

Flächenherrichtung Steinwerder Süd

Planfeststellungsunterlage

Teil VIII

Stauwasserströmungsmodell

Juni 2022

Träger des Vorhabens

Realisierungsträger

**FLÄCHENHERRICHTUNG
STEINWERDER SÜD –
ANTRAGSUNTERLAGEN ZUR PLANFESTSTELLUNG**

ANTRAGSUNTERLAGE TEIL VIII

**Titel: Stauwasserströmungsmodell –
Prognosen vorhabenbezogener
Stoffströme zum Grund-
und Oberflächenwasser**

Datum: 31.05.2022
Auftraggeber: ReGe Hamburg GmbH
Überseeallee 1
20457 Hamburg

Projektleitung: Roger Günzel
Projektbearbeitung: Marcus Keller
Christian Meyer
Maren Belde

INHALT		Seite
Text		
1	Anlass und Aufgabenstellung	1
2	Rückbauphase Roßterminal (Hot Spots)	3
2.1	Methodik / Vorgehensweise	3
2.2	Datengrundlagen	6
2.3	Mittleres Szenario	7
2.4	Worst-Case-Szenario	12
3	Stauwassermodell	16
3.1	Aufbau des Stauwassermodells	16
3.1.1	Modellabgrenzung und -struktur	16
3.1.2	Teilgesättigter Bereich	18
3.1.3	Randbedingungen	19
3.1.4	Hydraulische Kennwerte	23
3.2	Anwendung des Stauwassermodells	25
3.2.1	Szenarien	25
3.2.2	Stauwasserströme	26
3.2.3	Stofftransport im Stauwasserkörper	29
3.2.4	Stofftransport im Grundwasserleiter	32
3.2.5	Porenwasserauspressung	33
3.2.6	Klimakrise	35
3.3	Aussagesicherheit	36
4	Zusammenfassung	37
5	Quellenverzeichnis	38

Tabellen

Tab. 1:	Datengrundlage (Eluate)	7
Tab. 2:	Probenanzahl und Mediane der Eluatuntersuchungen (mittleres Szenario)	8
Tab. 3:	Beurteilungskriterien (mittleres Szenario)	10
Tab. 4:	Ergebnisse (mittleres Szenario)	11
Tab. 5:	Maxima der Eluatkonzentrationen (Worst-Case-Szenario)	13
Tab. 6:	Beurteilungskriterien (Worst-Case-Szenario)	14
Tab. 7:	Ergebnisse (Worst-Case-Szenario)	15
Tab. 8:	Stauwasserbilanzen	28
Tab. 9:	Prognose der vorhabenbezogenen Stofffrachten	31

Abbildungen

Abb. 1:	Lageplan	3
Abb. 2:	Schemaskizze zu den Wirkungspfaden	4
Abb. 3:	Horizontale Abgrenzung des Modellgebiets	16
Abb. 4:	Modellnetz	17
Abb. 5:	Aktive und inaktive Modellbereiche (Layer 35 und 12)	18
Abb. 6:	Stauwasserstände am südlichen Modellrand	20
Abb. 7:	Strömungssituation im 1. HGWL	21
Abb. 8:	Spundwandschloss (Beispiel)	23
Abb. 9:	Ab- und Zustrompfade des Stauwasserkörpers	27
Abb. 10:	Durchströmung von Bodenkörpern im Planungszustand	29
Abb. 11:	Ansatz zur Konzentrationsentwicklung im Stauwasserstrom	30
Abb. 12:	Abstrombereich im Grundwasserleiter	33

1 Anlass und Aufgabenstellung

Im Sinne einer bedarfsgerechten, zukunftsorientierten Entwicklung des Hamburger Hafens haben der Senat der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) und die Hamburg Port Authority (HPA) beschlossen, die im Stadtteil Steinwerder gelegenen Flächen des Hansaterminals und des Roßterminals – zusammen als Steinwerder Süd (SWS) bezeichnet – umzustrukturieren. Zur Herrichtung neuer, bedarfsgerechter und effizient nutzbarer Hafenumflächen sollen die vorhandenen Landflächen aus Gründen des Hochwasserschutzes aufgehöhht, die Terminalspitzen Roßhöft und Oderhöft zurückgebaut und der dazwischenliegende Bereich des Oderhafens ebenfalls aufgehöhht werden. Hierdurch wird im Rahmen der hier beantragten Maßnahme eine ca. 26,4 ha große, zusammenhängende Fläche geschaffen. (Teil I des Antrages auf Planfeststellung, Erläuterungsbericht)

Falls nicht unmittelbar im Anschluss an die Fertigstellung der Nutzfläche als Ganzes oder in Teilflächen ein kontinuierlicher Ausbau der Flächenversiegelung durch Hallen und Verkehrsflächen durch die Endnutzer:innen erfolgen wird, wird durch die Antragstellerin HPA eine temporäre Versiegelung mit Entwässerung durchgeführt. Dieser Zustand wird im Weiteren als Planungszustand bezeichnet.

Mit den zuvor beschriebenen Umgestaltungen entsteht ein komplexer, hydraulisch zusammenhängender Stauwasserkörper, der die Aufhöhungen der verbleibenden Flächen des Roß- und Hansaterminals sowie die Verfüllung des Oderhafens umfasst.

An der Oberfläche steht der Stauwasserkörper in Kontakt mit dem Niederschlagswasser. Die Einsickerung von Niederschlagswasser in den Stauwasserkörper wird jedoch nach der Bauphase durch die weitgehende Versiegelung im Zuge der Erschließung stark reduziert. Die Niederschlagszusickerung stellt die maßgebliche positive Bilanzgröße des Wasserhaushaltes des Stauwasserkörpers dar.

Der Stauwasserkörper wird im Westen, Norden und Osten durch die Hafengewässer der Elbe begrenzt. Im Süden schließt der Planungsbereich an den bestehenden Aufhöhungsbe- reich an. An der Basis grenzt der Stauwasserkörper an den 1. Hauptgrundwasserleiter (1. HGWL). Aus dem Stauwasserkörper ist ein Abstrom des einsickernden Niederschlagswassers sowohl in die Elbe als auch in den Grundwasserleiter zu erwarten. Die Aussickerung in die Elbe und das Grundwasser stellen die negativen Bilanzgrößen des Wasserhaushaltes des Stauwasserkörpers dar.

Der hydraulische Kontakt, zwischen dem Stau- und dem Grundwasser ist durch verschiedene natürliche und technische Barrieren in unterschiedlichem Maße eingeschränkt, die im vorliegenden Bericht näher beschrieben werden. Innerhalb des Stauwasserkörpers ist durch die sehr unterschiedlichen Durchlässigkeiten der bestehenden und geplanten Verfüllungen und Aufhöhungen ein komplexes Strömungsbild gegeben.

Mit der Stauwasserbewegung ist ein Stoffaustrag aus den Verfüll- und Aufhöhungsböden zu erwarten. Die Stofffrachten werden maßgeblich durch die zu erwartenden Vorbelastungen der Böden und die Strömungsprozesse im Stauwasserkörper bestimmt.

Zur Bestimmung der aus dem Gesamtsystem mit dem Stauwasser austretenden Stofffrachten und -konzentrationen und deren Verteilung auf verschiedene Pfade ist aufgrund der komplexen Strömungssituation innerhalb des Stauwasserkörpers der Einsatz eines numerischen 3D-Strömungsmodells erforderlich. Die Erstellung und Anwendung eines entsprechenden Stauwassermodells wurde daher in die Untersuchungen zum Vorhaben Steinwerder Süd integriert.

Der vorliegende Bericht dokumentiert den Aufbau des Stauwassermodells und beschreibt die mit seiner Hilfe erstellte Prognose der zu erwartenden Stoffströme. Der Stofftransport wird auf der Grundlage der hydraulischen Berechnungen mit dem Strömungsmodell durch ergänzende Auswertungen außerhalb des Modells bestimmt.

Über die zuvor beschriebenen Untersuchungen hinaus beinhaltet der vorliegende Bericht ergänzend eine gesonderte Auswertung, die den vorhabenbezogenen Rückbau der Landspitze des Roßterminals zum Inhalt hat. In dem betroffenen Aufhöhungsmaterial wurden im Rahmen von Voruntersuchungen Bereiche mit erhöhten Schadstoffgehalten (Hot Spots) festgestellt. In der Rückbauphase sind hier unterhalb eines Niveaus von +2,0 m NHN durch Stauwasserbewegungen und den temporären direkten Kontakt der Abbaufächen mit dem Elbwasser im Bereich der Tideschwankung Stoffmobilisierungen möglich. Im Kapitel 2 werden die möglichen Stoffausträge ermittelt und bewertet.

2 Rückbauphase Roßterminal (Hot Spots)

Während der Rückbauphase des Roßterminals kann es aufgrund von Mobilisierungsprozessen zu stofflichen Einträgen aus den Hot Spots (siehe Abb. 1) in das Oberflächengewässer kommen. Es war daher abzuschätzen, wieviel Schadstoffmengen über das Ausheben des Materials (Tiefen unterhalb +2 m NHN) in das Gewässer eingetragen werden.

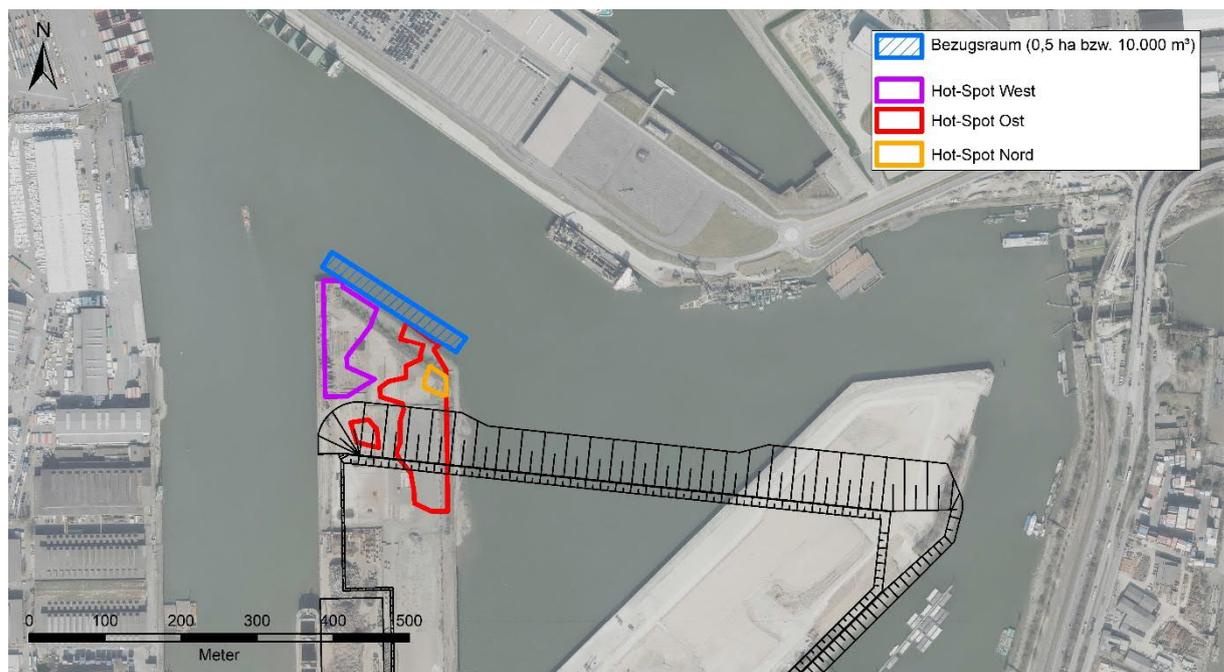


Abb. 1: Lageplan

2.1 Methodik / Vorgehensweise

Bezüglich der stofflichen Einträge aus den Hot Spots in das Oberflächengewässer wurden Abschätzungen mittels zweier Szenarien unter Berücksichtigung der vorhandenen laboranalytischen Untersuchungen durchgeführt. Hierbei handelt es sich um folgende Szenarien:

1. Mittleres Szenario: Heranziehung der Mediane der untersuchten Parameter
2. Worst-Case-Szenario: Heranziehung der Maximalwerte der untersuchten Parameter

Während der Bauphase kann es im Wesentlichen zur Beeinflussung der Oberflächenwasserqualität über drei Wirkungspfade kommen (siehe Abb. 2).

