zwischen dem höchsten Punkt des erkundeten Festgesteinshorizonts im Strangverlauf und Unterkante der Horizontalfilterbohrung

Die Filterstrecken waren in Abhängigkeit der erforderlichen Stranganzahl von einer (4 Stränge) oder zwei Ebenen (6 und mehr Filterstränge) aus zu errichten.



## 6.2 Anpassung der Bohrköpfe

In Abhängigkeit der zu durchörternden geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften der Vortriebshorizonte sind die Bohrköpfe zur Herstellung der Vortriebsstrecken in ihrer Form und Größe der Eintrittsöffnungen speziell an die örtliche Situation anzupassen. Die entsprechenden Anpassungen basieren auf Erfahrungswerten der bauausführenden Unternehmen. Nachfolgende Abbildungen stellen einige Beispiele unterschiedlicher Bohrkopfausführungen dar.



Abbildung 6-2 - Beispiele unterschiedlicher Bohrkopfausführungen

### 6.3 Massenbilanz während der Vortriebsarbeiten

Ein wesentlicher Bestandteil zur Risikominimierung im Hinblick auf unzulässige Bodenauflockerungen und zu großem Bodenentzug an der Bohrkopfspitze besteht in der Mengenüberwachung des geförderten Rückflussgutes. Diese Massenbilanz muss im Einklang mit dem durch das Vortriebsrohr verdrängten Boden stehen, wobei eine geringfügige, verfahrensbedingte Auflockerung unumgänglich ist und in der Regel keine Gefährdung darstellt.

Bei der Aufstellung der Massenbilanz ist die Lagerungsdichte des Vortriebshorizontes zu berücksichtigen und in ein korrektes Verhältnis zu dem nach Förderung aus dem Schacht locker gelagerten Rückflussgut zu setzen. Dabei ist auch der Feinkorn- und Schwebstoffanteil des Vortriebshorizontes, der anhand des Rückflussgutes nicht konkret bestimmt werden kann, zu erfassen. Da diese Bestandteile des Rückflussgutes in der Regel über die die Schachtwasserhaltung abgepumpt werden, ist eine direkte Messung dieser Mengen nicht möglich.

Es kann lediglich über die Erkenntnisse der Baugrunduntersuchungen und die Trübung des Rückflusses eine Abschätzung getroffen werden. Sofern diese abschwemmbar Bestandteile des Vortriebshorizontes signifikanten Anteil an der Gesamtmenge des Fördergutes haben, empfehlen sich gegebenenfalls stichprobenartige Absetzversuche zur Verifizierung der bauseits zu treffenden Abschätzungen.



Abbildung 6-3 - Massenbilanz mittels Rückflussgut

## 6.4 Abstimmung des Filtermaterials

Vom Rückflussgut werden abschnittsweise Materialproben entnommen und deren Korngrößenverteilung bestimmt. Anhand dieser werden anschließend der Schüttkorndurchmesser des einzubauenden Filterkieses sowie die Schlitzweite des Filterrohres bestimmt, um dauerhaft filterstabile Ausführung der Filterstränge zu gewährleisten.



Abbildung 6-4 - Materialproben zur Filterbemessung

## 7. AUSFÜHRUNGSSCHWIERIGKEITEN UND EMPFEHLUNGEN

### 7.1 Vortriebshindernisse

Mit Bohrhindernissen während der Ausführung war entsprechend der erkundeten geologischen Verhältnisse zu rechnen. Insbesondere verbackene Kiese und Sande sowie größere Einzelsteine und Blöcke führten zu Schwierigkeiten während der Strangherstellung (siehe Abbildung 7-1).



Abbildung 7-1 - Vortriebshindernisse

Das anfänglich eingesetzte WHD-Verfahren konnte die angetroffenen Hindernisse nicht wie erwartet beherrschen. Die ersten Bohrungen mussten jeweils nach wenigen Metern mit sehr geringem Bohrfortschritt abgebrochen werden. Die Klärung der Ursachen dafür gestaltete sich schwierig. Einerseits handelte es sich bei dem angewendeten WHD-Verfahren um ein in der Praxis bis dahin wenig erprobtes System, was die Vermutung verfahrensbedingter Ursachen für den nicht erzielbaren Bohrfortschritt nahelegte. Andererseits wurde vom ausführenden Unternehmen ein hoher Anteil von Steinen und Geröllen in Verbindung mit einem für den Lösungsvorgang unzureichenden Grundwasserzustrom zum Bohrkopf verantwortlich gemacht. Obwohl eine nahegelegene Grundwassermessstelle einen permanent ausreichend hohen Grundwasserstand während der Vortriebsarbeiten dokumentierte, stellte sich während der Vortriebsarbeiten kein ausreichender Rückfluss für das Lösen und Fördern des zu durchörternden Bodens ein.

