

Hochwasserschutz Grimma

Fachbericht über die
Notwendigkeit und
Wirkungsweise der
Grundwasserkommunikation



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. ZUSAMMENFASSUNG.....	3
2. VORBEMERKUNG / VERANLASSUNG.....	4
3. RANDBEDINGUNGEN.....	6
3.1 Hydrogeologische Verhältnisse	6
3.1.1 bodenphysikalischen Eigenschaften des Grundwasserleiters.....	6
3.1.2 Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet	6
3.2 städtebauliche Situation	6
4. NOTWENDIGKEIT UND ANFORDERUNGEN	7
4.1 Gefährdungssituation durch Grundwasser	7
4.2 Notwendigkeit der Grundwasserkommunikationsanlage.....	8
4.3 Anforderungen an die Grundwasserkommunikationsanlage.....	8
5. SYSTEMFINDUNG	13
5.1 geohydraulisches Modell als Planungswerkzeug.....	13
5.2 Variantenuntersuchung	16
5.2.1 hydraulische Variantenuntersuchung von Gründungs- und Dichtwandvarianten	16
5.2.2 technische Variantenuntersuchung von Anlagen zur Grundwasserkommunikation	18
5.2.3 dynamische Kostenvergleichsrechnung	22
5.3 gewählte Lösung	23
6. WIRKUNGSWEISE DER GRUNDWASSERKOMMUNIKATION	24
6.1 hydraulische Wirkungsweise.....	24
6.1.1 Normalbetrieb (Mittel- und Niedrigwasser).....	24
6.1.2 Funktionsweise bei Hochwasser	26
6.1.3 Instationäre hydraulische Modellierung und modellgestützte Nachweisführung der Wirksamkeit der Vorzugslösung	26
6.2 Monitoring und Anlagenüberwachung	26
6.2.1 Grund- und Oberflächenwassermonitoring	26
6.2.2 Anlagenüberwachung.....	27
7. WICHTIGE AUSFÜHRUNGSDetails	28
7.1 Konstruktive Gestaltung	28
7.1.1 Schachtbauwerk	29
7.1.2 Filterstränge	30
7.1.3 Ableitungen und Auslaufbauwerke	31
8. TECHNISCHE DATEN DER REALISIERTEN LÖSUNG.....	32

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.

Zum Schutz des Stadtgebietes wird eine 2km lange Hochwasserschutzmauer entlang des Muldeufers errichtet. Das durch die Hochwasserschutzmauer gesicherte Stadtgebiet wird von einem 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 Dichtwand als unterirdisches Hochwasserschutzsystem errichtet.

Die Dichtwand wurde als überschnittene Bohrpfahlwand mit Pfahllängen von 11,00 - 15,00m Länge im Zeitraum von 2007 bis 2015 realisiert. Die Pfahlwand dient gleichzeitig als Gründung für die darauf aufsetzende Hochwasserschutzmauer. Im Hochwasserfall verhindert die Dichtwand wirkungsvoll ein Unterströmen der Hochwasserschutzmauer und Grundwasseraustritte auf der Binnenseite der Hochwasserschutzanlage. Die Druckpotenziale im Grundwasserleiter werden durch die Dichtwand auf ein für die Infrastruktur verträgliches Maß reduziert.

Bei niedriger und mittlerer Wasserführung der Mulde sorgt ein System auf 8 Horizontalfilterbrunnen (HFB) für eine quasinatürliche Grundwasserüberleitung aus dem Stadtgebiet in Richtung Mulde. In diesem Fachbericht werden Notwendigkeit und Wirkungsweise dieser Grundwasserkommunikationsanlage (GWK) sowie die Herangehensweise zur Findung eines technisch und wirtschaftlich optimalen Systems näher beschrieben.

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. Bislang besaß das Stadtgebiet keinen relevanten Schutz und war aufgrund dieser Lage stark hochwassergefährdet.



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

Im August 2002 trat das bisher höchste registrierte Hochwasser in der Geschichte der Stadt mit einem Extremhochwasserabfluss von 2.570 m³/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.

Das Hochwasser hinterließ Schäden an Infrastruktur, öffentlichen und privaten Bauten und an Uferbefestigungen in Höhe von mehr als 260 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.



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

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.

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 einmal in 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 Regulierung der Grundwasserndynamik bei normaler Wasserführung der Mulde sowie bei Hochwasser.

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

3. RANDBEDINGUNGEN

3.1 Hydrogeologische Verhältnisse

3.1.1 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 m NHN.

Der ca. 7 bis 8 m mächtige Grundwasserleiter besteht aus quartären Lockersedimenten. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um fluviatile Sande und Kiese hoher Durchlässigkeit. Der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) des Grundwasserleiters variiert zwischen 8×10^{-4} und $> 1 \times 10^{-3}$ m/s.

Oberflächlich steht im Bearbeitungsgebiet eine 1,50 m 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. Der Grundwasserdeckstauer ist infolge anthropogener Überprägung nicht mehr flächendeckend vorhanden und kann partielle Fehlstellen aufweisen, deren Lage und Größe nicht genau bekannt sind.

3.1.2 Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet

Infolge der hohen Durchlässigkeit des Grundwasserleiters werden die Grundwasserstände im Stadtgebiet direkt durch die Wasserführung der Mulde beeinflusst. Innerhalb von ca. 2 bis 3 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.

3.2 städtebauliche Situation

Die Konzeption einer geeigneten Grundwasserkommunikationsanlage musste auch die städtebaulichen Randbedingungen berücksichtigen. Die Anlage ist entlang der Siedlungskante des dicht bebauten historischen Altstadt-kerns von Grimma zu errichten. Sie verläuft dabei unmittelbar entlang einer Vielzahl, wertgebender und zum Teil denkmalgeschützter exponierter Bauwerke (Polizeidirektion, Roggenmühle, Stadtmauer, Klosterkirche, Gymnasium, Etuifabrik, Pöppelmannbrücke, Volkshausplatz, Straßenbrücke, Metallbau Bennewitz). Die landseitig der Hochwasserschutzanlage liegenden Flächen befinden sich oft in privatem Besitz oder sind aufgrund der Bebauungssituation für die Errichtung technischer Anlagen unzugänglich.

Die zu planende Grundwasserkommunikationsanlage musste deswegen mit einer möglichst geringen oberirdischen Flächeninanspruchnahme in der Lage sein, das geforderte Schutzziel zu erreichen.

4. NOTWENDIGKEIT UND ANFORDERUNGEN

4.1 Gefährdungssituation durch Grundwasser

Bei Hochwasserführung der Mulde bilden sich im Grundwasserleiter Druckpotenziale von bis zu 3 m über Geländeneiveau aus. Mit Errichtung der Hochwasserschutzwand wird das Stadtgebiet bis zu einem Hochwasserereignis mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 Jahren ($HQ_{100} = 1.990 \text{ m}^3/\text{s}$) gegen oberirdische Überflutungen aus der Mulde geschützt, sodass eine Wasserauflast binnenseitig der Hochwasserschutzmauer fehlt. Die Druckpotenziale im Grundwasserleiter würden dann ohne unterirdische Sicherung infolge von austretendem Grundwasser, Auftrieb, hydraulischem Grundbruch, Suffosion, Piping, Erosion, Erosionsgrundbruch und anderen schadensverursachenden Wirkungen die vorhandene Infrastruktur erheblich gefährden. Die vorhandene Infrastruktur ist nicht für diese Art der Belastung ausgelegt und unzureichend dagegen geschützt. Dies hätte Schäden an Gebäuden, Leitungssystemen, historischen Bauwerken und anderen Infrastrukturelementen bis hin zum vollständigen Verlust der Standsicherheit zur Folge (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2).

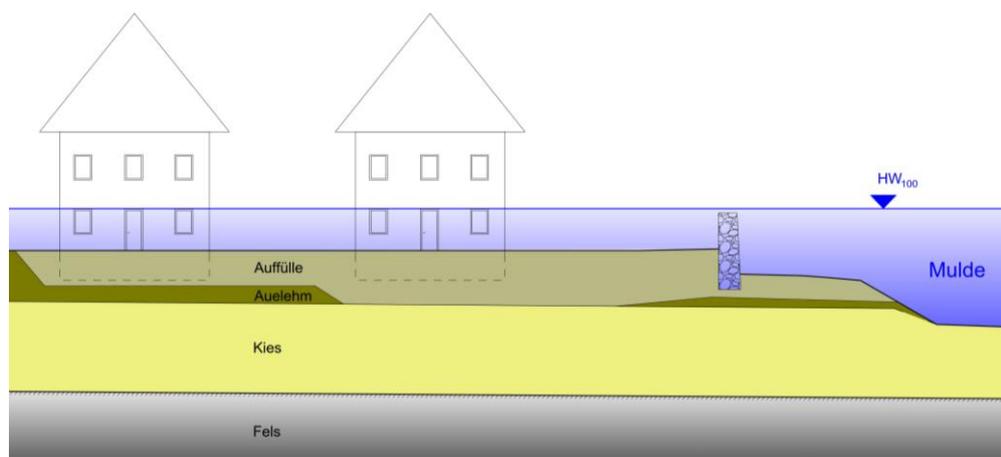


Abbildung 4-1 - Situation bei Hochwasser ohne Hochwasserschutzanlage

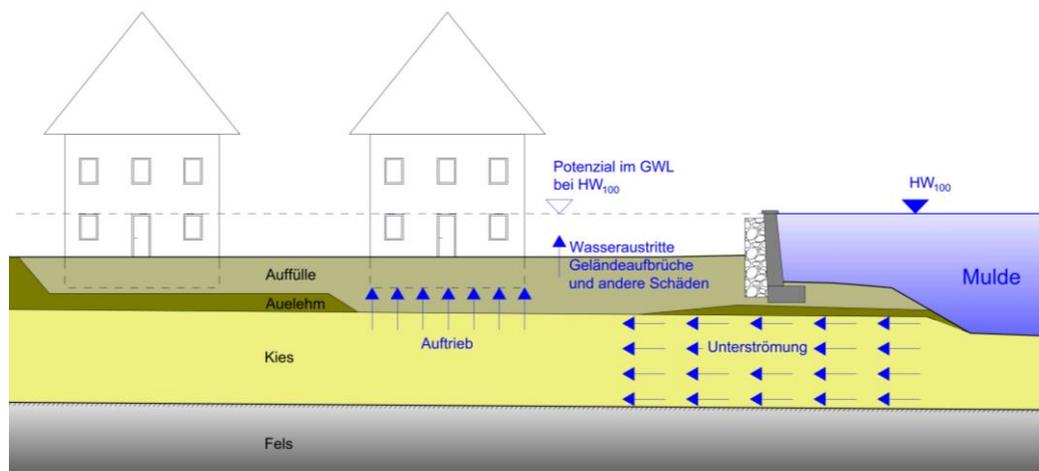


Abbildung 4-2 - Gefährdungssituation bei HW mit Hochwasserschutzwand und ohne Schutz vor hohen GW-Potenzialen

4.2 Notwendigkeit der Grundwasserkommunikationsanlage

Ein ausreichender Schutz der vorhandenen Infrastruktur im Stadtgebiet ist aufgrund der in Abschnitt 4.1 beschriebenen Gefährdungen nur in Kombination einer oberirdischen Hochwasserschutzwand mit einer unterirdischen Dichtwand und Grundwasserkommunikationsanlage realisierbar.

Die unterirdische Dichtwand schützt das Stadtgebiet von Grimma vor zu hohen Grundwasserpotenzialen. Hydraulische Modellierungen im Rahmen der Vorplanungsphase haben ergeben, dass eine wirksame Potenzialbegrenzung bei Hochwasserführung der Mulde im Hinterland der Hochwasserschutzanlage nur durch vollständige Abdichtung des Grundwasserleiters erreicht wird (siehe Abschnitt 5.2). Die Dichtwand muss hydraulisch dicht in das undurchlässige Festgestein einbinden. Die aus überschrittenen Bohrpfählen errichtete Dichtwand fungiert gleichzeitig als Gründungselement für den aufgesetzten Kopfbalken und die Hochwasserschutzwand.

Durch die Dichtwand wird die Grundwasserkommunikation zwischen Mulde und Binnenland der Hochwasserschutzanlage vollkommen unterbunden. Grundwasser, das sich landseitig der Hochwasserschutzanlage bildet, kann nach Errichtung der Dichtwand auch bei mittlerer und niedriger Wasserführung nicht mehr der Mulde als natürlicher Vorflut zuströmen. Die Grundwasserkommunikation zwischen Binnenland und Vorflut, d.h. die Aufrechterhaltung eines quasinatürlichen Grundwasserabstroms bei normaler Wasserführung der Mulde, muss deswegen mit Hilfe einer technischen Grundwasserkommunikationsanlage aufrechterhalten werden (siehe Abbildung 4-3).