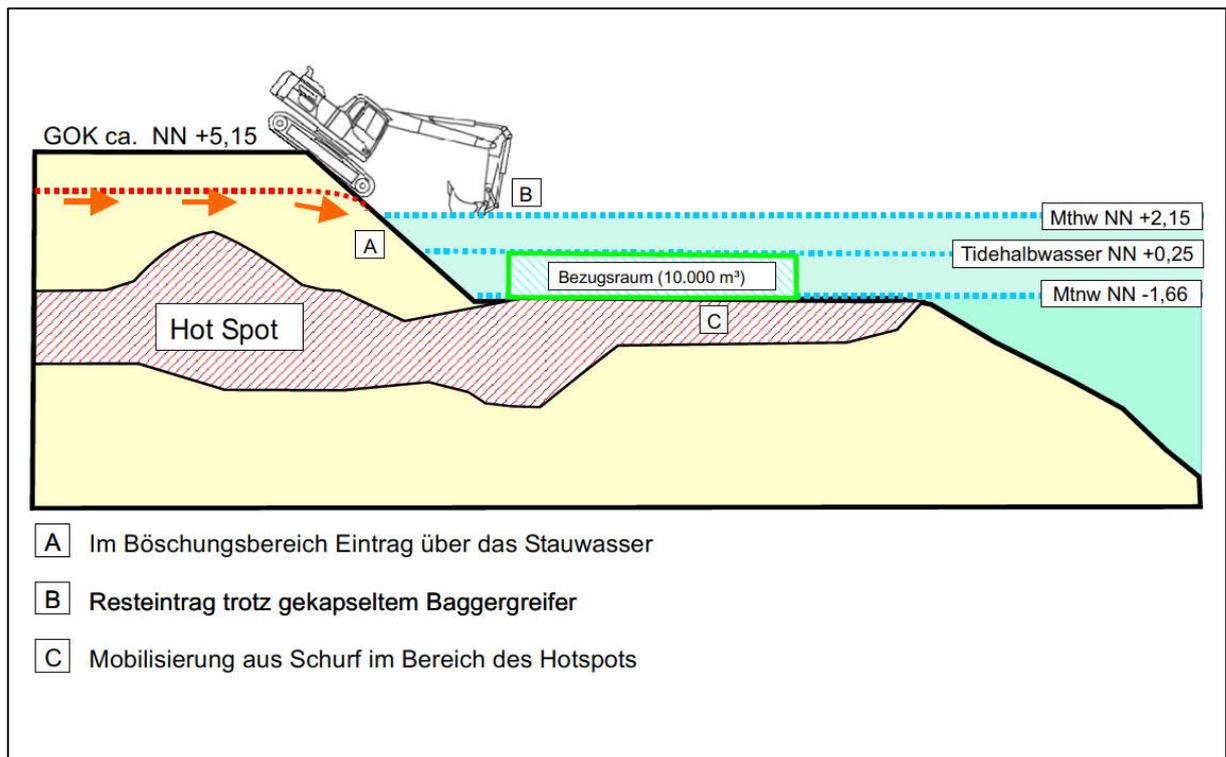


Abb. 2: Schemaskizze zu den Wirkungspfaden

Pfad A (Eintrag über das Stauwasser im Böschungsbereich):

Folgende Annahmen wurden zu Pfad A getroffen:

- Eintragspfad über die gesamte Bauzeit wirksam
- Hydraulischer Gradient I beträgt 0,5 (2:1 Böschung)
- kf-Wert: $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (gemäß Stauwassermodell)
- Länge Böschungsaustritt: 200 m
- Breite Böschungsaustritt: 5 m (von +4 m NHN bis -1 m NHN)
- Parameterkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG):

Mittleres Szenario:	<BG: fließen als $\frac{1}{2}$ BG ein
Worst-Case-Szenario:	<BG: fließen mit Wert der BG ein

Pfad B (Resteintrag aus der Baggerschaufel trotz gekapseltem Baggergreifer):

Folgende Annahmen wurden zu Pfad B getroffen:

- 2.000 m³ Aushub pro Tag (50 % davon Hot Spot-Material)
- 10 % des Baggeraushubs treten in das Oberflächengewässer über
- Eintragspfad über die gesamte Bauzeit wirksam
- Belastung des Aushubs: Median (mittleres Szenario) bzw. Maximum (Worst-Case-Szenario) der Eluatuntersuchungen
- Porenvolumen des Aushubs: 20 %
- Parameterkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG):
 - Mittleres Szenario: Konzentrationen <BG: fließen als ½ BG ein
 - Worst-Case-Szenario: Konzentrationen <BG: fließen mit Wert der BG ein

Pfad C (Mobilisierung aus Schurf im Bereich der Hot Spots):

Folgende Annahmen wurden zu Pfad C getroffen:

- Flächengröße freigelegter Hot Spots (pro Tag): 1.000 m²
- die obersten 5 cm der Schurfsohle geben Schadstoffe vollkommen frei
- Eintragspfad über die gesamte Bauzeit wirksam
- Porenvolumen der Schurfsohle: 20 %
- Belastung der Schurfsohle: Median (mittleres Szenario) bzw. Maximum (Worst-Case-Szenario) der Eluatuntersuchungen
- Parameterkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG):
 - Mittleres Szenario: Konzentrationen <BG: fließen als ½ BG ein
 - Worst-Case-Szenario: Konzentrationen <BG: fließen mit Wert der BG ein

2.2 Datengrundlagen

Es wurden die vorliegenden laboranalytischen Untersuchungsergebnisse von insgesamt 127 Proben (Eluate) ausgewertet:

- Hot Spot Ost: 89 Proben
- Hot Spot West: 36 Proben
- Hot Spot Nord: 2 Proben

Darüber hinaus flossen die laboranalytischen Untersuchungsergebnisse der jüngsten vorliegenden Stauwasser- und Oberflächenwasseruntersuchungen ein.

Die nachfolgende Tab. 1 gibt einen Überblick über die Datengrundlage bezüglich der Eluatuntersuchungen.

Tab. 1: Datengrundlage (Eluate)

Parameter	Einheit	Hot Spot Ost			Hot Spot West			Hot Spot Nord		
		Anzahl [n]	<BG [n]	<BG [%]	Anzahl [n]	<BG [n]	<BG [%]	Anzahl [n]	<BG [n]	<BG [%]
Sulfat	mg/l	89	3	3,4	36	4	11,1	2	0	0,0
Barium	mg/l	88	0	0,0	33	3	9,1	2	0	0,0
Fluorid	mg/l	88	69	78,4	33	19	57,6	2	1	50,0
Ammonium-N	mg/l	89	21	23,6	36	8	22,2	2	2	100,0
Halb-/Schwermetalle										
Antimon	µg/l	88	39	44,3	33	15	45,5	2	1	50,0
Arsen	µg/l	89	1	1,1	36	1	2,8	2	0	0,0
Blei	µg/l	89	53	59,6	36	27	75,0	2	1	50,0
Cadmium	µg/l	89	88	98,9	36	35	97,2	2	2	100,0
Chrom ges.	µg/l	89	74	83,1	36	30	83,3	2	2	100,0
Kupfer	µg/l	89	23	25,8	36	17	47,2	2	0	0,0
Molybdän	µg/l	88	26	29,5	33	13	39,4	2	0	0,0
Nickel	µg/l	89	44	49,4	36	17	47,2	2	1	50,0
Quecksilber	µg/l	89	89	100,0	36	34	94,4	2	2	100,0
Selen	µg/l	88	86	97,7	33	24	72,7	2	2	100,0
Zink	µg/l	89	55	61,8	36	23	63,9	2	1	50,0
Cyanid ges.	µg/l	89	69	77,5	36	36	100,0	2	0	0,0
Cyanid leicht freisetzbar	µg/l	88	84	95,5	33	33	100,0	2	2	100,0
Organische Schadstoffe										
PAK ₁₆	µg/l	19	2	10,5	3	0	0,0	2	0	0,0
PAK ₁₅	µg/l	19	2	10,5	3	0	0,0	2	0	0,0
Naphthalin	µg/l	19	10	52,6	3	0	0,0	2	1	50,0
1-Methylnaphthalin	µg/l	19	13	68,4	3	1	33,3	2	2	100,0
2-Methylnaphthalin	µg/l	19	14	73,7	3	1	33,3	2	1	50,0
Acenaphthylen	µg/l	19	11	57,9	3	3	100,0	2	1	50,0
Acenaphthen	µg/l	19	6	31,6	3	1	33,3	2	1	50,0
Fluoren	µg/l	19	7	36,8	3	1	33,3	2	1	50,0
Phenanthren	µg/l	19	2	10,5	3	0	0,0	2	0	0,0
Anthracen	µg/l	19	8	42,1	3	1	33,3	2	0	0,0
Benzo[a]pyren	µg/l	19	8	42,1	3	2	66,7	2	0	0,0
Benzo[b]fluoranthren	µg/l	19	8	42,1	3	2	66,7	2	0	0,0
Benzo[k]fluoranthren	µg/l	19	9	47,4	3	2	66,7	2	0	0,0
Fluoranthren	µg/l	19	4	21,1	3	1	33,3	2	0	0,0
Benzo[g,h,i]perylen	µg/l	19	8	42,1	3	2	66,7	2	0	0,0
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	µg/l	19	8	42,1	3	2	66,7	2	0	0,0
Dibenz[a,h]anthracen	µg/l	19	9	47,4	3	2	66,7	2	0	0,0
Pyren	µg/l	19	4	21,1	3	1	33,3	2	0	0,0
Benz[a]anthracen	µg/l	19	8	42,1	3	2	66,7	2	0	0,0
Chrysen	µg/l	19	8	42,1	3	2	66,7	2	0	0,0
Phenolindex	µg/l	89	75	84,3	36	29	80,6	2	2	100,0
Monobutylzinn	ng/l	19	18	94,7	3	2	66,7	2	1	50,0
Dibutylzinn-Kation	ng/l	19	19	100,0	3	3	100,0	2	1	50,0
Tributylzinn-Kation	ng/l	19	19	100,0	3	3	100,0	2	1	50,0
Triphenylzinn-Kation	ng/l	19	19	100,0	3	3	100,0	2	2	100,0

2.3 Mittleres Szenario

Für das mittlere Szenario wurden die drei Hot Spots zusammengefasst und jeweils für die einzelnen Parameter die Mediane gebildet. Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze flossen mit dem Wert der halben Bestimmungsgrenze in die Untersuchungen ein.

Die folgende Tab. 2 gibt einen Überblick über die Probenanzahlen sowie über die Mediane der Eluatuntersuchungen.

Tab. 2: Probenanzahl und Mediane der Eluatuntersuchungen (mittleres Szenario)

Parameter	Einheit	Hot Spots Ost, West, Nord	
		Anzahl [n]	Median
Sulfat	mg/l	127	32
Barium	mg/l	123	0,039
Fluorid	mg/l	123	0,075
Ammonium-N	mg/l	127	0,29
Halb-/Schwermetalle			
Antimon	µg/l	123	1,2
Arsen	µg/l	127	3,8
Blei	µg/l	127	0,5
Cadmium	µg/l	127	0,15
Chrom ges.	µg/l	127	0,5
Kupfer	µg/l	127	1,7
Molybdän	µg/l	123	1,9
Nickel	µg/l	127	1,1
Quecksilber	µg/l	127	0,1
Selen	µg/l	123	1,0
Zink	µg/l	127	5,0
Cyanid ges.	µg/l	127	2,5
Cyanid leicht freisetzbar	µg/l	123	5
Organische Schadstoffe			
PAK ₁₆	µg/l	24	0,898
PAK ₁₅	µg/l	24	0,839
Naphthalin	µg/l	24	0,014
1-Methylnaphthalin	µg/l	24	0,005
2-Methylnaphthalin	µg/l	24	0,005
Acenaphthylen	µg/l	24	0,005
Acenaphthen	µg/l	24	0,015
Fluoren	µg/l	24	0,015
Phenanthren	µg/l	24	0,084
Anthracen	µg/l	24	0,040
Benzo[a]pyren	µg/l	24	0,061
Benzo[b]fluoranthren	µg/l	24	0,053
Benzo[k]fluoranthren	µg/l	24	0,032
Fluoranthren	µg/l	24	0,091
Benzo[g,h,i]perylen	µg/l	24	0,046
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	µg/l	24	0,0345
Dibenz[a,h]anthracen	µg/l	24	0,0115
Pyren	µg/l	24	0,072
Benz(a)anthracen	µg/l	24	0,026
Chrysen	µg/l	24	0,046
Phenolindex	µg/l	127	2,5
Monobutylzinn	ng/l	24	0,5
Dibutylzinn-Kation	ng/l	24	0,5
Tributylzinn-Kation	ng/l	24	0,5
Triphenylzinn-Kation	ng/l	24	0,5

Die Bewertungskriterien für das mittlere Szenario bildeten die

- Beurteilungswerte aus der OGewV (Jahresdurchschnittswert (JD), Mittelwert (MW))
- Einleitwerte der BUKEA und die
- Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) der LAWA (2017)

Die folgende Tab. 3 gibt einen Überblick über die jeweiligen parameterbezogenen Bewertungskriterien hinsichtlich des mittleren Szenarios.

Tab. 3: Beurteilungskriterien (mittleres Szenario)

Parameter	Einheit	OGewV			BUKEA Einleitwerte	GFS LAWA (2017)
		Anlage 6 JD-UQN	Anlage 7 max. MW/a	Anlage 8 JD-UQN		
Sulfat	mg/l	--	--	--	200	250
Barium	mg/l	--	--	--	--	0,175
Fluorid	mg/l	--	--	--	--	0,9
Ammonium-N	mg/l	--	0,3	--	2 (4)	--
Halb-/Schwermetalle						
Antimon	µg/l	--	--	--	--	5
Arsen	µg/l	40 mg/kg	--	--	20	3,2
Blei	µg/l	--	--	1,2	4	1,2
Cadmium	µg/l	--	--	0,15	0,5	0,3
Chrom ges.	µg/l	640 mg/kg	--	--	10	3,4
Kupfer	µg/l	160 mg/kg	--	--	5	5,4
Nickel	µg/l	--	--	4	5	7
Quecksilber	µg/l	--	--	--	500	0,1
Selen	µg/l	3	--	--	--	3
Zink	µg/l	800 mg/kg	--	--	50.000	60
Cyanid ges.	µg/l	--	--	--	200	50
Cyanid leicht freisetzbar	µg/l	--	--	--	--	10
Organische Schadstoffe						
PAK ₁₅	µg/l	--	--	--	0,2	0,2
Naphthalin	µg/l	--	--	2	2	2
1-Methylnaphthalin	µg/l	--	--	--		
2-Methylnaphthalin	µg/l	--	--	--		
Acenaphthylen	µg/l	--	--	--	--	--
Acenaphthen	µg/l	--	--	--	--	--
Fluoren	µg/l	--	--	--	--	--
Phenanthren	µg/l	--	--	--	--	--
Anthracen	µg/l	--	--	0,1	--	--
Benzo[a]pyren	µg/l	--	--	0,00017	--	0,01
Benzo[b]fluoranthren	µg/l	--	--	--	--	0,03
Benzo[k]fluoranthren	µg/l	--	--	--	--	0,002
Fluoranthren	µg/l	--	--	0,0063	--	
Benzo[g,h,i]perylen	µg/l	--	--	--	--	
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	µg/l	--	--	--	--	
Dibenz[a,h]anthracen	µg/l	--	--	--	--	0,01
Pyren	µg/l	--	--	--	--	--
Benz(a)anthracen	µg/l	--	--	--	--	--
Chrysen	µg/l	--	--	--	--	--
Phenolindex	µg/l	--	--	--	--	8
Monobutylzinn	ng/l	--	--	--	--	--
Dibutylzinn-Kation	ng/l	--	--	--	--	10
Tributylzinn-Kation	ng/l	--	--	0,2	12	0,2
Triphenylzinn-Kation	ng/l	--	--	--	--	0,5

Zur Abschätzung der Schadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer innerhalb der Rückbauphase (Hot Spots) wurden die wirkungspfadabhängigen Schadstofffrachten (Wirkungspfade A, B und C, siehe Kap. 2.1) summiert (A+B+C). Anschließend wurde die Verdünnung der Schadstoffkonzentrationen im Bezugskörper (10.000 m³, siehe Kap. 2.1) berücksichtigt.

