

Fahrrinnenanpassung Unter- und Außenelbe Tideanschluss Billwerder Insel

Begutachtung bodenkundlich-hydrologischer Gegebenheiten

Auftraggeber: **HPA Hamburg Port Authority AÖR**

Carmen Eggers
Neuer Wandrahm 4
20457 Hamburg

Auftragnehmer: **Dr. Alexander Gröngröft**

Universität Hamburg
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Bodenkunde
Allende-Platz 2
20146 Hamburg

Bearbeitung: Dr. Alexander Gröngröft

30.1.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	3
2	Beurteilung der Qualität des abzuleitenden Beckenwassers	4
2.1	Kennzeichnung der durchgeführten Maßnahme	4
2.2	Wasserqualität	5
2.3	Wassergüte der in den Holzhafen eingeleiteten Wässer	6
3	Beurteilung der Materialien der Beckensohle im Hinblick auf potentielle Gewässerbelastungen	10
3.1	Kennzeichnung der durchgeführten Maßnahme	10
3.2	Fragestellung und Datengrundlage.....	10
3.3	Wirkmechanismen und Bewertungsrahmen	10
3.4	Beurteilung des Einflusses der Maßnahme	11
4	Beurteilung der Abdeckschichten im Hinblick auf potentielle Gewässerbelastungen .	16
4.1	Kennzeichnung der durchgeführten Maßnahme	16
4.2	Fragestellung und Datengrundlage.....	16
4.3	Wirkmechanismen	17
4.4	Beurteilung des Einflusses der Maßnahme	17
5	Quellen	21
6	Literatur	23

Abbildungen

Abbildung 1	Schematischer Aufbau der Gehölzinseln	14
-------------	---	----

Tabellen

Tabelle 1	Zusammensetzung des Beckenwassers im Vergleich zu Elbwasser [Zollenspieker und Seemannshöft] und Porenwasser	5
Tabelle 2	Zusammensetzung des an die Elbe abzuleitenden Wassers aus Becken D.....	7
Tabelle 3	Zusammensetzung des an die Elbe abzuleitenden Wassers aus Becken C.....	8
Tabelle 4	Zusammensetzung der Materialien der Beckensohle	11
Tabelle 5	Zusammensetzung der potentiell einsetzbaren Sande	17

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Als eine Kohärenzmaßnahme für die Anpassung der Fahrrinne der Unterelbe an den Bedarf der Schifffahrt will die Freie und Hansestadt den Lebensraum für die von der Tide abhängigen Organismen vergrößern. Dazu sollen zwei nicht mehr genutzte Absetzbecken südlich des Holzhafens profiliert und über ein bestehendes Gewässer an die Tide angeschlossen werden, so dass sich zukünftig innerhalb der Fläche ein filigranes Muster aus Watten und knapp über das MThw ragenden Gehölzinseln einstellt. Für die Maßnahme ist eine UVP zu erstellen.

Im Rahmen der Erstellung des UVP-Berichts sind drei bodenkundlich-hydrologische Fragestellungen relevant, die im Rahmen dieses Gutachtens analysiert werden sollen:

1. In den Becken, die aktuell mit ca. 3,5 m Wasser gefüllt sind, haben sich organogene Feinschlämme am Beckenboden abgesetzt. Diese sollen zu mindestens 95 % entnommen und entwässert werden. Anschließend soll das Wasser der Becken stufenweise an das bestehende Tidegewässer abgegeben werden. Im Rahmen der UVP ist abzuschätzen, welche Qualität das Beckenwasser nach Entnahmen der organischen Sedimente hat und ob bei der Einleitung in die Elbe nachteilige Veränderungen der Wassergüte möglich sind.
2. Die Beckensohle besteht aus einer Klinkerlage über gewachsenem Klei. Sowohl die Klinkerlage wie auch der Klei sollen im Bereich zukünftiger Priele aufgenommen werden und zur Profilierung der höheren Bereiche eingesetzt werden. Da dieser Arbeitsvorgang unter Tideeinfluss stattfindet ist zu beurteilen, ob das aus dem Maßnahmenbereich ablaufende Wasser durch den Kontakt mit den Materialien qualitativ verschlechtert ist. Hierbei ist insbesondere auf die Eisen- und Ammoniumgehalte einzugehen.
3. Die neugeschaffenen sehr flachen Böschungen, die sich zu Watten ausbilden, sollen mit Sand anderer Baumaßnahme abgedeckt werden. Da die Arbeiten bereits unter Anschluss der Fläche an die Tidegewässer durchgeführt werden, ist die Frage zu beurteilen, ob von den Oberflächen der hergestellten Böschungen gelöste oder partikuläre Stoffe ausgewaschen werden, die zu nachteiligen Veränderungen der Tidegewässer führen können.

Die drei Themenfelder werden in den folgenden Kapiteln jeweils einzeln bearbeitet.

2 Beurteilung der Qualität des abzuleitenden Beckenwassers

2.1 Kennzeichnung der durchgeführten Maßnahme

Bevor das Beckenwasser an das Tidegewässer „Holzhafen“ angeschlossen werden kann, sind folgende Maßnahmen im ersten Winterhalbjahr vorgesehen [30]:

- Zunächst wird der Entleerungsgraben zwischen dem geplanten Zulauf und der Unterführung unter der BAB 1 angepasst. Dazu wird das notwendige Profil hergestellt und zur Vermeidung von Erosionen eine Befestigung der Sohle und der Böschungen mit Wasserbausteinen vorgenommen.
- Dann wird der um die Becken verlaufende Zuführungskanal im Bereich des geplanten Zulaufs nördlich und südlich wasserundurchlässig abgedämmt.
- Im Bereich des Durchlasses unter der BAB 1 wird eine Absperrvorrichtung (Dammbalken) bis auf ca. +3,80 m NHN eingebaut. Anschließend wird ein Wasserspiegelausgleich zwischen Becken D und dem Entleerungsgraben mittels Pumpen oder Heberanlagen hergestellt, wobei die Höhenlage von + 3,50 m NHN nicht unterschritten werden soll.
- In den Becken C und D sind durch Taucher im Mittel 15 cm Schlamm an der Beckensohle festgestellt worden [15], was einem Gesamtvolumen von ca. 5.025 m³ entspricht [15]. Aus Becken D wird das Sedimente mit einem Saugverfahren entfernt. Es wird gerechnet, dass dabei so viel Zusatzwasser aufgenommen wird, dass der Beckenwasserstand um ca. 25 cm fällt [15]. Das Sediment wird in geotextilen Schläuchen aufgefangen und das dabei freigesetzte Wasser nach Bedarf gereinigt und über den Holzhafengraben an das Tidegewässer abgegeben. Das gereinigte Porenwasser (ca. 9.500 m³/Becken) wird also nicht in das Becken zurückgeführt.
- Bei ausgeglichenem Wasserstand zwischen Becken D und Entleerungsgraben wird die Verbindung zwischen beiden Gewässern im Bereich des geplanten Zulaufs hergestellt.
- Durch Entfernen der Dammbalken im Bereich des BAB 1 Durchlasses wird nun sukzessive das Beckenwassers über den Holzhafengraben an das Tidegewässer abgelassen werden bis ein vollständiger Anschluss an die Tide hergestellt ist.

Im folgenden Winterhalbjahr wird die Umgestaltung des Beckens D vorgenommen sowie die Arbeiten zum Anschluss von Becken C an Becken D. Diese Arbeiten werden im Grundsatz analog zu den obigen Arbeitsschritten vorgenommen:

- Das Becken D wird zunächst bei THw (+ 2,22 m NHN) mittels der Absperrvorrichtung im Bereich der Unterführung unter der BAB 1 vom Tidegeschehen abgekoppelt und enthält in dem Moment 47.000 m³ Elbwasser.
- Anschließend erfolgt eine Überleitung von rund 40.000 m³ Wasser aus Becken C in Becken D, den Zulauf und den Entleerungsgraben, wodurch der Wasserstand in Becken C dann bei ca. +4,00 m NHN, in Becken D bei ca. 3,1 m NHN liegt.
- Die Sedimente werden aus Becken C entnommen, wodurch sich der Wasserstand in Becken C auf rund 3,75 m NHN absenkt.

