

# **Planfeststellungsverfahren**

**für den**  
**Ersatz der beiden Kleinen Schleusenammern und**  
**Anpassung der Vorhäfen in Kiel-Holtenau**

**VORHABENTRÄGER:**

**WASSERSTRASSEN- UND SCHIFFFAHRTSAMT KIEL-HOLTENAU**

**SCHLEUSENINSEL 2**

**24159 KIEL-HOLTENAU**



## **5.4**

# **Hydrogeologie**

# **BAW- Gutachterliche**

# **Stellungnahme**

Bundesanstalt für Wasserbau · Postfach 21 02 53 · 76152 Karlsruhe

WSA Kiel-Holtenau  
Fachbereich Investitionen am NOK  
Schleuseninsel 2

24159 Kiel

Ansprechpartner/in:

Dr.-Ing. Thomas Nuber

Geschäftszeichen:

A 395 501 10387

Telefon: +49 (0)40 81908-395

Telefax: +49 (0)40 81908-373

thomas.nuber@baw.de

www.baw.de

Ihr Zeichen:

Datum: 24.01.18

## **Kleine Schleuse Kiel-Holtenau Gutachterliche Stellungnahme zu den Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Grundwasserverhältnisse**

- [1] Festsetzung des Untersuchungsrahmens nach § 5 UVPG für den Ersatz der beiden kleinen Schleusenkammern und die Anpassung der Vorhäfen in Kiel-Holtenau, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt Standort Kiel – Planfeststellungsbehörde – vom 12.12.2016
- [2] Gewerbegebiet Kiel-Wik – Zusammenfassende Bewertung der Altlastsituation, BWS GmbH, Hamburg, 21.12.2009
- [3] Hydrogeologie von Schleswig-Holstein, Alfred Johannsen. Geologisches Jahrbuch Reihe C Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, Heft 28. Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und die Geologischen Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover 1980
- [4] Geotechnischer Untersuchungsbericht, Neubau eines Leitungsdükers, Schleusenanlage Kiel-Holtenau, BAW-Nr. A 395 501 10292 vom 6.1.2011
- [5] Geohydraulische Untersuchungen im Rahmen einer Machbarkeitsstudie, IGB 14-2364 vom 21.5.2015
- [6] Scoping-Unterlage Projekt: Ersatz der beiden Kleinen Schleusenkammern und Anpassung der Vorhäfen in Kiel-Holtenau, WSA Kiel-Holtenau vom Oktober 2016
- [7] Baugrundgutachten über die Hinterfüllung der Kammerwände, BAW 853375 vom 3.5.1990
- [8] Bericht über Bauwerksmessungen während einer Probeabsenkung der Alten Schleuse Kiel-Holtenau, BAW vom 16.1.1990

- [9] Daten zur Probeabsenkung 2013 Südkammer und Nordkammer vom WSA Kiel-Holtenau.
- [10] Dokumentation und fachliche Bewertung der Betriebsdaten des Wasserwerks Kiel-Wik, Geo-System GmbH, Kiel, 17.8.2016
- [11] Dokumentation und fachliche Bewertung der Betriebsdaten des Wasserwerks Kiel-Pries, Geo-System GmbH, Kiel, 7.9.2016
- [12] Geologisches Profil A-A' (Anlage 7.1) des Hydrogeologischen Gutachten zum Wasserwerk Wik der Stadtwerke Kiel AG, GeoSystem GmbH vom 15.12.2010,
- [13] Geologisches Profil B-B' (Anlage 7.1) des Hydrogeologischen Gutachten zum Wasserwerk Pries der Stadtwerke Kiel AG, GeoSystem GmbH vom 30.09.2010,

## **1. Veranlassung und Aufgabenstellung**

Seitens des WSA Kiel-Holtenau wird derzeit der Ersatz der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau geplant. Die BAW Hamburg, Referat Geotechnik-Nord, wurde mit der fachwissenschaftlichen Beratung hinsichtlich der hydrogeologischen Fragestellungen beauftragt.

Das hier vorliegende Hydrogeologische Gutachten stellt die hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der Schleuse dar und bewertet die Auswirkungen der Baumaßnahmen auf die Wasserfassungen Kiel-Wik und Kiel-Pries sowie auf vorhandene Altstandorte in Kiel-Wik.

## **2. Untersuchungsgebiet**

### **2.1. Geologische und Hydrogeologische Verhältnisse**

Der Schleusenstandort Kiel-Holtenau bildet den Abschluss des Nordostseekanals (NOK) zur Kieler-Förde (Bild 1). Es liegt nach der naturräumlichen Gliederung im östlichen Hügelland. Kennzeichnend für den Naturraum „östliches Hügelland“ ist die Bildung von ausgedehnten Endmoränenlandschaften während der letzten Vereisungsperiode im Quartär und der Weichsel-Eiszeit. Entsprechend ist die Morphologie kleinräumig, mit stark ausgeprägten Höhenunterschieden, geprägt.

Das Untersuchungsgebiet ist als Teil des Norddeutschen Jungpleistozäns der Mittelholsteinschen Jungmoräne zuzuordnen [3]. Charakteristisch für die Mittelholsteinsche Jungmoräne ist ihr inhomogener Schichtaufbau. Geschiebemergel, sandig-kiesige Ablagerungen, schluffig-tonige Beckensedimente und organogene Bildungen sind auf engem Raum miteinander verzahnt. Trotz des lokal differenzierten Schichtaufbaus stellt die über 10 m mächtige Grundmoräne des weichselzeitlichen Inlandeises – großräumig betrachtet – eine zusammenhängende, bindige Schicht dar.



Bild 1: Lageplan der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau

Im Hangenden dieser bindigen Schicht gibt es z.T. grundwasserführende Auffüllungen sowie lokale oberflächennahe grundwasserleitende Sandschichten (z.B. im Bereich der Schleuseninsel Kiel-Holtenau). Im Liegenden der bindigen Schicht treten zwei Grundwasserleiter auf. Der obere quartäre Grundwasserleiter besteht aus Schmelzwassersanden und Kiesen und wird hydraulisch von dem tieferliegenden tertiären Grundwasserleiter, der aus Braunkohlensanden besteht, durch eine Tonschicht hydraulisch voneinander getrennt [3].

## 2.2. Hydrogeologische Verhältnisse für den Nahbereich des Schleusenstandorts

Im Bereich der Kleinen Schleuse stehen unter einer anthropogen beeinflussten Deckschicht pleistozäne Bodenschichten an. Diese sind in erster Linie Geschiebemergel, Schmelzwassersande und Kiese sowie rollige und bindige Beckensedimente aus der Weichsel-Kaltzeit.

Zur Erfassung der Grundwasserdynamik gibt es im Bereich der Schleuseninsel mehrere Grundwassermessstellen. Ein Lageplan dieser Grundwassermessstellen ist in Anlage 1 und die Stammdaten der Messstellen sind in Anlage 2 enthalten. Im Bereich der Kleinen Schleuse liegen die Filterstrecken der Messstellen ausschließlich im Hinterfüllungsbereich der Schleuse. Daneben gibt es Grundwassermess-

stellen, die im Zusammenhang mit der Altlasterkundung gebohrt wurden. Diese liegen südlich der großen Schleuse und sind ebenfalls oberflächennah verfiltert. Lediglich eine Grundwassermessstelle ist in den Schmelzwassersanden verfiltert. Im Zuge der weiteren Baugrunderkundung ist es geplant, weitere Grundwassermessstellen, die z.T. in oberflächennahen Tiefenlagen als auch in den unteren Schmelzwassersanden verfiltert sind, zu errichten.