Die nachfolgende Tab. 4 gibt einen Überblick über die Ergebnisse. In der Spalte „resultierende Konz. ges.“ sind die abgeschätzten resultierenden Konzentrationen für das mittlere Szenario wiedergegeben.

Tab. 4: Ergebnisse (mittleres Szenario)

Parameter	Mittleres Szenario (Median der Stoffkonzentrationen)			resultierende Konz. ges.	Einheit	Oderhafen	OGewV			BUKEA Einleitwerte	GFS LAWA (2017)
	Fracht A (g/d)	Fracht B (g/d)	Fracht C (g/d)				Anlage 6 JD-UQN	Anlage 7 max. MW/a	Anlage 8 JD UQN		
Sulfat	1,21	0,64	0,32	0,216	mg/l	79,5	--	--	--	200	250
Barium	1,68	0,78	0,39	0,0003	mg/l	0,001	--	--	--	--	0,175
Fluorid	3,24	1,5	0,75	0,0005	mg/l	n.u.	--	--	--	--	0,9
Ammonium-N	7,3	5,8	2,9	0,0016	mg/l	0,06	--	0,3	--	2 (4)	--
Halb-/Schwermetalle											
Antimon	0,052	0,024	0,012	0,009	µg/l	n.u.	--	--	--	--	5
Arsen	0,069	0,076	0,038	0,018	µg/l	2,6	40 mg/kg	--	--	20	3,2
Blei	0,022	0,010	0,005	0,004	µg/l	1,5	--	--	1,2	4	1,2
Cadmium	0,006	0,003	0,002	0,001	µg/l	<0,3	--	--	0,15	0,5	0,3
Chrom ges.	0,022	0,010	0,005	0,004	µg/l	<1	640 mg/kg	--	--	10	3,4
Kupfer	0,112	0,034	0,017	0,016	µg/l	3,2	160 mg/kg	--	--	5	5,4
Nickel	0,151	0,022	0,011	0,018	µg/l	2,6	--	--	4	5	7
Quecksilber	0,004	0,002	0,001	0,001	µg/l	<0,2	--	--	--	500	0,1
Selen	0,043	0,020	0,010	0,007	µg/l	n.u.	3	--	--	--	3
Zink	1,2	0,100	0,050	0,136	µg/l	19	800 mg/kg	--	--	50.000	60
Cyanid ges.	0,108	0,050	0,025	0,018	µg/l	<5	--	--	--	200	50
Cyanid leicht freisetzbar	0,216	0,100	0,050	0,037	µg/l	n.u.	--	--	--	--	10
Organische Schadstoffe											
PAK ₁₅	0,0002	0,0168	0,0084	0,00254	µg/l	<BG	--	--	--	0,2	0,2
Naphthalin	0,0002	0,0003	0,0001	0,00006	µg/l	<0,01	--	--	2	--	--
1-Methylnaphthalin	0,0002	0,0001	0,0001	0,00004	µg/l	<0,01	--	--	--	2	2
2-Methylnaphthalin	0,0002	0,0001	0,0001	0,00004	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Acenaphthylen	0,0002	0,0001	0,0001	0,00004	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Acenaphthen	0,0002	0,0003	0,0002	0,00007	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Fluoren	0,0002	0,0003	0,0002	0,00007	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Phenanthren	0,0002	0,0017	0,0008	0,00027	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Anthracen	0,0002	0,0008	0,0004	0,00014	µg/l	<0,01	--	--	0,1	--	--
Benzo[a]pyren	0,0002	0,0012	0,0006	0,00020	µg/l	<0,01	--	--	0,00017	--	0,01
Benzo[b]fluoranthren	0,0002	0,0011	0,0005	0,00018	µg/l	<0,01	--	--	--	--	0,03
Benzo[k]fluoranthren	0,0002	0,0006	0,0003	0,00012	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Fluoranthren	0,0002	0,0018	0,0009	0,00029	µg/l	<0,01	--	--	0,0063	--	0,1
Benzo[g,h,i]perylen	0,0002	0,0009	0,0005	0,00016	µg/l	<0,01	--	--	--	--	0,002
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,0002	0,0007	0,0003	0,00013	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Dibenz[a,h]anthracen	0,0002	0,0002	0,0001	0,00006	µg/l	<0,01	--	--	--	--	0,01
Pyren	0,0002	0,0014	0,0007	0,00024	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Benz(a)anthracen	0,0002	0,0005	0,0003	0,00010	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Chrysen	0,0002	0,0009	0,0005	0,00016	µg/l	<0,01	--	--	--	--	--
Phenolindex	0,108	0,050	0,025	0,018	µg/l	<5	--	--	--	--	8
Monobutylzinn	0,00008	0,000010	0,000005	0,009	ng/l	1,5	--	--	--	--	--
Dibutylzinn-Kation	0,00002	0,000010	0,000005	0,004	ng/l	<1	--	--	--	--	10
Tributylzinn-Kation	0,00002	0,000010	0,000005	0,004	ng/l	<1	--	--	0,2	12	0,2
Triphenylzinn-Kation	0,00002	0,000010	0,000005	0,004	ng/l	<1	--	--	--	--	0,5

Wie aus Tab. 4 ersichtlich, werden (mit Ausnahme des PAK-Einzelparameters Benzo(a)pyren) die zulässigen Jahresdurchschnittskonzentrationen der OGewV eingehalten. Die abgeschätzte Konzentration des Parameters Benzo(a)pyren von 0,00020 µg/l überschreitet hingegen die zulässige Jahresdurchschnittskonzentrationen der OGewV von 0,00017 µg/l.

Aus Tab. 4 geht weiter hervor, dass sowohl sämtliche Einleitwerte der BUKEA als auch die Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA (2016) deutlich unterschritten werden.

2.4 Worst-Case-Szenario

Für das Worst-Case-Szenario wurde jeweils die maximale Schadstoffkonzentration verwendet. Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze flossen mit dem Wert der Bestimmungsgrenze ein (siehe Kap. 2.1).

Die nachfolgende Tab. 5 gibt einen Überblick über die verwendeten Maxima der Eluatuntersuchungen und deren Relationen zu den jeweiligen Mittelwerten und Medianen der Parameterkonzentrationen.

Tab. 5: Maxima der Eluatkonzentrationen (Worst-Case-Szenario)

Parameter	Einheit	Hot Spot Ost			Hot Spot West			Hot Spot Nord		
		Mittelwert	Median	Maximum	Mittelwert	Median	Maximum	Mittelwert	Median	Maximum
Sulfat	mg/l	107,7	44	862	54,9	12	344	258	258	504
Barium	mg/l	0,044	0,044	0,14	0,037	0,02	0,19	0,046	0,046	0,048
Fluorid	mg/l	0,19	0,15	1	0,20	0,15	0,48	0,215	0,215	0,28
Ammonium-N	mg/l	2,78	0,29	22	3,14	0,38	20	0,02	0,02	0,02
Halb-/Schwermetalle										
Antimon	µg/l	2,87	1,3	23	2,3	1,1	18	5,5	5,5	10
Arsen	µg/l	4,76	3,8	15	5,34	4,35	16	2,4	2,4	3,1
Blei	µg/l	2,52	1,0	20	6,31	1,0	170	1,05	1,05	1,1
Cadmium	µg/l	0,31	0,3	1,1	0,30	0,3	0,35	0,3	0,3	0,3
Chrom ges.	µg/l	1,72	1	15	1,72	1	12	1,0	1,0	1,0
Kupfer	µg/l	3,67	1,7	33	3,08	1,45	31	5,65	5,65	5,7
Molybdän	µg/l	3,28	1,9	20	2,4	1,1	18	5,9	5,9	6,1
Nickel	µg/l	3,69	1,1	91	3,04	1,05	30	2,0	2,0	3,0
Quecksilber	µg/l	0,2	0,2	0,2	0,40	0,2	6,8	0,2	0,2	0,2
Selen	µg/l	2,06	2	4,8	2,7	2	8,1	2,0	2,0	2,0
Zink	µg/l	53,9	10	2000	26,7	10	320	20	20	30
Cyanid ges.	µg/l	41,9	5	810	5	5	5	59,5	59,5	81
Cyanid leicht freisetzbar	µg/l	11,1	10	72	10	10	10	10	10	10
Organische Schadstoffe										
PAK ₁₆	µg/l	3,94	0,58	42,2	0,79	0,90	1,44	3,02	3,02	4,01
PAK ₁₅	µg/l	3,90	0,57	42,1	0,75	0,84	1,4	3,01	3,01	4,0
Naphthalin	µg/l	0,04	0,02	0,25	0,04	0,038	0,059	0,01	0,01	0,013
1-Methylnaphthalin	µg/l	0,02	0,01	0,062	0,01	0,016	0,018	0,01	0,01	0,01
2-Methylnaphthalin	µg/l	0,02	0,01	0,053	0,02	0,019	0,025	0,01	0,01	0,018
Acenaphthylen	µg/l	0,02	0,01	0,073	0,010	0,010	0,010	0,025	0,025	0,030
Acenaphthen	µg/l	0,06	0,014	0,35	0,08	0,023	0,21	0,029	0,029	0,030
Fluoren	µg/l	0,05	0,015	0,28	0,05	0,02	0,12	0,023	0,023	0,030
Phenanthren	µg/l	0,34	0,062	3,7	0,15	0,13	0,32	0,140	0,140	0,150
Anthracen	µg/l	0,10	0,016	0,94	0,03	0,04	0,04	0,086	0,086	0,120
Benzo[a]pyren	µg/l	0,40	0,06	4,5	0,06	0,01	0,15	0,300	0,300	0,380
Benzo[b]fluoranthren	µg/l	0,41	0,05	4,9	0,05	0,01	0,14	0,270	0,270	0,320
Benzo[k]fluoranthren	µg/l	0,25	0,03	2,9	0,04	0,01	0,09	0,190	0,190	0,240
Fluoranthren	µg/l	0,58	0,09	5,8	0,10	0,09	0,21	0,445	0,445	0,590
Benzo[g,h,i]perylene	µg/l	0,27	0,05	2,7	0,03	0,01	0,079	0,39	0,39	0,59
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	µg/l	0,24	0,03	2,5	0,02	0,01	0,051	0,28	0,28	0,41
Dibenz[a,h]anthracen	µg/l	0,09	0,01	0,92	0,01	0,01	0,021	0,08	0,08	0,12
Pyren	µg/l	0,47	0,07	4,4	0,08	0,06	0,16	0,395	0,395	0,560
Benz[a]anthracen	µg/l	0,30	0,02	3,5	0,05	0,01	0,13	0,175	0,175	0,240
Chrysen	µg/l	0,39	0,05	4,7	0,06	0,01	0,16	0,240	0,240	0,300
Phenolindex	µg/l	6,1	5,0	55	5,5	5,0	12	5,0	5,0	5,0
Monobutylzinn	ng/l	1,1	1,0	2,0	1,0	1,0	1,1	4,0	4,0	7,0
Dibutylzinn-Kation	ng/l	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,6	1,6	2,1
Tributylzinn-Kation	ng/l	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4
Triphenylzinn-Kation	ng/l	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Die Bewertungskriterien für das Worst-Case- Szenario bildeten die

- Beurteilungswerte aus OGeV (Zulässige Höchstkonzentration (ZHK))
- Einleitwerte der BUKEA und die
- Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) der LAWA (2017)

Die folgende Tab. 6 gibt einen Überblick über die jeweiligen parameterbezogenen Bewertungskriterien hinsichtlich des Worst-Case- Szenarios.

Tab. 6: Beurteilungskriterien (Worst-Case-Szenario)

Parameter	Einheit	OGewV		
		Anlage 8 ZHK-UQN	BUKEA Einleitwerte	GFS LAWA (2017)
Sulfat	mg/l	--	200	250
Barium	mg/l	--	--	0,175
Fluorid	mg/l	--	--	0,9
Ammonium-N	mg/l	--	2 (4)	--
Halb-/Schwermetalle				
Antimon	µg/l	--	--	5
Arsen	µg/l	--	20	3,2
Blei	µg/l	14	4	1,2
Cadmium	µg/l	--	0,5	0,3
Chrom ges.	µg/l	--	10	3,4
Kupfer	µg/l	--	5	5,4
Nickel	µg/l	34	5	7
Quecksilber	µg/l	--	500	0,1
Selen	µg/l	--	--	3
Zink	µg/l	--	50.000	60
Cyanid ges.	µg/l	--	200	50
Cyanid leicht freisetzbar	µg/l	10	--	10
Organische Schadstoffe				
PAK ₁₅	µg/l	--	0,2	0,2
Naphthalin	µg/l	130	2	2
1-Methylnaphthalin	µg/l	--		
2-Methylnaphthalin	µg/l	--	--	--
Acenaphthylen	µg/l	--	--	--
Acenaphthen	µg/l	--	--	--
Fluoren	µg/l	--	--	--
Phenanthren	µg/l	--	--	--
Anthracen	µg/l	0,1	--	--
Benzo[a]pyren	µg/l	0,27	--	0,01
Benzo[b]fluoranthen	µg/l	0,017	--	0,03
Benzo[k]fluoranthen	µg/l	0,017	--	
Fluoranthen	µg/l	0,12	--	0,1
Benzo[g,h,i]perylen	µg/l	0,0082	--	0,002
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	µg/l	nicht anwendbar	--	
Dibenz[a,h]anthracen	µg/l	--	--	0,01
Pyren	µg/l	--	--	--
Benz(a)anthracen	µg/l	--	--	--
Chrysen	µg/l	--	--	--
Phenolindex	µg/l	--	--	8
Monobutylzinn	ng/l	--	--	--
Dibutylzinn-Kation	ng/l	--	--	10
Tributylzinn-Kation	ng/l	1,5	12	0,2
Triphenylzinn-Kation	ng/l	--	--	0,5

Zur Abschätzung der Schadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer innerhalb der Rückbauphase (Hot Spots) wurden die wirkungspfadabhängigen Schadstofffrachten (Wirkungspfade A, B und C, siehe Kap. 2.1) summiert (A+B+C). Anschließend wurde die Verdünnung der Schadstoffkonzentrationen im Bezugskörper (10.000 m³, siehe Kap. 2.1) berücksichtigt.