Die Grundwasserkommunikationsanlage muss also bei mittleren und niedrigen Abflüssen der Mulde einen quasinatürlichen Grundwasserabstrom in Richtung Mulde gewährleisten. Bei Hochwasserführung der Mulde muss eine Umkehr der Fließrichtung von der Mulde in das Stadtgebiet sicher verhindert werden, um einen schädlichen Anstieg des Grundwasserpotenzials zu vermeiden. Die Anlage muss dementsprechend bei steigendem Muldewasserspiegel rechtzeitig schließen (siehe Abbildung 4-4).

4.3 Anforderungen an die Grundwasserkommunikationsanlage

Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, bestehen in Abhängigkeit der Muldewasserführung zwei grundsätzlich unterschiedliche Anforderungen an die Grundwasserkommunikationsanlage.

Bei mittlerer und niedriger Wasserführung ist der Grundwasserabstrom aus dem Stadtgebiet in Richtung Mulde in möglichst natürlicher Form (quasinatürlich) beizubehalten. Das heißt, die natürliche Form der Grundwasseroberfläche soll durch die Grundwasserkommunikationsanlage wenig verändert werden. Als Grenzwert wurde dafür ein durch die Fassungsanlage verursachter, zulässiger Aufstau von 0,30m an der ungünstigsten Stelle im Stadtgebiet festgelegt. Fassung und Überleitung sollen dabei unter Ausnutzung des vorhandenen Potenzialgefälles, d. h. ohne aktive Hebung (kein Pumpbetrieb), erfolgen. Eine Möglichkeit dafür sind Gründungen der Hochwasserschutzmauer, die den Grundwasserabstrom bei normaler Wasserführung der Mulde nicht nennenswert behindern (Flachgründungen oder unvollkommene Dichtwandvarianten). Da bei diesen Lösungen das binnenseitige Grundwasserpotenzial bei Hochwasser durch aktive Hebung (Pumpen) auf Geländeneiveau begrenzt werden muss, haben sich diese Lösungen als unwirtschaftlich herausgestellt.

Alternativ ist die Errichtung einer vollkommenen Dichtwand als Gründung der Hochwasserschutzmauer möglich. Diese verhindert bei Hochwasser der Mulde einen schnellen Potenzialanstieg im Grundwasserleiter. Im Regelbetrieb, d. h. bei Mittel- und Niedrigwasser der Mulde muss dann jedoch der Grundwasserabstrom mit technischen Anlagen aufrechterhalten werden. Um dabei auf eine aktive Hebung verzichten zu können, erfordert dies zur Einhaltung des vorgegebenen Schutzziels eine flächige oder linienförmige Fassung des binnenseitigen Grundwasseranstroms mit geringen Absenk- bzw. Aufstaubeträgen. Zur Erfüllung dieser Anforderung, muss die Anlage in der Lage sein, dass binnenseitig entstehende Grundwasser mit sehr geringen hydraulischen Verlusten zu fassen und überzuleiten. Als dafür geeignetes System wurden Horizontalfilterbrunnen gewählt.

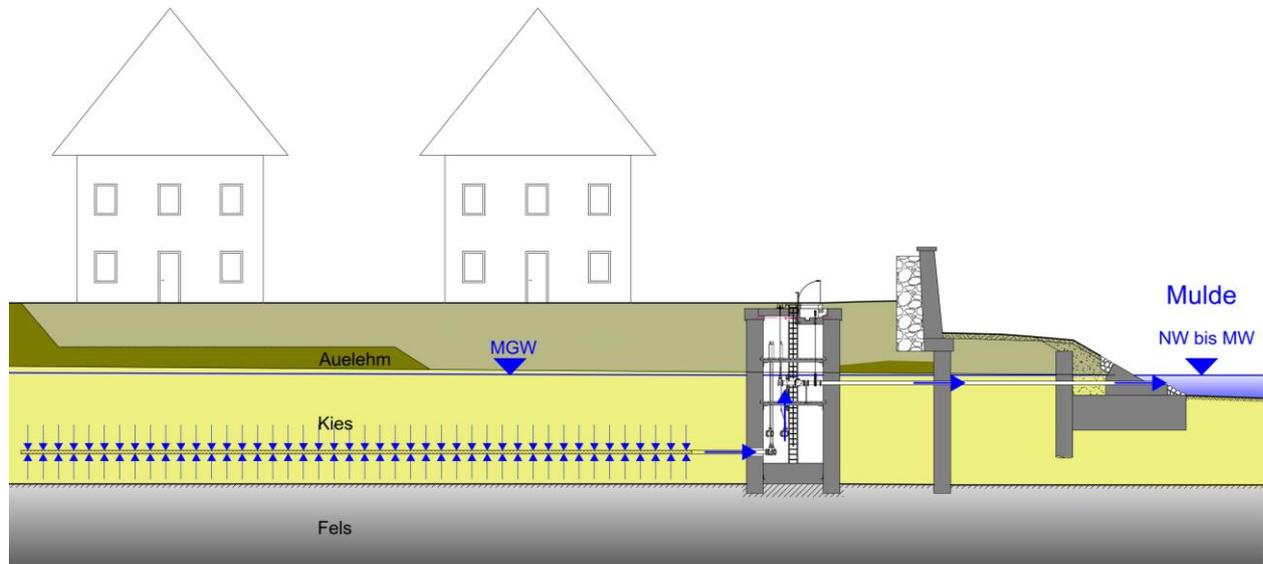


Abbildung 4-3 – System zur Aufrechterhaltung der GW-Kommunikation bei NW bis MW mittels Horizontalfilterbrunnen

Bei Hochwasser werden mit einer vollkommenen Dichtwand die Grundwasserpotenziale im Stadtgebiet erheblich reduziert. Eine aktive Hebung kann bei diesem Lastfall entfallen, wenn die sich infolge der landseitigen GW-Neubildung einstellenden Grundwasserpotenziale bei Hochwasser das vorhandene Geländeniveau nicht überschreiten. Um dies zu erreichen, muss die Grundwasserkommunikationsanlage bei einsetzendem Hochwasser rechtzeitig und automatisiert verschlossen werden, um eine Umkehr der Fließrichtung in Richtung Stadtgebiet und damit einen sprunghaften Anstieg des Grundwasserpotenzials über Geländeniveau zu verhindern.

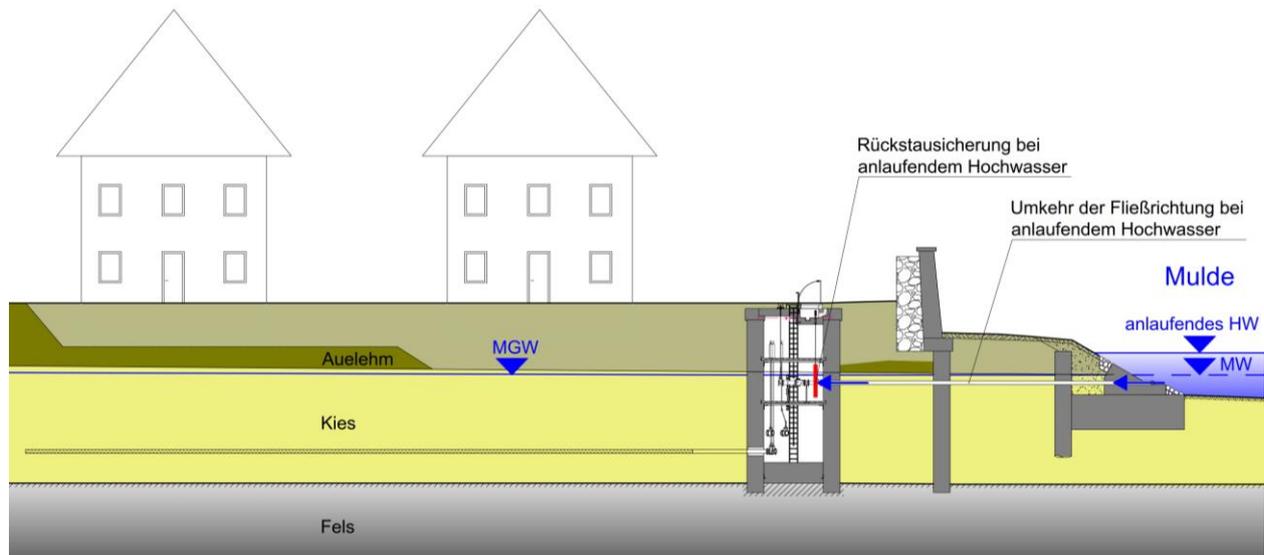


Abbildung 4-4 - Verschluss des Systems bei anlaufendem Hochwasser

Nach Verschluss der Grundwasserkommunikationsanlage gegen drückendes Wasser aus der Mulde steigen die Grundwasserpotenziale auf der Binnenseite der vollkommenen Dichtwand ausschließlich infolge der Grundwasserneubildung im Stadtgebiet. Da die Grundwasserneubildungsrate im Stadtgebiet nur einen Bruchteil gegenüber der aus drückendem Muldehochwasser beträgt (ca. 5% bei erhöhter Grundwasserneubildungsrate), wird mit dem rechtzeitigen Verschluss der Anlage die Geschwindigkeit des Potenzialanstiegs gegenüber Lösungen ohne vollkommene Dichtwand erheblich reduziert. Die Grundwasserkommunikationsanlage war dafür so zu konzipieren, dass sie im Bemessungshochwasserfall (HQ_{100}) nur so lange verschlossen bleibt, dass auch durch die binnenseitige Grundwasserneubildung keine Potenziale im Grundwasserleiter über Geländeneiveau entstehen.

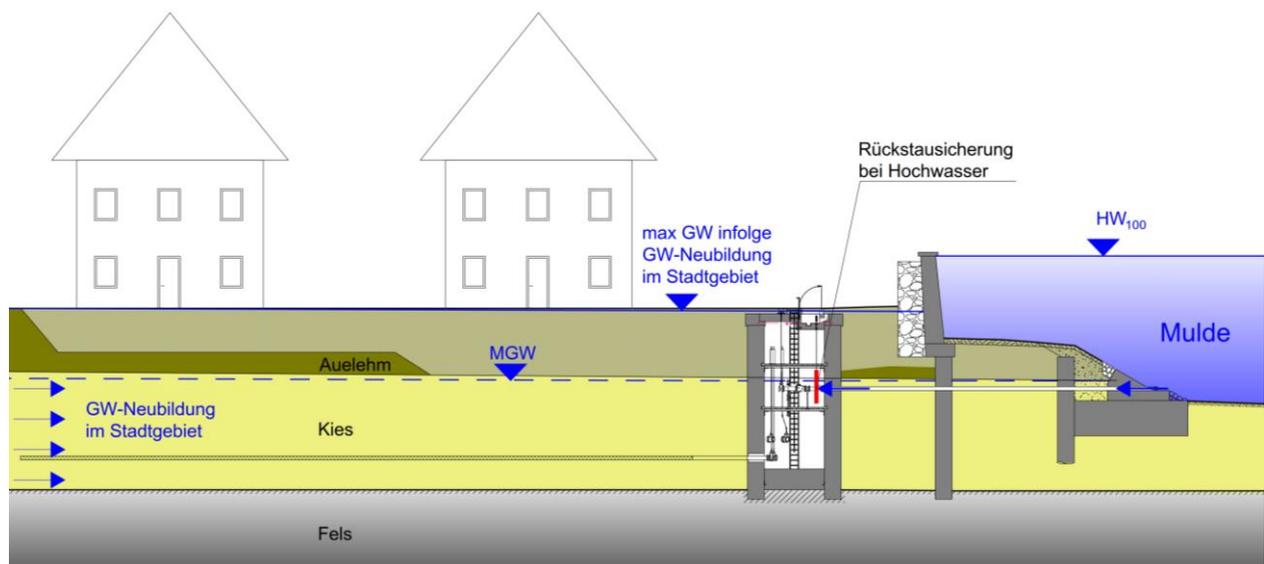


Abbildung 4-5 - maximaler GW-Anstieg bei HW-100

Die Anlage muss mit ablaufender Hochwasserwelle den Grundwasserabstrom in Richtung Mulde rechtzeitig wieder freigeben. Die erforderliche Verschlussdauer wird dabei von der Form der Bemessungshochwasserganglinie der Mulde vorgegeben. Es war dementsprechend der Nachweis zu führen, dass der bei erhöhter Grundwasserneubildung ansteigende Grundwasserspiegel im Stadtgebiet während der erforderlichen Verschlussdauer der Grundwasserkommunikationsanlage das Geländeniveau als vorgegebenes Schutzziel nicht erreichen würde.