- Zwischen beiden Becken wird der Durchlass hergestellt und durch Ziehen von Dammbalken stufenweise ein Wasserspiegelausgleich zwischen beiden Becken hergestellt. Der Wasserstand beträgt anschließend rund 3,35 m NHN.
- Das Wasser aus beiden Becken wird stufenweise über den Holzhafengraben an das Tidegewässer abgegeben.
- Das freie Ein- und Ausfließen des Wassers wird durch Ziehen von Dammbalken im Bereich der Unterführung unter der BAB A1 ermöglicht.

Im dritten Winterhalbjahr erfolgt die Umgestaltung des Beckens C.

2.2 Wasserqualität

Die Qualität des an das Tidegewässer abgegebenen Wassers speist sich aus folgenden Quellen:

- a) das aktuell in den Becken befindliche freie Wasser,
- b) das im Zuge der Schlammmentnahme ggf. freigesetzte Porenwasser,
- c) im Falle von Becken C das schon in dem umgebauten Becken D vorhandene Elbwasser.

In Tabelle 1 sind die für die Beurteilung vorliegenden Analysendaten der drei Quellen zusammengestellt.

Tabelle 1 *Zusammensetzung des Beckenwassers [aus 25] im Vergleich zu Elbwasser [Zollenspieker und Seemannshöft, aus 36] und Porenwasser [aus 27]*

		Becken- wasser C	Becken- wasser D	Elbwasser Zollen- speiker 2- Jahresmittel	Elbwasser Seemanns- höft 2- Jahresmittel	Porenwasser Schlämme
		28.8.2017	28.8.2017	2016/17	2016/17	29.5.2017
Leitfähigkeit	µS/cm	620	698	930	958	1036
Abfiltrierbare Stoffe	mg/l	7,6	12	26,3	63,0	
TOC	mg/l	9,5	12	8,8	8,6	
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	0,05	0,12	
Nitrit-N	mg/l	< 0,003	< 0,003	0,015	0,036	
Nitrat	mg/l	< 0,5	< 0,5	10,7	11,3	
Nitrat-N	mg/l	< 0,1	< 0,1	2,43	2,55	
Ammonium-N	mg/l	0,24	0,021	0,056	0,124	
Phosphor ges.	mg/l	0,63	0,65	0,12	0,16	
Glührückstand	mg/l	2	1			
CSB	mg/l	29	38	25		
Eisen, ges.	mg/l	0,019	0,093	0,59	1,70	
Chlorid	mg/l	80	100	143	151	79
Sulfat	mg/l	51	54	122	122	338

		Beckenwasser C	Beckenwasser D	Elbwasser Zollenspieker 2-Jahresmittel	Elbwasser Seemannshöft 2-Jahresmittel	Porenwasser Schlämme
		28.8.2017	28.8.2017	2016/17	2016/17	29.5.2017
Arsen	µg/l	1,8	4,5	1,8	1,9	3,3
Blei	µg/l	< 1	< 1	0,034	0,036	< 1
Cadmium	µg/l	< 0,3	< 0,3	0,017	0,013	< 0,3
Chrom ges.	µg/l	2,4	2,3	0,33	0,25	< 1
Kupfer	µg/l	2,9	4,7	2,0	2,3	15,4
Nickel	µg/l	< 1	< 1	1,9	2,3	< 1
Quecksilber	µg/l	< 0,2	< 0,2	0,006	0,007	< 0,2
Zink	µg/l	57	53	5,2	4,8	12
AOX	mg/l	< 0,01	0,01	0,017		
Summe PAK (EPA)	µg/l	n. n.	n. n.	< 0,34	< 0,35	
Summe PCB	µg/l	n. n.	n. n.	n. n.	einzelner > BG	
PBDE	µg/l	n. n.	n. n.		n. n.	

Es zeigt sich, dass in den Wässern aus beiden Becken keine Hinweise auf Belastungen mit organischen Schadstoffen festgestellt wurden und dass die Spurenmetalle Arsen, Chrom, Kupfer und Zink in geringen Gehalten oberhalb der Bestimmungsgrenze vorkommen. Die Wässer sind hinsichtlich ihrer Mineralisierung als im oberen Bereich auch natürlich vorkommender Wässer zu kennzeichnen [Schneider et al. 2002], die Chloridgehalte sind etwas unterhalb des Niveaus des Elbwassers, die Sulfatgehalte weniger als halb so hoch. Zum Zeitpunkt der Probenahme wurde weder Nitrat noch Nitrit und nur geringe Mengen an Ammonium nachgewiesen, so dass das Wasser selbst als stickstoffarm gekennzeichnet werden kann und vermutet werden muss, dass Stickstoff sich überwiegend in biologischer Bindung durch Algen befand. Die Phosphor Gesamtgehalte sind dagegen mit > 150 µg/l als sehr hoch einzustufen [Schneider et al. 2002], die Konzentration ist auch deutlich höher als diejenige im Elbwasser. In den Beckenwässern kommen relativ wenige Schwebstoffe vor, der Gehalt an Gesamt-Kohlenstoff entspricht demjenigen in der Elbe, der CSB ist unauffällig.

2.3 Wassergüte der in den Holzhafen eingeleiteten Wässer

Aus **Becken D** werden nach Berechnungen von [15] 128.000 m³ in den Holzhafen stufenweise eingeleitet, der Zulauf und der Entleerungsgraben werden vorher geleert. Die Abführung erfolgt durch Ziehen der Dammbalken in 15-cm-Schritten, wobei maximal 9.200 m³ pro Schritt abgegeben werden. Ab einer Höhe von +2,22 m NN wird das MThw erreicht, nun wird sich das Wasser in dem Becken D mit zuströmendem Elbwasser mischen.

Die Wassergüte des in den Holzhafen abgeführten Wassers wurde unter der Annahme kalkuliert, dass das Porenwasser aus dem verbleibenden Sediment-Wassergemisch ein Volumen von 5 % des

ursprünglichen Schlammvolumens (5.025 m³) hat und die kennzeichnenden Nährstoffgehalte organogener Schlämme aufweist.

In Tabelle 2 ist die Zusammensetzung des aus dem Becken B in die Tide abzuführenden Wassers dargestellt sowie die Einzelkomponenten und ihre Volumina, die für die Berechnung der Mischungen verwendet wurden.

Tabelle 2 *Zusammensetzung des an die Elbe abzuleitenden Wassers aus Becken D*

		Komponenten des Ablaufs		Ablauf D	Referenzwert OGewV	Einzuhaltender Wert [3]
		Becken D	Porenwasser			
Volumen Abfluss	m ³	127.750	250	128.000		
Leitfähigkeit	µS/cm	698	1036	699		
Abfiltrierbare Stoffe	mg/l	12	500	13		25
TOC	mg/l	12	50	12,1	< 7 ¹	20
Nitrit	mg/l	0,01	5	0,02		
Nitrit-N	mg/l	0,003	1,52	0,01	≤ 0,05 ¹	2
Nitrat	mg/l	0,5	20	0,54		
Nitrat-N	mg/l	0,1	4,52	0,11		
Ammonium-N	mg/l	0,021	40	0,10	≤ 0,2 ¹	2
Gesamt-N	mg/l	0,12	46,04	0,21		5
Phosphor ges.	mg/l	0,65	0,64	0,65	≤ 0,1 ¹	0,6 – 1
CSB	mg/l	38	100	38,1		40
Eisen, ges.	mg/l	0,093	5	0,1	≤ 1,8 ¹	2
Chlorid	mg/l	100	79	100	≤ 200 ¹	
Sulfat	mg/l	54	338	54,6	≤ 200 ¹	
Arsen	µg/l	4,5	3,3	4,5		
Blei	µg/l	1	1	1	1,2 (14) ²	
Cadmium	µg/l	0,3	0,3	0,3	0,25 (1,5) ²	
Chrom ges.	µg/l	2,3	1	2,3		
Kupfer	µg/l	4,7	15,4	4,7		
Nickel	µg/l	1	1	1	4 (34) ²	
Quecksilber	µg/l	0,2	0,2	0,2	(0,07) ²	
Zink	µg/l	53	12	52,9		
AOX	mg/l	0,01	0,01	0,01		0,05

[blau unterlegte Felder: hier wurde mit der Bestimmungsgrenze gerechnet; rote Zahlen: abgeschätzte Konzentrationen; ¹Anforderungen an guten ökologischen Zustand, ²Umweltqualitätsnorm UQN als Jahresdurchschnitt und (zulässiger Höchstwert)]

In Tabelle 3 ist die vergleichbare Darstellung für das aus Becken C abzuleitende Wasser aufgeführt. Als Elbwasser wurden die Mittelwerte der Gütemessstelle Seemannshöft eingesetzt.