Auf der Grundlage der vorliegenden Gutachten [4], [5] lassen sich die geohydraulischen Wirkungszusammenhänge im Nahbereich der Schleuse wie folgt zusammenfassen:

- Sowohl der NOK als auch die Kieler Förde dienen dem Grundwasser als Vorflut.
- Die Grundwasserpotenziale sämtlicher grundwasserleitenden Schichten stehen im Bereich der Schleuseninsel in Wechselwirkung mit dem Fördewasserstand. Im Hinterfüllungsbereich liegen die GwPotenzial leicht oberhalb der Fördewasserstände bzw. der Wasserstände des NOKs, so dass exfiltrierende Bedingungen vorliegen.
- Oberflächennah steht ein Geschiebemergel/Beckenschluff mit einer Mächtigkeit bis zu 20 m an. Die bestehende Schleuse wurde seinerzeit innerhalb einer offenen Baugrube in diesem Geschiebemergel errichtet. Die Bereiche zwischen den Schleusenkamerwänden und der Baugrube wurden mit gut durchlässigen Sanden hinterfüllt, die teilweise mit Geschiebemergelschichten durchzogen sind [5]. Die temporäre Grundwasserabsenkung ist in diesen Hinterfüllungsbereichen vorgesehen. Grundwasserstandsmessungen, die während verschiedener Trockenlegungen durchgeführt wurden, lassen auf gespannte Grundwasserverhältnisse in den Hinterfüllungsbereichen schließen.
- Unterhalb der bindigen Schichten und der Hinterfüllungsbereiche stehen gut durchlässige Sande an, die hydraulisch wirksam durch den Geschiebemergel von den Hinterfüllungsbereichen getrennt sind. Sandige Einlagerungen in diesen trennenden Schichten sind möglich.
- Wie bereits mehrfach bei Trockenlegungen der kleinen Schleusenammern beobachtet, stellt die Bauwerkssohle der Kleinen Schleuse eine hydraulisch wirksame Verbindung der Schleusenammer mit den Hinterfüllungsbereichen dar [8]. Nach [8] liegen die hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte für die Hinterfüllungsbereiche bei  $3 \cdot 10^{-4}$  m/s (Nördlicher Hinterfüllungsbereich) und  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s (südlicher Hinterfüllungsbereich).
- Die Jahresgänge der GwStände an den einzelnen Grundwassermessstellen zeigen GwStandsschwankungen zwischen 0,8 m (GW-Messtelle PIII-1990) bis ca. 1,10 m (GW-Messtelle GWS\_KS\_S3)

Bild 2 stellt schematisch die hydrogeologische Situation als Nord-Süd-Schnitt durch die Schleuseninsel dar.

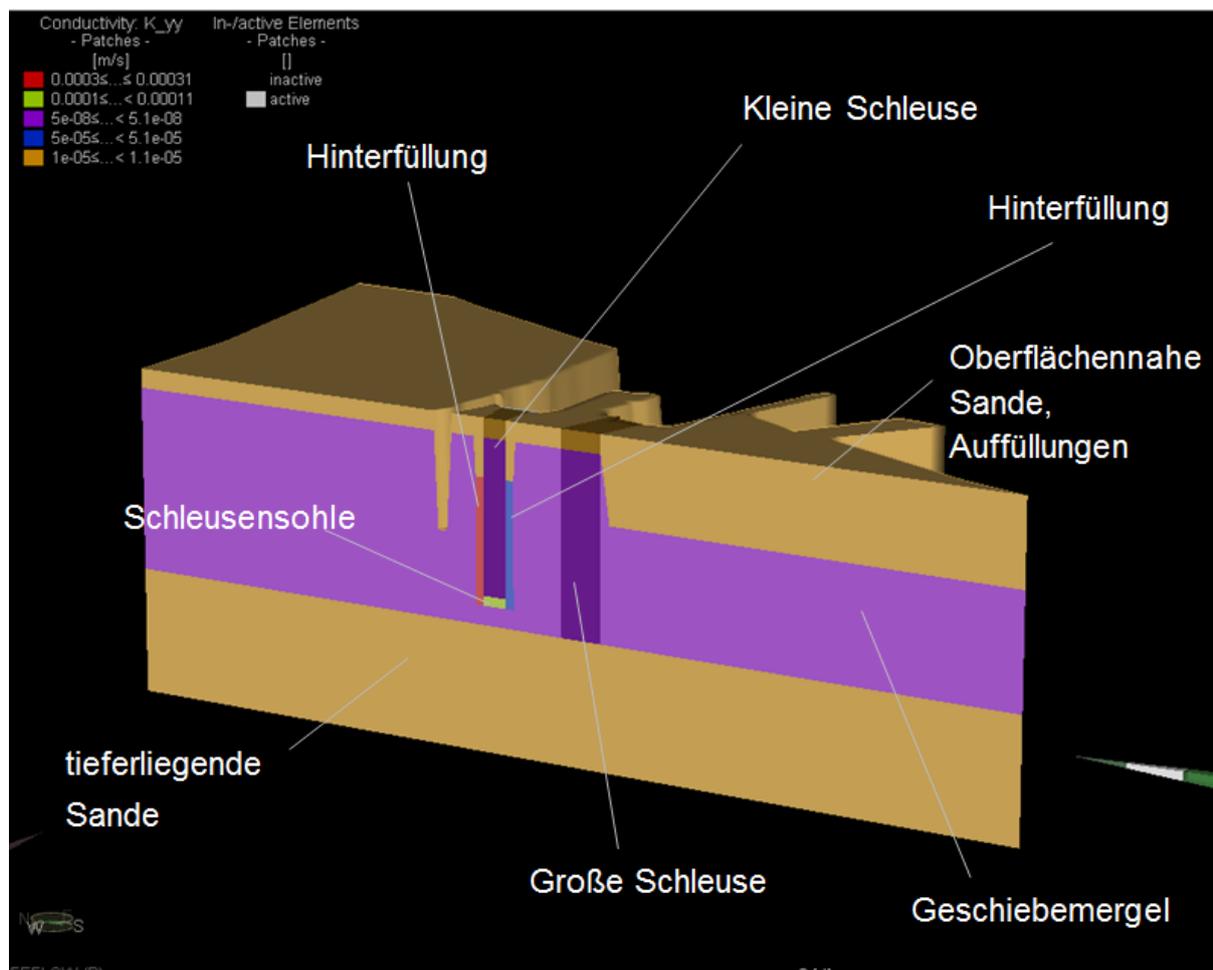


Bild 2: Schematische Darstellung der Hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der kleinen Schleuse Kiel-Holtenau (Schnitt durch die Schleusenkammern)

### 3. Geplante Maßnahmen

#### 3.1. Bauwerk

Eine detaillierte Beschreibung der geplanten Baumaßnahme ist in [6] zu finden. Geplant ist der Ersatz der beiden alten kleinen Schleusenkammern in Kiel-Holtenau. Die Schleusenanlage ist aufgrund ihres baufälligen Zustands derzeit nicht in Betrieb.

Aufgrund der fehlenden Standsicherheit der derzeitigen Schleuse erfolgt zunächst eine Verfüllung zur Bauwerkssicherung. Die neue Schleuse wird am Standort der bestehenden Schleuse innerhalb einer Baugrube, die durch landseitige Baugrubenwände und außenliegende Fangedämme begrenzt wird, hergestellt. Zudem wird die Baugrube mit einer rückverankerten Unterwasserbetonsohle geplant. Die Seitenwände, die Mittelwand und die Kammersohle der bestehenden Schleuse werden im Schutze der Baugrubenwände abgebrochen und durch einen Stahlbetonrahmen (Wände, Sohle) ersetzt. Die Fangedämme werden nach Fertigstellung des Bauwerks zurückgebaut. Der landseitige Baugrubenverbau bleibt jedoch erhalten. Zudem wird eine Anpassung der Vorhäfen an die geänderte Schleusengeometrie vorgenommen.

### **3.2. Bauzeitliche Wasserhaltung**

Um für bestimmte Bauphasen die Standsicherheitsnachweise für den Baugrubenverbau zu erbringen, müssen die Einwirkungen des Wasserdrucks auf den Baugrubenverbau vermindert werden. Dazu ist eine bauzeitliche Grundwasserhaltung vorgesehen, die voraussichtlich über mehrere Monate betrieben werden muss. Das Absenkziel liegt bei NHN -4,0 m. Derzeit ist geplant, dass die Grundwasserabsenkung ausschließlich durch eine Wasserhaltung in den gut durchlässigen Hinterfüllungsbereichen bewirkt wird. Vorgesehen ist dabei die Errichtung von Brunnen, die bis in eine Tiefe von maximal 10 bis 15 m unter Geländeoberkante abgeteuft werden.

### **4. Maßnahmenbedingte Auswirkungen auf die Trinkwasserfassungen**

Die geplante Wasserhaltung kann prinzipiell temporäre Auswirkungen auf die großräumigen Grundwasserverhältnisse bewirken. Da keinerlei bauliche Eingriffe in die grundwasserführenden Schichten stattfinden bzw. die geohydraulischen Randbedingungen von den Maßnahmen unbeeinflusst sind, ergeben sich sowohl aus dem Bauablauf als auch aus dem zu errichteten Bauwerk keinerlei maßgebliche bauzeitliche bzw. endgültige Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse.