Die nachfolgende Tab. 7 gibt einen Überblick über die Ergebnisse im Hinblick auf das Worst-Case-Szenario. In der Spalte „resultierende Konz. ges.“ sind die abgeschätzten resultierenden Konzentrationen für das Worst-Case-Szenario wiedergegeben.

Tab. 7: Ergebnisse (Worst-Case-Szenario)

Parameter	Einheit	(Worst-Case-Szenario)				Oderhafen	OGewV		
		Fracht A (g/d)	Fracht B (g/d)	Fracht C (g/d)	resultierende Konz. ges.		Anlage 8 ZHK-UQN	BUKEA Einleitwerte	GFS LAWA (2017)
Sulfat	mg/l	1.210	17.240	8.620	2,7	79,5	--	200	250
Barium	mg/l	8,2	3,8	1,9	0,0014	0,001	--	--	0,175
Fluorid	mg/l	43,2	20	10	0,01	n.u.	--	--	0,9
Ammonium-N	mg/l	7,3	440	220	0,07	0,06	--	2 (4)	--
Halb-/Schwermetalle									
Antimon	µg/l	0,99	0,46	0,23	0,17	n.u.	--	--	5
Arsen	µg/l	0,069	0,30	0,15	0,05	2,6	--	20	3,2
Blei	µg/l	0,043	3,4	1,7	0,51	1,5	14	4	1,2
Cadmium	µg/l	0,013	0,02	0,01	0,005	<0,3	--	0,5	0,3
Chrom ges.	µg/l	0,043	0,30	0,15	0,05	<1	--	10	3,4
Kupfer	µg/l	0,112	0,66	0,33	0,11	3,2	--	5	5,4
Nickel	µg/l	0,151	1,82	0,91	0,29	2,6	34	5	7
Quecksilber	µg/l	0,009	0,14	0,07	0,021	<0,2	--	500	0,1
Selen	µg/l	0,35*	0,16	0,08	0,06	n.u.	--	--	3
Zink	µg/l	1,21	40	20	6,12	19	--	50.000	60
Cyanid ges.	µg/l	0,216	16,2	8,1	2,45	<5	--	200	50
Cyanid leicht freisetzbar	µg/l	3,1	1,4	0,7	0,53	n.u.	10	--	10
Organische Schadstoffe									
PAK ₁₅	µg/l	0,0004	0,84	0,42	0,126	<BG	--	0,2	0,2
Naphthalin	µg/l	0,0004	0,005	0,003	0,0008	<0,01	130	--	--
1-Methylnaphthalin	µg/l	0,0004	0,001	0,001	0,0002	<0,01	--	2	2
2-Methylnaphthalin	µg/l	0,0004	0,001	0,001	0,0002	<0,01	--	--	--
Acenaphthylen	µg/l	0,0004	0,001	0,001	0,0003	<0,01	--	--	--
Acenaphthen	µg/l	0,0004	0,007	0,004	0,001	<0,01	--	--	--
Fluoren	µg/l	0,0004	0,006	0,003	0,001	<0,01	--	--	--
Phenanthren	µg/l	0,0004	0,074	0,037	0,011	<0,01	--	--	--
Anthracen	µg/l	0,0004	0,019	0,009	0,003	<0,01	0,1	--	--
Benzo[a]pyren	µg/l	0,0004	0,090	0,045	0,014	<0,01	0,27	--	0,01
Benzo[b]fluoranthren	µg/l	0,0004	0,098	0,049	0,015	<0,01	0,017	--	0,03
Benzo[k]fluoranthren	µg/l	0,0004	0,058	0,029	0,009	<0,01	0,017	--	--
Fluoranthren	µg/l	0,0004	0,116	0,058	0,017	<0,01	0,12	--	0,1
Benzo[g,h,i]perylen	µg/l	0,0004	0,054	0,027	0,008	<0,01	0,0082	--	0,002
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	µg/l	0,0004	0,050	0,025	0,008	<0,01	nicht anwendbar	--	--
Dibenz[a,h]anthracen	µg/l	0,0004	0,018	0,009	0,003	<0,01	--	--	0,01
Pyren	µg/l	0,0004	0,088	0,044	0,013	<0,01	--	--	--
Benz(a)anthracen	µg/l	0,0004	0,070	0,035	0,011	<0,01	--	--	--
Chrysen	µg/l	0,0004	0,094	0,047	0,014	<0,01	--	--	--
Phenolindex	µg/l	0,22	1,1	0,55	0,2	<5	--	--	8
Monobutylzinn	ng/l	0,00008	0,00014	0,00007	0,029	1,5	--	--	--
Dibutylzinn-Kation	ng/l	0,00004	0,00004	0,00002	0,011	<1	--	--	10
Tributylzinn-Kation	ng/l	0,00004	0,00003	0,00001	0,009	<1	1,5	12	0,2
Triphenylzinn-Kation	ng/l	0,00004	0,00002	0,00001	0,007	<1	--	--	0,5

Wie aus Tab. 7 ersichtlich, werden im Rahmen des Worst-Case-Szenarios sowohl die zulässigen Jahreshöchstkonzentrationen der OGewV als auch die Einleitwerte der BUKEA für sämtliche Parameter eingehalten. Die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA (2017) werden, mit Ausnahme der PAK-Einzelparameter Benzo(a)pyren sowie Benzo(g,h,i)perylen und Indeno(1,2,3-cd)pyren, eingehalten.

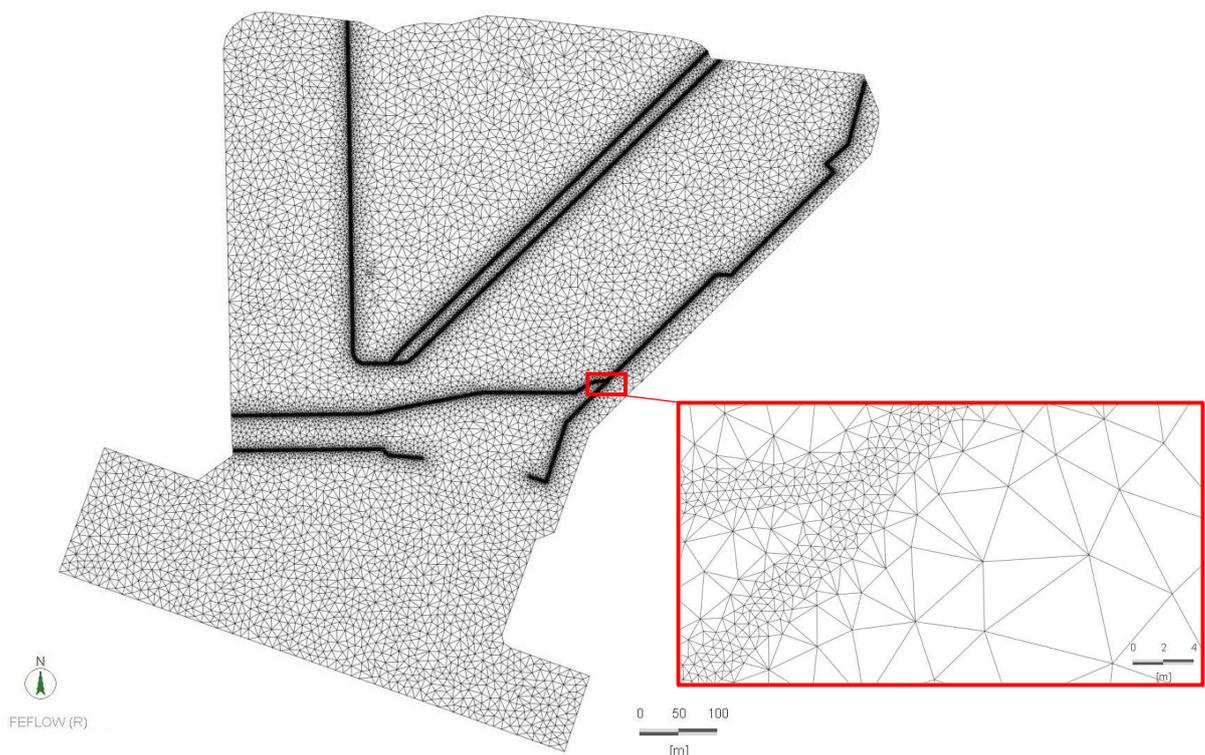


Abb. 4: Modellnetz

Die vertikale Abgrenzung des Stauwassermodells wird größtenteils durch die Grenzflächen des Planungsraums zum Oberflächenwasser (Elbe bzw. Hafengewässer) und zum Grundwasser vorgegeben. Die vertikale Diskretisierung erfolgt durch 39 horizontale Ebene Modellschichten (Layer) zwischen einem Niveau von +8,0 m NHN an der Oberfläche und -14,0 m NHN an der Basis. Die Layer haben, mit Ausnahme des obersten (3 m), eine einheitliche Mächtigkeit von 0,5 m.

Nichtplane Strukturen werden durch layerübergreifende Parameterbelegungen abgebildet. Die nichtplanen Außengrenzen des Modells werden durch inaktive Modellbereiche definiert. Dies ist in der Abb. 5 beispielhaft für die Layer 35 und 12 dargestellt. In das Niveau von -12,0 m NHN reicht nur der tiefe, östliche Teil des Oderhafenbeckens. Die umliegenden Modellbereiche sind inaktiv, da der hier befindliche Grundwasserleiter im Modell nicht abgebildet wird. Im Niveau von -0,5 m NHN (Layer 12) werden im Stauwassermodell der gesamte Oderhafen und darüber hinaus die bestehenden Verfüllungen der ehemaligen Hafengewässer Rodewischhafens und Ellerholzkanals abgebildet. Oberhalb eines Niveaus von 0,0 m NHN ist der gesamte Modellbereich aktiv.

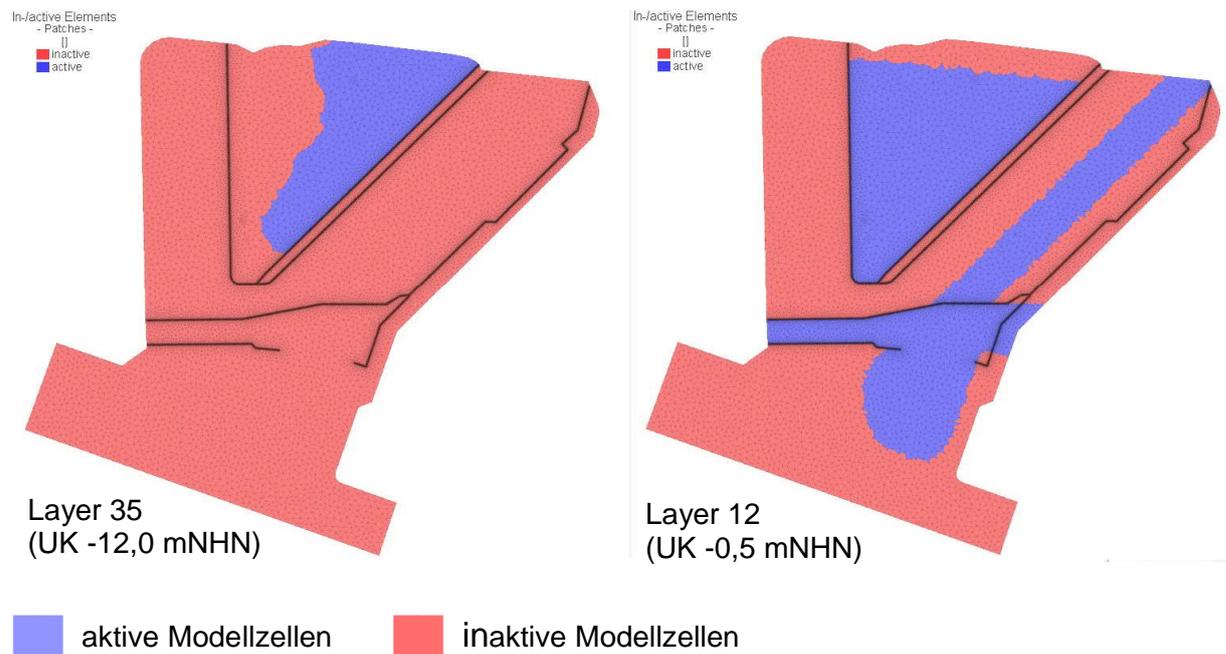


Abb. 5: Aktive und inaktive Modellbereiche (Layer 35 und 12)

3.1.2 Teilgesättigter Bereich

Das Stauwassermodell bildet die Strömungsprozesse im gesättigten Bereich des Stauwasserkörpers ab. Im obersten Abschnitt des Verfüllkörpers kommt es im Bereich des Oderhafens in der geplanten Wechsellagerung aus Sand-, Klei- und Torfschichten zu komplexen Sickerprozessen im teilgesättigten Bereich. Genährt durch die Einsickerung von Niederschlagswasser bilden sich über den geringdurchlässigen Lagen Stauwasserkuppen aus. Das Stauwasser strömt zum Teil zu den Rändern der geringdurchlässigen Lagen. Der übrige Anteil sickert durch die stauenden Schichten vertikal ein.

Die Verteilung des Zustroms zum gesättigten Stauwasserkörper wurde näherungsweise mit einem separaten schematischen Strömungsmodell ermittelt. Dabei wurden die Situationen einer erhöhten Einsickerung in der Bauphase (500 mm/a) und die geringere Einsickerung im Planungszustand (50 mm) unterschieden.