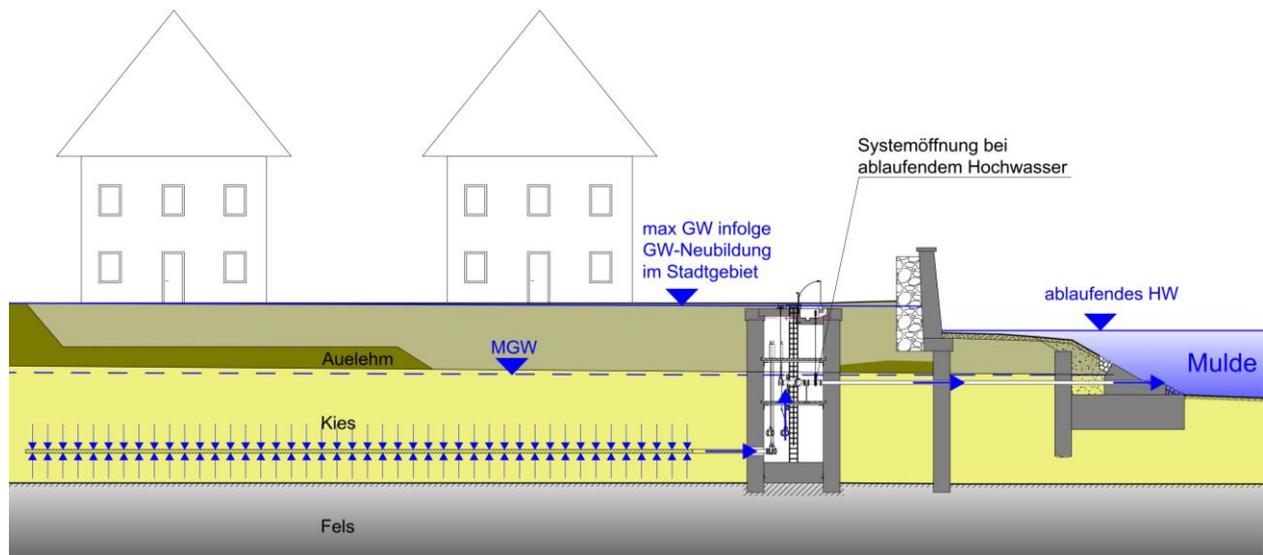


Abbildung 4-6 - Systemöffnung und Abflussfreigabe bei ablaufendem Hochwasser

Beispielhaft ist die hydraulische Entwicklung zwischen Verschluss bei anlaufendem und Öffnung bei ablaufendem Hochwasser in Abbildung 4-7 dargestellt. Die hydraulische Situation wurde in dieser Form für jeden Brunnenstandort analysiert. Dazu wurde die jeweiligen Höhenverhältnisse, die Bemessungshochwasserganglinie der Mulde, die Wasserstands-Abfluss-Beziehungen am jeweiligen Standort der Auslaufbauwerke sowie der modellgestützt ermittelte Grundwasseranstieg ausgewertet und in diese grafische Darstellung überführt.

Im Ergebnis der Auswertung war festzustellen, dass die Grundwasserkommunikationsanlage an allen Standorten bei ablaufendem Bemessungshochwasser wieder geöffnet werden kann, bevor der Grundwasseranstieg auf einem Meter unter Gelände ansteigt. Die Verschlussdauer während des Bemessungshochwassers liegt dabei zwischen 160 h (6,7 d) am HFB 6 und 215 h (9,0 d) am HFB 8. Geländeniveau wird an den Standorten erst nach ca. 20 d erreicht.

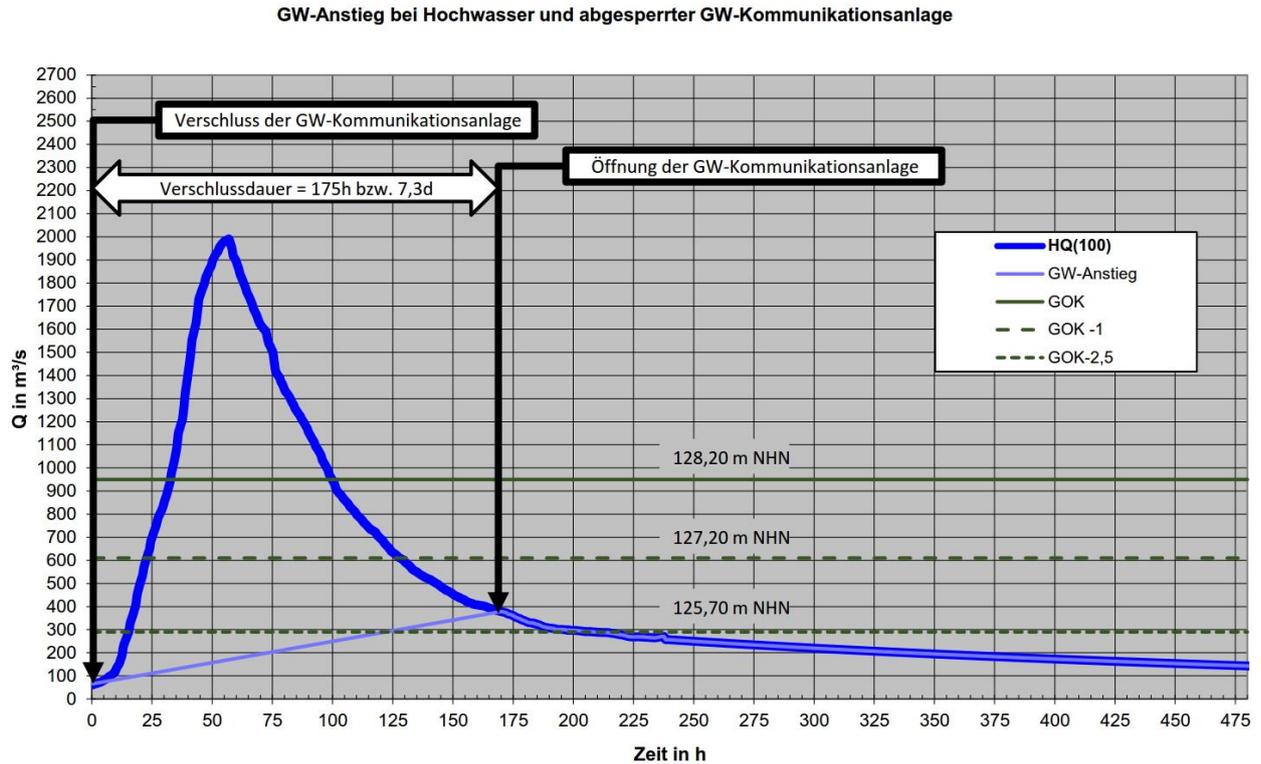


Abbildung 4-7 - GW-Anstieg während HW am Beispiel des HFB 4

Über diese hydraulischen Anforderungen hinaus soll die Anlage wartungsarm und dauerhaft sein und mit geringen Kosten betrieben und unterhalten werden können.

5. SYSTEMFINDUNG

5.1 geohydraulisches Modell als Planungswerkzeug

Aufgrund der Anforderung, den Grundwasserabstrom in Richtung Mulde ohne aktive Hebung mit sehr geringem zulässigen Aufstau unter Ausnutzung des vorhandenen Potenzialgefälles zu gewährleisten, war eine möglichst exakte Kenntnis der Grundwasserdynamik sowie großräumiger Auswirkungen der vorgesehenen Maßnahmen im Bearbeitungsgebiet für die Dimensionierung der Anlage von grundsätzlicher Bedeutung. Im Gegensatz zu vergleichbaren Anlagen mit aktiver Hebung lässt ein System ohne aktive Hebung eine gesteuerte Absenkung des Grundwasserspiegels nicht zu. Nachträgliche Anpassungen der Absenkraten an die sich real einstellenden Grundwasserstände sind damit nicht bzw. nur sehr eingeschränkt möglich, da die maximale Absenktiefe in den Fassungselementen durch den Muldewasserstand nach unten begrenzt wird. Auf etwaige Schutzzielverletzungen infolge von Ungenauigkeiten bei der Dimensionierung, inhomogenen Baugrundverhältnissen o.ä. kann nach Errichtung der Anlage somit kaum reagiert werden.

Einer exakten hydraulischen Bemessung der Anlage mit entsprechenden Sicherheiten war dementsprechend besondere Bedeutung beizumessen. Dabei muss das Fassungsvermögen der Kommunikationsanlage an den zu erwartenden Wasserandrang angepasst werden. Als Fassungsvermögen wird dabei die technisch mögliche Leistung der Anlage bei bestimmten hydraulischen Randbedingungen, vor allem des zulässigen Aufstaus, bezeichnet. Dieses lässt sich mit analytischen Methoden verhältnismäßig genau bestimmen. Als Wasserandrang wird hingegen die Wassermenge bezeichnet, die einem Brunnen bzw. einem Fassungselement innerhalb einer Zeiteinheit aus dem Grundwasserleiter zuströmt. Dieser wird im Wesentlichen durch die Eigenschaften des Grundwasserleiters und die Grundwasserneubildungsrate bestimmt. Bei der Bemessung einer Grundwasserkommunikationsanlage muss also der Wasserandrang gleich der ermittelten notwendigen Überleitungsmenge sein, die dem Grundwasserleiter für die Einhaltung des zulässigen Schutzziels entnommen werden muss.

Analytische Verfahren zur Ermittlung des Wasserandrangs basieren auf den einschlägigen Brunnenformeln. Diese gelten jedoch nur unter idealisierten Modellbedingungen, die in der Realität in der Regel nicht angetroffen werden. Dazu zählen insbesondere:

- stationäre Grundwasserströmung
- homogener, isotroper Grundwasserleiter mit gleichbleibender Mächtigkeit
- horizontal-ebene Lage der freien Grundwasseroberfläche zur Grundwassersohle
- konstante Pumprate (Überleitungsmenge)
- vollkommener Brunnen

Sämtliche Modellvorstellungen treffen für die Bemessung der Grundwasserkommunikationsanlage in Grimma nicht zu. Hier ist von folgenden Randbedingungen auszugehen:

- instationäre Grundwasserströmung in Abhängigkeit der Muldewasserführung und Grundwasserneubildung

- inhomogener Grundwasserleiter mit variabler Mächtigkeit und unterschiedlichen k_f -Werten in horizontaler und vertikaler Richtung (anisotrop)
- geneigte Lage der freien Grundwasseroberfläche zur Grundwassersohle (Gradient in Richtung Mulde)
- variable Überleitungsmengen in Abhängigkeit von Muldewasserführung und Grundwasserneubildung
- unvollkommene Fassungsanlagen (Fassung erfolgt nicht über die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters)

Unter den gegebenen Randbedingungen und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass nachträgliche Anpassungen der Überleitungsmengen und Absenkraten nicht möglich sind, mussten analytische Methoden zur Ermittlung des Wasserandrangs als nicht hinreichend genau für die bestehenden Anforderungen eingeschätzt werden. Sie wurden deswegen lediglich im Rahmen der Vordimensionierung angewendet.

Für eine genauere Bestimmung des Wasserandrangs sowie zur Bewertung der großräumigen Wirkung war der Aufbau eines instationären, dreidimensionalen, geohydraulischen Modells als Planungswerkzeug erforderlich.

Mit diesem Modell wurden im Zuge der Vorplanung geohydraulische Auswirkungen verschiedener Lösungsansätze überprüft. Dabei wurden grundsätzliche Untersuchungen zur Wirksamkeit einer flach gegründeten Hochwasserschutzmauer im Vergleich zu vollkommenen und unvollkommenen Dichtwandausführungen durchgeführt und die variantenabhängigen Überleitungsmengen ermittelt. Im weiteren Planungsverlauf wurde mit Hilfe dieses Modells auch der Nachweis geführt, dass der systemverursachte Aufstau bei normaler Wasserführung der Mulde gegenüber dem Begutachtungswasserstand an keiner Stelle im Stadtgebiet mehr als 0,30m beträgt.

Für die instationäre 3-D-Modellierung wurde das Programmsystem PC-Geofim zur Anwendung gebracht. Folgende Möglichkeiten des Programms waren für die vorliegende Aufgabe ausschlaggebend:

- dreidimensionale Modellierung im Hinblick auf die Berücksichtigung der horizontal und vertikal gegliederten hydrogeologischen Situation im Untersuchungsgebiet,
- lokale Netzverfeinerung zur ausreichenden Erfassung der Bauwerksbereiche sowie der räumlichen Darstellung von Planzuständen,
- universelle örtlich und zeitlich veränderliche Randbedingungen,
- Parameteridentifikation, die wesentlich die Modellkalibrierungen unterstützt,
- Finite-Volumen-Algorithmus, der sich durch Bilanztreue auszeichnet,
- Postprocessing mit Datenkompatibilität zu den grafischen Systemen GRAPHER und SURFER und eine dxf-Schnittstelle, die die Übergabe der grafischen Ergebnisse zu CAD-Systemen ermöglicht.

Das Grundraster des geohydraulischen Modells wurde mit 20 x 20m angelegt. Um eine hinreichend genaue Abbildung von Bauwerken und Fassungs-elementen im Modell zu erzielen, wurde eine Netzdiskretisierung mit Lupen von bis zu 2,5 x 2,5m Kantenlänge vorgenommen. Vertikal wurde das Modell in 4 hydraulisch relevante Schichten untergliedert.