Tabelle 3 *Zusammensetzung des an die Elbe abzuleitenden Wassers aus Becken C*

		Komponenten des Ablaufs			Ablauf C	Referenzwert OGewV	Einzuhaltender Wert [3]
		Becken C	Elbwasser (MW Seemannshöft)	Porenwasser			
Volumen Abfluss	m ³	127.750	47.000	250	175.000		
Leitfähigkeit	µS/cm	620	958	1036	711		
Abfiltrierbare Stoffe	mg/l	7,6	63,0	500	23,1		25
TOC	mg/l	9,5	8,6	50	9,3	< 7 ¹	20
Nitrit	mg/l	0,01	0,12	5	0,047		
Nitrit-N	mg/l	0,003	0,036	1,52	0,014	≤ 0,05 ¹	2
Nitrat	mg/l	0,5	11,3	20	3,4		
Nitrat-N	mg/l	0,1	2,55	4,52	0,76		
Ammonium-N	mg/l	0,24	0,124	40	0,27	≤ 0,2 ¹	2
Gesamt-N	mg/l	0,34	2,71	46,0	1,04		5
Phosphor ges.	mg/l	0,63	0,16	0,64	0,50	≤ 0,1 ¹	0,6 - 1
CSB	mg/l	29	25	100	28		40
Eisen, ges.	mg/l	0,019	1,70	5	0,48	≤ 1,8 ¹	2
Chlorid	mg/l	80	151	79	99	≤ 200 ¹	
Sulfat	mg/l	51	122	338	70	≤ 200 ¹	
Arsen	µg/l	1,8	1,9	3,3	1,8		
Blei	µg/l	1	0,036	1	0,7	1,2 (14) ²	
Cadmium	µg/l	0,3	0,013	0,3	0,22	0,25 (1,5) ²	
Chrom ges.	µg/l	2,4	0,25	1	1,8		
Kupfer	µg/l	2,9	2,3	15,4	2,7		
Nickel	µg/l	1	2,3	1	1,3	4 (34) ²	
Quecksilber	µg/l	0,2	0,007	0,2	0,15	(0,07) ²	
Zink	µg/l	57	4,8	12	43		
AOX	mg/l	0,01	0,017	0,01	0,012		0,05

[blau unterlegte Felder: hier wurde mit der Bestimmungsgrenze gerechnet; rote Zahlen: abgeschätzte Konzentrationen; ¹Anforderungen an guten ökologischen Zustand, ²Umweltqualitätsnorm UQN als Jahresdurchschnitt und (zulässiger Höchstwert)]

Die Zusammensetzung des an die Elbe abzuleitenden Wassers ist danach zu beurteilen, ob durch die Einleitung eine Verschlechterung der allgemeinen physikalisch-chemischen Komponenten, von prioritären Stoffen oder von flussgebietspezifischen Stoffen zu erwarten ist, wobei die Stofflisten der Anlagen 3, 6, 7 und 8 der OGewV (2016) zu berücksichtigen sind. Für Fließgewässer definiert die OGewV (2016) außerdem Anforderungen an den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potential, in den Tabellen 2 und 3 sind die Werte für den Gewässertyp 20 (sandgeprägte Ströme) wiedergegeben, zu dem die Elbe im Bereich der Einleitungsstelle geordnet wurde. Auch

wurden die Umweltqualitätsnormen (UQN) für die Spurenmetalle angegeben, soweit sie in der OGewV aufgeführt sind. Seitens der für die wasserrechtliche Erlaubnis zuständigen Genehmigungsbehörde sind auf der Basis des bestehenden Gewässerzustands Hinweise für die einzuhaltenden Konzentrationen für die allgemeinen physikalisch-chemischen Komponenten mitgeteilt worden [3], die in der äußersten Spalte aufgeführt sind.

Im Vergleich zu den Referenzwerten können die aus den beiden Becken einzuleitenden Wässer wie folgt gekennzeichnet werden:

- Die Gehalte abfiltrierbarer Stoffe bleibt unterhalb des Elbwasserniveaus,
- Stickstoffverbindungen sind nur in so niedrigen Gehalten vorhanden, dass sie einem guten ökologischen Zustand entsprechen würden,
- die Phosphorgehalte sind vergleichsweise höher, bleiben aber im Bereich (Becken D) bzw. unterhalb (Becken C) der einzuhaltenden Anforderungen,
- die Konzentrationen gelöster Spurenmetalle sind sehr niedrig, würden bei Quecksilber aber nicht die Anforderungen an einem guten chemischen Zustand erfüllen,
- niedrige AOX-Werte und fehlende Hinweise auf organische Belastungen verdeutlichen, dass mit dem einzuleitenden Wasser keine Pestizide in die Elbe eingeleitet werden.

Vor dem Hintergrund, dass es sich um eine einmalige Einleitung von Wasser in die Tideelbe handelt, dass in den Beckenwässern keine Hinweise auf Belastungen mit organischen Schadstoffen bestehen und dass die Referenzwerte für die Einleitung eingehalten werden, wird von der Einleitung keine nachteilige Veränderung der Wassergüte erwartet.

3 Beurteilung der Materialien der Beckensohle im Hinblick auf potentielle Gewässerbelastungen

3.1 Kennzeichnung der durchgeführten Maßnahme

Das Baukonzept [30] sieht vor, in den Becken C und D die an der Beckensohle anstehende Lage aus Klinkern und Stampfbeton flächendeckend sowie den unter der künstlichen Sohle befindlichem Klei nur im Bereich der zukünftigen Priele aufzunehmen und beide Materialien zu seitlichen Wällen aufzuschütten. Diese Arbeiten sollen in zwei Arbeitszyklen (jeweils September – Dezember im Jahr 2: Becken D und 3: Decken C der Baumaßnahme) unter Tideeinfluss durchgeführt werden. Im Einzelnen ist vorgesehen, das künstliche Sohlmaterial seitlich zu lagern und dieses mit einer Hydraulikzange auf eine Korngröße von 20 – 200 mm zu zerkleinern. Dieses Material wird anschließend als Kernmaterial in die Gehölzinseln über dem basal abgelagerten Klei eingebaut. Von dem bindigen Boden (Klei) werden bis zu 0,7 m im Bereich der zukünftigen Priele aufgenommen und ohne Zwischenlagerung in die seitlichen befindlichen Gehölzinseln als basale Schicht eingebaut. Um das zukünftige Planum zu erreichen, wird das umgelagerte Material mit angelieferten Sanden überdeckt, die auch die Hohlräume zwischen dem Klinkerbruch ausfüllen.

Der Bauablauf sieht vor, innerhalb eines durch den Tidewasserstand bedingten, im Mittel rund achtstündigen Arbeitstages jeweils die Materialien der Beckensohle aufzunehmen, in die Inseln einzubauen und mit den angelieferten Sanden fertig zu überdecken. Damit soll der Kontakt des anschließend mit der Tide einlaufenden Elbwassers weitgehend auf die zuoberst liegende Schicht aus Sand beschränkt werden. Außerdem ist beabsichtigt, die Fahrzeuge auf sogenannten Baggermatratzen zu bewegen, um die Bildung von Schlamm und Schwebstoffen im Baustellenbereich zu begrenzen.