In der bauzeitlichen Phase einer erhöhten Einsickerung (500 mm/a) strömt der Großteil des zusickernden Wassers oberflächennah zu den Randbereichen der Oderhafenverfüllung ab (ca. 80 %). Die restliche Menge sickert vertikal durch die geringdurchlässigen Lagen der Wechsellagerung. Im Planungszustand, mit einer durch die Oberflächenversiegelung verringerten Einsickerung (50 mm/a), kehrt sich das Verhältnis um. Es sickern dann rd. 80 % dem gesättigten Bereich vertikal zu und ca. 20 % strömen zu den Randbereichen des verfüllten Oderhafens ab.

Auf die Modellergebnisse hat die Differenzierung der Einsickerungsbereiche nur einen geringen Einfluss, da die Gesamtmenge der Einsickerung gleichbleibt und da in der Sandschicht unterhalb der Wechsellagerung eine weitgehende Vergleichmäßigung des Strömungsbildes erfolgt.

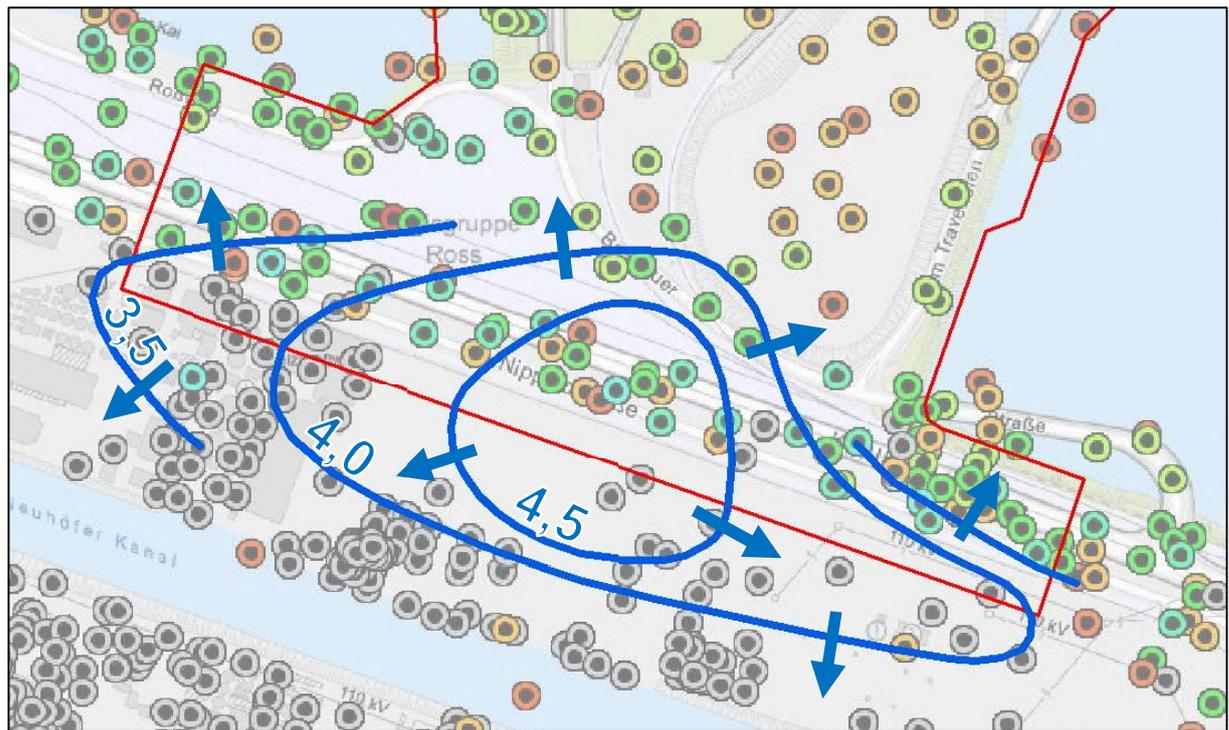
3.1.3 Randbedingungen

Niederschlagseinsickerung

Der Zustrom von Wasser in den Stauwasserkörper erfolgt maßgeblich durch die Zusickerung von Niederschlagswasser. Die Abbildung im Strömungsmodell erfolgt über eine Randbedingung 2. Art (feste Zustromrate), die im obersten Bereich der gesättigten Zone angesetzt ist. Die räumliche Differenzierung der Zusickerung durch die komplexe Sicker- und Strömungsbewegungen in der teilgesättigten Zone im Bereich des verfüllten Oderhafens wurde mit einem separaten Modell ermittelt (siehe Kap. 3.1.2) und in den Ansatz der Randbedingung der 2. Art übernommen.

Stauwasserzustrom

Am Südrand hat das Stauwassermodell im oberen Abschnitt keine Grenzfläche zum Grund- oder Oberflächenwasser bzw. zur jeweils hydraulisch trennenden Einheit. Hier schließt es an den bestehenden Stauwasserkörper der aufgehöhten Hafentflächen an. Aus den Angaben zum Stauwasserstand in den Bohrungen in diesem Bereich (Bohrdatenportal Hamburg) wurde näherungsweise ein homogenes Strömungsbild abgeleitet (siehe Abb. 6).



— Stauwasserstand mNHN ➔ Richtung der Stauwasserströmung

Abb. 6: Stauwasserstände am südlichen Modellrand

Die entlang der zentralen Achse der Landzunge auftretenden Stauwasserpotenziale (siehe Abb. 6) wurden am Südrand des Strömungsmodells als Randbedingungen 1. Art (Festpotenzial) im Niveau oberhalb der natürlichen Weichschichten angesetzt.

Grundwasserpotenziale

An den Grenzflächen des Stauwasserkörpers zum Grundwasserleiter (1. HGWL) wird der Wasseraustausch u.a. durch die Potenzialdifferenz (Druckdifferenz) zwischen den beiden Systemen bestimmt. Während die Stauwasserpotenziale berechnet werden, werden die Grundwasserpotenziale über eine Randbedingung statisch angesetzt. Durch die geringen Sickerraten des Stauwassers und die hohe Transmissivität des Grundwasserleiters bewirkt die Stauwasseraussickerung keine relevanten hydraulischen Veränderungen im 1. HGWL, so dass diese Wechselwirkung unberücksichtigt bleiben kann.

Die Grundwassergleichen im Planungsraum wurden mit einem numerischen 3D Strömungsmodell (FEFLOW) ermittelt, dass durch die BWS GmbH im Rahmen vorausgehender Untersuchungen (Westerweiterung Container Terminal Hamburg CTH, Containerterminal Steinwerder CTS) erstellt wurde. Das Strömungsbild im 1. HGWL wird stark durch die Brauchwasserentnahme der ADM Hamburg AG geprägt (siehe Abb. 7). Die drei Brunnen liegen am Südwestrand des Modellgebietes. Das im Jahr 2015 erweiterte Wasserrecht umfasst eine jährliche Grundwasserentnahme aus den Brunnen von insgesamt 1,8 Mio. m³, die auch Grundlage der Modellrechnung ist.

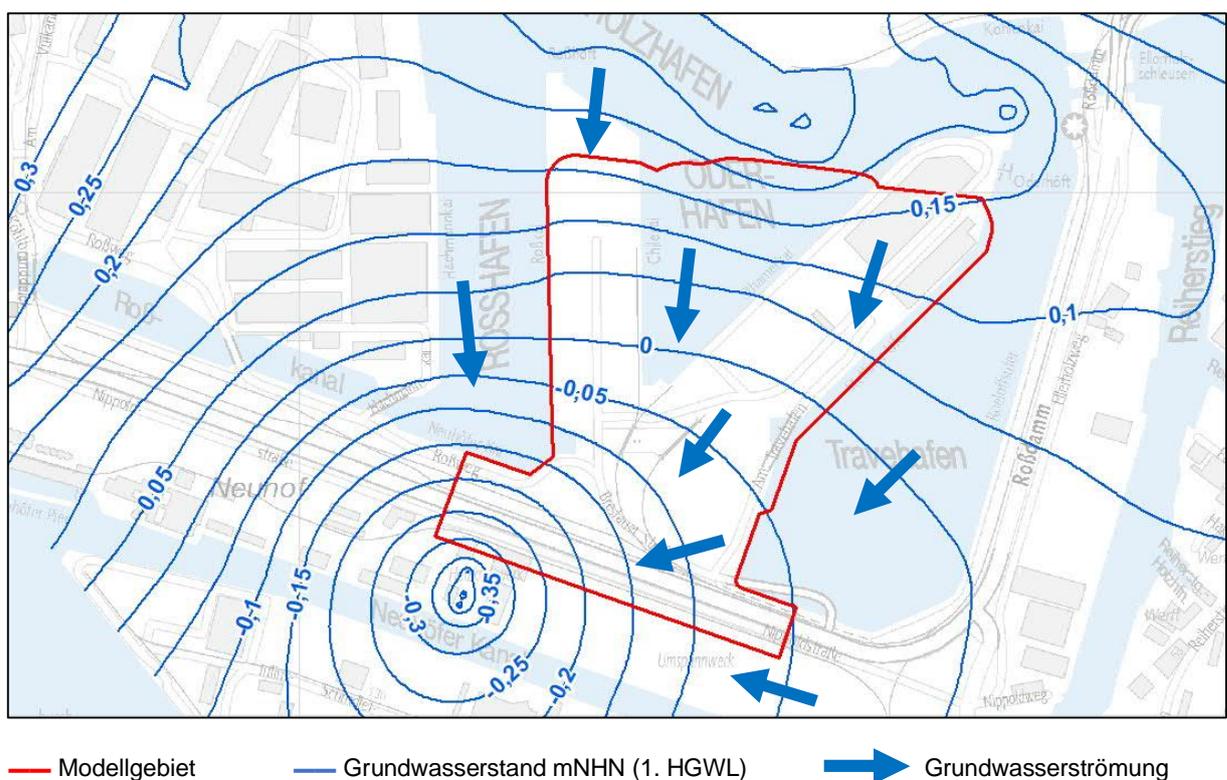


Abb. 7: Strömungssituation im 1. HGWL

Mit der Strömungssituation unter Ausschöpfung des Wasserrechts der ADM Hamburg AG stellen sich an der Basis des untersuchten Stauwasserkörpers die niedrigsten zu erwartenden mittleren Potenziale ein. Da niedrige Grundwasserpotenziale eine stärkere Stauwassereinsickerung in den 1. HGWL bewirken als hohe Potenziale, wird mit dieser Strömungssituation im Sinne eines konservativen Prognoseansatzes eine ungünstige Randbedingung gewählt.

Im Stauwassermodell werden die Grundwasserpotenziale an den äußeren Grenzflächen als Randbedingungen 3. Art (entferntes Potenzial) entsprechend der in der Abb. 7 dargestellten Werteverteilung abgebildet. Die hydraulische Dämpfung der Randbedingung ergibt sich aus der Durchlässigkeit und Dicke der jeweiligen hydraulisch trennenden Einheit (Spundwände, natürliche Weichschichten und Hafenschlicke) und wurde entsprechend angesetzt.

Oberflächenwasserpotenziale

An den Grenzflächen des Stauwasserkörpers zur Elbe wird der Wasseraustausch durch die Potenzialdifferenz und ggf. die Eigenschaften der hydraulisch trennenden Einheit bestimmt. Im Bereich einer hydraulischen Trennung (Spundwand) erfolgt die Abbildung des Austausches im Stauwassermodell als Randbedingungen 3. Art (entferntes Potenzial). Die hydraulische Dämpfung der Randbedingung wurde aus der Ableitung der Durchlässigkeit der Spundwandflächen übernommen (siehe weiter unten).

Der Wasseraustausch über die nicht gedichteten unteren Abschnitte der Böschungen im Norden (Abschlussdamm) und Osten (Böschung zum Travehafen) wird über Randbedingungen der 1. Art (Festpotenzial) abgebildet. Die durchströmten Damm- bzw. Böschungskörper sind Bestandteil des Strömungsmodelles.

Als Potenzial des mittleren Oberflächenwasserstands wird bei den Randbedingungen 1. und 3. Art an den Grenzflächen zur Elbe ein Wert von +0,3 m NHN angesetzt.

Spundwände

Einen Teil der äußeren Grenzflächen des Stauwasserkörpers bilden Spundwände. Diese bilden sowohl hydraulische Abgrenzungen gegen die Elbe als auch gegen den Grundwasserleiter (siehe Abb. 9). Da die Spundwände für statische Zwecke hergestellt worden sind, besitzen sie keine speziellen Dichtungen. Durch die ungedichteten Spundwandschlösser sowie durch Loch- und Fehlstellen in den Spundwänden besteht eine Restdurchlässigkeit dieser Grenzflächen.

Entlang der Schlösser greifen die Bohlenprofile ineinander (siehe Abb. 8). Für ungedichtete Schlösser von Spundwandbohlen wird als Literaturwert eine Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-7}$ m³/s pro Meter Schlosslänge bezogen auf eine Potenzialdifferenz von einem Meter zwischen Außen- und Innenfläche angenommen. Für die Loch- und Fehlstellen wird für die Spundwände ein Flächenanteil von 2 % angesetzt.



Abb. 8: Spundwandschloss (Beispiel)

Aus den unterschiedlichen Bohlenbreiten ergeben sich für verschiedene Spundwandflächen nur sehr geringfügige Abweichungen der Durchlässigkeit. Für das Strömungsmodell wird mit dem rechnerischen Äquivalent einer geringdurchlässigen Schicht mit einer Durchlässigkeit von $4,5 \cdot 10^{-7}$ m/s und einer Dicke von einem Meter daher ein einheitlicher Ansatz gewählt.

Aufgrund der relativ hohen Unsicherheit bezüglich der Durchlässigkeit der Spundwandflächen erfolgte diesbezüglich eine Sensitivitätsanalyse mit einer Variation der Durchlässigkeit im plausiblen Wertebereich (siehe auch Kap. 3.3).