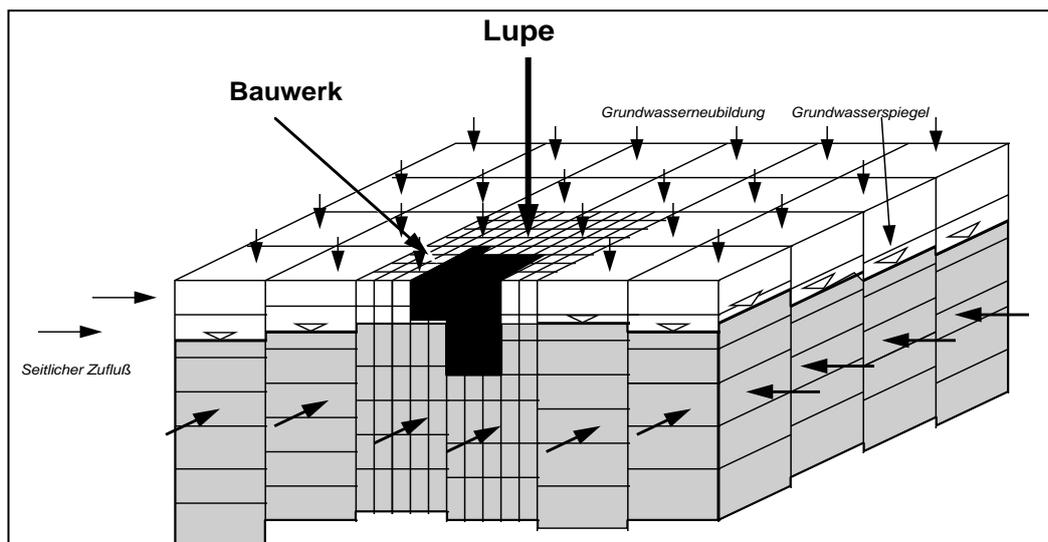


Abbildung 5-1 - Schema der Modelldiskretisierung

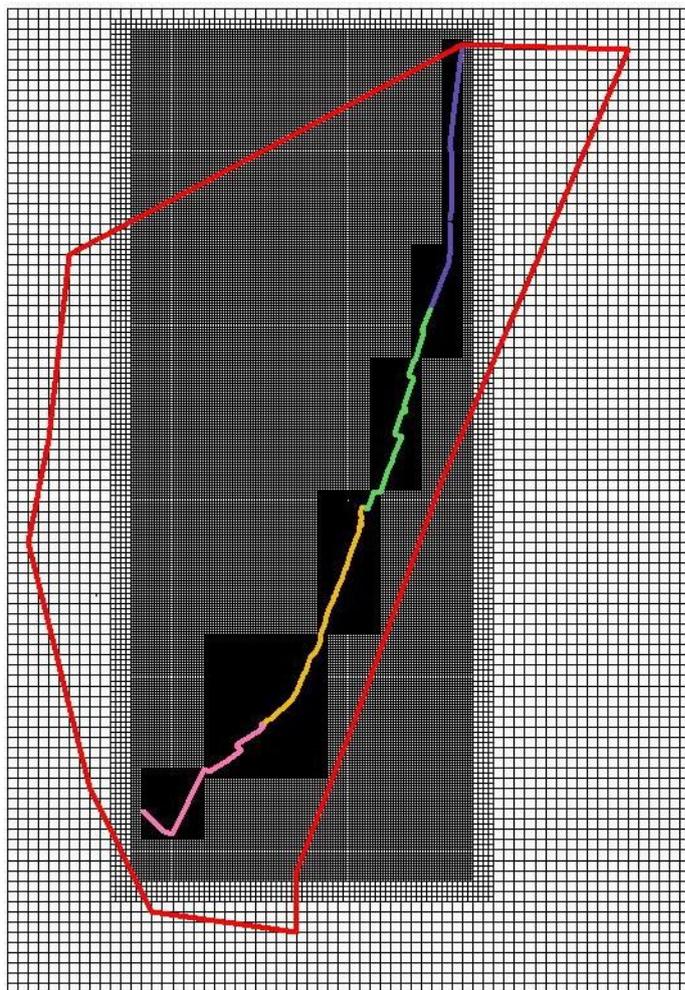


Abbildung 5-2 – Schema des geohydraulischen Modells mit Lupenbildung

Basierend auf den Erkenntnissen der Baugrundhauptuntersuchung wurden die Modellparameter und Schichtmächtigkeiten in das Modell implementiert. Die Geländeoberfläche wurde aus einem digitalen Geländemodell übernommen. Sie bildet die Grundlage für Flurabstandsdarstellungen.

Mit Hilfe der Daten von 15 über das Stadtgebiet verteilten Grundwassermessstellen und 2 Muldepegeln wurden die Modellparameter, die hydraulischen Randbedingungen (Gewässer, Hangzuflüsse und Grundwasserneubildungsrate) anhand von Stichtagsmessungen sowie dem Hochwasserlauf von 2002 hydraulisch kalibriert (instationär).

Die Simulation von Planzuständen erfolgte unter Berücksichtigung einer erhöhten Grundwasserneubildungsrate.

5.2 Variantenuntersuchung

Die Wahl eines geeigneten Systems zur Fassung und Überleitung des binnenseitig der Hochwasser-schutzanlage anfallenden Grundwassers wird wesentlich durch die überzuleitende Wassermenge bestimmt.

Die hydraulische Variantenuntersuchung verschiedener Gründungs- und Dichtwandlösungen war deswegen Voraussetzung für die technische Variantendiskussion zu geeigneten Grundwasserkommunikationsanlagen. Die Variantenuntersuchung erfolgte in drei wesentlichen Etappen:

- 1.) hydraulische Variantenuntersuchung verschiedener Gründungs- und Dichtwandvarianten und Ermittlung der variantenabhängigen Überleitungsmengen im regulären Betrieb (Mittel- und Niedrigwasser) sowie bei Hochwasser
- 2.) technische Variantenuntersuchung von Anlagen zur Grundwasserkommunikation auf Basis der ermittelten Überleitungsmengen einschließlich analytischer, hydraulischer Vordimensionierung und Auswahl einer Vorzugsvariante für die Grundwasserkommunikationsanlage
- 3.) instationäre hydraulische Modellierung und Nachweisführung der Wirksamkeit der Gesamtvorzugslösung aus Dichtwand und Grundwasserkommunikationsanlage

Mit dieser Vorgehensweise wurde die objektiv technisch und wirtschaftlich zweckmäßigste Lösung für die zu errichtenden Grundwasserkommunikationsanlage identifiziert.

5.2.1 hydraulische Variantenuntersuchung von Gründungs- und Dichtwandvarianten

Die hydraulische Variantenuntersuchung hatte zum Ziel, geeignete Gründungs- und Dichtwandlösungen anhand der variantenabhängigen Überleitungsmengen im regulären Betrieb der GWK (Mittel- und Niedrigwasser) sowie bei Hochwasser zu ermitteln. Folgende Gründungsvarianten wurden modelltechnisch untersucht:

- Flachgründung (keine Beeinflussung der Grundwasserdynamik)
- unvollkommene Dichtwandausführungen mit 1 m und 0,5 m Restmächtigkeit des Grundwasserleiters
- vollkommene Dichtwand mit Einbindung in das Festgestein

Als Flachgründung wurden für die hydraulischen Untersuchungen Gründungssysteme definiert, die die natürliche Grundwasserdynamik nur unwesentlich beeinflussen, also auch aufgelöste Pfahlwände u. ä., die unter technischen Aspekten zu den Tiefgründungen zählen, hydraulisch jedoch als „durchlässig“ gelten, da sie die natürliche Grundwasserkommunikation nicht nachteilig beeinflussen.

Mit der Variante Flachgründung wurde angestrebt, den Gründungsaufwand für die Hochwasserschutzwand gering zu halten und den Grundwasserabstrom bei normaler Wasserführung der Mulde nicht zu beeinflussen. Bei Hochwasser wären dann entsprechend höhere Wassermengen überzuleiten, um das Grundwasserpotenzial im Hinterland der Hochwasserschutzmauer auf Geländeneiveau zu begrenzen.

Mit den unvollkommenen Dichtwandausführungen wurde untersucht, inwieweit ein Potenzialabbau bei Hochwasser und damit eine Reduzierung der erforderlichen Überleitungsmenge zur Begrenzung des Grundwasserpotenzials im Stadtgebiet auf Geländeneiveau möglich wäre, ohne den Grundwasserabstrom bei normaler Wasserführung nachteilig zu beeinflussen. Hintergrund der Überlegung war, dass im regulären Betriebszustand der GWK bei Mittel- und Niedrigwasser nur geringe Wassermengen in Richtung Mulde abströmen. Diese könnten ggf. auch bei einem durch eine unvollkommene Dichtwand stark verminderten Abstromquerschnitt ohne signifikanten Aufstau abströmen. Hingegen stellt sich bei Hochwasser ein sehr großer Gradient in Richtung Stadtgebiet ein, sodass große Wassermengen in Richtung Stadtgebiet drücken. Mit Hilfe einer unvollkommenen Dichtwand soll der sich bei Hochwasser einstellende Gradient und damit auch die einströmenden und überzuleitenden Wassermengen reduziert werden.

Die Modellierung einer vollkommenen Dichtwand ermittelte die anfallenden Wassermengen bei vollständiger Absperrung des Grundwasserleiters bei Hochwasser. Die mit diesem Szenario ermittelten Wassermengen entsprechen der erhöhten Grundwasserneubildung im geschützten Stadtgebiet.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Grundwasserpotenziale im Stadtgebiet bei allen Varianten, die den Grundwasserleiter nicht vollständig absperrern, hauptsächlich durch die Mulderwasserstände bestimmt werden. Aufgrund der guten Durchlässigkeit des Grundwasserleiters resultieren daraus bei Hochwasser auch entsprechend hohe Überleitungsmengen, um einen ausreichenden Potenzialabbau im Hinterland zu erzielen. Die Grundwasserneubildung im Stadtgebiet ist gegenüber dem Muldeinfluss von weit untergeordneter Bedeutung für die resultierenden Grundwasserpotenziale und Überleitungsmengen.

Im Ergebnis war festzustellen, dass eine signifikante Reduzierung der überzuleitenden Wassermengen bei Hochwasser nur mit einer vollkommenen Dichtwand (ca. 12m tiefe Dichtwand, 188 m³/h Überleitungsmenge) realisiert werden kann. Die hydraulische Wirksamkeit unvollkommener Dichtwandlösungen (11,0 bzw. 11,5m tiefe Dichtwände, 4.750 bzw. 4.146 m³/h Überleitungsmenge) war hingegen sehr gering. Bei diesen Varianten wäre bei Hochwasser mehr als die 20-fache Wassermenge abzuleiten als dies bei einer vollkommenen Dichtwand im regulären Betrieb (Mittel- und Niedrigwasser) der Fall wäre.

Nachfolgende Tabelle stellt die Minderung der erforderlichen Überleitungsmengen von unvollkommenen und vollkommenen Dichtwandlösungen bei Hochwasser im Vergleich zum unbeeinflussten Grundwassersystem (Flachgründung) dar:

Tabelle 5-1 - Überleitungsmengen der Gründungs- und Dichtwandvarianten

Bez.	Beschreibung	maximale Menge bei HQ 100 [m ³ /h]	Abminderung gegenüber Flachgründung %
Gr03	Abbildung Hochwasserschutzmauer – 1 m Restmächtigkeit und HQ100 - Ermittlung Wassermenge bei Wst=GOK	4.750	14%
Gr04	Abbildung Totalabspernung GWL durch HW-Schutzmauer und HQ100 - Ermittlung der bei Mittelwasser überzuleitenden Wassermenge	188	97%
Gr05	Abbildung Hochwasserschutzmauer - 0,5 m Restmächtigkeit und HQ100 - Ermittlung Wassermenge bei Wst=GOK	4.146	25%
Gr06	Abbildung Hochwasserschutzmauer - Flachgründung und HQ100 - Ermittlung Wassermenge bei Wst=GOK	5.523	0%

5.2.2 technische Variantenuntersuchung von Anlagen zur Grundwasserkommunikation

Die mit dem geohydraulischen Modell ermittelten Überleitungsmengen bildeten die Grundlage der Untersuchung technischer Lösungen zur Grundwasserkommunikation. Untersucht wurden folgende Fassungs- und Überleitungssysteme:

- Vertikalbrunnengalerie
- Schlitzgräben mit Schachtfassung
- Dränage entlang der Hochwasserschutzmauer
- Horizontalfilterbrunnen im An- und Abstrom
- Horizontalfilterbrunnen im Anstrom mit Ableitung in die Mulde

Bei den durchgeführten Untersuchungen war zwischen zwei Betriebsweisen zu unterscheiden:

Tabelle 5-2 - Gegenüberstellung der Betriebsweisen bei unvollkommener und vollkommener Dichtwand