3.2 Fragestellung und Datengrundlage

Aus bodenkundlich-hydrologischer Sicht soll die Fragestellung beurteilt werden, ob von den an der Beckensohle anstehenden Materialien Gefährdungen des Wasserpfads während oder nach der Baumaßnahme ausgehen können.

Da die Baumaßnahme in der kalten Jahreszeit durchgeführt wird, wird davon ausgegangen, dass die Temperatur des Wassers $<10\text{ °C}$ und die Sauerstoffkonzentration $> 6\text{ mg/l}$ beträgt.

Die Zusammensetzung der Ziegel- und Betonbettungsschicht ist in [5] anhand von 8 Proben von Bohrkernen dargestellt, aus dem darunter anstehenden bindigen Böden liegen von gleichen Positionen ebenfalls acht Analysen vor [4, 6].

3.3 Wirkmechanismen und Bewertungsrahmen

Grundsätzlich liegen die aufzunehmenden Materialien aktuell in der wassergesättigten Zone, in der sie auch nach Umlagerung verbleiben. Stoffausträge können in dieser Zone mit zwei Mechanismen erfolgen:

- a) Diffusiv, indem sich zunächst die Partikeloberflächen mit dem umgebenden Porenwasser ins chemische Gleichgewicht setzen und – bei vorhandenen Konzentrationsgradienten zu beweglichem Grund- oder Oberflächenwasser – zwischen dem Porenwasser und der Umgebung diffusive Konzentrationsausgleichsbewegungen erfolgen. Der Stofffluss erfolgt in Richtung auf den Wasserkörper mit geringeren Stoffkonzentrationen und wird in seiner Intensität von den Diffusionskoeffizienten gesteuert.
- b) Konvektiv, wenn die betrachtete Schicht im Bereich von Druckpotentialgradienten liegt, die bei gegebener Wasserleitfähigkeit in der Lage sind, zu Wasserflüssen durch die Schicht zu führen. Hierbei erfolgt der Stoffaustausch in die Richtung des Wasserkörpers mit geringerem hydraulischen Potential.

Für die Beurteilung der Gefährdung des Wasserpfads wird hier zunächst die TR Boden der LAGA (2004) angewendet, die spezifisch die stofflichen Anforderungen an die Verwertung von Bauschutt sowie auch Bodenmaterialien definiert, obwohl diese ausdrücklich nicht für das Einbringen von Materialien in Gewässer gilt. Diese Vorgehensweise wird gewählt, da die LAGA (2004) Anforderungen für einen Einbau in der wasserungesättigten Zone formuliert, in der typischerweise infolge der Durchsickerung das Potential zum Stoffaustausch wesentlich höher ist als bei der hier gewählten Ablagerungsform. Insofern ist das Beurteilungsergebnis nach LAGA (2004) konservativ. Außerdem werden die Referenzwerte der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) für eine Beurteilung verwendet.

3.4 Beurteilung des Einflusses der Maßnahme

Die chemischen Analysen der Ziegel- und Bettungsschicht sowie der darunter anstehenden Böden zeigen, dass sich der Untergrund der Becken C und D nicht wesentlich unterscheidet. Dies ist aufgrund der gleichen Nutzungshistorie auch plausibel. Aus den Analysen ergibt sich folgende Zusammensetzung der Materialien (arithmetische Mittelwerte, Maxima):

Tabelle 4 *Zusammensetzung der Materialien der Beckensohle [aus 4, 5, 6]*

		Ziegel- und Bettungsschicht		Boden	
		Mittel	Maxima	Mittel	Maxima
Zusammensetzung Feststoff					
Trockenrückstand	Masse %	81,4	86,4	57,7	64,4
EOX	mg/kg	< 1	< 1	< 1	< 1
KW	mg/kg	< 100	< 100	< 100	< 100
mobile KW bis C22	mg/kg	< 50	< 50	< 50	< 50
Cyanid ges	mg/kg	< 1	< 1	< 1	< 1
Summe BTEX	mg/kg	< 1	< 1	< 1	< 1
Summe LHKW	mg/kg	< 1	< 1	< 1	< 1
Summe PAK	mg/kg	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Naphthalin	mg/kg			< 0,05	< 0,05
Benzo(a)pyren	mg/kg	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

		Ziegel- und Bettungsschicht		Boden	
		Mittel	Maxima	Mittel	Maxima
PCB Summe	mg/kg	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
As_KW	mg/kg	13,1	21	14,7	19
PB_KW	mg/kg	10,3	15	24,4	28
Cd_KW	mg/kg	0,19	0,23	0,38	0,5
Cr_KW	mg/kg	19,6	31	40	53
Cu_KW	mg/kg	6,5	7,9	24,3	30
Ni_KW	mg/kg	6,1	7,2	29,9	37
Hg_KW	mg/kg	< 0,1	< 0,1	0,11	0,11
TI_KW	mg/kg			0,32	0,36
Zn_KW	mg/kg	19	27	92,3	121
TOC	%			3,14	6,0
Zusammensetzung Eluat					
pH	pH	8,9	10,0	7,2	7,9
LF	µS/cm	198	438	195	255
Chlorid	mg/l	5,2	21	5,3	6,7
Sulfat	mg/l	42	90	39	68
Cyanid	mg/l			< 0,005	< 0,005
Phenolindex	mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
As	µg/l	4,8	7,2	2,6	4,3
Pb	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd	µg/l	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Cr	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1
Cu	µg/l	1,8	2,2	< 1	< 1
Ni	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1
Hg	µg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Zn	µg/l	< 10	< 10	< 10	< 10

In der **Ziegel- und Bettungsschicht** an der Beckensohle sind demnach keine organischen Schadstoffe nachgewiesen worden und auch bei den anorganischen Schadstoffen diese nur in geringen Gehalten. In Bezug auf die Zuordnungswerte Z0 (LAGA 2004) für grobkörniges Material (Sand) ergibt sich,

- dass der königswasserlösliche Arsengehalt im Mittel (13,1 mg/kg) oberhalb des Zuordnungswerts (10 mg/kg) liegt,
- dass der königswasserlösliche Chromgehalt bei einer Probe mit 31 mg/kg oberhalb des Zuordnungswerts (30 mg/kg) liegt,
- dass der pH-Wert bei drei Proben oberhalb des Zuordnungswerts von 9,5 pH liegt und
- dass bedingt durch die Lösung von Sulfaten (Mittelwert 42 mg/l bei einem Zuordnungswerte von 20 mg/l) auch die Leitfähigkeit bei zwei Proben den Zuordnungswert überschreitet.

Die festgestellten leicht erhöhten Werte von As und Cr in dem Material aus der Ziegel- und Bettungsschicht entstammen der Herkunft des für die Ziegelherstellung eingesetzten Lehms. Wie die Eluatanalysen zeigen, sind diese beiden Spurenmetalle nicht (Cr) bzw. nur in unkritisch Konzentrationen (As) mobil. Aus der Bettungsschicht sind durch das Zerkleinern des Probenmaterials bisher nicht zugängliche Oberflächen freigelegt worden, wodurch es insgesamt zu leicht alkalischer Bodenreaktion im Eluat kommt. Durch diesen Prozess lässt sich auch die Sulfatfreisetzung erklären, die in den Proben bei höheren pH-Werten meistens ansteigt.