3.1.4 Hydraulische Kennwerte

Durchlässigkeit (kf-Wert)

Der Durchlässigkeitsbeiwert der Bodeneinheiten ist der für die stationären Rechenläufe maßgebliche hydraulische Kennwert. Er bestimmt bei einer vorgegebenen Potenzialdifferenz die Durchströmungsrate eines Materials. Für das Strömungsmodell werden von dem an Planungen beteiligten Ingenieurbüro melchior + wittpohl Beratende Ingenieure PartmbB die folgenden Werte übernommen:

- Klei: $1 \cdot 10^{-9}$ m/s
- Torf: $1 \cdot 10^{-8}$ m/s
- Sand: $1 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s
- Mischboden: $1 \cdot 10^{-8}$ m/s
- Hafenschlick: $1 \cdot 10^{-9}$ m/s

Sofern für Einheiten Schwankungsbreiten der Durchlässigkeit angegeben wurden, wurde der Mittelwert in das Modell übernommen.

Die bestehenden Aufhöhungskörper der heutigen Landflächen bauen sich aus Bodenmaterial mit sehr unterschiedlichen Durchlässigkeiten mit inhomogenen Lagerungsstrukturen auf. Im Rahmen der Modellerstellung erfolgte durch Variation einer einheitlichen Durchlässigkeit die näherungsweise Ableitung einer Systemdurchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Bei einer entsprechenden Durchlässigkeit stellen sich, nach Erfahrungen im Hafenraum, plausible Stauwasserstände ein.

Im Modellansatz erfolgt keine Differenzierung der horizontalen und vertikalen Durchlässigkeit, da die Gruppen der Auffüllungsböden jeweils eine relativ einheitliche Durchlässigkeit aufweisen und technisch eingebaut werden. Natürliche Sedimente mit ablagerungsbedingten Schichtungswechseln und damit verbundenen niedrigeren vertikalen Durchlässigkeiten treten im Modell nur als äußere Randbedingungen auf (siehe Kap. 3.1.3).

Porosität

Die Prognosen erfolgten mit stationären Modellrechnungen, so dass sich keine Veränderungen des gesättigten Volumens ergaben. Die weitergehenden Auswertungen zum Stofftransport (siehe Kap. 3.2.3) erfolgen auf der Grundlage der berechneten Filtergeschwindigkeiten, so dass auch hier die Porosität (als Faktor der Abstandsgeschwindigkeit) keinen Einfluss auf die Prognosen besitzt.

Für überschlägige Plausibilitätsprüfungen (Dauer des Wasseraustausches in den Bodenkörpern, Strömungsgeschwindigkeiten) im Rahmen der Modellerstellung und -anwendung wurden als Werte für die effektive Porosität 25 % (Sande), 15 % (Mischböden) und 5 % (Klei und Torf) angesetzt.

3.2 Anwendung des Stauwassermodells

3.2.1 Szenarien

Bauphase

In der Bauphase ist zunächst keine Oberflächenversiegelung im Planungsraum vorhanden. Zudem ist aufgrund sandiger, weitgehend unbewachsener Böden von einer hohen Einsickerungsrate von Niederschlagswasser in den Stauwasserkörper auszugehen. Durch die gegenüber dem Planungszustand höhere Einsickerungsrate ist die Ausbildung eines abweichenden Strömungsbildes zu erwarten. Um auch für die zeitlich begrenzte Bauphase repräsentative Prognosewerte zu ermitteln, erfolgte für dieses Szenario eine Prognoserechnung mit einer Rate der Zusickerung an der Oberfläche von 500 mm pro Jahr. Im Bereich der geplanten Oderhafenverfüllung erfolgte eine räumliche Differenzierung der Zusickerung zur gesättigten Zone gemäß der Beschreibung im Kapitel 3.1.2.

Planungszustand

Mit dem Erreichen des Planungszustandes nimmt die Einsickerung von Niederschlagswasser in den Stauwasserkörper erheblich ab, da die neue Geländeoberfläche größtenteils (ca. 90 %) versiegelt wird. Der Untersuchung dieses Zustandes kommt besondere Bedeutung zu, da die ermittelten Auswirkungen als dauerhaft zu betrachten sind. In dem entsprechenden Szenario der Prognoserechnung ist die Einsickerung von Niederschlagswasser in den Stauwasserkörper auf 50 mm pro Jahr reduziert. Im Bereich der geplanten Oderhafenverfüllung erfolgte auch in diesem Szenario eine räumliche Differenzierung der Zusickerung zur gesättigten Zone gemäß der Beschreibung im Kapitel 3.1.2.

Extreme Randbedingungen

In der zusammenhängenden, sehr großen Verfüll- und Aufhöhungsstruktur mit ihrer inneren Gliederung in Körper unterschiedlicher Durchlässigkeit bilden sich komplexe Strömungsmuster heraus, die gegenüber den wechselnden Einflüssen an den Grenzflächen (z.B. Sturmfluten und Starkregenereignisse) sehr stark gedämpft sind. Der Zustand mittlerer Randbedingungen ist daher für die Prognoserechnungen repräsentativ (siehe auch Kap. 3.3).

3.2.2 Stauwasserströme

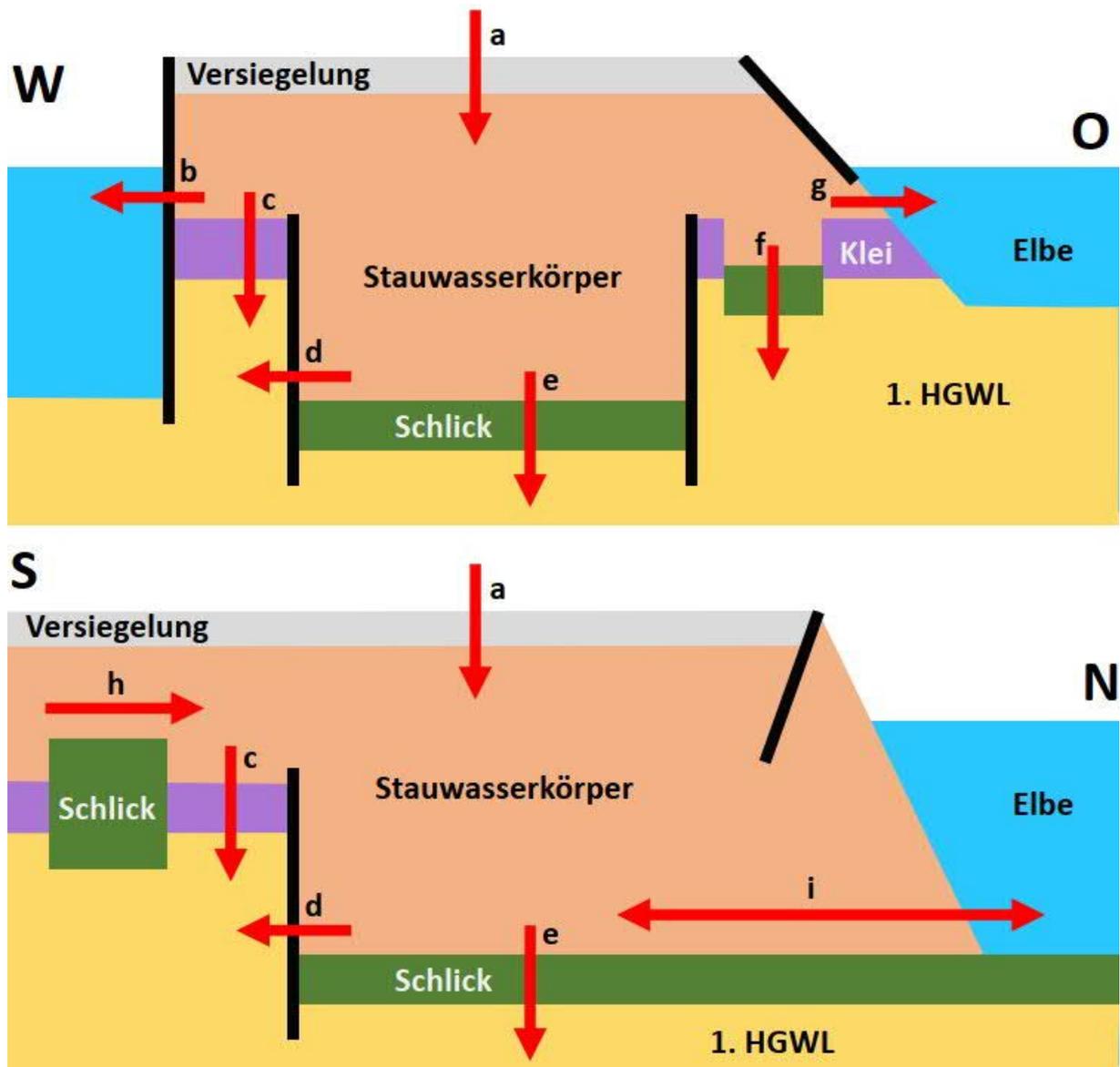
In der Abb. 9 sind die verschiedenen Stauwasserströme an den Grenzflächen des Modells schematisch in einem West-Ost- und einem Süd-Nord-Schnitt dargestellt. Der Zustrom von Wasser in den Stauwasserkörper erfolgt sowohl in der Bauphase als auch im Planungszustand (siehe Kap. 3.2.1) maßgeblich durch die Zusickerung von Niederschlagswasser an der Oberfläche (a in Abb. 9). Ein weiterer Zustrom erfolgt von Süden im Niveau der bestehenden Aufhöhung (h in Abb. 9).

Über den Abschlussdamm erfolgt in den Prognoserechnungen zur Bauphase (siehe Kap. 3.2.1) ein Abstrom von Stauwasser in die Elbe (i in Abb. 9). Die Prognoserechnungen zum Planungszustand ergeben für diesen Pfad einen Zustrom von Elbwasser in den Stauwasserkörper. In der Bauphase übersteigt die andrängende Stauwassermenge zunächst die Summe des möglichen Abstroms über die Teilströme d und e, so dass der Abstrom über den hydraulisch leistungsfähigeren Pfad i überproportional ansteigt. Im Planungszustand drängt durch die reduzierte Einsickerung in den Stauwasserkörper erheblich weniger Stauwasser an. Die Summe der Teilströme d und e übersteigt dann den Andrang im unteren Stauwasserkörper, so dass über den Abschlussdamm ein Zustrom aus der Elbe in den Stauwasserkörper einsetzt. Die resultierenden geringen Änderungen in der Wasserbilanz des Stauwasserkörpers haben jedoch keine relevanten Auswirkungen auf die Ermittlung und Bewertung des Stofftransportes im Kapitel 3.2.3.

Im unteren Abschnitt des Stauwasserkörpers erfolgt der Abstrom größtenteils über die Spundwandflächen (d in Abb. 9) und die konsolidierten Schlickablagerungen (e in Abb. 9). Der Abstrom über die Spundwandflächen stellt dabei den größeren Anteil. Diese beiden Teilströme sind im südlichen Bereich des Stauwasserkörpers durch die Potenzialabsenkung im Grundwasserleiter (Brauchwasserentnahme ADM Hamburg GmbH, siehe Kap. 3.2.4) verstärkt. Schwankungen der Entnahme können sich daher auf das Verhältnis der Teilströme d, e und i auswirken. Die möglichen Veränderungen sind jedoch geringer als die zuvor beschriebenen beim Übergang vom Bau- in den Planungszustand und daher ebenfalls nicht relevant für die Ermittlung und Bewertung des Stofftransportes im Kapitel 3.2.3.

Oberflächennah bildet der Stauwasserabstrom über Spundwandflächen in die Elbe eine Bilanzgröße des Stauwasserhaushalts (b in Abb. 9). Auf der östlichen Seite erfolgt ein Abstrom von Stauwasser in die Elbe über unterschiedlich große hydraulische Fenster unterhalb des äußeren, flachen Sicherungsrings (g in Abb. 9).

Im Bereich der heutigen Landflächen erfolgt eine vertikale Aussickerung von Stauwasser in den Grundwasserleiter über die natürlichen Weichschichten (c in Abb. 9) sowie die Schlicke im Bereich der verfüllten ehemaligen Hafengewässer des Rodewischhafens und des Ellerholzkanals (f in Abb. 9).



Stauwasserströme an den Grenzflächen

- a Einsickerung Niederschlag
- b Durchsickerung Spundwand (Elbe)
- c Durchsickerung Weichschichten
- d Durchsickerung Spundwand (GWL)
- e Durchsickerung Schlick Oderhafen
- f Durchsickerung Schlick Kanäle
- g Durchsickerung Böschungen
- h Zustrom Aufhöhungskörper
- i Durchsickerung Abschlussböschung

Abb. 9: Ab- und Zustrompfade des Stauwasserkörpers

Die aus den Rechenläufen des Stauwassermodells zu den beiden Prognoseszenarien (siehe Kap. 3.2.1) resultierenden Stauwasserbilanzen sind in der Tab. 8 zusammengefasst. Die Gegenüberstellung zeigt, dass der in der Bauphase deutlich erhöhten Anteil des Stauwasserabstroms zur Elbe nicht nur durch den dann gegebenen Abstrom durch den Abschlussdamm, sondern maßgeblich durch die erhöhte Abströmung über Spundwandflächen und Böschungen bedingt ist.

Tab. 8: Stauwasserbilanzen

		Szenario Endzustand (Einsickerung 50 mm/Jahr)		Szenario Bauphase (Einsickerung 500 mm/Jahr)	
		Abstrom	Zustrom	Abstrom	Zustrom
		m ³ /Tag		m ³ /Tag	
1. HGWL	über Weichschichten	15	0	94	0
	über Spundwände	15	0	87	0
	über Schlick Rodewischhafen / Ellerholzkanal	3	0	11	0
	über Schlick Oderhafen	5	0	25	0
Bilanzsumme Grundwasser		38	0	217	0
Elbe	über Spundwände und Böschungen	14	0	119	0
	Südostrückel außerhalb Sicherung	1	0	13	0
	über Abschlussdamm	0	6	54	0
Bilanzsumme Elbe		15	6	193	0
Bilanzsumme Zustrom Stauwasser		0	7	0	10
Bilanzsumme Niederschlag		0	40	0	400
Gesamtbilanz		53	53	410	410

Das Strömungsbild innerhalb des Stauwasserkörpers ist sehr komplex und in der Abb. 10 nur schematisch dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Durchlässigkeiten der Bodenkörper und ihrer Anordnung kommt es zu Durchsickerungen und Umströmungen, die Strömungspfade mit sehr großen Unterschieden bezüglich der Dauer, der Länge und des räumlichen Verlaufs bedingen.