Der Schleusenstandort befindet sich innerhalb des Trinkwassergebiets des Wasserwerkes Kiel-Wik. Zudem grenzt das Trinkwassergewinnungsgebiet des Wasserwerks Kiel-Pries an (Bild 3). Die Stadtwerke Kiel betreiben die Wasserwerke Kiel-Wik und Kiel-Pries. Die wasserrechtliche Erlaubnis des Wasserwerks Kiel-Wik ist bis zum 31.12.2020 befristet. Zum Ende der befristeten Erlaubnis soll das Wasserwerk Kiel-Wik geschlossen werden [10]. Für das Wasserwerk Kiel-Pries liegt eine wasserrechtliche Erlaubnis für die Entnahme bis zu 3,6 Mio m<sup>3</sup>/a vor. Die maximale Entnahmemenge schließt die spätere Versorgung der Stadteile Wik und Steenbek-Projendorf ein, die nach Außerbetriebnahme der Wasserfassung Kiel-Wik mit übernommen wird.

Die Fassungen der Wasserwerke Kiel-Wik und Kiel-Pries sind in den Braunkohlensanden des Tertiärs in etwa 120 m Tiefe verfiltert (Nutzhorizont in den Anlagen 3 und 4) [10],[11],[12],[13]. Wie in Anlage 3 und 4 ersichtlich und in [2], [7], [12], [13] dargestellt ist dieser Nutzungshorizont durch stark grundwasserhemmende Schichten (Tone, Geschiebemergel) hydraulisch von den Schmelzwassersanden sowie von den Hinterfüllungsbereichen, in denen die bauzeitliche Grundwasserhaltung vorgesehen ist, getrennt.

Aufgrund der räumlichen Entfernungen der Wasserfassung Kiel-Wik und Kiel-Pries zum Schleusenstandort und aufgrund der o.g. hydraulisch trennenden Schichten, die eine Mächtigkeit von mehreren Zehner Metern aufweisen können, ist davon auszugehen, dass sich eine Grundwasserabsenkung im Hinterfüllungsbereich der Schleuse nicht auf die Grundwasserpotenziale in den tieferliegenden Braunkohlesanden auswirken kann und somit keine Beeinflussung der Wasserfassungen haben wird.

Zudem wird die Wasserfassung Kiel-Wik mit Ablauf der wasserrechtlichen Betriebserlaubnis zum 31.12.2020 außer Betrieb genommen [10]. Bei Betriebsbeginn der bauzeitlichen Grundwasserhaltung wären daher etwaige Auswirkungen auf den Bereich der Wasserfassung Kiel-Wik nicht mehr relevant.

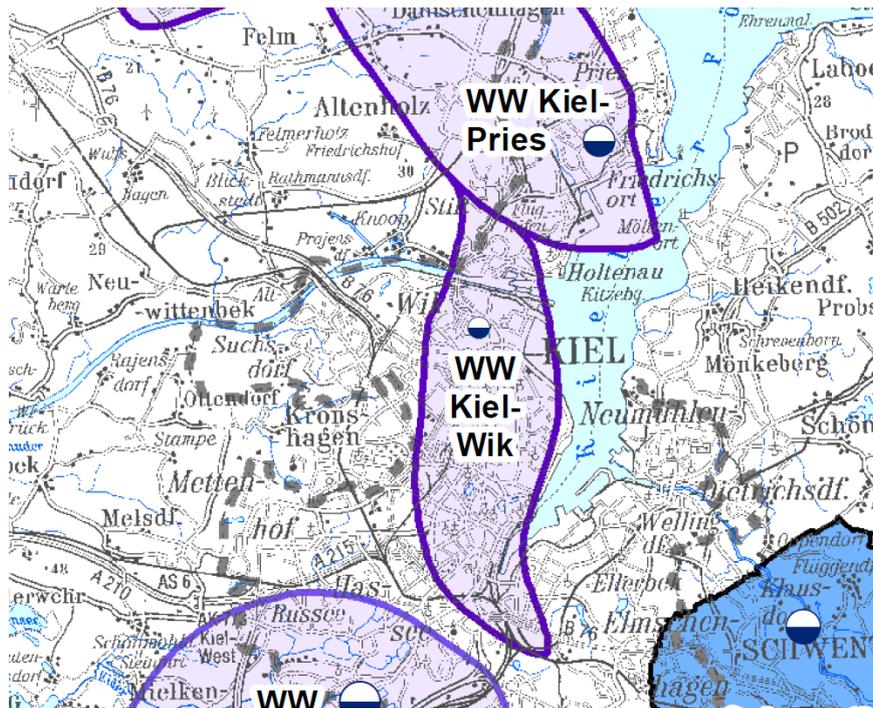


Bild 3: Karte der Wassereinzugsgebiete [6]

## 5. Maßnahmenbedingte Auswirkungen auf das Sanierungsgebiet Kiel-Wik

### 5.1. Lage des Sanierungsgebiets

Im Gewerbegebiet Kiel-Wik, das sich südlich der Schleusensinsel befindet, befinden sich zahlreiche Altstandorte (Bild 4). Eine zusammenfassende Bewertung der Altlastsituation ist [2] zu entnehmen.



Bild 4: Altstandorte in Kiel-Wik [2]

Innerhalb des Untersuchungsgebiets werden mehrere Sanierungsmaßnahmen durchgeführt [2]. Eine Übersichtskarte über die vorhandenen Altlasten und laufenden Sanierungsverfahren [2] ist in Anlage 5 zu finden. Die Altstandorte, die in einem möglichen Einflußbereich der bauzeitlichen Wasserhaltung liegen, lassen sich wie folgt kurz beschreiben:

- Im zentralen Bereich des Altstandorts 4 wurde ein Ölhof errichtet, der sich bis zum nördlichen Teil des Altstandorts 124 erstreckt. Nach [2] liegen hier massive Verunreinigungen mit Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) und PAKs vor.
- Die nördliche Hälfte des Altstandorts 124 war Teil des Ölhofs. Im nördlichen Bereich des Altstandorts 124 wurden ebenfalls Belastungen des Untergrunds mit PAK und MKW nachgewiesen. Weiter wurden im Rahmen des Ausbaus von vorhandenen unterirdischen Tanks Verunreinigungen des Bodens und des Grundwassers festgestellt.
- Im Bereich des Altstandorts 25 „Gaswerk Wik“ liegen Bodenverunreinigungen mit PAKs, MKWs und stellenweise mit hohen BTEX-Gehalten vor. Nach Angaben der Stadt Kiel werden die Grundwasserverunreinigungen hydraulisch saniert bzw. in einigen Bereichen hydraulisch gesichert.

## 5.2. Untersuchungsansatz

Gemäß der „Festsetzung des Untersuchungsrahmens nach §5 UVPG“ vom 12.12.2016 [1] sind die baubedingten Auswirkungen der temporären Grundwasserabsenkungen auf die vorhandenen Schadstoffe im Grundwasser zu erfassen. Zentrale Frage ist, ob vorhandene Schadstoffe durch die Baumaßnahme mobilisiert, horizontal bzw. vertikal ausgetragen oder verlagert werden können. Da eine maßnahmenbedingte Mobilisierung von Schadstoffen bzw. Auswirkungen auf laufende Sanierungsmaßnahmen nur durch eine entsprechende Änderung der Grundwasserströmungsverhältnisse induziert werden können, werden ausschließlich die maßnahmenbedingten Auswirkungen auf die Grundwasserströmungsverhältnisse erfasst und bewertet.

Aufgrund der vorhandenen hydraulischen Randbedingungen (NOK, Förde), der hydraulisch wirksamen Verbindungen des NOKs bzw. der Förde mit den anstehenden Grundwasserleitern sowie dem hydrogeologischen Aufbau (vorhandene Geringleiter, Hinterfüllungsbereich, etc.) ist eine Abschätzung der Auswirkungen der Grundwasserabsenkung auf die Grundwasserströmungsverhältnisse mit analytischen Methoden bzw. empirischen Formeln (z.B. nach Sichardt) nicht aussagekräftig.

Daher werden die Auswirkungen der geplanten Grundwasserabsenkung auf die Grundwasserströmungsverhältnisse mit einem numerischen Grundwasserströmungsmodell abgeschätzt. Da für eine detaillierte Abbildung der hydrogeologischen Verhältnisse die derzeit vorhandene Datengrundlage nicht ausreichend ist, erfolgt die Modellierung auf der Ebene eines „idealisierten Modells“.