Die Verbreitung der unterhalb der Ziegelschicht anstehenden und durch die Maßnahme stellenweise aufzunehmenden **Bodenmaterialien** sind durch die Baugrunduntersuchungen [7] beschrieben. Im Tiefenbereich von +1,5 bis +0,8 m NHN stehen danach vorwiegend Klei, am Nordrand des Gebietes auch Sand über Klei und am Südrand umgelagerter Klei an. Die Analysenergebnisse (Tabelle 4) zeigen, dass die Materialien geringe Anteile an organischer Substanz (maximal 6 % TOC) aufweisen. Für das Material werden entsprechend der Textur die Zuordnungswerte Z0 für Lehm/Schluff der LAGA herangezogen. Danach können die Bodenmaterialien wie folgt eingeordnet werden:

- Vier königswasserlösliche Arsengehalte sind größer als der Zuordnungswert (15 mg/kg), der Mittelwert knapp darunter (14,7 mg/kg)
- Die Leitfähigkeit überschreitet in einem Fall mit 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ den Zuordnungswert (250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) leicht.
- Die meisten Sulfatgehalte liegen oberhalb des Zuordnungswerts (20 mg/l), der Mittelwert ist fast doppelt so hoch (39 mg/l).
- Die Anteile an organischer Substanz sind deutlich oberhalb dessen, was aus Sicht der LAGA in den Unterboden eingebaut werden sollte (Zuordnungswert für TOC 0,5 %, Mittelwert 3,14 %).

Im Vergleich zeigt sich, dass beide hier betrachteten Materialien bei den Parametern Arsen, Leitfähigkeit und Sulfat oberhalb der Zuordnungswerte Z0 liegen, dass bei der Ziegel- und Bettungsschicht außerdem auffällige pH-Werte, bei den Kleiprobe n erhöhte Anteile an organischer Substanz auftreten. Abgesehen von den TOC-Werten der Kleiprobe n fallen die Überschreitungen in die Zuordnungswerte Z1.2. Aufgrund der gemessenen Anteile an organischer Substanz ist davon auszugehen, dass unter den reduzierenden Bedingungen sich in dem Klei Ammonium bildet. Entsprechend der Ergebnisse aus Grundwasseruntersuchungen in den Marschen der Süderelbmarsch [Gröngröft 1992] wird hier von einer aus der anaeroben Zersetzung entstandenen Porenwasserkonzentration von 45 mg/l Ammonium ausgegangen.

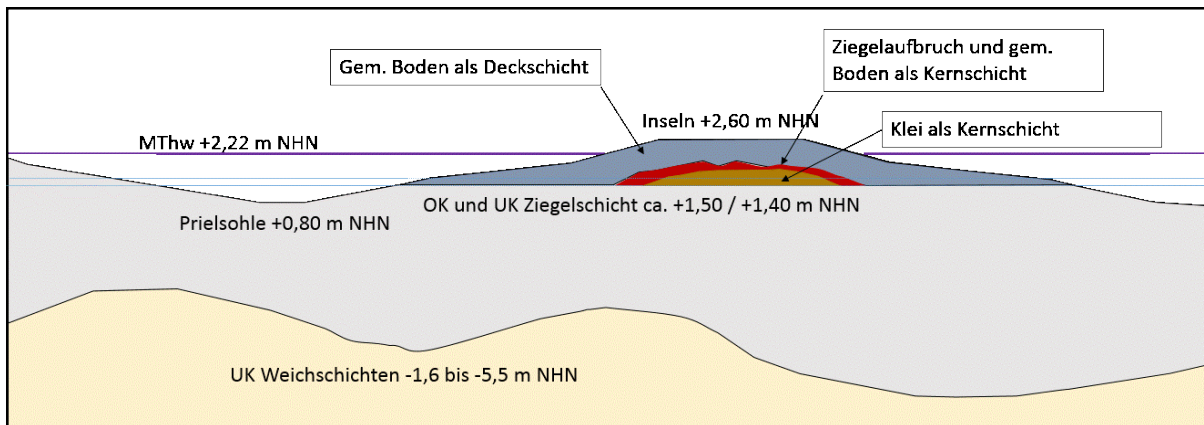


Abbildung 1 Schematischer Aufbau der Gehölzinseln

Nach Überdeckung mit dem gewachsenen Sand liegen die umgelagerten Bodenmaterialien der Beckensohle im dauerhaft wassergesättigten Milieu (siehe Abbildung 1). **Stoffaustauschprozesse** in Richtung auf den unterhalb der Weichschichten liegenden Aquifer sind durch die geringe Wasserleitfähigkeit der Kleischichten (siehe [7]) sowie durch niedrige hydraulische Gradienten physikalisch sehr begrenzt. Stoffaustauschvorgänge in Richtung auf die Tidengewässer sind in begrenztem Umfang wahrscheinlich, da bei Regen und hohen Hochwässern Wasser in die von Auwald bestandenen Inselbereiche eindringt, dort auf einen Dauerwasserstand trifft und lateral Richtung Priel dräniert. Nach Angaben von HPA [mail HPA WI 221-2 vom 5.12.17] ist im langjährigen Mittel damit zu rechnen, das 113,5 Fluten pro Jahr die Bodenoberflächen der Inseln überströmen, was 16 % aller Tiden oder einem mittleren zeitlichen Abstand von rund 3 Tagen ergibt. Bei diesen Durchströmungsvorgängen können theoretisch auch Inhaltsstoffe aus den umgelagerten Materialien, aufgrund der Wasserleitfähigkeit insbesondere aus der Ziegelaufbruchschicht, transportiert werden.

In Anbetracht der Tatsache, dass die umgelagerten Materialien bereits seit Bau der Becken (nach [7] Fertigstellung 1893) unter reduzierenden Bedingungen lagern und auch zukünftig dieses Milieu behalten, ist nicht damit zu rechnen, dass durch Änderung des geochemischen Milieus langfristig Stoffe ausgewaschen werden können, die sich bisher nicht in der mobilen Phase zeigen. Im Gegenteil ist zu vermuten, dass die im Eluat nachgewiesenen Sulfatgehalte (und damit auch die davon abhängigen Leitfähigkeiten) sich erst infolge der Probenahme und des Zutritts von Sauerstoff aus Sulfiden außerhalb des Lagerorts gebildet haben. Arsen, das unter reduktiven Bedingungen eine gewisse Mobilität aufweist (siehe geringe, aber messbare Gehalte im Eluat Tabelle 4), wird seine Mobilität behalten, aber nicht verstärken.

Die regelhafte Durchströmung des Inselkörpers resultiert vor allem aus den Hochwässern, die die Inselhöhe von +2,6 m NHN überschreiten und bei denen sich der Luftraum des Sandes mit Wasser sättigt. Anschließend kann eine schnelle Entwässerung in die seitlich angrenzenden Priele erfolgen. Folgende tägliche Durchsickerung wurde kalkuliert mit:

- Mächtigkeit der Deckschicht aus gewachsenen Sanden oberhalb des Ziegelaufbruchs $M = 0,6 \text{ m}$

- Luftanteil im Oberboden entspricht Luftkapazität [Ad-hoc AG Boden 2005, Tab. 70 für S_s, pt3] LA = LK = 32 Vol %
- Luftanteil in 0,6 m Tiefe entspricht OK Dauerwasserstand LA = 0 Vol. %
- Mittlerer Luftanteil (vor Eintritt eines hohen THw) LA_{mittel} = 16 Vol. %
- Speicherfähigkeit für Wasser S = 16 * 6 = 96 mm
- Tägliche Durchsickerung V = 96 mm/3d ≈ 30 mm/d

Die Oberfläche der Inseln beträgt nach Bestimmungen von WKC rund 3.600 m² für Becken D und 4.400 m² für Becken C. Die tägliche Aussickerung von Wasser aus den Inselkörpern eines Beckens beträgt damit rund 110 – 130 m³/d. Das Sickerwasser aus den Inselkörpern mischt sich in das mit den Tiden ein- und auslaufende Elbwasser. Dieses Volumen wurde von WKC für Becken D mit 24.200 m³ bis zur Höhe von 2,4 m NHN bestimmt, für Becken C mit 23.100 m³. Bei mittlerem THw (2,22 mNHN) ist das Volumen etwas geringer (ca. 19.200 m³ für Becken D, 18.100 m³ für Becken C), der Anteil des Sickerwassers aus den Inselbereichen an dem Ausstrom liegt dann bei rund 0,3 – 0,35 %.

Die Qualität des Sickerwassers entspricht weitgehend derjenigen des Elbwassers. In den Anteil des Sickerwassers mischen sich Inhaltsstoffe aus den liegenden Kleischichten, die dem Konzentrationsgradienten folgend, sich diffusiv aus dem Porenwasser in das darüber strömende Sickerwasser verlagern. Anhand von Diffusionsberechnungen auf Basis des Fick'schen Gesetzes wurde der Diffusionsstrom für Ammonium mit folgenden Eingangsparametern konservativ überschlagen:

Schichtdicke 5 cm, Diffusionskoeffizient in reinem Wasser von 25 °C für Ammonium $D_w = 1,957 * 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ [Tanaka & Hashitani 1971], Umrechnungsfaktor 25 °C → 10 °C $U = 0,9598$, Porenwasserkonzentration 45 mg NH₄/l, Porosität 54 Vol. %, Einfluss der Porosität auf den Diffusionskoeffizienten nach Mackay et al. [1992].

Danach beträgt der Diffusionsstrom 23,6 mg/m²*d, bei 3600 m² Ablagerungsfläche entsprechend 84,9 g/d. In 110 m³/d Sickerwasser ergibt sich damit eine Konzentrationszunahme von < 0,1 mg/l. Da bei übrigen Komponenten des Porenwassers der Konzentrationsunterschied geringer ist, sind auch die möglichen Konzentrationszunahmen durch diffusive Prozesse noch geringer.

Im Verlauf der Zeit kann die Durchströmung sich vermindern, wenn feinkörnige Partikel den Zutritt des Wassers bei höheren THw behindern und damit das Luftvolumen nicht vollständig ausgeschöpft wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass von den in die Inseln umgelagerten Materialien der Beckensohle und den in den Prielen zukünftig freiliegenden Materialien keine nachteiligen Veränderungen der Qualität des in die Becken ein- und ausströmenden Elbwassers ausgehen.

4 Beurteilung der Abdeckschichten im Hinblick auf potentielle Gewässerbelastungen

4.1 Kennzeichnung der durchgeführten Maßnahme

Die für die Beurteilung der Abdeckschichten relevanten Baumaßnahmen sind bereits in Kap.3.1 beschrieben.

Für die als Deckschicht einzusetzenden Sande sind seitens des Maßnahmenträgers unterschiedliche Herkunftsquellen genannt worden, wobei grundsätzlich Reinsande im Sinne der Ad-hoc-AG Boden (2005) eingesetzt werden sollen, also von Materialien, deren Schluffanteil < 10 % und deren Tonanteil < 5 % beträgt. Beispielhafte Herkunftsquellen sind a) die als gewachsene Sande bezeichneten Materialien aus der Maßnahme „Spadenlander Busch / Kreettsand“, b) die beim Rückbau des Steinwerder/ Kuhwerder Hafens gezielt als Sande ausgebauten Materialien, c) die bei der Unterhaltungsbaggerung im Hafen anfallenden Sande, die über die Längsstromgerinne in Ellerholz oder Francop von Feinpartikeln befreit werden und dort aufgehaldet sind.

Es handelt sich bei den potentiell zu verwendenden Sanden damit sowohl um natürlich im Holozän abgelagerte Materialien (Maßnahme „Spadenlander Busch / Kreettsand“), um Sande, die bereits früher für Geländeaufhöhungen eingesetzt waren (Steinwerder Hafen) als auch um rezente Elbsande.

4.2 Fragestellung und Datengrundlage

Aus bodenkundlich-hydrologischer Sicht soll die Fragestellung beurteilt werden, ob von den beidseitig der Priele bis auf die Inseln als Deckschicht aufgebrauchten Sanden nachteilige Veränderungen des Wasserpfads während oder nach der Baumaßnahme ausgehen können, wobei insbesondere auch die Freisetzung von Eisen und die möglichen Versauerungen betrachtet werden soll.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der potentiell einsetzbaren Sande sind durch verschiedene Untersuchungskampagnen festgestellt worden:

- Im Rahmen der Maßnahme „Spadenlander Busch / Kreettsand“ wurden exemplarisch zehn aufgehaldete Materialien im März 2017 entnommen und anschließend analysiert [8, 9]. Analysen der Korngrößenverteilung sind [21] entnommen worden.
- Im Rahmen des Umbaus des Kuhwerder Hafens wurden im August 2016 fünf Sandproben von der Sandhalde „Kuhwerder Süd“ entnommen und analysiert [32].
- Für die Maßnahme „Alter Moorburger Hafen“, bei der es auch um die Ansiedlung von Wasserschieflingsfenchel ging, sind im September 2013 sieben Proben aus dem Sandgerinne Ellerholz entnommen und analysiert worden [33]. Bei den Sanden handelt es sich um Materialien, die bei Baggerungen in der Süderelbe gewonnen werden.
- Der Analyse von 6 Sandproben aus der Mitte der Süderelbe (Höhe Hohe Schaar), Probenahme November 2015 [34].

- Die Analyse einer Sandprobe, die vor der Verspülung direkt aus dem Laderaum eines Hoppers entnommen wurde (Baggerung im Bereich Süderelbe Höhe Kraftwerk Moorburg [37], Probenahme Dezember 2017.

4.3 Wirkmechanismen

Wirkmechanismen sind bereits in Kap.3.3 dargestellt worden. Grundsätzlich wird erwartet, dass die Sande aufgrund der geringen Böschungsneigung und der geringen Strömungsgeschwindigkeiten im Umfeld um die Inseln lagestabil sind und auch die Feinkornanteile im Korngerüst verbleiben und nicht bevorzugt ausgewaschen werden.

4.4 Beurteilung des Einflusses der Maßnahme

Analysenergebnisse der potentiell einsetzbaren Sande sind in Tabelle 5 dargestellt. Soweit Überschreitungen der LAGA Z0-Werte für Sande auftreten, sind diese farbig unterlegt. Die Zuordnungswerte der LAGA dienen dazu, Bodenmaterialien hinsichtlich ihrer Eignung für den Einbau in wasserdurchsickerten Schichten einstufen zu können, wobei die Klasse Z0 eine uneingeschränkte Verwendung bedeutet.

Tabelle 5 *Zusammensetzung der potentiell einsetzbaren Sande*

		Gewachsener Sand „Spadenland er Busch /Kreetsand“		Sand „Kuhwerder Süd“		Sandgerinne Ellerholz		Sand Süderelbe		Sand-Süderelbe
		n =10 [8, 9]		n = 5 [32]		n= 7 [33]		n = 6 [34]		n=1 [37]
		Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum	Messwert
Zusammensetzung Feststoff¹										
Trockenrückstand	% TM	92,7	96,1	95,8	97,0			72,8	76,9	73,1
EOX	mg/kg	< 0,5	< 0,5	< 1	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,7	
KW	mg/kg	< 10	< 10	< 40	< 40	< 20	< 20	< 20	120	< 50
Cyanid ges.	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,5	< 0,5			< 0,05	0,62	
Summe BTEX	mg/kg			n. n.	n. n.	< 0,2	< 0,2	n. n.	0,065	0,071
Summe LHKW	mg/kg			n. n.	n. n.	< 0,7	< 0,7	n. n.	n. n.	
Summe PAK	mg/kg	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	< 0,8	1,1	3,1	11,9	5,3
Naphthalin	mg/kg	< 0,05	< 0,05					< 0,05	0,17	0,11
Benzo(a)pyren	mg/kg	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,74	0,52
PCB Summe	mg/kg	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	< 0,018	< 0,018	n. n.	n. n.	n. n.
As (KW)	mg/kg	3,0	6,0	2,6	4,1	1,6	2,1	3,3	6,0	3,9
PB (KW)	mg/kg	< 2	28	6,6	13	3,6	10	7,3	14	10
Cd (KW)	mg/kg	< 0,2	0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,1	0,5	1,3	0,29
Cr (KW)	mg/kg	4,9	23	3,0	4,0	2,3	2,7	5,3	9,9	4,6