Für die nachfolgenden Prognosen des Stofftransportes im Stauwasserkörper (siehe Kap. 3.2.4) wurden daher mit dem Stauwassermodell über die zuvor beschriebenen Teilströme hinaus Durchströmungsraten einzelner Bodenkörper der Verfüllung bestimmt. In der Abb. 10 sind Durchströmungsraten für den Planungszustand aufgeführt. Erwartungsgemäß ist die Durchströmung in den hydraulisch leistungstärkeren Sandkörpern höher.

Bodenkörper	Niveau Top / Basis [mNHN]	Durchströmung [m³/Tag]
Sand Z0/Z1.2	+0,5 bis -1,0	13,1
Mischboden Z1.2	-1,0 bis -4,0	5,0
Sand Z0	-4,0 bis -5,0	9,6
Mischboden Z1.2	-5,0 bis -6,0	1,7
Spülsand Z1.2	-6,0 bis -8,0	6,2
Balast./Verries.	-8,0 bis Sohle	14,6

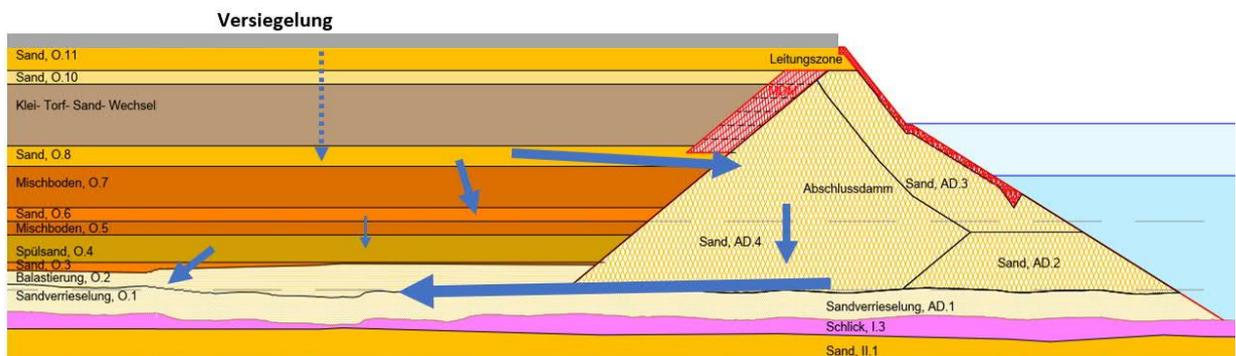


Abb. 10: Durchströmung von Bodenkörpern im Planungszustand

3.2.3 Stofftransport im Stauwasserkörper

Das numerische Strömungsmodell des Stauwasserkörpers bildet, wie im Kapitel 3.2.2 beschrieben, die hydraulischen Prozesse der Stauwasserbewegung ab. Die Prognosen zum Stofftransport erfolgen auf der Grundlage der hydraulischen Berechnungen außerhalb des Modells.

Die Strömungen im Stauwasserkörper können nicht in einer Detailauflösung prognostiziert werden. Aufgrund der Bandbreite möglicher Strömungspfade und komplexer Stofftransportprozesse ist auch die Umsetzung eines Stofftransportmodells nicht sinnvoll. Für die Prognosen des vorliegenden Berichts wurde daher ein Ansatz mit sehr ungünstigen Randbedingungen gewählt, der belastbare Werte für die maximal zu erwartenden vorhabenbezogenen Stoffausträge ermöglicht.

Für die Konzentrationsentwicklung entlang der Strömungspfade im Stauwasserkörper wurde die pauschale Annahme getroffen, dass der durchströmte Bodenkörper mit der höchsten Stoffkonzentration die Konzentration am Ausgangspunkt des Systems vorgibt (siehe Skizze in Abb. 11). Dieser Ansatz lässt die zu erwartenden Sorptionsprozesse beim Transport innerhalb des Stauwasserkörpers unberücksichtigt.

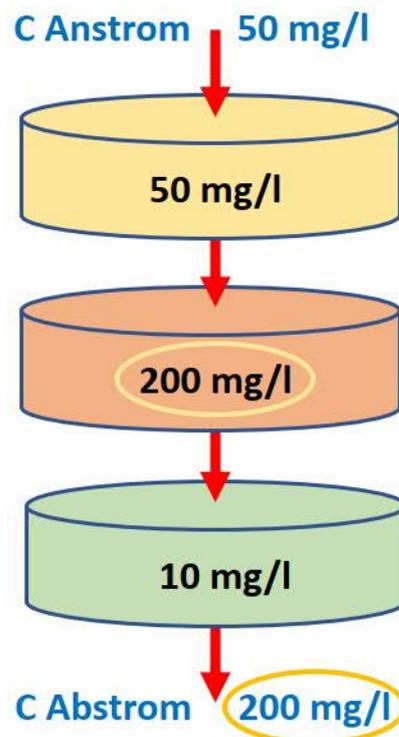


Abb. 11: Ansatz zur Konzentrationsentwicklung im Stauwasserstrom

Für die Ermittlung der vorhabenbezogenen Gesamtfrachten werden zunächst die rechnerischen Frachten für die einzelnen Bodenkörper auf der Grundlage der mit dem Stauwassermodell berechneten Durchströmungsraten (siehe Kap. 3.2.2) und der jeweiligen maximalen Konzentrationen gemäß Einbauklasse berechnet.

Die Summe der Durchströmungsraten der einzelnen Bodenkörper übersteigt die berechneten Werte des Gesamtabstroms (s. Tab. 8 in Kap. 3.2.2), da die meisten Strompfade durch mehrere Einheiten führen und so eine Stauwassereinheit zumeist mehrfach erfasst wird. Für die Berechnung des gesamten Stoffaustrags des Stauwasserkörpers werden daher die Frachten der einzelnen Bodenkörper absteigend sortiert (beginnend mit der höchsten Einzelfracht) aufaddiert, bis die Summe der jeweils zugeordneten Abstromraten dem Gesamtabstrom der Tab. 8 entspricht.

Mit dem beschriebenen Ansatz wird der maximal zu erwartende vorhabenbezogene Stoffaustrag belastbar ermittelt. Die Aufteilung der Stoffströme zum Oberflächenwasser (Elbe) und zum Grundwasser (1. HGWL) erfolgt mit den Berechnungen des Strömungsmodells gemäß den Werten der Tab. 8 im Kap. 3.2.2.

Die Ausgangskonzentrationen in den Bodeneinheiten wurden für die Prognose aus Eluatuntersuchungen (Böden des geplanten Einbaus) und Stauwasseranalysen (Aufhöhungskörper der bestehenden Landflächen) übernommen.

Unter Ansatz der hydraulischen Berechnungen der beiden untersuchten Szenarien (siehe Kap. 3.2.1) ergeben sich die in der Tab. 9 zusammengestellten vorhabenbezogenen Stofffrachten. Für eine Bewertung der Prognosewerte ist dem Austrag in das Grundwasser der Wert der geringen Fracht nach LAWA und dem Austrag in das Oberflächenwasser die mittlere Tagesfracht in der Elbe gegenübergestellt.

Tab. 9: Prognose der vorhabenbezogenen Stofffrachten

Parameter	Prognose Grundwasser			Prognose Elbe		
	Austrag in den GWL (g/Tag)		geringe Fracht nach LAWA (g/Tag)	Austrag in die Elbe (g/Tag)		Fracht Elbe (g/Tag)
	Einsickerung 500 mm/Jahr	Einsickerung 50 mm/Jahr		Einsickerung 500 mm/Jahr	Einsickerung 50 mm/Jahr	
Arsen	0,71	0,22	Referenz	0,83	0,09	
Blei	0,16	0,07	1,51	0,14	0,02	2.786
Cadmium	0,02	0,01	0,57	0,02	0,002	696
Chrom	0,14	0,07	0,14	0,13	0,01	71.233
Kupfer	0,46	0,13	1,60	0,57	0,06	63.014
Nickel	0,31	0,09	2,54	0,36	0,04	124.416
Quecksilber	0,013	0,004	3,3	0,015	0,002	
Zink	1,00	0,31	0,05	0,84	0,09	547.945
Phenol	0,58	0,18	28,3	0,68	0,08	
Chlorid	715	260	3,77	766	85	
Sulfat	2.089	946	117.808	1.926	214	
Cyanide komplex	0,58	0,18	23,56	0,68	0,08	

Die Ergebnisse zeigen, dass durch den vorhabenbezogenen Stoffaustrag keine nachteiligen Auswirkungen zu erwarten sind. Auch die erhöhten Austräge in der Bauphase liegen deutlich unter den Referenzwerten der geringen Fracht bzw. der täglichen Stofffracht in der Elbe.

Die geringe Fracht nach LAWA als objektiver Referenzwert der Beurteilung des vorhabenbezogenen Stoffeintrags in das Grundwasser wird aus der folgenden Formel mit den etablierten Bezugsgrößen 1 km² (F_{Bezug}) und 172 mm/a (GWN_{Bezug}) abgeleitet:

$$Fr_{\text{gering}} = F_{\text{Bezug}} * GWN_{\text{Bezug}} * GFS$$

Fr_{gering} = geringe Fracht [Masse / Zeit]

F_{Bezug} = einzelfallunabhängige Grundwasserneubildungsfläche [Fläche]

GWN_{Bezug} = einzelfallunabhängige Grundwasserneubildung [Volumen / (Fläche * Zeit)]

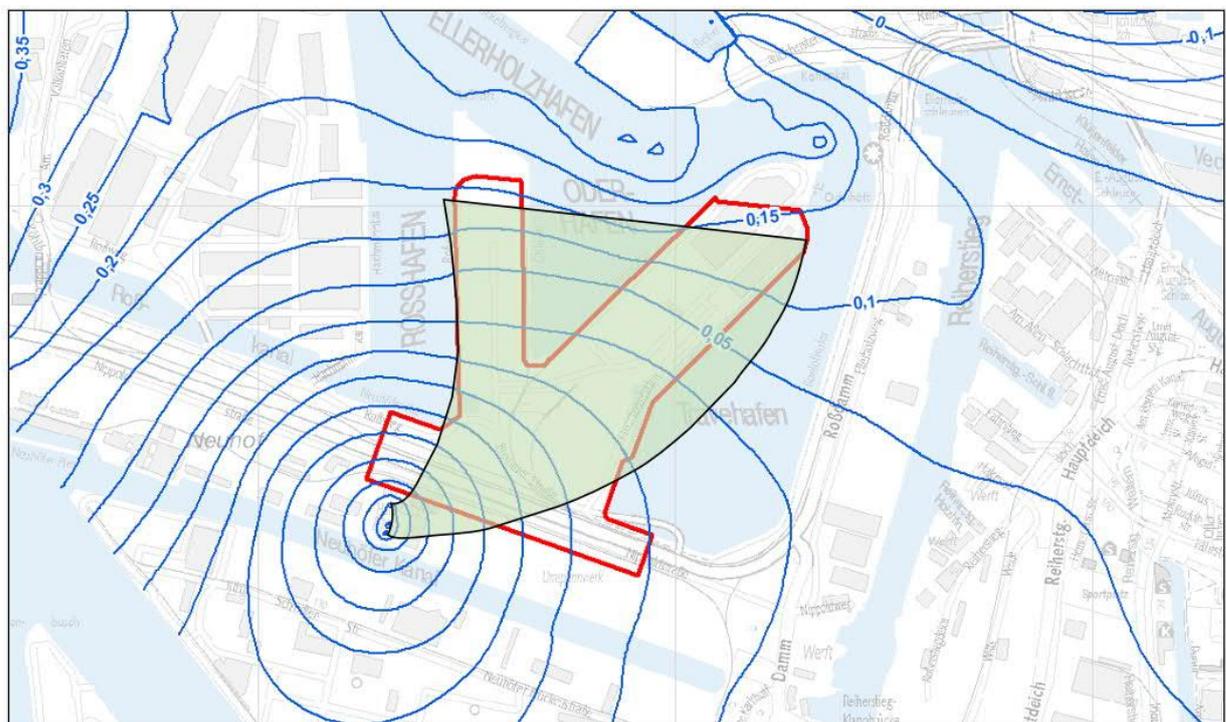
GFS = Geringfügigkeitsschwelle [Masse / Volumen]

Bezüglich der Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit der Elbe ist aufgrund der in der Tab. 9 angegebenen Einträge und deren Verhältnis zur Größenordnung der bestehenden täglichen Fracht im Gewässer ersichtlich, dass die möglichen vorhabenbezogenen Stoffeinträge in die Elbe keine messbaren Konzentrationsveränderungen bewirken können.

3.2.4 Stofftransport im Grundwasserleiter

Über einen Teil der Grenzflächen des Stauwasserkörpers kommt es zu einer Stauwasseraussickerung in den Grundwasserleiter und damit zu einem Stoffeintrag in das Grundwasser. Das Strömungsbild im betroffenen ersten Hauptgrundwasserleiter (1. HGWL) wurde bereits im Kap. 3.1.3 beschrieben. Ausgehend von der Planungsfläche ergibt sich der in der Abb. 12 dargestellte Abstrombereich.

Der gesamte vorhabenbezogen beeinflusste Abstrom im Grundwasserleiter wird durch die drei Brauchwasserbunnen des Unternehmens ADM Hamburg AG gefasst. Das für den 1. HGWL berechnete Strömungsbild basiert auf einer Brauchwasserentnahme gemäß gültigem Wasserrecht. Das entspricht einer Tagesentnahme von rd. 4.900 m³. Der Grundwasseranstrom aus der Planungsfläche stellt dabei nach dem Strömungsmodell für den 1. HGWL einen Anteil von ca. 700 m³ bzw. ca. 15 %. Der im Vergleich zu dem in der Abb. 12 dargestellten Flächenanteil relativ gering erscheinende Anteil erklärt sich durch die aus dem Planungsraum nach Süden zunehmenden Mächtigkeit (Transmissivität) des Grundwasserleiters, die einen dominierenden Anstrom der Brunnen aus Südwesten bedingt.