Folgende Eckpunkte charakterisieren diesen Modellierungsansatz:

- Ziel des Modells ist es, die hydraulischen Wirkungszusammenhänge grundsätzlich abbilden zu können.

- Grundlage sowohl für die Modellgeometrie als auch die Parametrisierung des Modells ist dabei die geologische bzw. hydrogeologische Modellvorstellung, die sich aus den vorliegenden Unterlagen ableiten lässt. Hierbei ist eine idealisierte Modellerstellung vorgesehen, d.h. es werden einheitliche Mächtigkeiten der Modellschichten angesetzt und die Modellparameter werden für jede hydrogeologische Einheit bzw. für jedes geohydraulisch relevante Strukturelement (z.B. Schleusensohle) einheitlich gewählt.
- Die Kalibrierung und Validierung des Modells erfolgt anhand von dokumentierten hydraulischen Ereignissen (Trockenlegung der Nordkammer, Trockenlegung der Südkammer, Hochwasserereignis).
- Kalibrierungsziel ist es, eine plausible Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeiten zu finden, die das Verhalten der Grundwasserpotenziale für alle Ereignisse grundsätzlich wieder geben kann.

### **5.3. Grundwassermodell**

#### **5.3.1. Modellwahl**

Verwendet wird das Programm FEFLOW 6.1 der DHI-WASY GmbH. Für das Strömungsmodell wurde ein dreidimensionaler Ansatz gewählt, um den im Modellgebiet vorhandenen hydrogeologischen Aufbau und die GW-Strömungsverhältnisse mit der erforderlichen räumlichen Auflösung darstellen zu können.

#### **5.3.2. Modellaufbau**

Die Modellerstellung eines Grundwasserströmungsmodells mit der Software FEFlow erfordert zunächst die Festlegung eines sog. „Supermeshs“, das als Grundlage der eigentlichen Diskretisierung des Modellgebiets dient. Dabei werden die vorhandenen Strukturen des Modellgebiets (z.B. Wasserkörper, Bauwerke, Landflächen, Vorhäfen, etc.) in Polygone überführt.

Für das vorliegende Modell erfolgte die Erstellung des Supermeshs anhand der vorhandenen Geometrie der bestehenden Schleusen, der Vorhäfen, der räumlichen Ausdehnung der Hinterfüllungsbereiche sowie der geplanten Fangedämme. Die Größe des Modells wurde so gewählt, dass die betroffenen Altlastflächen innerhalb des Modellgebiets liegen und die etwaigen Auswirkungen der geplanten Wasserhaltung nicht bis an die Modellränder reichen werden.

Nach dem Einlesen des Supermeshs erfolgte mit Hilfe des Grid-Generators die Diskretisierung des Modellgebiets in Dreiecks-Elemente. Entlang der vorhandenen Linienstrukturen (z.B. Uferlinien, Fangedämme) erfolgte eine Verfeinerung der Modelldiskretisierung, so dass die Linienstrukturen mit dem Grundwasserströmungsmodell abgebildet werden können. Die Größe des Modellgebiets sowie die Diskretisierung sind in Anlage 6 dargestellt.

### 5.3.3. Festlegung der Modellschichten

Auf Grundlage der vorliegenden Grundwasserverhältnisse, wurde das Modell aus insgesamt 6 Schichten aufgebaut. Die Höhenkoten der einzelnen Modellschichten wurden vereinfacht einheitlich gewählt. Die Ober- und Unterkanten der Modellschichten orientieren sich dabei an der Geländeoberkante, der Unterkanten der Hinterfüllungsbereiche, der Gewässersohlen, der Geometrie des Schleusenbauwerks und der Oberkante sowie der Unterkante der tiefliegenden Schmelzwassersande (Bild 5).

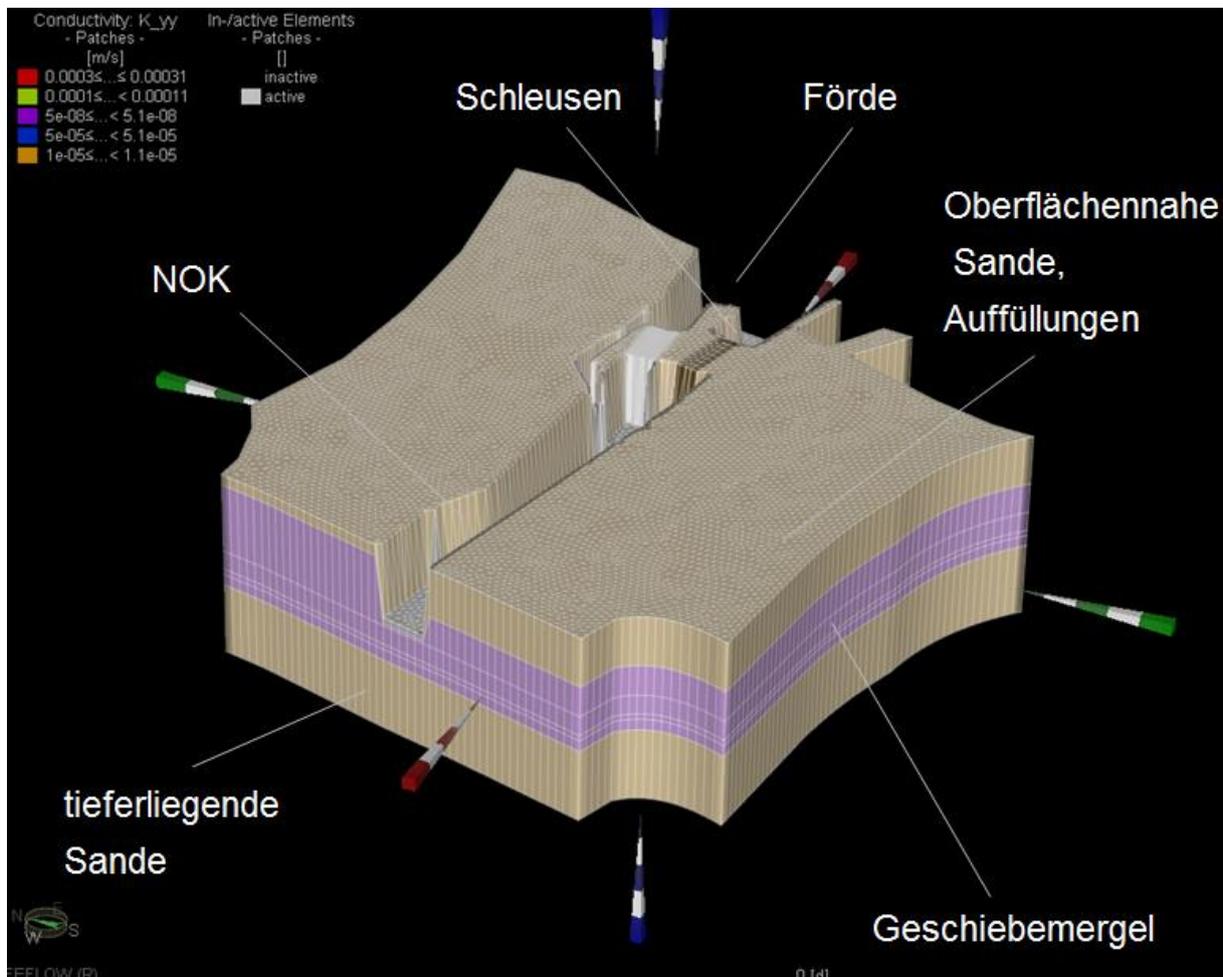


Bild 5: Dreidimensionale Darstellung des Grundwasserströmungsmodells

### 5.3.4. Randbedingungen

Die Randbedingungen wurden auf Grundlage der bestehenden großräumigen Grundwasserströmungsverhältnisse festgelegt. Dabei wurden die hydraulischen Randbedingungen für Modellränder wie folgt gewählt:

- Die Modell-Knoten, die den NOK bzw. die Förde repräsentieren, wurden als Cauchy-Randbedingungen definiert. Ihnen wurden Höhen von NHN +0,2 m (NOK) bzw. NHN + 0,0 m (Förde) zugewiesen.