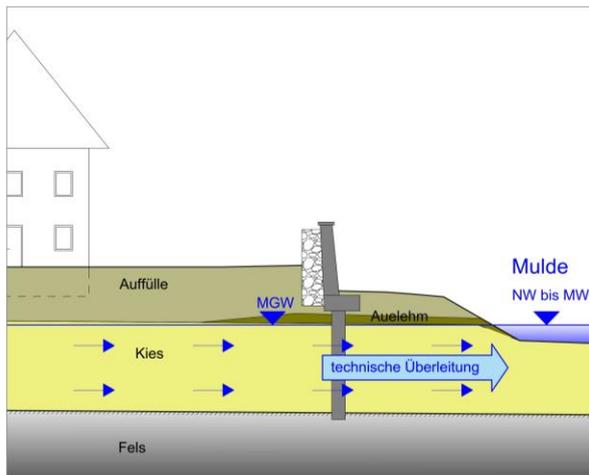
	Betriebsweise bei Flachgründung und unvollkommener Dichtwand	Betriebsweise bei vollkommener Dichtwand
Hochwasser	<ul style="list-style-type: none"> • aktive Hebung • große Wassermenge (>4.000 m³/s) 	<ul style="list-style-type: none"> • Verschluss der GWK • keine Hebung (Grundwassermenge von 188 m³/h verursacht keine Gefährdung während des Hochwassers)
Mittel- und Niedrigwasser	<ul style="list-style-type: none"> • ungehinderter Grundwasserabstrom, keine Hebung 	<ul style="list-style-type: none"> • Überleitung mit GWK unter Ausnutzung des vorhandenen Potenzialgefälles

Das heißt, dass zwei grundsätzlich verschiedene Lösungsansätze für die GWK in Frage kamen:

Fall 1:

- vollständige Absperrung des Grundwasserleiters mit dauerhafter, technischer Überleitung geringer Wassermengen (aktiv oder passiv) im regulären Betrieb bei Mittel- und Niedrigwasser und Unterbrechung der Überleitung bei Hochwasser

technische GW-Überleitung bei NW bis MW



Unterbrechung der GW-Überleitung bei Hochwasser

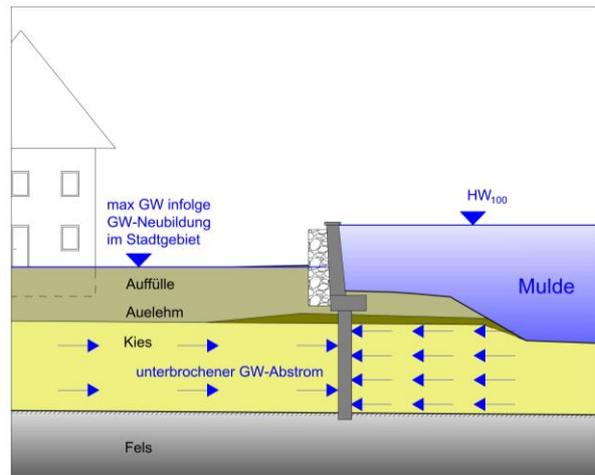
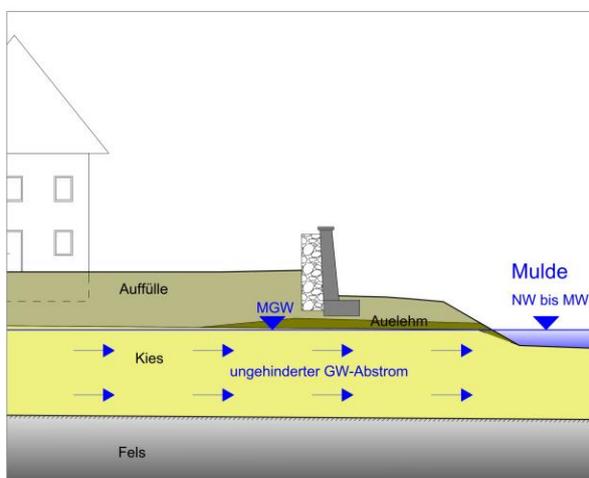


Abbildung 5-3 - hydraulisches Regime bei vollkommener Dichtwand

Fall 2:

- unvollkommene Absperrung des Grundwasserleiters oder Flachgründung mit freiem Grundwasserabstrom bei Mittel- und Niedrigwasser und technischer Überleitung (aktiver Hebung) großer Wassermengen bei Hochwasser

ungehinderter GW-Abstrom bei NW bis MW



Potenzialbegrenzung bei HW durch aktive Hebung großer Wassermengen

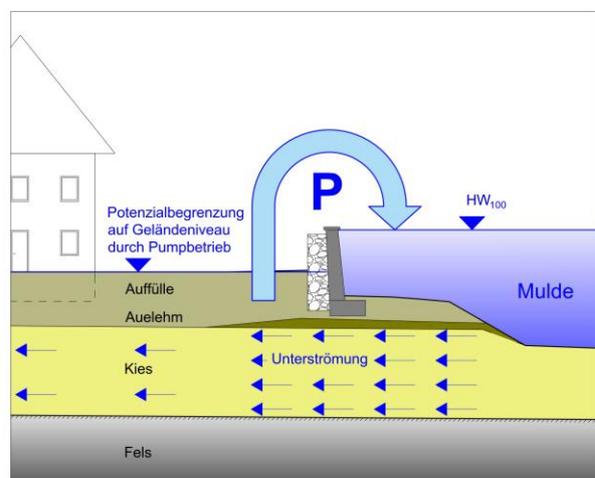


Abbildung 5-4 - hydraulisches Regime bei unvollkommener Dichtwand und Flachgründung

Für den ersten Fall waren also Anlagen zu konzipieren, die im Dauerbetrieb geringe Wassermengen ohne signifikanten Aufstau fassen und nach Möglichkeit ohne aktive Hebung in die Mulde ableiten würden. Im zweiten Fall mussten hingegen Anlagen konzipiert werden, die nur selten und kurzzeitig während Hochwasserabflüssen betrieben würden, dafür aber große Wassermengen aktiv überleiten müssten.

5.2.2.1 Vertikalbrunnengalerie

Eine Vertikalbrunnengalerie als Grundwasserkommunikationsanlage erfordert die aktive Hebung der Überleitungsmengen oder ein System kommunizierender Gefäße zwischen mehreren Vertikalfilterbrunnen mit sehr tief liegender Verbindungsleitung und einer gebündelten Überleitung in die Mulde aus mehreren Sammelschächten heraus. Aufgrund der örtlichen Bebauungssituation kann eine Brunnengalerie nicht im unmittelbaren Verlauf der Hochwasserschutzwand errichtet werden, sondern muss je nach örtlicher Gegebenheit bis zu 65m im Hinterland errichtet werden. In Verbindung mit Flachgründung der Hochwasserschutzmauer oder unvollkommenen Dichtwandausführungen kann mit einer solchen Brunnenanordnung das bei Hochwasserführung ins Binnenland drückende Grundwasser nicht flächendeckend auf Geländeniveau begrenzt werden. Das vorgegebene Schutzziel wäre damit nicht erreichbar.

Auch in Verbindung mit einer vollkommenen Dichtwand wären trotz der wesentlich geringeren Überleitungsmenge zur Einhaltung der zulässigen Aufstaubetrages von 0,30m am ungünstigsten Punkt im Stadtgebiet eine Vielzahl von Vertikalbrunnen erforderlich, um den Grundwasseranstrom ohne aktive Hebung überzuleiten, da bei Ausnutzung des vorhandenen Potenzialgefälles nur sehr geringe Absenkbeträge realisierbar sind. Daraus resultiert eine hohe Dichte an Vertikalbrunnen, um das vorgegebene Schutzziel nicht zu verletzen. Dies führt in diesem Anwendungsfall zur Unwirtschaftlichkeit von Vertikalbrunnen.

Die Variante zur Grundwasserkommunikation in Verbindung mit Vertikalfilterbrunnen wurde deswegen nicht weiterverfolgt.

5.2.2.2 Schlitzgräben mit Schachtfassung

Auch Schlitzgräben als Fassungselement können aufgrund der örtlichen Situation nicht unmittelbar im Verlauf der Hochwasserschutzanlage errichtet werden, sondern müssen ebenfalls in einer Entfernung von bis zu 65m binnenseitig dieser, entlang öffentlicher Verkehrswege angelegt werden. Um eine sichere hydraulische Fassung des Grundwasserleiters zu erreichen, müssen Schlitzgräben zudem in großen Tiefen liegen. Die Herstellung wäre dementsprechend mit einem sehr hohen technologischen Aufwand verbunden.

Ähnlich der Vertikalbrunnengalerie kann mit der vom Verlauf der Hochwasserschutzanlage entfernten Anordnung der Schlitzgräben das bei Flachgründung und unvollkommenen Dichtwandausführungen bei Hochwasser ins Binnenland strömende Grundwasser nicht flächendeckend auf Geländeniveau begrenzt werden. Das vorgegebene Schutzziel ist auch mit dieser Variante nicht erreichbar.

Auch in Verbindung mit einer vollkommenen Dichtwand haben sich Schlitzgräben als unwirtschaftlich zur Fassung des Grundwasseranstroms erwiesen. Aufgrund der Bebauungssituation müsste die Anordnung von Schlitzgräben überwiegend im Verlauf vorhandener Straßen erfolgen. In diesen befinden sich

jedoch eine Vielzahl von Ver- und Entsorgungsleitungen sowie Hauptsammler und Bewirtschaftungsanlagen der Abwasserentsorgung. Die Schlitzgräben müssten zudem für eine sichere Ankopplung und Fassung des Grundwasserleiters in Tiefen von durchschnittlich 6m, maximal bis zu 9m unter Gelände verlegt werden. Im Grabenverlauf wären weiterhin 7 Sammelschächte mit Ableitung zur Mulde erforderlich, um den für die Fassung erforderlichen Wasserstand in Grabenlängsrichtung nicht zu überschreiten.

Die Herstellung einer solchen Anlage wäre insbesondere aufgrund der zahlreichen Konflikte mit bestehenden Ver- und Entsorgungsleitungen äußerst aufwendig und kostenintensiv. Sie hat sich als unwirtschaftlich gegenüber anderen Lösungen erwiesen und wurde nicht weiterverfolgt.

5.2.2.3 Dränage entlang der Hochwasserschutzmauer

Aufgrund der hydraulischen Nachteile von Fassungssystemen, die in einiger Entfernung im Hinterland der Hochwasserschutzanlage errichtet werden, wurde eine weitere Variante mit Anordnung des Fassungselements im unmittelbaren Verlauf der Hochwasserschutzmauer untersucht. Vorteil dieser Variante ist die aus hydraulischer Sicht günstige Anordnung unmittelbar entlang der Hochwasserschutzwand, die eine effektive Fassung des Grundwasseranstroms am Ort des größten Aufstaus ermöglicht.

Die Variante sieht die Errichtung einer Dränageleitung im Gründungsbereich der Hochwasserschutzmauer vor. Da die Hochwasserschutzmauer über weite Strecken unmittelbar vor vorhandener Bebauung errichtet wird, müssten Wartungsschächte und Schöpfwerke wasserseitig der Hochwasserschutzmauer angeordnet werden, um die Zugänglichkeit zu gewährleisten. Diese müssten druckwasserdicht ausgeführt werden, damit bei Hochwasser kein Flusswasser in die Dränage eindringen kann. Die Schächte und Anlagen wären dadurch bei Hochwasser nicht erreichbar. Aufgrund der hohen Anzahl erforderlicher Schächte resultiert aus diesem Umstand ein nicht vertretbares Risiko für die Betriebssicherheit der Anlage. Dieser Lösungsansatz wurde deswegen nicht weiterverfolgt.

5.2.2.4 Horizontalfilterbrunnen

Horizontalfilterbrunnen sind vor allem in der Wassergewinnung, der Grundwasserregulierung und der Grundwasserdükerung verbreitete Fassungssysteme.

Horizontalfilterbrunnen ermöglichen eine Grundwasserfassung mit großem Fassungsvermögen und großer Reichweite bei gleichzeitig geringen Absenkraten (aktive Förderung) bzw. geringen Aufstaueträgen (passive Grundwasserüberleitung).

In Verbindung mit einer vollkommenen Dichtwand bestand so die Möglichkeit gänzlich auf eine aktive Hebung zu verzichten, sofern

1. die Grundwasserkommunikation im regulären Betriebszustand (Niedrig- und Mittelwasser) unter Ausnutzung des vorhandenen Potenzialgefälles in Richtung Mulde erfolgt und
2. die erforderliche Verschlusszeit der GWK bei Hochwasser endet, bevor das Grundwasser im geschützten Stadtgebiet infolge der Grundwasserneubildung auf Geländeneiveau ansteigt.

(siehe dazu auch Abschnitt 6 - Wirkungsweise der Grundwasserkommunikation)

Vor dem Hintergrund einer angestrebten Grundwasserkommunikation ohne aktive Hebung unter Ausnutzung des vorhandenen Potenzialgefälles bieten sich Horizontalfilterbrunnen deswegen besonders an.