Zur weiteren Klärung der Ursachen für die Vortriebsschwierigkeiten wurden die Arbeiten zunächst an einem anderen Brunnen mit günstigeren geologischen Bedingungen fortgesetzt. An diesem Standort waren die Filterstränge höher im Grundwasserleiter angeordnet und in einem stark sandigen, schwach schluffigen Kies vorzutreiben. Das Antreffen von Vortriebshindernissen war in diesem Stranghorizont weniger wahrscheinlich, jedoch lag der mittlere Grundwasserstand nur 2m über dem Stranghorizont, was einen für die Vortriebsarbeiten unzureichenden Rückfluss zur Folge hatte. Auch ein nochmaliges

Umsetzen auf einen anderen Standort mit günstigen geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften führte nicht zum gewünschten Erfolg des WHD-Systems.

Erst durch Umrüsten der Vortriebseinheit auf das PRESUSSAG-Kiesmantel Pressbohrverfahren verbesserte sich die Rückflusssituation, sodass in diesem Verfahren ein kontinuierlicher Bohrfortschritt erzielt werden konnte. Der Großteil der zu errichtenden Filterstrecken wurde in diesem Verfahren hergestellt. Die Möglichkeiten zur Hindernisbeseitigung beim Pressbohren sind jedoch begrenzt. Angetroffene Bohrhindernisse können gegebenenfalls teilweise gebrochen und über den Rückfluss gefördert oder in das Umgebungsgebirge verdrängt werden. Letztere Form der Hindernisbeseitigung setzt eine vorausgehende Auflockerung des Bodens an der Ortsbrust voraus, die ein Verdrängen des Vortriebshindernisses ermöglicht. Insbesondere unter vorhandener Bebauung erhöht die dafür erforderliche Bodenauflockerung das Risiko von Schäden.

Hindernisse, die auf diesen Wegen nicht beseitigt werden können, führen zwangsläufig zum Abbruch des aufzufahrenden Stranges. Der damit einhergehende Verlust an Filterfläche muss dementsprechend über das Auffahren neuer Filterstrecken oder entsprechende Strangverlängerungen anderer Filterstränge am jeweiligen Brunnenstandort ausgeglichen werden. Beide Möglichkeiten kamen zur Anwendung.

Bereits in der Planung wurde wegen der erwarteten schwierigen geologischen Situation bei der Konstruktion der Schachtbauwerke die Möglichkeit des Auffahrens zusätzlicher Stränge berücksichtigt. Dafür wurden ausreichend große Schachtdurchmesser (3,20m) gewählt und die Filterstränge höhenmäßig so angeordnet, dass die Errichtung von Filterstrecken in einer zweiten Strangebene möglich war. Darüber hinaus wurden mit der Anordnung von 45m langen Filterstrecken die bekannten Anwendungsgrenzen des Vortriebsverfahrens nicht vollständig ausgereizt, sodass vereinzelt längere Filterstrecken als Ausgleich für notwendige, vorzeitige Strangabbrüche realisiert werden konnten.

## 7.2 unzureichender Rückfluss

Der Lösungsvorgang des Bodens bei den Vortriebsarbeiten zur Herstellung der Horizontalfilterstränge erfolgt am Bohrkopf unter Ausnutzung des hydrostatischen Grundwasserpotenzials an der Bohrkopfspitze. Der zu durchteufende Boden an Bohrkopfspitze durch den vorhandenen Wasserdruck gelöst und über Öffnungen in der Bohrkopfspitze in das Rücklaufgestänge eingespült und in den Schacht gefördert. Während der Strangherstellung können dem Grundwasserleiter dabei zum Teil signifikant größere Wassermengen entnommen werden als dies im regulären Betriebszustand der Anlage der Fall ist. Die Durchführung der Vortriebsarbeiten setzt dementsprechend ein ausreichend großes Grundwasserdargebot voraus.