- Am südwestlichen und am nordwestlichen Modellrand wurden als Randbedingungen Festpotenziale definiert. Die Werte der Festpotenziale ergeben sich aus den großräumigen Grundwasserströmungsverhältnissen.
- Die übrigen Modellränder sind als sogenannte „No-Flow-Barriers“, d.h. als undurchlässiger Rand definiert worden.
- Die Modellelemente für die Schleusenkammer wurden inaktiv gesetzt.

Eine Darstellung der gewählten Randbedingungen enthält Anlage 7.

### 5.3.5. Kalibrierung und Validierung des Grundwasserströmungsmodells

Die Kalibrierung des Modells erfolgte anhand einer Trockenlegung der Schleusenammern, die im Jahr 2013 durchgeführt wurde [9]. Für diese Trockenlegung liegen GwStandsmessungen der Messstellen, die im hinterfüllten Bereich verfiltert sind, vor.

Auf der Grundlage von Messungen, die bereits 1990 während einer Trockenlegung durchgeführt wurden [8] sowie von weiteren Baugrunduntersuchungen, in den Hinterfüllungsbereichen der Schleuse [7], wurden hydraulische Durchlässigkeitsbeiwerte für die Hinterfüllungsbereiche und für die hydraulisch wirksame Bauwerkssohle angegeben. Diese Durchlässigkeitsbeiwerte sind den entsprechenden Elementen als Eingangswerte zugewiesen worden.

Während der Kalibrierung wurden die hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte der Geschiebemergelschichten sowie der Schmelzwassersande innerhalb definierter Plausibilitäts Grenzen so lange angepasst bis die während der Trockenlegung gemessenen Grundwasserstände mit dem Modell nachgebildet werden konnten (Bild 6). Der in Bild 6 dargestellte berechnete Verlauf der Grundwasserpotenziale ergibt sich dabei bei einer für den Geschiebemergel angesetzten hydraulischen Durchlässigkeit von  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s und einer für den unteren Schmelzwassersand angesetzten hydraulischen Durchlässigkeit von  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Darüber hinaus erfolgte eine Validierung des Modells anhand eines Ostseehochwassers in der Kieler Förde, das sich am 29.11.2010 ereignete. Während dieses Ereignisses wurde ein Wasserstand von NHN +1,30 m gemessen. Auf der Grundlage der bisher gemessenen Grundwasserstände sind während eines solchen Ereignisses Grundwasserpotenziale zwischen NHN +0,7 m und NHN +0,8 m zu erwarten. Dieses Ereignis kann mit dem Modell unter den o.g. angesetzten Durchlässigkeitsbeiwerten nachgerechnet werden (Bild 7). Die kalibrierten und validierten  $k_f$ -Werte für die einzelnen Modellschichten sind in Anlage 8 dargestellt.

Der Grundwassergleichenplan für den oberen Grundwasserleiter, der sich mit dem kalibrierten Grundwassermodell für stationäre Verhältnisse und mittlere hydrologische Verhältnisse berechnen lässt, ist in Anlage 9 dargestellt. Dabei zeigt sich für das Altlastengebiet Kiel-Wik ein mittleres hydraulisches Gefälle von  $i = 0,001$  bis  $0,003$ . Unter der Annahme eines mittleren  $k_f$ -Werts von  $10^{-4}$  m/s ergibt sich somit eine mittlere Filtergeschwindigkeit zwischen 6 bis 30 m/a.

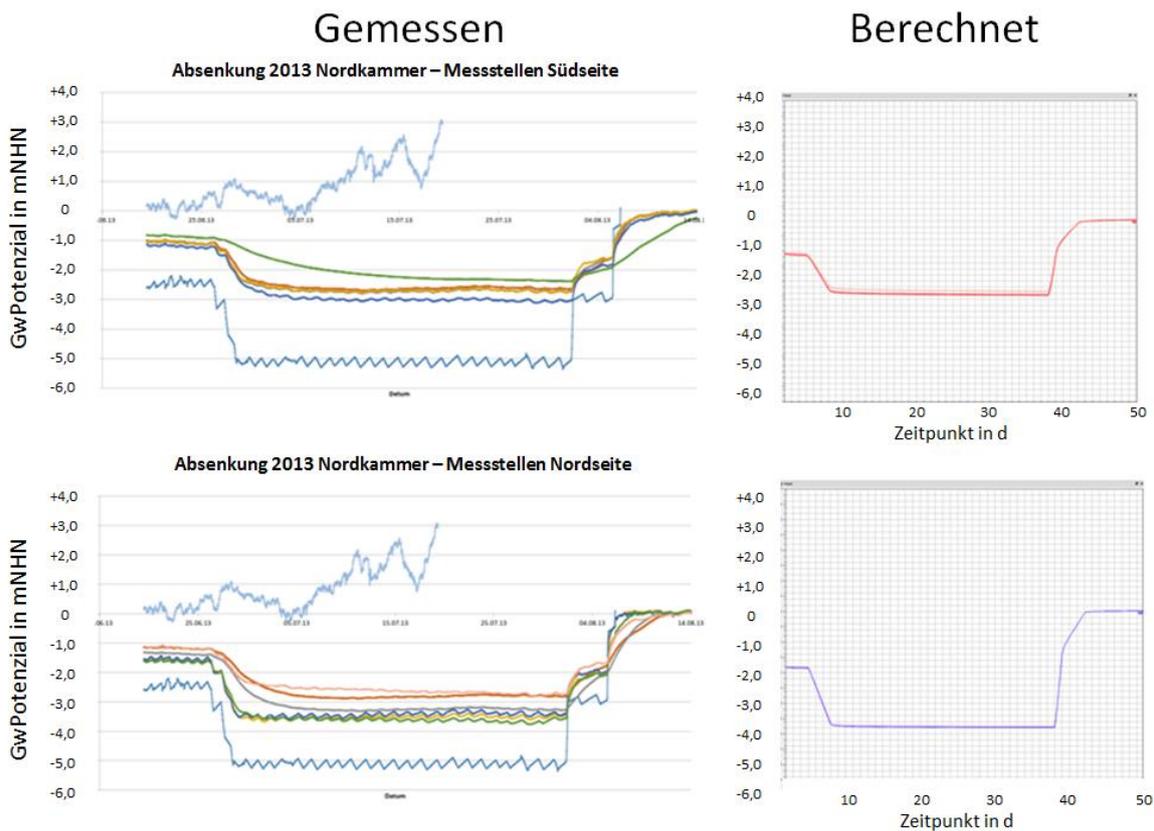


Bild 6: Vergleich der gemessenen und der berechneten GwAbsenkung während der Trockenlegung 2013

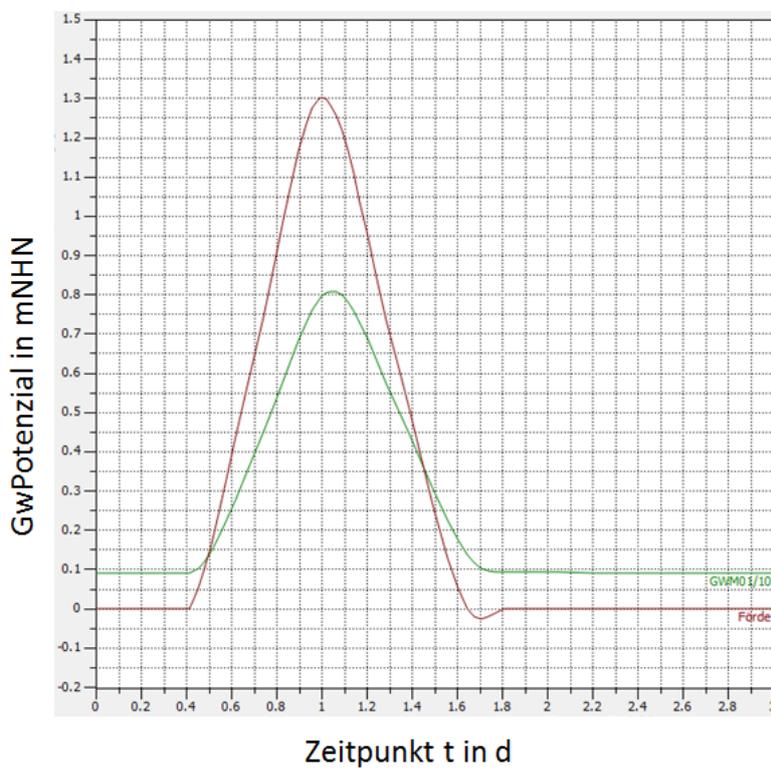


Bild 7: Berechnete GwStände für das Fördehochwasser vom 29.11.2010

### 5.3.6. Sensitivität des Modells gegenüber der hydraulischen Trennung des Hinterfüllungsbereichs und den Schmelzwassersanden

Bereits bei der Kalibrierung des Modells zeigte sich, dass die Absenkung der Grundwasserpotenziale während der Trockenlegung der Schleusenammern in den Hinterfüllungsbereichen nur vom Modell nachgebildet werden kann, wenn eine flächendeckende hydraulische Trennung zwischen den Hinterfüllungsbereichen und den unteren Schmelzwassersanden im Modell vorhanden ist.