Sie verfügen über einen zentralen Sammelschacht, von dem aus die horizontal liegenden Filterstrecken sternförmig in den Grundwasserleiter vorgetrieben werden. In der Praxis werden bei günstigen Bau- grundverhältnissen Stranglängen von bis zu 60m erreicht. So lassen sich auch Fassungsanlagen mit großer Längenausdehnung von wenigen Sammelschächten aus errichten. Mit der sternförmigen Stranganordnung wird darüber hinaus eine große Flächenwirksamkeit erzielt. Diese Eigenschaften von Horizontalfilterbrunnen ließen eine gute Eignung des Systems für die Grundwasserkommunikation in Grimma erwarten und waren der Grund dafür Horizontalfilterbrunnen in die Untersuchung aufzunehmen.

Horizontalfilterbrunnen können sowohl zur Fassung als auch zur Infiltration genutzt werden. Bei Grundwasserkommunikationsanlagen im Zuge von Sperrbauwerken wie Tunneln oder Dichtwänden werden üblicherweise Horizontalfilter im Anstrom zur Fassung und im Abstrom zur Infiltration des Überleitungswassers zur Anwendung gebracht. Aufgrund der hohen Herstellungskosten für die Horizontalfilterstrecken wurde neben dieser klassischen Bauform mit Filterstrecken im An- und Abstrom für die Grundwasserkommunikation Grimma eine weitere Ausführungsvariante untersucht, in der die Filterstrecken nur im Anstrom zur Grundwasserfassung angeordnet wurden und die Ableitung des im Schacht gefassten Wassers mit einer Rohrleitung direkt in die Mulde erfolgt. Im Ergebnis dieser Untersuchung stellte sich heraus, dass die Ausführungsform mit Filtersträngen im Anstrom und einer Rohrleitung in die Mulde technisch und wirtschaftlich günstiger ist.

5.2.3 dynamische Kostenvergleichsrechnung

Für die in der Vorplanung untersuchten Varianten wurde zur Bewertung der Gesamtwirtschaftlichkeit eine dynamische Kostenvergleichsrechnung durchgeführt. Dabei wurde die Gesamtheit der im Verlauf der planmäßigen Lebensdauer zu erwartenden Investitions-, Re-Investitions, Betriebs- und Unterhaltungskosten unter Berücksichtigung verschiedener Zinsentwicklungen und des zeitlichen Anfallens verschiedener Kostenarten gegenübergestellt. So war es möglich, auch Systeme mit sehr unterschiedlicher Kostenstruktur miteinander zu vergleichen. Beispielsweise können Systeme mit aktiver Förderung unter Umständen geringere Investitions-, dafür aber hohe Betriebskosten verursachen, wohingegen passive Systeme hohe Investitions-, dafür jedoch geringe Betriebskosten verursachen können. Mit Hilfe der dynamischen Kostenvergleichsrechnung wird unter Berücksichtigung der Zinsentwicklung und des zeitlichen Anfallens projektbezogener Kosten ein Projektkostenbarwert ermittelt, mit dessen Hilfe auch Anlagen mit sehr unterschiedlichen Kostenstrukturen wirtschaftlich miteinander verglichen werden können.

Abbildung 5-5 zeigt die Kostenbarwertentwicklung der untersuchten Varianten. Es stellte sich heraus, dass die Variante 4-2 – vollkommene Dichtwand mit Horizontalfilterbrunnen im Anstrom und Rohrleitung in die Mulde, trotz höherer Investitionskosten über die Anlagenlebensdauer am wirtschaftlichsten abschneidet. Hauptursache dafür ist, dass mit diesem System vollständig auf eine aktive Hebung der Überleitungsmengen verzichtet werden kann.

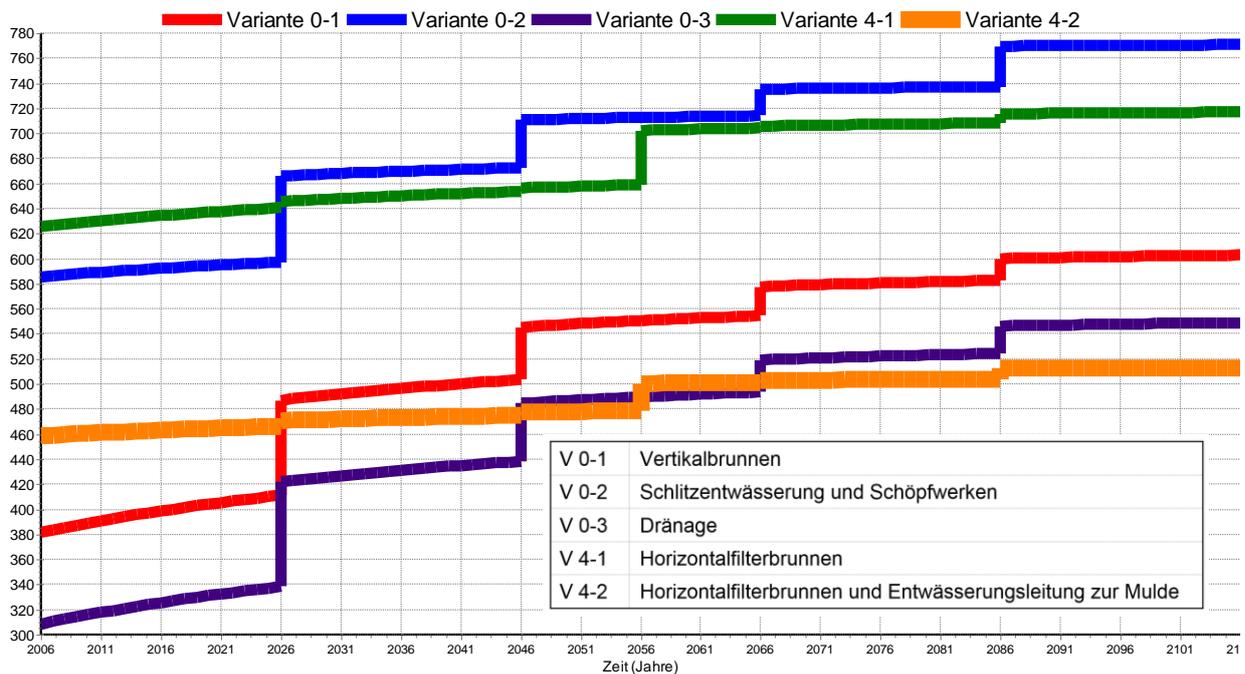
Kostenbarwertentwicklung

Abbildung 5-5 - Kostenbarwertentwicklung

5.3 gewählte Lösung

Im Ergebnis der Variantenuntersuchung wurde folgendes System für die Grundwasserkommunikation ausgewählt:

Element der GWK	gewählte technische Lösung
Dichtwand	2 km vollkommene Dichtwand als überschnittene Bohrpfahlwand; dient gleichzeitig als Gründung der Hochwasserschutzmauer
Fassung des Grundwasseranstroms	38 Horizontalfilterstränge mit 40m Länge, vorgetrieben aus 8 Sammelschächten mit je 4 bis 6 Filtersträngen entlang der Dichtwand
Sammelschächte	8 Sammelschächte mit 3,2m Innendurchmesser, im Mittel 10-12m tief ausgestattet mit allen erforderlichen Armaturen zur Regulierung der Grundwasserkommunikation und zum Verschluss der Anlage bei Hochwasser
Ableitung des gefassten Grundwassers	doppelt rückstaugesicherte Rohrableitung DN 200, hergestellt im gesteuerten Rohrvortrieb von den 8 Fassungschächten in die Mulde
Auslaufbauwerke	1 Auslaufbauwerke je Sammelschacht / Ableitungsstrang in der Mulde Ausleitung des gefassten Grundwassers 30cm unter MW der Mulde am jeweiligen Einleitpunkt

6. WIRKUNGSWEISE DER GRUNDWASSERKOMMUNIKATION

6.1 hydraulische Wirkungsweise

Hinsichtlich der hydraulischen Funktion sind zwei Betriebszustände zu unterscheiden.

Im Normalbetrieb (Mittel- und Niedrigwasserführung der Mulde) fasst die Anlage das binnenseitig der Dichtwand entstehende Grundwasser und leitet dieses von den Sammelschächten über die Rohrableitungen in die Mulde.

Bei einsetzendem Hochwasser wird die Anlage selbsttätig verschlossen und verhindert so ein Eindringen von Muldewasser über das System in das Stadtgebiet.

Die beiden Betriebszustände werden nachfolgend näher beschrieben.

6.1.1 Normalbetrieb (Mittel- und Niedrigwasser)

Die geplante GWK besteht aus 8 entlang der Hochwasserschutzmauer errichteten Horizontalfilterbrunnen mit je 4 bis 6 Filterstränge von 40m Länge. Das anströmende Grundwasser wird in den Filtersträngen gefasst und dem Sammelschacht zugeleitet. Von diesem fließt das Wasser über die Ableitungsstränge in die Mulde.

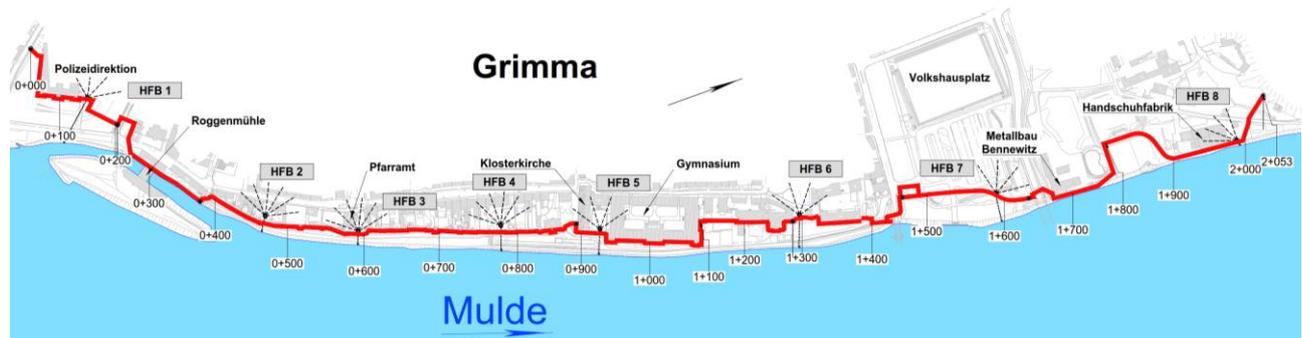


Abbildung 6-1 – Übersichtslageplan der Schachtstandorte

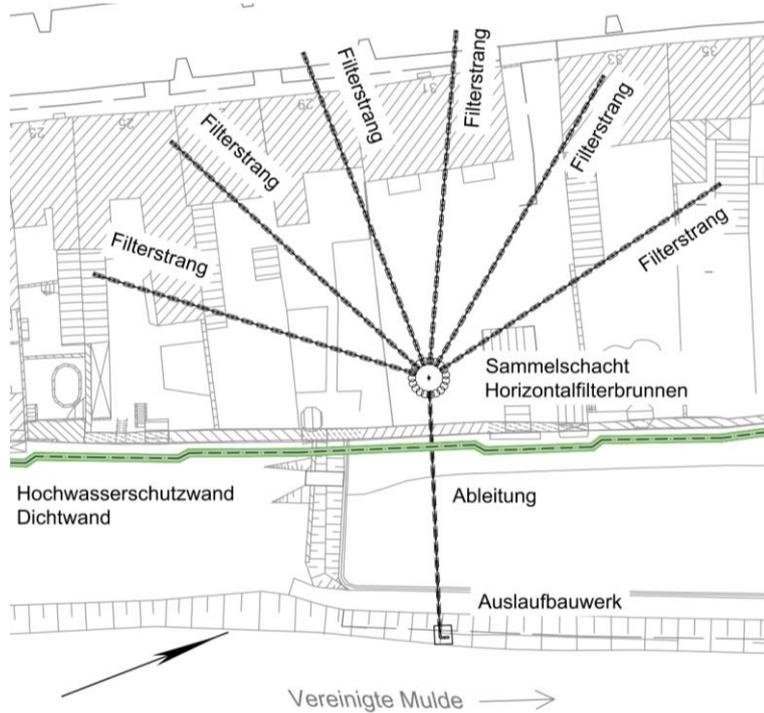


Abbildung 6-2 - Lageplanarstellung eines Horizontalfilterbrunnens

Der unbeeinflusste Grundwasserabstrom erfolgt vom Stadtgebiet in die Mulde als natürlicher Vorflut. Der vorhandene Gradient beträgt bei mittleren Grundwasserverhältnissen ca. 0,7% in Richtung Mulde. Zu den Modellrändern hin steigt der Gradient weiter an.

Für den normalen Betriebszustand bestand die Vorgabe, dass durch die Errichtung der Anlage an keiner Stelle im Stadtgebiet ein Aufstau von mehr als 0,30m gegenüber den bestehenden Grundwasserverhältnissen eintreten darf. Fassung, Sammlung und Überleitung müssen deswegen mit sehr geringen hydraulischen Verlusten unter Ausnutzung des vorhandenen Gradienten und des zulässigen Aufstaus erfolgen, damit auf eine aktive Hebung verzichtet werden kann. Der maximale Aufstau ist dabei jeweils im halben Abstand zwischen zwei Standorten der Sammelschächte zu erwarten.

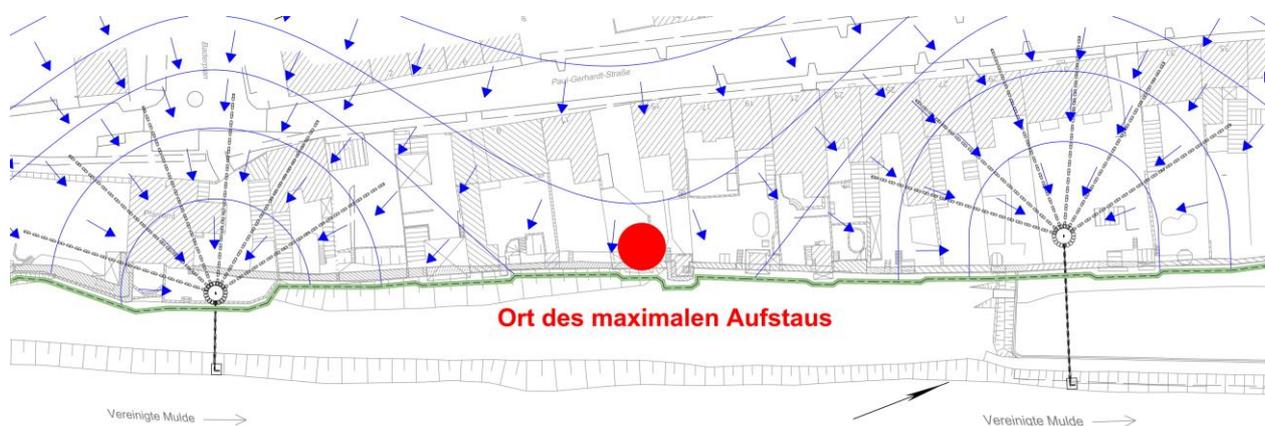


Abbildung 6-3 – Schema von Isolinien und Strömungsbild an benachbarten Horizontalfilterbrunnen

6.1.2 Funktionsweise bei Hochwasser

Die Sammelschächte sind mit redundanten Rückstausicherungen ausgestattet. Diese bestehen aus einer selbsttätigen Rückschlagklappe sowie einem sowohl manuell als auch per Fernüberwachung steuerbaren Absperrschieber. Die Rückschlagklappen haben die Aufgabe, das System zu verschließen, sobald der Muldewasserspiegel über den Schachtwasserstand ansteigt, wie dies bei einer anlaufenden Hochwasserwelle der Fall ist. Sobald der Muldewasserspiegel unter den Schachtwasserstand fällt, geben die Rückschlagklappen den Abfluss in Richtung Mulde wieder frei. Dies ist bei ablaufender Hochwasserwelle der Fall. Die Absperrschieber fungieren als separates Verschlussorgan für den Fall, dass die Rückschlagklappen versagen. Durch Fernüberwachung des Wasserstands im Schacht und außerhalb des Schachts sowie des Muldewasserstands ist eine lückenlose Funktionsüberwachung möglich. Ein Versagen einer Rückschlagklappe kann somit fernüberwacht festgestellt und das Verschließen des Schiebers eingeleitet werden.

Während der Dauer eines Hochwasserereignisses, d.h. zwischen Verschluss und Öffnung der Anlage ist ein Abfluss in Richtung Mulde nicht möglich. Das Grundwasser im Stadtgebiet steigt infolge der Grundwasserneubildung an.

6.1.3 Instationäre hydraulische Modellierung und modellgestützte Nachweisführung der Wirksamkeit der Vorzugslösung

Die Nachweisführung der Einhaltung des vorgegebenen Schutzziels erfolgte mit Hilfe des geohydraulischen Modells. Dafür wurden Sammelschächte und Filterstränge lagegetreu im Modell abgebildet und die resultierende Grundwasseroberfläche im Stadtgebiet bei erhöhter Grundwasserneubildung modelliert. Durch Gegenüberstellung dieses Planzustands mit dem anhand von Messwerten kalibrierten Begutachtungswasserstand wurde ein Differenzenmodell gebildet und nachgewiesen, dass mit der konzipierten Anlage das einzuhaltende Schutzziel erreicht wird und der anlagenverursachte Aufstau flächendeckend kleiner als 0,30m ist.

6.2 Monitoring und Anlagenüberwachung

Zur Überwachung der Grundwasserstandsentwicklung im Stadtgebiet und zur Funktionskontrolle der GWK wurde ein System aus Grundwassermessstellen im Stadtgebiet und Messeinrichtungen zur Anlagenüberwachung installiert.

6.2.1 Grund- und Oberflächenwassermonitoring

Die Grundwasserstände im Stadtgebiet werden mit Hilfe von 15 Grundwassermessstellen überwacht, die mit Datenloggern ausgestattet sind und die Grundwasserstände in regelmäßigen Zeitintervallen aufzeichnen. Darüber hinaus sind auch zwei Muldepegel in dieses Messsystem integriert.

6.2.2 Anlagenüberwachung

Jeder Schachtstandort wurde mit verschiedenen Messinstrumenten ausgestattet um die Funktionalität der jeweiligen Anlage zu überwachen. Die Funktionsüberwachung erfolgt anhand der Beobachtung von Wasserständen bzw. Potenzialen außerhalb des Sammelschachts, im Sammelschacht sowie des Muldepotenzials am Schachtstandort. Dazu wurde an jedem Standort ein Grundwasserpegel außerhalb des Schachts errichtet und mit Datenlogger ausgestattet, der Grundwasserstand bzw. das Grundwasserpotenzial überwacht. Auch im Sammelschacht wurde ein Pegelrohr installiert und mit einem Datenlogger ausgestattet, um die Wasserstände im Schacht zu überwachen. Eine hydrostatische Pegelsonde im Ableitungsstang (muldeseitig der Rückstausicherungen) überwacht das Muldepotenzial am Schachtstandort. Zusätzlich kontrolliert ein induktiver Durchflussmesser die Fließrichtung im Ableitungsstrang.

Da das System bei steigenden Muldepegeln automatisiert selbsttätig verschlossen werden soll, ist eine Fließrichtung im Ableitungsstrang ausschließlich in Richtung Mulde zulässig. Eine Umkehr der Fließrichtung kann nur bei Versagen der Rückstausicherungen eintreten. Dies wird mit Hilfe der Fließrichtungskontrolle überwacht.

Mit Hilfe der überwachten Wasserstände und Potenziale lassen sich Funktionalität und Alterung der einzelnen Brunnenstandorte zuverlässig überwachen. Steigt die Potentialdifferenz zwischen Schachtaußen- und -innenwasserstand im normalen Betriebszustand im Laufe der Zeit an, lassen sich daraus Rückschlüsse auf das Alterungsverhalten des jeweiligen Brunnens und auf den Verschleiß der Einbauarmaturen (Erhöhung der hydraulischen Verluste) ziehen. Es können dann entsprechende Wartungsarbeiten und / oder eine Regeneration der Filterstränge in die Wege geleitet werden.

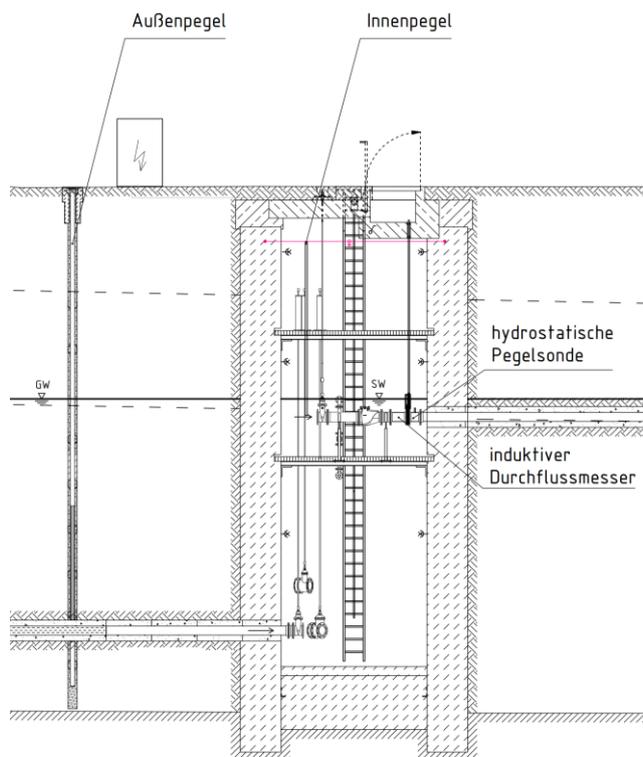


Abbildung 6-4 - schematische Darstellung der Überwachungseinrichtungen

7. WICHTIGE AUSFÜHRUNGSDetails

7.1 Konstruktive Gestaltung

Hinweis:

Die „Herstellung und Ausstattung der Horizontalfilterbrunnen“ sowie die „Herstellung der Horizontalfilterstränge“ werden in separaten Fachberichten behandelt. Die nachfolgenden Ausführungen zur konstruktiven Gestaltung der Anlage sollen deswegen nur einen allgemeinen konstruktiven Überblick zum besseren Verständnis des Gesamtsystems geben.

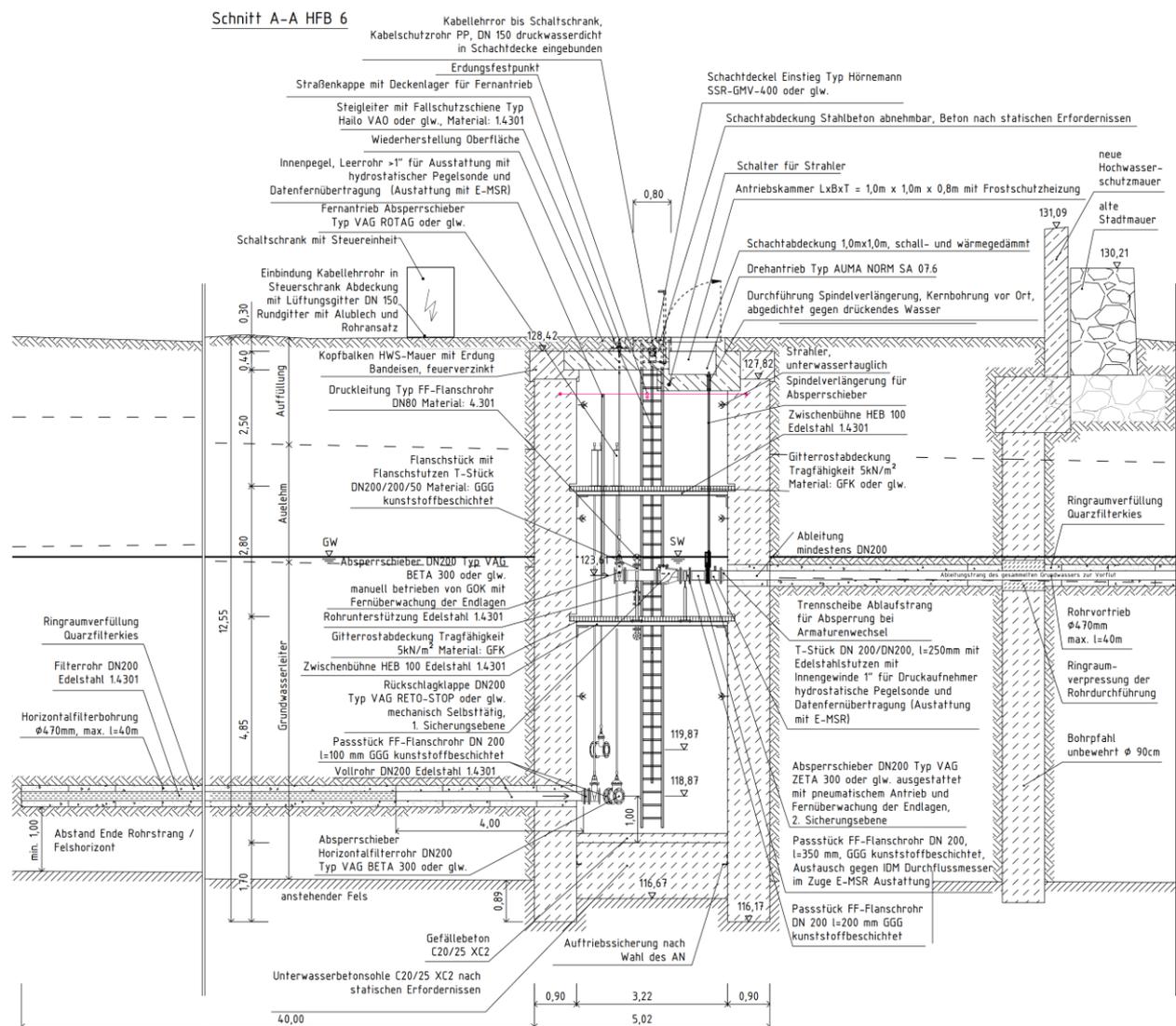


Abbildung 7-1 - konstruktive Gestaltung eines HFB am Beispiel des HFB 6 (Schnittdarstellung)

Der konstruktive Aufbau der Horizontalfilterbrunnen ist in Abbildung 7-1 dargestellt. Die Brunnenbauwerke bestehen aus 4 wesentlichen Bestandteilen:

- 1.) Schachtbauwerk
- 2.) Filterstränge
- 3.) Ableitung
- 4.) Auslaufbauwerk

7.1.1 Schachtbauwerk

Die Schachtbauwerke der Horizontalfilterbrunnen wurden mit Ortbetonbohrpfählen errichtet. Die Entscheidung für Bohrpfahlschächte fiel im Wesentlichen aus zwei Gründen. Zum einen wurde auch die Untergrunddichtwand als überschnittene Bohrpfahlwand errichtet, wodurch Synergien bei der Bauausführung genutzt werden konnten. Zum anderen erforderte die planmäßige Tiefenlage der Filterstrecken ein Abteufen der Schachtbauwerke bis in den Festgesteinshorizont. Ein Abteufen von Senkschächten bis in die erforderliche Tiefe wäre aufgrund des anzutreffenden Festgesteins und des darüberliegenden, dicht gelagerten Grundwasserleiters mit eingelagerten Steinen und Blöcken wenn überhaupt, nur mit sehr hohem technischen Aufwand möglich. Diese geologischen Gegebenheiten ließen sich mit Bohrpfählen besser beherrschen als mit anderen Verfahren der Schachtherstellung.

Nach der Herstellung der Schachthülle aus überschnittenen Bohrpfählen und dem Aushub unter Wasserauflast erfolgte der Einbau einer auftriebssicheren Unterwasserbetonsohle. Die dafür erforderlichen Auftriebssicherungen wurden vor der Betonage von einem Ingenieurtaucher an der Bohrpfahlwand angebracht sowie Schachtsohle und Pfahlwand gereinigt.

Auf die Unterwasserbetonsohle wurde anschließend ein Gefällebeton aufgebracht und ein Pumpensumpf in die Unterwasserbetonsohle eingebaut.

Auf die Bohrpfahlschächte wurden Kopfbalken in klassischer Ortbetonbauweise aufgebracht. Diese nehmen die Schachtdeckel auf, welche als Fertigteile montiert wurden.

Nach der Herstellung der Filterstrecken und der Ableitung wurde die technische Ausrüstung sowie zwei Arbeitsbühnen in den Schacht eingebaut.

7.1.2 Filterstränge

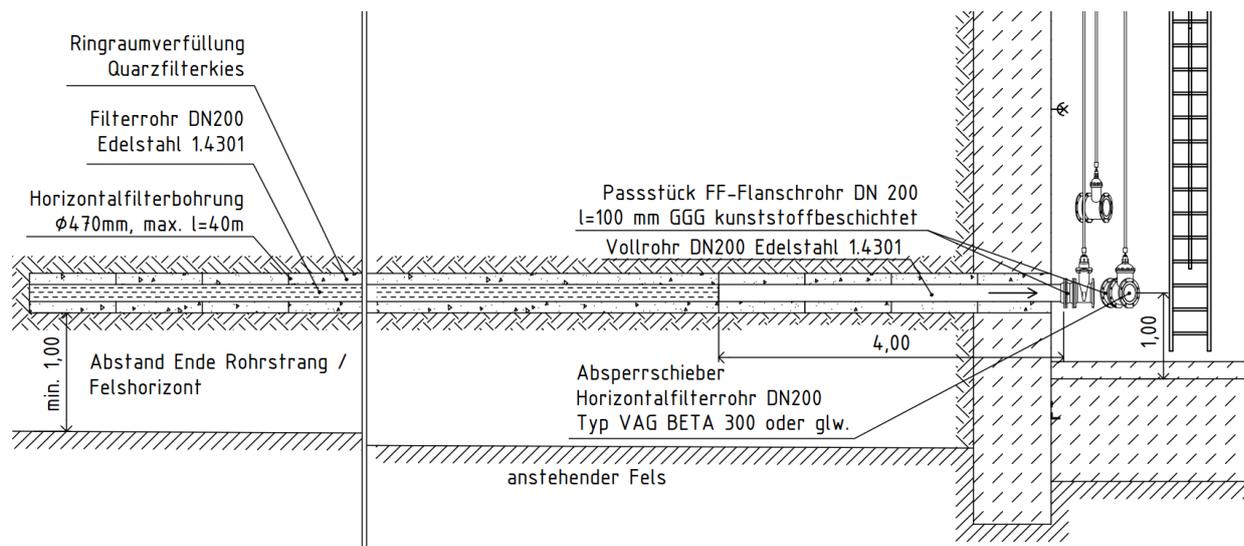


Abbildung 7-2 – Schnittdarstellung Filterstrangaufbau

Die Horizontalfilterstrecken wurden im PREUSSAG-Kiesmantel Verfahren hergestellt. Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein verrohrtes Pressbohrverfahren mit verloraener Bohrspitze. Die Vortriebsrohre (Verrohrung) werden mit einer Presseneinrichtung im Schacht auf die vorgesehene Stranglänge eingepresst. Der dabei am Bohrkopf zu lösende Boden wird durch den hydrostatischen Druck in den Bohrkopf mit Eintrittsöffnungen eingespült und über ein Rücklaufgestänge in den Schacht gefördert, von wo aus er dann entsorgt werden kann. Anhand des Rückflussgutes wird die Korngrößenverteilung des Umgebungsbodens entlang des Vortriebshorizontes bestimmt. Anhand dieser werden Schlitzweiten der Filterrohre und Korngrößen des Filterkieses bestimmt, um einen dauerhaft filterstabilen Aufbau des Fassungselements zu gewährleisten.

Nach dem Einbringen der Vortriebsrohre wird dann das Rücklaufgestänge ausgebaut und die Filter- und Vollrohre eingebaut. Der Ringraum zwischen Vortriebs- und Filterrohr wird dabei mit dem filterstabil auf den umgebenden Boden und die Schlitzweiten des Filterrohres abgestimmten Filterkies verfüllt.

Zur Anwendung kamen Edelstahlschlitzbrückenfilter für die Filterrohre und Quarzkies als Filtermaterial. Die Durchdringungsstelle im Schacht wurde mit Kernbohrungen hergestellt und mit vorgefertigten Schachtwanddurchführungen abgedichtet. An die Schachtwanddurchführungen wurde für jeden Filterstrang ein Absperrschieber montiert. Dieser ist von der oberen, im Normalbetrieb trockenen, Arbeitsbühne aus bedienbar. So lassen sich die Stränge einzeln oder gemeinsam verschließen, wodurch Wartungs- und Unterhaltungsarbeiten an den Strängen sowie das Lenzpumpen des Schachtes ermöglicht werden.

7.1.3 Ableitungen und Auslaufbauwerke

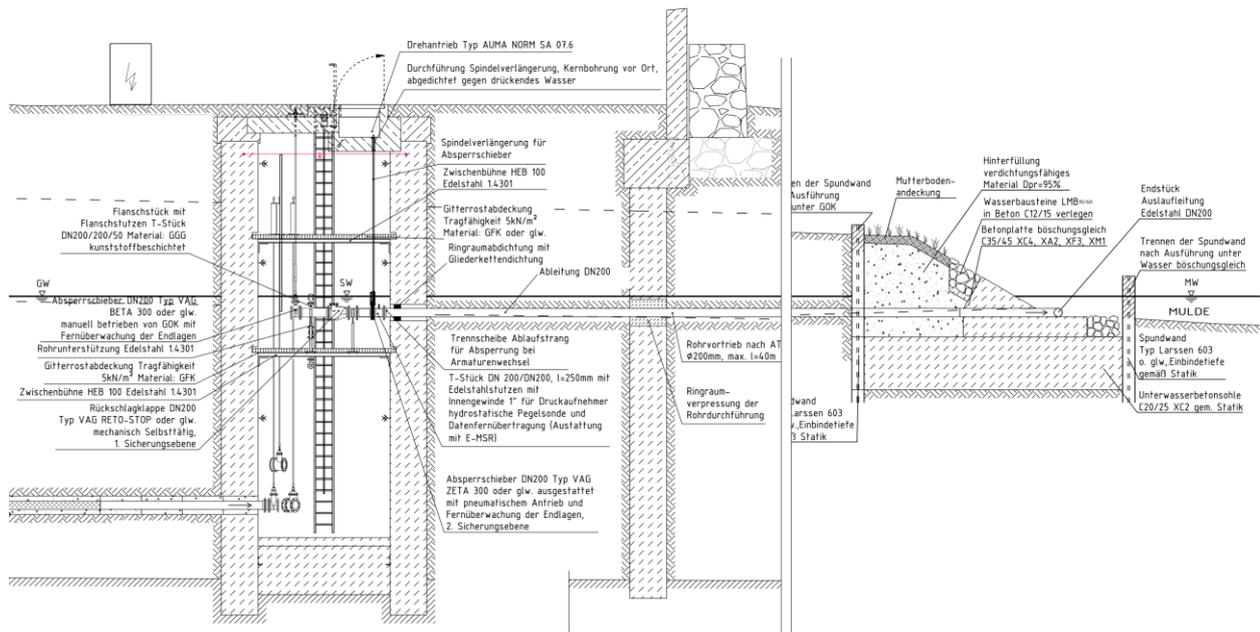


Abbildung 7-3 – Schnittdarstellung Ableitung und Auslaufbauwerk

Die Ableitungen aus den Schächten haben die Aufgabe, das mit den Filtersträngen gefasste und in den Schächten gesammelte Grundwasser geordnet und rückstaugesichert durch die Dichtwand in die Mulde abzuleiten. Um diese Aufgabe zu erfüllen, waren die Ableitungsstränge 30 cm unterhalb des Mittelwasserstandes der Mulde an der jeweiligen Einleitstelle anzuordnen. Der Einbau erfolgte daher zwangsläufig unterhalb des Grundwasserspiegels. Die resultierende Tiefe der Ableitungsstränge liegt zwischen 2,5 und 4,5m unter GOK.

Im Sammelschacht tritt das Grundwasser in das offene Ende der Ableitung ein und strömt unter Ausnutzung des vorhandenen hydraulischen Gradienten in Richtung Mulde. Dort tritt es über einen Auslaufkorb unterhalb des Mittelwasserstandes aus.

Eine Umkehr der Fließrichtung bei Hochwasser wird automatisch durch eine selbsttätige Rückschlagklappe verhindert. Im Versagensfall der Rückschlagklappe kann ein zusätzlicher Absperrschieber per Fernüberwachung verschlossen werden. Mit einem weiteren Absperrschieber am schachtseitigen Ende der Ableitung kann diese gegenüber dem Schacht abgesperrt werden. So ist es möglich, den Schacht mit einer an die Ableitung angeschlossenen Wartungspumpe über den Ableitungsstrang zu entleeren.

Der Ableitungsstrang wurde im gesteuerten Rohrvortrieb hergestellt. Ein wasserdichter Spundwandkasten mit auftriebssicherer Unterwasserbetonsohle diente dabei sowohl als Startbaugrube für den Rohrvortrieb als auch als Baugrube für die Errichtung des Auslaufbauwerks. Sofern die Dichtwand nicht unmittelbar an den Schacht grenzte, sondern mit dem Rohrvortrieb zu durchdringen war, wurden an der Pfahlwand zusätzliche Zwischenbaugruben zur Herstellung der Durchdringung mittels Kernbohrung errichtet.

8. TECHNISCHE DATEN DER REALISIERTEN LÖSUNG

Tabelle 8-1 gibt eine Übersicht über die technischen Daten der realisierten Grundwasserkommunikationsanlage.

Tabelle 8-1 - technische Daten der Grundwasserkommunikationsanlage

	HFB 1	HFB 2	HFB 3	HFB 4	HFB 5	HFB 6	HFB 7	HFB 8	Summe	Mittel
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Schachttiefe	8,9	9,5	9,4	10,3	10,5	10,8	9,8	9,0		9,8
Schachtdurchmesser	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2		3,2
Anzahl Filterstränge	5	8	6	6	4	7	6	4	46	
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	1455	
Tiefe der Ableitung	3,7	2,6	2,5	3,4	3,8	4,4	3,6	3,1		3,4
Länge der Ableitung	60,0	18,0	15,0	30,0	30,0	38,0	37,0	4,0	232	29,0

Verfasser:



CDM Smith Consult GmbH
 Weißenfeller Straße 65 H
 04229 Leipzig

August 2017