Die hydraulische Bemessung der Horizontalfilterbrunnen für die Grundwasserkommunikation erfolgte für den Betriebszustand, das heißt für geringe Absenkbeträge bei erhöhter Grundwasserneubildung. Diese der Bemessung des Betriebszustandes der Anlage zu Grunde liegenden Ansätze treffen jedoch für die hydraulische Situation während der Vortriebsarbeiten nicht zu. Während der Errichtung der Filter-

strecken wird der Wasserstand bis auf die Schachtsohle abgesenkt, so dass sich wesentlich größere Absenkungen und hydraulische Gradienten am Bohrkopf einstellen. Zudem trifft die Annahme einer konstant erhöhten Grundwasserneubildung nicht zu.

Die Vortriebsarbeiten erfolgten also unter grundsätzlich anderen hydraulischen Randbedingungen als diese der Bemessung einer Grundwasserkommunikationsanlage zu Grunde lagen. Dies hatte zur Folge, dass nachweislich an einem Brunnenstandort der Grundwasserstand während der Vortriebsarbeiten bis etwa 1m über die Strangachse abgesenkt wurde und der Grundwasserandrang so stark abnahm, dass dieser für den Lösungs- und Fördervorgang nicht ausreichte (siehe Abbildung 7-2).



Abbildung 7-2 geringer Rückfluss

Ausführungsseitig wurde auf diese Situation zunächst durch Spülwasserzugabe und intermittierendes Bohren reagiert. Dabei wurde während des Rohrvortriebes am Bohrkopf Spülwasser zur Stützung des Grundwasserstandes und Unterstützung des Lösungs- und Fördervorgangs zugegeben. Zusätzlich wurde der Strangendverschluss regelmäßig für einen längeren Zeitraum geschlossen, um eine Regeneration des Grundwasserstandes zu ermöglichen (siehe Abbildung 7-3).



Abbildung 7-3 intermittierendes Lösen mit Spülwasserzugabe

Die kontinuierliche Beobachtung benachbarter Grundwassermessstellen bestätigte geringfügige Reaktionen im Grundwasserleiter auf diese Maßnahmen (siehe Abbildung 7-4). Jedoch ging die Vortriebsleistung dadurch so stark zurück, dass das Einbringen der Vortriebsrohre unter diesen Bedingungen nicht wirtschaftlich sinnvoll durchgeführt werden konnte.

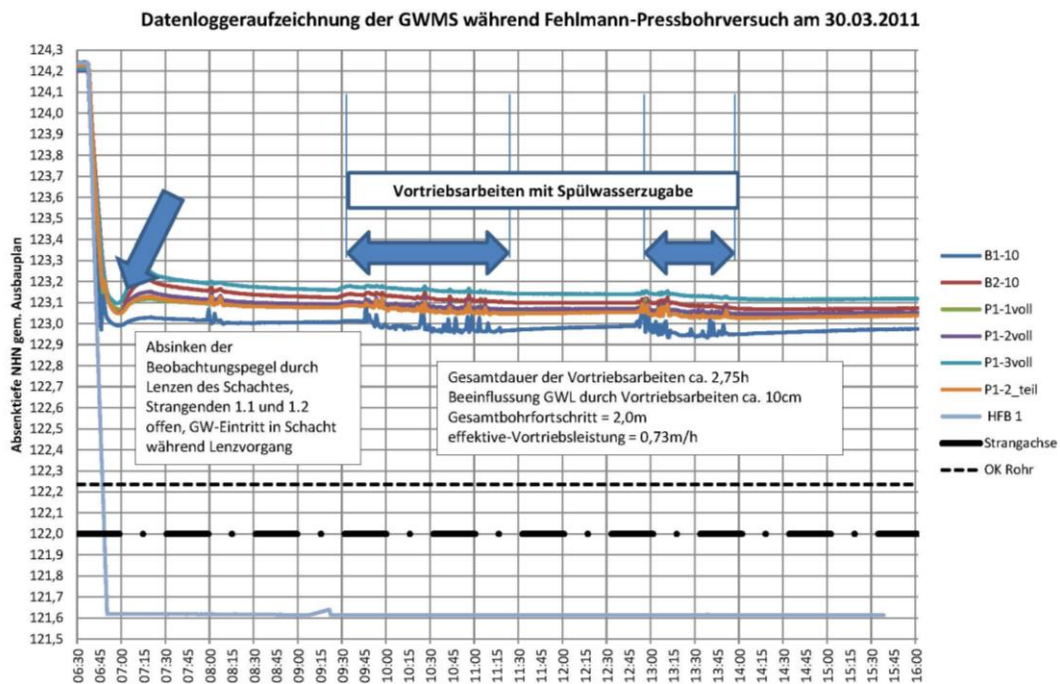


Abbildung 7-4 Reaktion der Beobachtungspiegel auf Vortriebsarbeiten

Nach intensiven Abstimmungen zwischen den Beteiligten wurde das Verfahren unter hohen Sicherheitsanforderungen so umgestellt, dass die Materialentnahme mit einem Spülgestänge ohne die Ortsbrust stützenden Bohrkopf erfolgte. Zu den vereinbarten Sicherheitsauflagen gehörten:

- Absenken des Grundwasserstandes bis auf nahezu Strangachse vor Beginn der ungestützten Materialentnahme
- Kontinuierliche Überwachung der umgebenden Grundwassermessstellen
- Ausreichendes Vorauseilmaß der Verrohrung, sodass im Vortriebsrohr ein ausreichend großer „Propfen“ zur Verhinderung eines unkontrollierten Materialeintritts vorhanden ist

Die Filterstrecken an diesem Standort wurden so erfolgreich hergestellt.

In der Planung wurde aufgrund des gut durchlässigen Grundwasserleiters von einem für die Vortriebsarbeiten ausreichendem Grundwasserandrang ausgegangen.

Es ist davon auszugehen, dass insbesondere folgende Umstände dazu führten, dass diese Annahme während der Bauausführung nicht zutraf:

- Die Dichtwand war in diesem Abschnitt zum Zeitpunkt der Vortriebsarbeiten bereits fertig gestellt, der Grundwasserzstrom von der Mulde zum Vortriebskopf deswegen behindert.
- Die tatsächliche Grundwasserneubildung während der Vortriebsarbeiten war sehr gering.
- Die Filterstrecken waren in Richtung des Binnenlandes zu errichten. Die Durchlässigkeit des Vortriebshorizontes nahm in dieser Richtung ab.

Zur Vermeidung derartiger Ausführungsschwierigkeiten sollte im Zuge der Planung der Vortriebsarbeiten grundsätzlich auch eine Betrachtung der hydraulischen Randbedingungen und des zu erwartenden Wasserandrangs während der Vortriebsarbeiten erfolgen. Dafür sollten ausreichende Sicherheiten beim Ansatz der Grundwasserneubildung und der Durchlässigkeitsbeiwerte berücksichtigt werden.

### 7.3 Sackungen

Während der Vortriebsarbeiten kam es an zwei Filtersträngen zu Geländesackungen an der Oberfläche in unmittelbarer Schachtnähe infolge erhöhtem Materialaustrags während des Anfahrens aus den Bohrpfahlschächten (siehe Abbildung 7-5). Die Schachtbauwerke wurden aus überschnittenen Bohrpfählen hergestellt. Aus diesem Grund war es im Gegensatz zu Senkschächten nicht möglich, werkseitige Schachtwanddurchführungen mit Berstscheiben zum erleichterten Anfahren der Filterstrecken vorzusehen. Die Pfahlwandstärke an den Bohransatzpunkten musste mit Kernbohrungen soweit reduziert werden, dass ein Durchbrechen der Restwandstärke mittels des Vortriebskopfes möglich wurde. Konstruktiv bedingt war es notwendig, dass die Ansatzpunkte teilweise im Bereich von Pfahlwandkehlen lagen, sodass die mit dem Vortriebskopf zu durchbrechende Reststärke der Pfahlwand unterschiedliche Stärken aufwies. Verstärkt wurde dieser Umstand in grobkiesigen Bereichen, in denen unregelmäßigere Pfahlgeometrien vorhanden waren. Das Anfahren der Stränge in solchen Bereichen gestaltete sich dementsprechend schwierig, wodurch es zu vermehrtem Materialaustrag und in der Folge zu lokalen Geländeeinbrüchen kam.





Abbildung 7-5 Geländeinbruch infolge Strangherstellung

Planerisch kann das Risiko solcher Ausführungsschäden reduziert werden, indem die Ansatzpunkte nach Möglichkeit mittig in der Pfahlwandwölbung angeordnet werden und das Durchbrechen von Zwickelbereiche möglichst vermieden wird. Im vorliegenden Fall war dies jedoch konstruktiv bedingt nicht möglich.

Bei der Herstellung der Schachtbauwerke mit werksseitig vorgefertigten Schachtbauteilen im Schachtabsenkverfahren können an den Ansatzpunkten Schachtwanddurchführungen mit Berstscheiben vorgesehen werden, die das Risiko derartiger Schwierigkeiten beim Anfahren der Vortriebsstrecken weitgehend ausschalten.

## 7.4 Gebäudeschäden

An einem unterfahrenen Gebäude verstärkten sich im Zuge der Vortriebsarbeiten bereits vorhandene Risse (siehe Abbildung 7-6). Der betroffene Gebäudeteil war nicht unterkellert. Der zu errichtende Filterstrang lag 7m unter der Gründungssohle.



Abbildung 7-6 Rissbildung im Anbau eines unterfahrenen Gebäudes

Ein Gutachten zu den Schadensursachen stellte fest, dass es sich bei dem Gebäudeteil, an dem die Schäden auftraten, um einen nachträglichen Anbau handelte. Dieser war separat auf einer Bodenplatte im Bereich der Auffülle gegründet. Weiterhin wurde festgestellt, dass Auflockerungen im Bereich des Stranghorizontes infolge der Vortriebsarbeiten trotz sachgerechter Verfahrensanwendung zu verzeichnen waren. Dies in Verbindung mit einer verfahrensbedingten lokalen Grundwasserabsenkung während der Strangherstellung wurde als Schadensursache ermittelt.

Das Risiko solcher Schäden ist auch bei sorgfältiger Planung der Ausführungsmaßnahmen kaum zu reduzieren. Im vorliegenden Fall wurde vor der Bauausführung ein detailliertes Beweissicherungsverfahren für alle Gebäude im Einflussbereich der Baumaßnahme durchgeführt. Dabei wurden auch die vorhandenen Risse dokumentiert. Die exakte Gründungssituation wurde jedoch erst nach dem Eintreten des Schadens durch intensive Unterlagenrecherche, Schürfe und zusätzliche Erkundungsmaßnahmen festgestellt.

Sofern im Vorfeld der Baumaßnahmen Hinweise auf Bauwerke bekannt werden, deren Bausubstanz und Gründungssituation ggf. den aus den Vortriebsarbeiten resultierenden Beanspruchungen nicht standhalten, können folgende Maßnahmen zur Reduzierung des Schadensrisikos in Erwägung gezogen werden:

- Bewertung der verfahrensbedingten Grundwasserabsenkung in Verbindung mit eventuell gefährdeter Bebauung
- Maßnahmen zur Gründungssicherung und Baugrundverbesserung gefährdeter Bebauung
- Maßnahmen zur Stützung des Grundwasserstandes während der Vortriebsarbeiten
- permanente Pegelüberwachung während der Vortriebsarbeiten.

## 8. TECHNISCHE DATEN DER REALISIERTEN LÖSUNG

Nachfolgend werden die wesentlichen technischen Merkmale der errichteten Filterstrecken aufgelistet:

- Herstellungsverfahren: PREUSSAG-Kiesmantel-Verfahren, WHD-Verfahren
- Nennweite Vortriebsrohre: 470mm
- Nennweite Filterrohre: 200mm
- planmäßige Einzelstranglänge: 40m
- planmäßige Gesamtstranglänge: 1520m

Tabelle 8-1 gibt eine Übersicht über die technischen Daten der realisierten Filterstrecken an den jeweiligen Brunnenstandorten.

Tabelle 8-1 - technische Daten der Grundwasserkommunikationsanlage

	HFB 1	HFB 2	HFB 3	HFB 4	HFB 5	HFB 6	HFB 7	HFB 8	Summe
Anzahl Filterstränge	5	8	6	6	4	7	6	4	<b>46</b>
Anzahl Strangebenen	1	2	2	2	1	2	2	1	
Länge der Einzelstränge	16-50	8-40	24-40	38-42	32-44	12-30	18-34	40-46	
Gesamtstranglänge	160,0	196,0	222,0	241,0	156,0	155,0	157,0	168,0	<b>1455</b>

Verfasser:



CDM Smith Consult GmbH  
 Weißenfelser Straße 65 H  
 04229 Leipzig

August 2017