Bei einem Einbau eines hydraulischen Fensters in das Grundwasserströmungsmodell, das großflächig unter der Schleusenammer liegt und hydraulisch die Hinterfüllungsbereiche mit den unteren Schmelzwassersanden verbindet, ist es nicht mehr möglich die Trockenlegung von 2013 realitätsnah zu simulieren. Bereits bei einer für das Fenster angesetzten hydraulischen Durchlässigkeit von  $2 \cdot 10^{-7}$  m/s können innerhalb der Hinterfüllungsbereiche nur noch Absenkungen von max. 1,5 m simuliert werden. Bei einer für das hydraulische Fenster angesetzten hydraulischen Durchlässigkeit von  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s kann das Modell nur noch eine maximale Absenkung von 0,4 m simulieren. Diese Wirkung eines im Modell simulierten hydraulischen Fensters, kann nicht durch eine Anpassung der übrigen hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte entgegengewirkt werden, so dass eine flächenhafte hydraulische Trennung zwischen den Hinterfüllungsbereichen und den Schmelzwassersanden in-situ vorhanden sein muss.

### 5.3.7. Simulation der Grundwasserhaltung

Aufgrund der oben beschriebenen Beobachtungen während der Kalibrierung, der Erkenntnisse aus den vorhandenen Baugrundgutachten [4], [5], [7] sowie erfolgten Trockenlegungen [8], [9] ist die ermittelte Durchlässigkeitsverteilung des kalibrierten GwStrömungsmodells als realitätsnah zu bewerten.

Neben einer Abschätzung der Auswirkungen der Grundwasserhaltung mit dem kalibrierten Strömungsmodell erfolgt eine weitere Betrachtung mit drei zusätzlichen Modellvarianten, die als sog. „Worst-Case“ Betrachtungen zu verstehen sind. Diese zusätzlichen Modellvarianten weisen hinsichtlich der Grundwasserabsenkung ungünstigere Kombinationen von Durchlässigkeitsbeiwerten für die unteren Schmelzwassersande sowie für die Geschiebemergelschichten auf, die jedoch den tatsächlichen Verhältnissen nicht entsprechen. Ziel dieser Betrachtung ist es, die resultierenden Auswirkungen unter äußerst ungünstigen Randbedingungen, die mit dem kalibrierten GwStrömungsmodell abgeschätzt werden, besser bewerten zu können. Dabei ergeben sich größere GwAbsenkungen bei einer geringeren hydraulischen Durchlässigkeit in den unteren Schmelzwassersanden, da mit dem Modell hier höhere GwPotenziale für den Ruhezustand berechnet werden. Die jeweils angesetzten  $k_f$ -Werte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Das kalibrierte Modell sowie die Worst-Case-Varianten 1 und 2 berücksichtigen dabei eine flächenhafte homogene Ausbildung der Geschiebemergelschicht. Im Bereich des Altlastgebiets „Uferstraße/Antennenträger und Scheerhafengebäude“ wird ein hydraulisches Fenster zwischen den oberflächennahen Sanden und den Schmelzwassersanden vermutet [2]. Daher wurde in der Variante „Worst-Case 3“ ein hydraulisches Fenster in das Modell eingebaut, das im Bereich des Altstandorts „Antennenträger“ liegt. Als hydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert für dieses hydraulische Fenster wurde  $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$  m/s angesetzt. Die räumliche Ausdehnung des hydraulischen Fensters im Modell ist in Anlage 10 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der gerechneten Modellvarianten

Bezeichnung	$k_f$ -Wert Schmelzwassersande	$k_f$ -Wert Geschiebemergel	Bemerkung
Kalibriertes Modell	1e-4 m/s	5e-8 m/s	
Worst-Case 1	7e-5 m/s	1e-7 m/s	
Worst-Case 2	1e-5 m/s	5e-8 m/s	
Worst-Case 3	1e-5 m/s	5e-8 m/s	Hydraulisches Fenster

Für die Simulation der geplanten Grundwasserhaltung wurden bei den einzelnen Modellvarianten jeweils 20 Modellknoten, die in den Hinterfüllungsbereichen liegen, mit einem Festpotenzial von  $h = \text{NHN} - 4,5 \text{ m}$  (Absenkziel zzgl. 0,5 m Zuschlag) festgelegt (Anlage 7.2). Unter diesem Ansatz erfolgen für die Modellvarianten stationäre Berechnungen. Da sich die entsprechenden Grundwasserpotenzialverteilungen somit erst nach Einstellen des Gleichgewichtszustands ergeben, liegen die Ergebnisse hinsichtlich der maßnahmenbedingten Auswirkungen auf der sicheren Seite.

Die Ergebnisse, die mit dem kalibrierten Grundwasserströmungsmodell berechnet wurden, zeigt Bild 8. Die blauen Linien repräsentieren dabei die Grundwassergleichen des Zustands ohne Grundwasserhaltung (Ruhezustand), die roten Linien stellen die Grundwassergleichen dar, die sich im oberen Grundwasserleiter aufgrund der Wasserhaltung einstellen. Die Farbflächen stellen die Grundwasserstandsdifferenzen der jeweiligen Potenzialverteilungen dar. Für den Bereich des Altlastgebiets ergeben sich mit dem Grundwassermodell Absenkungen  $< 0,10 \text{ m}$  sowie nahezu unveränderte hydraulische Gradienten und Grundwasserfließrichtungen.

Bild 9 zeigt die Berechnungsergebnisse für die Variante „Worst-Case 1“, in der für den Geschiebemergel eine höhere hydraulische Durchlässigkeit angesetzt ist. Für die Variante „Worst-Case 1“ ergeben sich für das Altlastengebiet Kiel-Wik Grundwasserabsenkungen bis maximal 0,15 m, die sich auf den Bereich „Uferstraße/Antennenträger und Scheerhafengebäude“ beschränken. Zudem lassen sich mit dem Modell vernachlässigbare Auswirkungen der Grundwasserhaltung auf die Grundwasserströmungsrichtung sowie auf den hydraulischen Gradienten berechnen.

In Bild 10 ist das Berechnungsergebnis für die Modellvariante „Worst-Case 2“ dargestellt, bei dem für die unteren Sande ein  $k_f$ -Wert von  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  und für den Geschiebemergel ein  $k_f$ -Wert von  $5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$  zugewiesen wurde. Bei dieser Modellvariante ergeben sich Grundwasserabsenkungen im Bereich des Altlastgebiets Kiel Wik zwischen 0,10 m und 0,25 m. Die größten Absenkungen liegen ebenfalls im Bereich der Altlast „Uferstraße/Antennenträger und Scheerhafengebäude“. Im Vergleich zum Ruhezustand liegen jedoch auch hier nahezu identische hydraulische Gradienten sowie Grundwasserfließrichtungen vor.

Ein großflächiges hydraulisches Fenster innerhalb des Geschiebemergels im Bereich des Altlastgebiets „Uferstraße/Antennenträger und Scheerhafengebäude“ (Worst-Case 3) bewirkt im Modell eine geringfügig höhere Absenkung (Bild 11). Diese tritt unmittelbar südlich der Großen Schleuse auf und beträgt dort 0,27 m. Zudem wird insgesamt eine größere räumliche Ausdehnung des Absenkungsbereichs bewirkt.

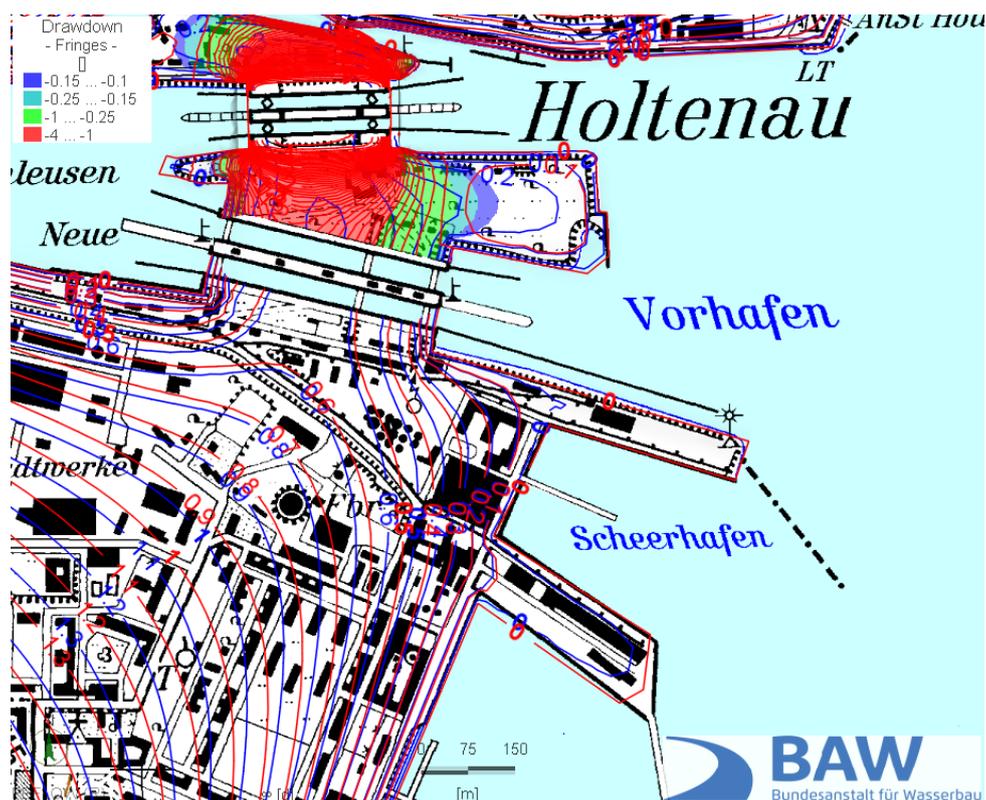


Bild 8: Berechnungsergebnis der Modellvariante „Kalibriertes GwModell“

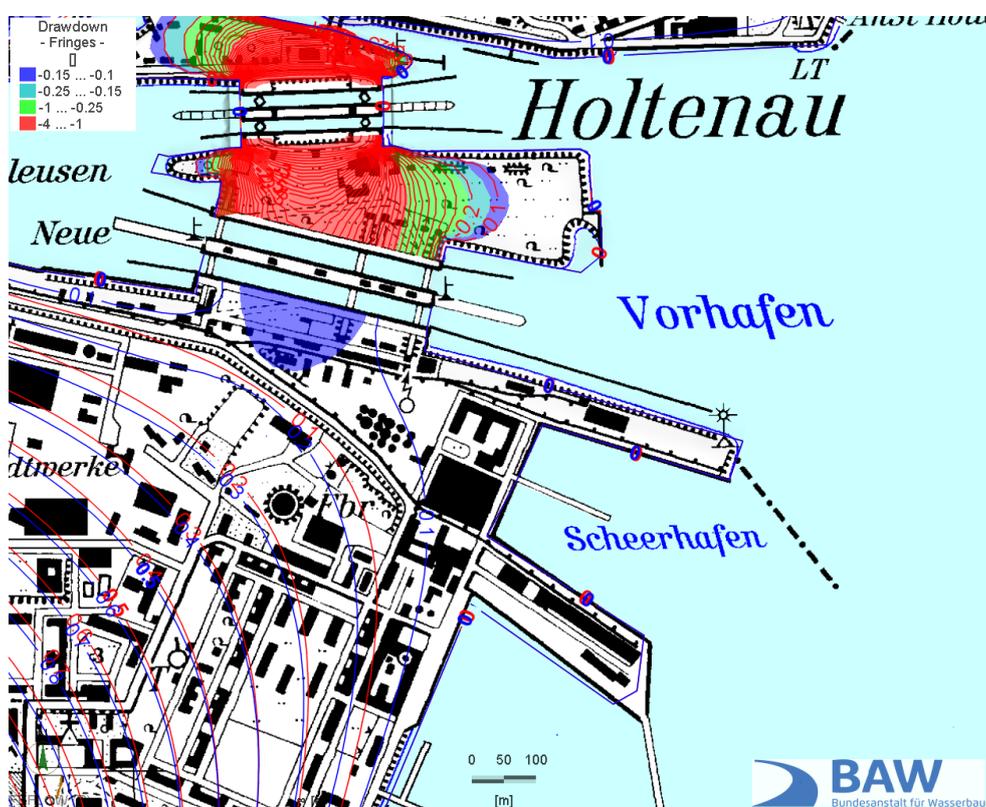


Bild 9: Berechnungsergebnis der Modellvariante „Worst-Case 1“

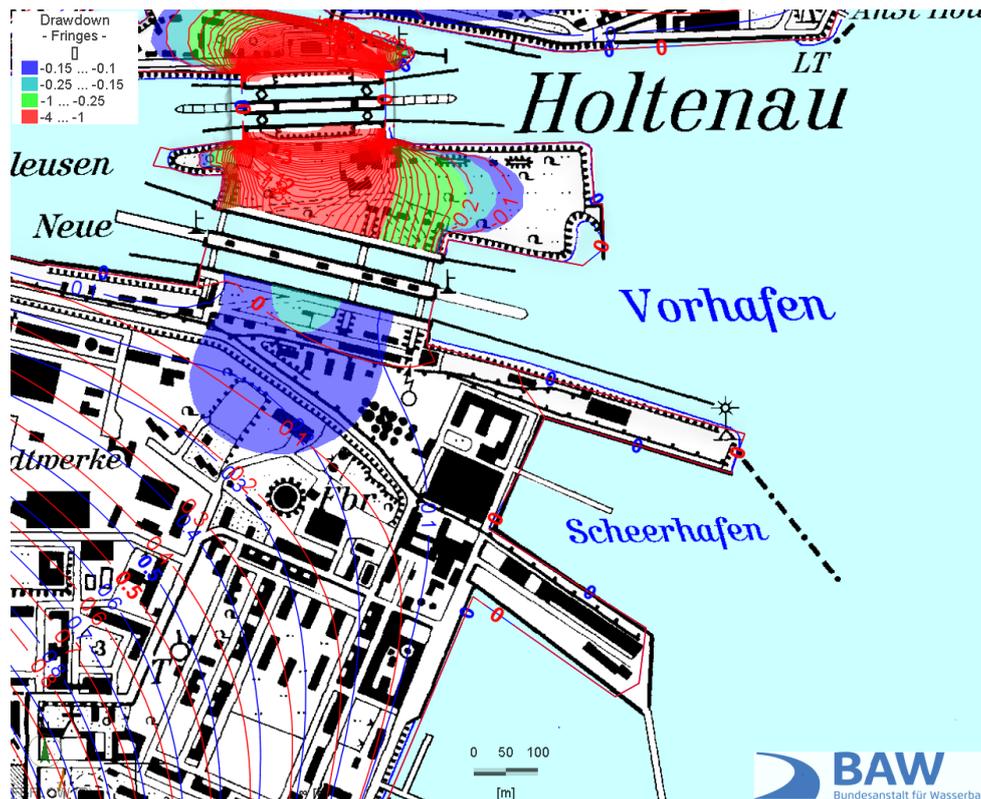


Bild 10: Berechnungsergebnis der Modellvariante „Worst-Case 2“

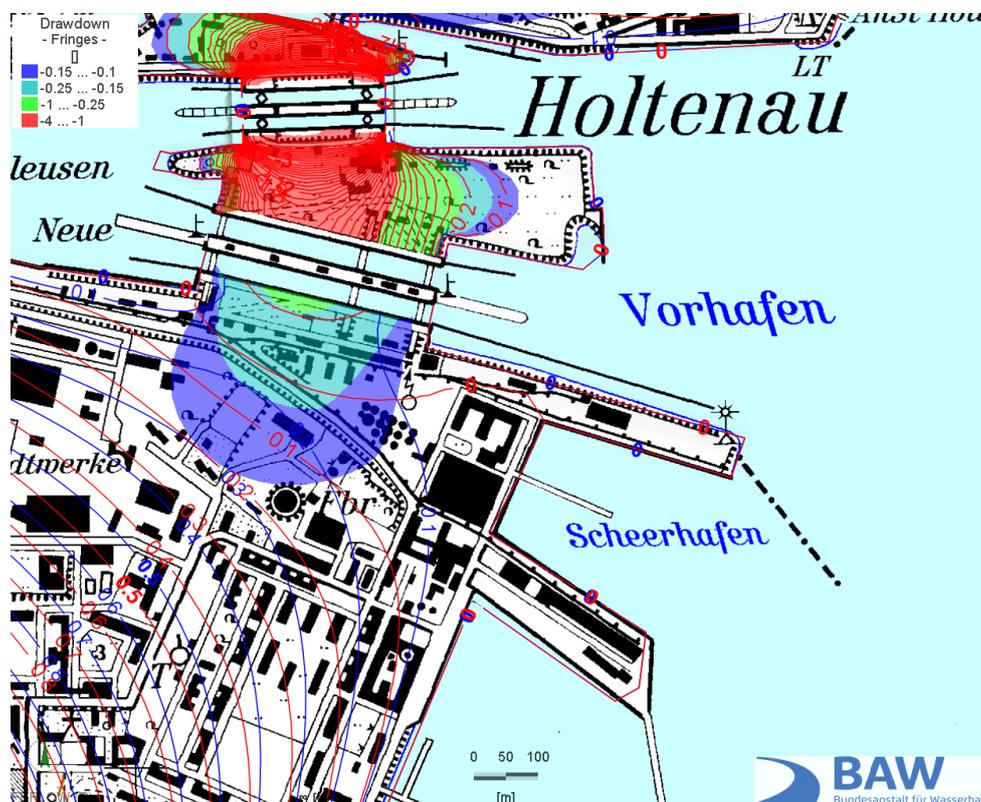


Bild 11: Berechnungsergebnis der Modellvariante „Worst-Case 3“

Tabelle 2 enthält die mit dem Grundwasserströmungsmodell berechneten Gesamtfördermengen der Brunnen mit denen die Grundwasserhaltung betrieben wird. Dabei zeigt sich, dass im stationären Zustand relativ geringe Fördermengen ausreichen, um das erforderliche Absenkungsziel zu erreichen.

*Tabelle 2: Übersicht der gerechneten Modellvarianten*

Variante	Gesamte Fördermenge m <sup>3</sup> /d
Kalibriertes Modell	118
Worst-Case 1	212
Worst-Case 2	163
Worst-Case 3	163

#### 5.4. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich auf der Grundlage der durchgeführten Modellberechnungen folgendes feststellen:

- Mit dem kalibrierten Grundwasserströmungsmodell, dem die wahrscheinlichste  $k_f$ -Wert-Verteilung zugrunde liegt, ergeben sich für den Bereich des Altlastengebiets „Kiel-Wik“ vernachlässigbare maßnahmenbedingte Auswirkungen.
- Für die Worst-Case Berechnungen ergeben sich die größten maßnahmenbedingten Veränderung im südlichen Bereich der großen Schleuse, d.h. im Bereich der Altlasten „Uferstraße/Antennenträger und Scheerhafengebäude“, „Stallzus“ und im äußersten nördlichen Bereich des „Stadtwerkegrundstücks“.
- Auf der Grundlage der Worst-Case-Modellberechnung, die eine äußerst ungünstige Durchlässigkeitsverteilung sowie mögliche hydraulischer Kurzschlüsse im Bereich des Altlastgebiets „Uferstraße/Antennenträger und Scheerhafengebäude“ berücksichtigen, die den tatsächlichen Verhältnissen jedoch nicht entsprechen, lassen sich Grundwasserabsenkungen bis maximal ca. 0,3 m prognostizieren. D.h. selbst unter den Worst-Case-Ansätzen ergeben sich Grundwasserabsenkungen, die weit unterhalb der bisher beobachteten natürlichen jährlichen Grundwasserstandsänderungen von max. 1,15 m liegen. Maßnahmenbedingte GwAbsenkungen > 0,15 m beschränken sich dabei auf einen Radius von 170 m.
- Bei allen Modellvarianten ergeben sich geringfügige Auswirkungen auf das hydraulische Gefälle und auf die Grundwasserfließrichtungen. Sowohl im Ruhezustand als auch bei sämtlichen Modellvarianten liegen die hydraulischen Gradienten zwischen  $i=0,001$  bis  $i=0,003$ , so dass sich bei einem angesetzten  $k_f$ -Wert von  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s Filtergeschwindigkeiten zwischen  $v_f = 3$  m/a und  $v_f = 10$  m/a ergeben. Unter der Berücksichtigung dieser geringen Filtergeschwindig-

keiten sind die maßnahmenbedingten Änderungen der Grundwasserfließrichtungen hinsichtlich einer Schadstoffmobilisierung als nicht maßgeblich zu werten.

Auf Grundlage der durchgeführten GwStrömungsmodellierung lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die Auswirkungen der geplanten Grundwasserhaltung auf die Grundwasserverhältnisse im Altlastengebiet Kiel-Wik als vernachlässigbar eingestuft werden.

Dies gilt sowohl für die Berechnungen mit dem kalibrierten Grundwasserströmungsmodell als auch mit den Modellen, denen der Worst-Case zugrunde gelegt wurde. Maßnahmenbedingte Auswirkungen sowie eine Mobilisierung der vorhandenen Schadstoffe, ein horizontaler bzw. vertikaler Austrag sowie eine Verlagerung der Schadstoffe aufgrund der maßnahmenbedingten Änderung der Grundwasserströmungsverhältnisse können nahezu ausgeschlossen werden.

## **6. Ausblick und Empfehlungen**

### **6.1. Fortschreibung des Grundwasserströmungsmodells**

Um die Aussagen, die mit dem Grundwasserströmungsmodell getroffen wurden, zu untersetzen, wird das Grundwasserströmungsmodell im Zuge der weiteren Projektbearbeitung fortgeschrieben und an den zukünftigen Wissenstand angepasst. Hierbei gehen Erkenntnisse, die u.a. durch die weitere Baugrunderkundung sowie durch das laufende Grundwassermonitoring gewonnen werden, in das Modell ein. Dies bezieht sich in erster Linie auf die räumliche Verteilung der vorhandenen Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter.

Weiter soll durch einen Pumpversuch die hydraulische Wirkung einer Grundwasserabsenkung auf die großräumigen Grundwasserströmungsverhältnisse untersucht werden und die hydraulische Durchlässigkeit der Schmelzwassersande bestimmt werden. Auf der Grundlage des Pumpversuchs soll die Bemessung der Grundwasserhaltung erfolgen.

### **6.2. Empfehlungen zur Grundwasserbeweissicherung**

Für die Baumaßnahme wird sowohl eine quantitative als auch eine qualitative Beweissicherung empfohlen. Für die quantitative Grundwasserbeweissicherung sind die bisher kontinuierlich und automatisierten Messungen der Grundwasserstände am vorhandenen Grundwassermessnetz sowie an Grundwassermesstellen, die im Zuge der geplanten Baugrunderkundung errichtet werden, durchzuführen. Zudem wird empfohlen ausgewählte Grundwassermesstellen, die im Bereich des Altlastengebiets Kiel-Wik bereits vorhanden sind, in das Grundwasserbeobachtungssystem zu integrieren.

Für die qualitative Beweissicherung wird im Vorwege der Baumaßnahme empfohlen, an ausgewählten GwMesstellen Proben zu entnehmen und zu analysieren. Dabei ist zu prüfen, ob die qualitative Beweissicherung auf die Überwachung der Betreiber beschränkt werden kann. Das Messprogramm ist mit der Stadt Kiel bzw. mit den Betreibern der Sanierungsmaßnahmen abzustimmen.

Weitere Beprobungen während der Baumaßnahme sind u.E. nur erforderlich, wenn sich aus der quantitativen Grundwasserbeweissicherung eine erhebliche maßnahmenbedingte Veränderung der

Grundwasserströmungsverhältnisse ergibt. Für diesen Fall ist die Auswahl entsprechender Grundwasser-  
messstellen sowie ein geeignetes Messprogramm in Absprache mit der Stadt Kiel bzw. mit den Be-  
treibern der Sanierungsmaßnahmen abzustimmen.

Bundesanstalt für Wasserbau  
Hamburg, Januar 2018

Im Auftrag



Dr.-Ing. M. Pohl

Bearbeiter



Dr.-Ing. T. Nuber