¹ Analytik zahlreicher Einzelverbindungen ohne messbare Gehalte nicht aufgeführt

		Gewachsener Sand „Spadenland er Busch /Kreetsand“		Sand „Kuhwerder Süd“		Sandgerinne Ellerholz		Sand Süderelbe		Sand-Süderelbe
		n =10 [8, 9]		n = 5 [32]		n= 7 [33]		n = 6 [34]		n=1 [37]
		Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum	Messwert
Cu (KW)	mg/kg	4,2	21	12,2	33	7,3	11	8,3	19	7,6
Ni (KW)	mg/kg	4,5	23	2,6	3,0	2,0	2,8	3,9	5,8	4,8
Hg (KW)	mg/kg	< 0,1	0,1	< 0,07	0,3	< 0,1	< 0,1	0,2	0,4	0,17
Tl (KW)	mg/kg	< 0,2	0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Zn (KW)	mg/kg	12	45	35	72	27	44	81	140	82
S (KW)	mg/kg	231	380							
Fe (KW)	mg/kg	2282	10000					3358	4400	
TOC	%	0,6	4,5	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3	1,0	1,5
Zusammensetzung Eluat										
pH	pH	7,0	7,9	9,1	10,0	7,0	7,6	8,0	8,9	7,0
LF	µS/cm	56	121	74	101	52	79	133	253	136
Cl	mg/l	< 2	< 2	< 1	< 1	< 0,6	1,9	8,0	12,0	4,4
SO ₄	mg/l	21	42	11	17	6,9	22	18	53	15
Cyanid	µg/l	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Phenolindex	µg/l	< 10	< 10	< 10	10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
As	µg/l	< 5	< 5	6,4	11	1,0	1,5	5,1	15	1,7
Pb	µg/l	< 5	< 5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,2	< 1
Cd	µg/l	< 1	< 1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Cr	µg/l	< 5	< 5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cu	µg/l	< 5	< 5	< 5	< 5	< 1	1,8	1,5	2,4	< 1
Ni	µg/l	< 5	16	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,1	< 1
Hg	µg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,25	< 0,25	< 0,2	0,48	< 0,2
Zn	µg/l	34	80	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Eisen	mg/l	0,2	0,4							

Anhand der in der obigen Tabelle genannten Werte können die für die Maßnahme potentiell verwendbaren Sande folgendermaßen gekennzeichnet werden:

- Die gewachsenen Sande aus Kreetsand weisen geogen bedingt erhöhte Gehalte organischen Kohlenstoffs (TOC) auf. In keiner der untersuchten Proben wurde ein organischer Schadstoff oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen und auch die Konzentrationen der Spurenmetalle sind in dem Bereich des geogenen Hintergrunds. Die Sande enthalten etwas Eisen und Schwefel, z. T. als Sulfide, die bei Sauerstoffzutritt Sulfate und Säure bilden können [29]. Die maximalen Eluatgehalte betragen 42 mg/l Sulfat und 0,4 mg/l Eisen.

- Die Sande aus der Maßnahme „Kuhwerder Hafen“ haben infolge von Kontakten mit Baustoffen einen erhöhten pH-Wert, die Gehalte an Spurenmetallen sind z. T. etwas oberhalb der LAGA Z0-Werte in einem Niveau, das für sandige Hafensedimente typisch ist.
- In dem Sandgerinne Ellerholz wurden Materialien angetroffen, die mit der Ausnahme eines Sulfatwerts alle Kriterien für die uneingeschränkte Verwendung erfüllen.
- Die Sande an der Basis der Süderelbe zeigen das kennzeichnende Schadstoffmuster der Elbe auf einem sehr niedrigen Niveau. Im Vergleich zu den Z0-Werten treten Überschreitungen bei Spurenmetallgehalten (Cd, Hg, Zn) und auch bei organischen Parametern (EOX, KW, PAK) auf. Anhand der Feststoffwerte ist die Qualität in die Klasse Z1.1 einzuordnen, bei einer Probe aufgrund der PAK-Gehalte in die Klasse Z2. Die Eluate zeigen keine Überschreitungen der Z0-Werte bei den oben aufgeführten Spurenmetallen, sondern ausnahmsweise bei Arsen. Das Belastungsniveau dieser Materialien steht in deutlicher Abhängigkeit zum Anteil an Feinkorn und dem TOC, da die Schadstoffe in diesen Fraktionen gebunden sind.

Wie der Vergleich der Feststoffgehalte und der Eluatanalysen zeigt, sind die in einem Teil der potentiell verwendbaren Sande nachgewiesenen Schadstoffe (Spurenmetalle, organische Schadstoffe) nur sehr gering löslich und wirken sich daher nicht auf das Sickerwasser aus. Wie Untersuchungen an Proben aus der Maßnahme „Spadenlander Busch / Kreetsand“ gezeigt haben, kann in einigen Sanden das von Schwefelverbindungen herrührende Säurebildungspotential größer als das Neutralisationspotential sein [29]. Es könnte daher theoretisch örtlich oder zeitweilig begrenzt zu Sickerwässern niedrigerer pH-Werte kommen. Bei Verwendung der Sande in der hier betrachteten Maßnahme findet allerdings eine regelmäßige Durchsickerung mit Elbwasser statt. Dieses Wasser hat durch seine gelösten Carbonate eine nennenswerte Pufferfähigkeit für Protonen. Aufgrund der sowohl insgesamt geringen Säurebildungsfähigkeit der Sande als auch der Pufferfähigkeit des zu erwartenden Sickerwassers wird nicht erwartet, dass durch die Oxidation von Schwefelverbindungen sich die Sickerwasserqualität negativ verändert.

Entsprechend der obigen Darstellung zu dem Anteil des Sickerwassers aus den Inselbereichen wird deren Konzentration im ablaufenden Tidewasser mit > 99 % Elbwasser vermischt. Grundsätzlich ist es nicht ohne weiteres möglich, im Labor bestimmte Eluatkonzentrationen auf Konzentrationen im durchströmten Wasser unter in-situ-Bedingungen zu übertragen, da die Feststoff-Lösungsverhältnisse unter natürlichen Verhältnissen im Vergleich zum Labor (1:10) abweichend sind und sich Lösungsgleichgewichte einstellen können, die wiederum von den Feststoff-Lösungsverhältnissen abhängig sind. Unter den hier zu prüfenden Bedingungen finden jedoch vergleichsweise hohe Elutionsraten statt (ca. 30 mm/d), so dass hier angenommen wurde, dass die im Labor maximal bestimmten Eluatgehalte in der Größenordnung denjenigen entsprechen, die sich bei der Durchsickerung mit Elbwasser einstellen. Infolge der Vermischung mit dem Tidewasser betragen damit die maximal möglichen Erhöhungen der Elbwasserkonzentration am Auslauf in den Holzhafen 0,2 mg/l Sulfat und < 0,01 mg/l Eisen, was messtechnisch nicht nachweisbar ist.

Unter Berücksichtigung a) der geringen Mobilität derjenigen Stoffe, die in einigen Sanden oberhalb der Z0-Werte im Feststoff festgestellt werden, b) der Vermischung mit dem Elbwasser und c) der Tatsache, dass die Sande teilweise bereits am Herkunftsort Teil des Gewässerbetts der Elbe sind und damit keine untypischen Stoffe abgeben können, wird von der Verwendung der Sande keine nachteilige Veränderung der Gewässerqualität erwartet. Um dies abzusichern wird empfohlen, an die

verwendeten Materialien nicht nur Anforderungen an die Korngröße ($< 10\%$ Schluff und $< 5\%$ Ton) sondern auch einen Grenzwert an den TOC-Wert von $< 0,5\%$ anzulegen, soweit der TOC nicht geogen erhöht ist. Damit kann verhindert werden, dass in der aufzubringenden Sandschicht Oxidationsprozesse organischer Substanz zu erhöhten Stoffausträgen führen.

Da die aufgetragenen Sandkörper wie ein Festbettreaktor fungieren, ist durch den Anschluss der Billwerder Insel an das Tidegeschehen mit einer positiven Wirkung auf diejenigen Komponenten im Wasserkörper zu rechnen, die durch Sedimentation und Redoxprozesse beeinflusst werden. Dies gilt insbesondere für die Konzentration an Schwebstoffen und den Gehalt an Nitrat, die im ablaufenden Wasser wahrscheinlich niedriger sind als im auflaufenden.

5 Quellen

- [1] Hamburger Wasserwerke (1957): Billwerder Insel – Lageplan und Schnitte
- [2] HPA (2017): Schnittzeichnung „Absetzbecken der Billwerder Insel“
- [3] BUE – IB 331(2017): Besprechungsvermerk vom 18.10.2017 Kohärenzmaßnahme Fahrrinnenanpassung Tideanschluss Billwerder Insel. 3 Seiten und Anlagen
- [4] GBA (2017): Prüfbericht 2017P514051/1 über fünf Bodenproben von der Billwerder Insel, erstellt am 7.11.17
- [5] GBA (2017): Prüfbericht 2017P514215/1 über acht Bodenkernproben von der Billwerder Insel, erstellt am 7.11.17, mit Ergänzungen vom 9.1.18
- [6] GBA (2017): Prüfbericht 2017P514217/2 über drei Bodenproben von der Billwerder Insel, erstellt am 7.11.17, mit Ergänzungen vom 9.1.18
- [7] Burman, Mandel und Partner Partnergesellschaft mbB (2018): Baugrund- und Gründungsbeurteilung, 40 S. und Anlagen, erstellt am 18.1.18
- [8] SGS Institut Fresenius GmbH (2017): Prüfbericht 3323626 über vier Elbsande Spadenlander Busch Kreetsand, erstellt am 5.4.2017
- [9] SGS Institut Fresenius GmbH (2017): Prüfbericht 3323628 über sechs Feststoffproben Spadenlander Busch Kreetsand, erstellt am 5.4.2017
- [10] HPA (2017): Ergebniszusammenstellung der Elbsandanalysen Kreetsand und Vergleich mit den Zuordnungswerten (1 Seite)
- [11] HPA (2017): Ergebniszusammenstellung der Elbsandanalysen Kreetsand (Kontrolluntersuchungen Neuland 23) und Vergleich mit den Zuordnungswerten (1 Seite)
- [12] HPA (2017): Bauablaufdiagramm, erstellt 29.11.2017
- [13] WK Consult (2017): Bauablauf zum Einbau unter Tideeinfluss (Auszug aus Genehmigungsbericht WKC, Stand 30.11.17), 11 Seiten
- [14] WK Consult (2017): Bildlicher Bauablauf mit Geräteeinsatz und Flächeninanspruchnahme (Stand 13.11.17), 36 Seiten
- [15] WK Consult (2017): Abschätzung der anfallenden Wassermengen bei der Beckenumgestaltung, erstellt 14.11.17, 7 Seiten und ergänzende Tabelle zur Kapazität der Becken
- [16] WK Consult (2017): Plan zur Maßnahme mit zwei Schnittlinien und Photos. Geprüft 26.7.2017
- [17] Bielfeldt + Berg Landschaftsplanung (2017): Stichpunkte zur Abstimmung mit der BUE, 1 Seite, erstellt 9.11.2017
- [18] Bielfeldt + Berg Landschaftsplanung (2017): Schadstoffbelastung des Bodens und der Beckensohle – Umweltfachliche Fragestellungen, 3 Seiten, erstellt 9.11.2017
- [19] HPA (2017): Leistungsbeschreibung vom 30.11.17, 21 Seiten
- [20] M+W (2017): Prüfprotokolle Bodenkennzeichnung/Klassifizierung Projekt 10-009 AP Kreetsand für fünf Elbsande (017 bis 020), entnommen 8.2.17 – 31.5.17
- [21] M+W Ingenieurgesellschaft (2013): Zusammenfassende Beschreibung zur Verwertung der aufgespülten und gewachsenen Sande, 7 Seiten, erstellt am 22.7.2013
- [22] HPA (2015): Kurzbericht zur Haldenbeprobung der gewachsenen „Elbsande“ in Kreetsand. 2 Seiten und Anlagen, erstellt 18.12.2015

- [23] Anonymus (o.J.): Der SoilTain Prozess. Schemazeichnung, 1 Seite.
- [24] Burman, Mandel und Partner Partnergesellschaft mbB (2017): Baugrund- und Gründungsbeurteilung (Vorabzug), 40 S. und Anlagen, erstellt am 28.11.17
- [25] GBA (2017): Prüfbericht 2017P514325/1 über je eine Wasserprobe aus Becken C und D, erstellt am 5.9.17, ergänzt 29.12.17.
- [26] HPA (2017): Lageplan bezüglich der Sediment, Boden und Bohrkernproben, 1 Seite
- [27] GBA (2017): Vier Prüfberichte über Sedimentanalysen (2017/P514329, 2017/P514635, 2017/P514759, 2017/P514819)
- [28] HPA (2017): Lageplan Inspektionstauchgang Becken D, 1 Seite
- [29] M+W Ingenieurgesellschaft (2017): Entwicklung eines tidebeeinflussten Flachwassergebietes Spadenlander Busch/ Kreesand. Bewertung der Verwertbarkeit der Elbsande hinsichtlich potentieller Versauerung vom 22.5.2017, 11 Seiten.
- [30] WKC (2018): TBI – technische Planung – Arbeitsstand 24.01.2018. 66 Seiten.
- [31] GBA (2017): Prüfbericht 2017P518486/1 und 2017P518487/1 über zwei Mischproben von je zwei Überstandswässern von Sedimenten, Probenahme 25.8.2017, erstellt am 10.11.17
- [32] TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation (2016): Prüfbericht AR 16 AN00649601 über fünf Sandproben von der Sandhalde Kuhwerder Süd, entnommen August 2016.
- [33] HPA (2013): Tabellarische Zusammenstellung der Zusammensetzung von sieben Stichproben von Sanden aus dem Gerinne Ellerholz (jeweils Minimal-, Median- und Maximalwerte), entnommen September 2013.
- [34] HPA (2015): Prüfbericht-Nr. 2015P518512/1 über die Analysen von sechs Sandproben aus der Mitte der Süderelbe, Probenahme November 2015.
- [35] GBA (2018): Prüfbericht 2018P500092/1 über fünf Grundwasserproben aus dem Gebiet Billwerder Insel, Probenahme 8.12.2017, erstellt am 2.1.18
- [36] HPA (2017): Tabellierte Analysendaten von Überwachungsstellen der Hamburger Elbe: a) Wasserproben (Zollenspieker, Seemannshöft) und b) Proben schwebstoffbürtiger Sedimente (Bunthaus, Seemannshöft) aus den Jahren 2016 und 2017.
- [37] GBA (2018): Prüfbericht 2018P500686/1 über eine Sandprobe aus der Süderelbe, Probenahme Dezember 2017, erstellt am 11.1.18

6 Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Hannover: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Gröngröft, A. (1992): Untersuchung des Sickerwasser- und Stoffeintrags aus Hafenschlick-Spülfeldern in den oberen Grundwasserleiter der Hamburger Elbmarsch. *Hamb. Bodenkundl. Arb.* 17:1 - 256.
- LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) (2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung 1.2 Bodenmaterial (TR Boden).
- Mackay, D., S. Paterson & W. Y. Shiu (1992): Generic models for evaluating the regional fate of chemicals. *Chemosphere* 24 (6): 695-717.
- Schneider, P., P. L. Neitzel, M. Schaffrath & H. Schlumprecht (2002): Leitbildorientierte physikalisch-chemische Gewässerbewertung-Referenzbedingungen und Qualitätsziele. In *Abschlussbericht zum F&E-Vorhaben des Umweltbundesamtes (FKZ 200 24 226)*, Chemnitz.
- Tanaka, K. & T. Hashitani (1971): Measurements of self-diffusion coefficients of ammonium ion in aqueous solutions. *Transactions of the Faraday Society* 67:2314-2317.
- OGewV. Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung) vom 20. Juni 2016. BGBl I S. 1373.