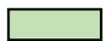
 vorhabenbezogen beeinflusster Abstrombereich im 1. HGWL zu den ADM Brunnen

Abb. 12: Abstrombereich im Grundwasserleiter

Die Abstromrate aus dem Stauwasserkörper in den Grundwasserleiter beträgt weniger als 50 m³ pro Tag (siehe Kap. 3.2.2). Für das Rohwasser der Brauchwasserbrunnen (ADM Hamburg AG) ergibt sich ein maximaler Anteil des vorhabenbezogenen Stauwasserabstroms von rd. 1 %. Nachteilige Auswirkungen auf die Nutzung als Kühlwasser sind aufgrund der prognostizierten geringen Stofffrachten sowie des sehr geringen Anteils im Rohwasser nicht zu erwarten.

3.2.5 Porenwasserauspressung

Nach den Planungen verbleiben die vorhandenen Schlicke im Bereich der geplanten Hafenbeckenverfüllung. Durch die Auflast werden die Schlickschichten konsolidiert und auf etwa die Hälfte der Ausgangsmächtigkeit reduziert. Die Volumenverminderung der Schlickablagerungen geht mit einer Auspressung von Porenwasser aus diesen Ablagerungen einher. Aufgrund kolloidaler Bindungen im Sediment erfolgt dabei ein Stoffaustrag nur in begrenztem Umfang. Der Setzungsprozess erfolgt ab Beginn der Verfüllung des Hafenbeckens über einen Zeitraum von etwa einem halben Jahr und fällt damit vollständig in die Bauphase. Danach finden nur noch Restsetzungen in vernachlässigbarem Umfang statt.

Die Mächtigkeit der Schlickablagerungen im Bereich der geplanten Hafenbeckenverfüllung ist nicht einheitlich und liegt zwischen ca. 0,1 m und mehreren Metern. Ein geringerer Anteil der Porenwasseraussickerung erfolgt an der Basis der Schlickschichten direkt in den Grundwasserleiter. Das an der Oberfläche der Schlicke aussickernde Porenwasser strömt in den Stauwasserkörper der geplanten Verfüllung. Aufgrund des geplanten Einsatzes von Vertikaldräns im Bereich größerer Schlickmächtigkeiten und der geringen Setzungsbeträge in den übrigen Bereichen erfolgt die Porenwasserauspressung zum Großteil nach oben, in die Basisschichten der Verfüllung (Verrieselung / Ballastierung). In der Phase der Porenwasserauspressung (Nasseinbau) ist noch keine Durchströmung des Verfüllkörpers gegeben, so dass das ausgepresste Porenwasser zunächst im Aufhöhungskörper größtenteils fixiert ist.

Mit der späteren Entwicklung des Stauwasserkörpers und dem Einsetzen der verschiedenen Stauwasserströme (siehe Kap. 3.2.2) wird das ausgepresste Porenwasser unter erheblicher Verzögerung auf verschiedenen Pfaden aus dem System heraus dem Grundwasser oder der Elbe zuströmen. Ein Anteil wird aufgrund des Potenzialgefälles wieder in die konsolidierten Schlickschichten einsickern und bei deren Passage durch die guten Sorptionseigenschaften des Materials (Ton- und Organikgehalte) gereinigt. Beim Abstrom über die Spundwandflächen und den Abschlussdammkörper ist von einer erheblichen Verdünnung im Stauwasserstrom auszugehen, so dass für die zeitlich begrenzte Phase einer Porenwasserbeeinflussung keine relevanten Veränderungen der ermittelten Frachten in den Stauwasserströmen (siehe Kap. 3.2.3) zu erwarten sind.

Mit dem Eintritt in den Grundwasserleiter erfolgt der weitere Abstrom des ausgepressten Porenwassers analog zu dem im Kap. 3.2.4 beschriebenen Abstrom des Stauwassers. Durch die vollständige Fassung des Abstroms in den Brauchwasserbrunnen der ADM Hamburg AG und den Abschluss des Setzungsprozesses der Schlicke ist die Auswirkung der Porenwasserauspressung räumlich und zeitlich begrenzt.

Eine weitere vorhabenbezogene Auspressung von Porenwasser resultiert aus den geplanten Aufhöhungen im Bereich der heutigen Landflächen. Diese bedingen Konsolidierungen der natürlichen Weichschichten sowie der verbliebenen Schlicke im Bereich der ehemaligen Hafengewässer des Rodewischhafens und des Ellerholzkanals. Aufgrund der starken Vorbelastungen durch die bestehenden Geländeaufhöhungen bzw. Verfüllungen sind hier im Vergleich zu den Schlickten im Oderhafen erheblich geringere Setzungsraten zu erwarten. Durch den Einsatz von Vertikaldräns erfolgt bei den natürlichen Weichschichten, wie bei den Schlickablagerungen, überwiegend eine Auspressung nach oben, in den Stauwasserkörper hinein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die zeitlich begrenzten vorhabenbezogenen Porenwasserauspressungen keine für die Bewertung relevanten Veränderungen der ermittelten Frachten in den Stauwasserströmen (siehe Kap. 3.2.3) zu erwarten sind. Die nach innen, in den Stauwasserkörper gerichteten Porenwasserauspressungen erfahren vor einem Abstrom zur Elbe oder dem Grundwasser eine erhebliche Retardation und Durchmischung. Der direkte Abstrom in den Grundwasserleiter umfasst einen kleineren Anteil der Porenwasserauspressung und ist zeitlich auf den Setzungszeitraum (ca. 6 Monate) begrenzt.

3.2.6 Klimakrise

Die Folgen des Klimawandels haben auf die Prognosen des vorliegenden Berichtes nur in Bezug auf die Veränderungen der Niederschlagsmengen Relevanz. Durch Veränderungen der Niederschlagsmengen können sich Veränderungen der in den Stauwasserkörper einsickernden Wassermengen ergeben. Dies gilt insbesondere für die Entwicklung der Winterniederschläge, da diese aufgrund der geringen Verdunstung und der gleichmäßigeren zeitlichen Verteilung für die Neubildung von Stauwasser maßgeblich sind.

Nach den aktuellen Klimaprognosen ist mit dem Szenario der stärksten Auswirkungen (RCP8.5) eine mittelfristige (Zeitraum 2036 bis 2065) Zunahme der Winterniederschläge von 10,5 % und langfristig (Zeitraum 2069 bis 2098) von 17,5 % zu erwarten (PFEIFER et al. 2021). Bezogen auf die in den Auswirkungsprognosen angesetzte Einsickerung von 50 mm pro Jahr ergibt sich eine maximale Erhöhung der Einsickerung auf 59 mm pro Jahr. In den Ausführungen im Kapitel 3.2.3 wird dargelegt, dass auch für die Situation einer verstärkten Einsickerung in den Stauwasserkörper von 500 mm pro Jahr in der Bauphase keine nachteiligen Auswirkungen zu erwarten sind.

Durch den langfristigen Anstieg des Meeresspiegels kann es zu einer sehr geringen Veränderung des Mengenverhältnisses der Stauwasserabströme zum Grundwasser und zur Elbe kommen. Die möglichen resultierenden relativen Veränderungen der jeweiligen Frachten werden mit wenigen Prozent abgeschätzt und bleiben auch dann deutlich unter den Bewertungsreferenzen, die im Kapitel 3.2.3 aufgeführt sind.

Zusammenfassend kann ein Einfluss des Klimawandels auf die Bewertungsergebnisse des vorliegenden Berichts sicher ausgeschlossen werden.

3.3 Aussagesicherheit

Die Umgestaltungen und Eingriffe des Vorhabens in das Stauwassersystem sind gravierend und verändern die Situation im Planungsraum grundlegend. Für die Erstellung des Stauwassermodells steht daher kein Referenzzustand zur Verfügung, der den Bestand abbildet und der durch Messwerte eine Kalibrierung oder Validierung des numerischen Modells erlaubt.

Eine hohe Aussagesicherheit der Prognoserechnungen ist jedoch durch die Wahl plausibler Werte bei den hydraulisch relevanten Parametern und den sehr sicheren Ansatz der zu erwartenden abströmenden Stoffkonzentrationen sichergestellt. Entsprechende Hinweise werden in den vorausgehenden Kapiteln gegeben. Günstig ist diesbezüglich auch zu bewerten, dass mit der technischen Verfüllung des Oderhafens ein Großteil des Modellvolumens in seiner Struktur vollständig beschreibbar ist.

Darüber hinaus können die Prognosen aufgrund der hydraulischen Dämpfung innerhalb des Stauwasserkörpers und seiner Größe durch stationäre Berechnungen erfolgen. Maßgebliche Einflüsse auf die Aussagen und Bewertungen durch extreme Zustände (z.B. Sturmfluten oder Starkregen) sind nicht gegeben, so dass entsprechende Unsicherheiten entfallen.

Aufgrund der relativ großen Unsicherheit beim Ansatz der Durchlässigkeit der Spundwände, erfolgte für diesen Parameter eine Sensitivitätsanalyse. Eine Variation der Durchlässigkeit um 10 % bewirkt eine vergleichbare Veränderung des anteiligen Stauwasserabstroms zum Grundwasserleiter. Bei einer Reduzierung der Spundwanddurchlässigkeit um den Faktor 0,9 verringert sich der Anteil des Stauwasserabstroms von 72 % auf 61 %. Die im Kapitel 3.2.3 durchgeführte Gegenüberstellung von Prognose- und Referenzwerten zeigt, dass entsprechende Änderungen der vorhabenbezogenen Frachten für deren Bewertung nicht erheblich sind.

Insgesamt stellt das Stauwassermodell Steinwerder Süd durch die im vorliegenden Bericht beschriebenen Vorgehensweisen eine geeignete Entscheidungshilfe für die Bewertung möglicher vorhabenbezogener Auswirkungen auf das Grund- und Oberflächenwasser dar.

4 Zusammenfassung

Mit den Prognoserechnungen zum Stoffaustrag aus dem mit Umsetzung des Vorhabens Steinwerder Süd entstehenden Stauwasserkörper konnte nachgewiesen werden, dass weder bauzeitlich noch dauerhaft nachteilige Auswirkungen auf das Grund- oder Oberflächenwasser zu erwarten sind. Dies gilt auch für den im Planungsprozess nach Abschluss der Prognoserechnungen von 90 % auf 100 % erhöhten Versiegelungsgrad der hergestellten Oberfläche im Planungszustand, da dieser eine zusätzliche Verminderung der Durchströmung des Stauwasserkörpers und damit eine Reduzierung des Stoffaustrags bedingt. Nachteilige Auswirkungen auf das Grund- oder Oberflächenwasser sind darüber hinaus auch langfristig unter Ansatz möglicher Veränderungen hydraulischer Randbedingungen durch den Klimawandel nicht zu erwarten.

Im ersten Berichtsteil werden ergänzend mögliche Auswirkungen durch die zeitlich begrenzten Stoffausträge während der Rückbauphase des Roßterminals untersucht, in dessen Bereich Schadstoffschwerpunkte (Hot Spots) festgestellt wurden. Auch für diesen Maßnahmen-teil können im Ergebnis nachteilige Auswirkungen auf das Oberflächenwasser (Elbe) ausgeschlossen werden. Das Grundwasser ist hier nicht betroffen.

Hamburg, 31.05.2022

gez.
Dipl.-Geogr. Hydr.
Lutz Krob
(Geschäftsführung)

gez.
Dipl.-Geol.
Marcus Keller
(Projektbearbeitung)

gez.
Dipl.-Geol.
Christian Meyer
(Projektbearbeitung)

5 Quellenverzeichnis

Verwendete Unterlagen

Antrag auf Planfeststellung: Flächenherrichtung Steinwerder Süd (2022)

- Teil I:** Erläuterungsbericht
- Teil II:** UVP-Bericht
- Teil III:** FFH-Vorprüfung
- Teil IV:** Fachbeitrag Artenschutz
- Teil V:** Fachbeitrag Immissionsschutz
 - Teil V a – Schalltechnische Untersuchung
 - Teil V b – Untersuchung der Lichtimmissionen
 - Teil V c – Luftschadstoffuntersuchung
 - Teil V d – Bilanzierung der Treibhausgasemissionen
 - Teil V e – Immissionsschutzrechtliche Untersuchung Sieb- und Brechanlage
- Teil VII:** Wasserbauliche Systemanalyse BAW
- Teil VIII:** Stauwasserströmungsmodell
- Teil IX:** Landschaftspflegerischer Begleitplan
- Teil X:** Wasserbehandlungsanlage
- Teil XI:** Baustellenanleger/Sieb- u. Brechanlage (BlmSchG)
- Teil XII:** Eignungsfeststellung Tankstelle
- Teil XIII:** Verkehrsuntersuchung
- Teil XIV:** Biologische Erfassungsberichte
 - Teil XIV a – Flora-Fauna-Gutachten (GFN, 2022)
 - Teil XIV b – Fischfauna (LIMNOBIOS, 2020)
 - Teil XIV c – Fischwinterlager 1 (LIMNOBIOS, 2019)
 - Teil XIV d – Fischwinterlager 2 (LIMNOBIOS, 2020)
 - Teil XIV e – Makrozoobenthos 1 (MARILIM, 2012)
 - Teil XIV f – Fische & Makrozoobenthos 2 (LIMNOBIOS, 2015)
 - Teil XIV g – Rastvogelerfassung (GFN, 2021)
 - Teil XIV h – Vergrämungskontrolle 1 (IFAÖ, 2021)
 - Teil XIV i – Vergrämungskontrolle 2 (IFAÖ, 2021)
 - Teil XIV j – Vergrämungskontrolle 3 (IFAÖ, 2021)
 - Teil XIV k – Scharlachkäfer (GÜRLICH, 2018)
- Teil XV:** Stilllegungsanzeige BLH

Sonstige Quellen

LAWA (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Aktualisiert und überarbeitet Fassung 2016. Stuttgart, 23 S.

PFEIFER S., RECHID D. & S. BATHIANY (2021): Klimaausblick Hamburg. Climate Service Center Germany (GERICS). März 2021, Version 1.2. Hamburg, 19 S.
(https://www.gerics.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_hamburg_version1.2_deutsch.pdf)

Gesetze / Verordnungen / Richtlinien / Verwaltungsvorschriften

OGewV – Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist