

TIDEANSCHLUSS BILLWERDER INSEL

ANLAGE 2 - MASSENMANAGEMENT WASSER

Abschätzung der anfallenden Wassermengen bei der Beckenumgestaltung im tidebeeinflussten Einbau

1 Aufgabenstellung:

Während der Ausführung der Kohärenzmaßnahme Tideanschluss Billwerder Insel müssen zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedliche Wassermengen aus Becken D und C abgeführt werden.

2 Zusammenstellung der Wassermengen

In der nachfolgenden Tabelle sind die voraussichtlich anfallenden Wassermengen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Wassermenge

Bauphase	ca. Wassermenge [m ³]
Bestand Beckenwasser Becken D gesamt (bei einem Wasserstand von + 5,0 mNHN)	142.000
Anpassung Becken D von + 5,0 mNHN auf + 4,0 mNHN (Wasserkörper 1) / Einleitung in Entleerungsgraben	44.000
Einleitung Wasser aus Wasser-/Sedimentgemisch (Wasserkörper 2) in Holzhafengraben	10.450
Entleerung Becken bis auf Sohle (Wasserkörper 3, schrittweise alle 0,15 m)	87.000
Wassermenge pro Dammbalken (Höhe 0,15 m)	9.200 – 2.000
Bestand Beckenwasser Becken C gesamt (bei einem Wasserstand von + 5,0 mNHN)	142.000
Anpassung Becken C von + 5,0 mNHN auf + 4,0 mNHN (Wasserkörper 1) / Einleitung in Entleerungsgraben und Becken D	44.000
Einleitung Wasser aus Wasser-/Sedimentgemisch (Wasserkörper 2) in Holzhafengraben	10.450
Entleerung Becken bis auf Sohle (Wasserkörper 3, schrittweise alle 0,15 m)	178.000
Wassermenge pro Dammbalken (Höhe 0,15 m)	20.000 -2.000

3 Zusammenstellung der Strömungsgeschwindigkeiten im Holzhafengraben

In der nachfolgenden Tabelle sind die erwarteten Strömungsgeschwindigkeiten im Holzhafengraben dargestellt.

Phase	Max. Strömungsgeschwindigkeiten [m/s]	Verfasser
IST-Zustand, ohne Anschluss der Becken D+C an den Holzhafen [5]	0,6	BAW
Maximaler Zustand während des Einleitens des Filtrates aus der Sediment-Entwässerung	0,6	WKC
Maximaler Zustand während des Abgabe des angestauten Wassers in Etappen von 0,15 m	1,2 (bei minimalsten Fließquerschnitt)	WKC
Endzustand, nach Anschluss der Becken D+C an den Holzhafen [5]	1,2	BAW

4 Beckenwasser Becken D/C:

Im ersten Schritt wird das Wasser des Beckens D auf einen Wasserstand von etwa +4,0 mNHN abgesenkt und in den gegen die Tide abgedämmten Entleerungsgraben eingeleitet. Anschließend wird vom Beckenwasser das Wasser-/ Sedimentgemisch aus dem Sohlbereich von Becken D abgesaugt und das Filtrat aus den geotextilen Entwässerungsschläuchen, wenn nötig, in einer Wasserbehandlungsanlage gereinigt. Nach der ggf. durchgeführten Behandlung wird das saubere Wasser in den Holzhafengraben eingeleitet. Der Zulauf zu Becken D wird mit ablaufendem Wasser und nachfolgend in Tidearbeit hergestellt. Hierfür wird der anstehende Wasserkörper kontinuierlich aus Becken D, dem Zulauf und dem Entleerungsgraben durch schrittweise Ziehung der Dammbalken dem Holzhafen zugeführt.

Zur Einleitung des Wassers aus Becken C wird der Entleerungsgraben ebenfalls abgedämmt. Anschließend wird das Wasser aus Becken C in das Becken und den Entleerungsgraben eingeleitet, wodurch sich der Wasserstand im Becken C auf +4,0 mNHN reduziert wird. Nachfolgend wird das Wasser stufenweise dem Holzhafengraben zugeführt.

Es bestehen dabei folgende Randbedingungen:

- Ausgangswasserstand Becken D/C: ca.+ 5,00 mNHN
- Sohle Becken D/C: +1,66 mNN bis +1,46 mNN = im Mittel +1,56 mNN
- Sohlfläche Becken D/C: B = 109 m; L = 343 m
- Oberfläche des Beckens D/C: B = 126 m; L = 360 m (bei +5,00 mNHN Wasserstand)
- Böschungsneigung: 1:2,5
- Absenkung auf ca. +4,00 mNHN

- Entfernung der Sedimentschicht + Wasserkörper: 30 cm über Beckensohle

Aus den vorgenannten Berechnungsgrundlagen ergeben sich die nachfolgenden Wassermengen pro Becken:

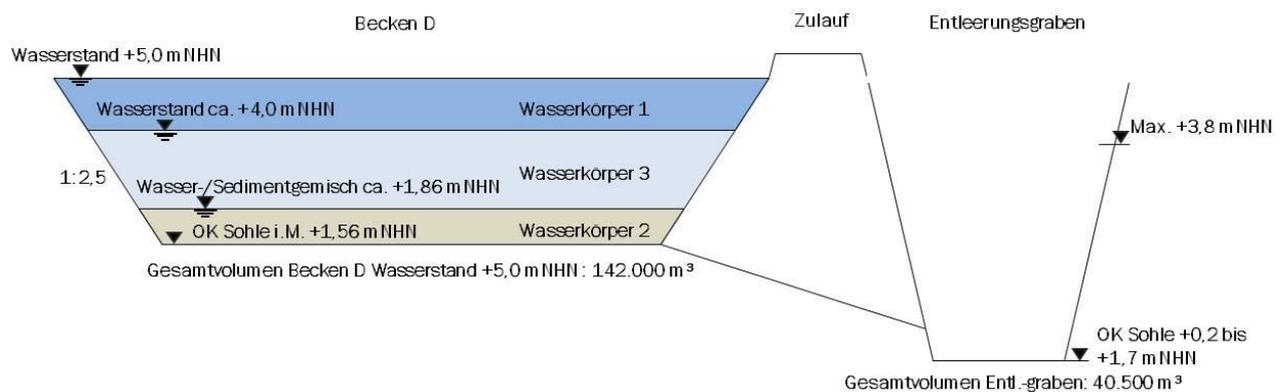
$$V_{\text{Gesamt}} = V_1 + V_2 + V_3 = 128.611 \text{ m}^3 + 10.147 \text{ m}^3 + 3.225 \text{ m}^3 \approx 142.000 \text{ m}^3$$

mit

$$\text{Grundvolumen Becken: } V_1 = 109 \text{ m} \cdot 343 \text{ m} \cdot (5,00 \text{ m} - 1,56 \text{ m}) = 128.611 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Böschungsbereich N/S: } V_2 &= A_{\text{Böschungsbereich}} \cdot l_{\text{Becken}} \\ &= 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 3,44 \text{ m} \cdot (3,44 \text{ m} \cdot 2,5) \cdot 343 \text{ m} \right) = 10.147 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Böschungsbereich O/W: } V_3 &= A_{\text{Böschungsbereich}} \cdot l_{\text{Becken}} \\ &= 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 3,44 \text{ m} \cdot (3,44 \text{ m} \cdot 2,5) \cdot 109 \text{ m} \right) = 3.225 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



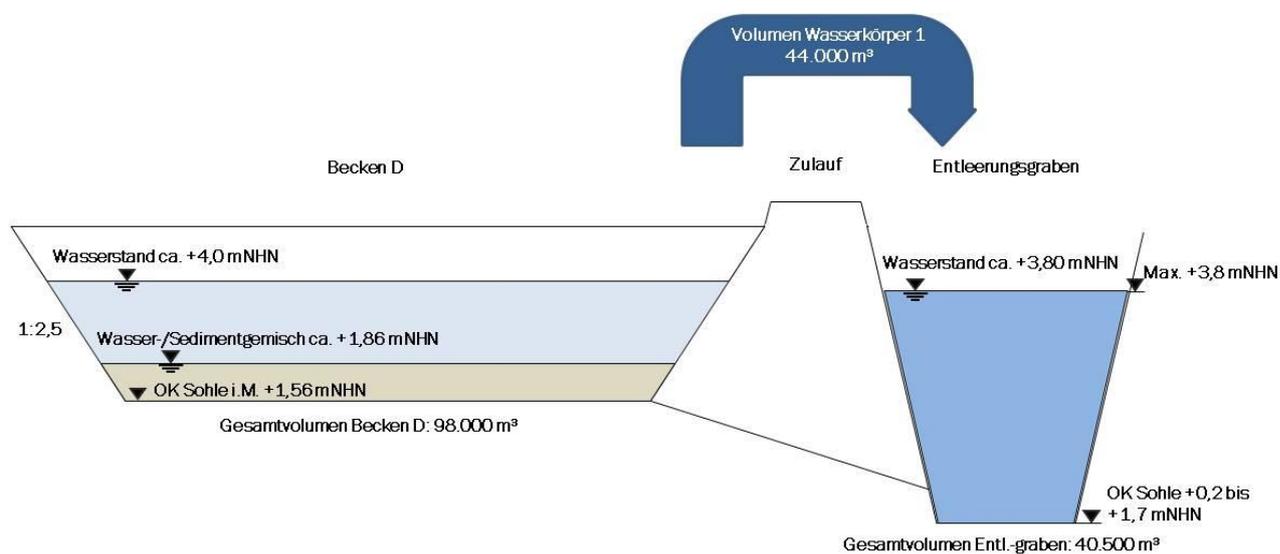
5 Wasser aus der Absenkung auf ca. +4,0 mNHN (Wasserkörper 1):

Das Wasser, welches zur Anpassung des Becken D abgelassen wird, reduziert den Wasserstand um ca. einen Meter auf ca. +4,0 mNHN. Die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch der Beckensohle besteht bei einem Wasserstand von mindestens +3,50 mNHN, bei welchem eine ausreichende Auflast gewährleistet ist. Berechnet wird der Wasserkörper 1 mit der Größe des Beckens von der Böschungsoberkante aus mit $B=126\text{m}$ und $L=360\text{m}$.

$$\begin{aligned} V_{\text{Ablass}+4,0\text{mNHN}} &= (1 \text{ m} \cdot 126 \text{ m} \cdot 360 \text{ m}) - (1 \text{ m} \cdot (1 \text{ m} \cdot 2,5) \cdot 360 \text{ m}) - (1 \text{ m} \cdot (1 \text{ m} \cdot 2,5) \cdot \\ &126 \text{ m}) = 45.360 \text{ m}^3 - 900 \text{ m}^3 - 315 \text{ m}^3 \approx 44.145 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Die Ableitung des Volumens von etwa 44.000 m^3 ist für die Absenkung auf etwa +4,0 mNHN nötig. Die 44.000 m^3 dienen der Füllung des abgedämmten Entleerungsgrabens, welcher dann auf ca. +3,80 mNHN angestaut ist. Überschüssiges Wasser fließt über dem

Dammbalkenverschluss in den Holzhafengraben. Im Becken D verbleiben noch ca. 98.000 m³ Wasser.



6 Wasser aus Entwässerung Sediment (Wasserkörper 2):

Aus den bisherigen Taucheruntersuchungen wird mit einer Sedimentschicht auf der Beckensohle im Mittel von ca. 10 cm Sediment ausgegangen. Das Sediment wird in Form einer Suspension (Wasser-Sediment-Gemisch) aus dem Becken abgesaugt. Bei einer Beckengröße an der Sohle von ca. B=109 m; L=343 m fallen bei der Entnahme der unteren 15 cm Wassersäule ca. 5.600 m³ Sedimentsuspension an. Es muss jedoch gewährleistet werden, dass eine größtmögliche Menge an Sediment angesaugt wird. Daher wird im Weiteren davon ausgegangen, dass die unteren 30 cm des anstehenden Wassers abgesaugt werden müssen.

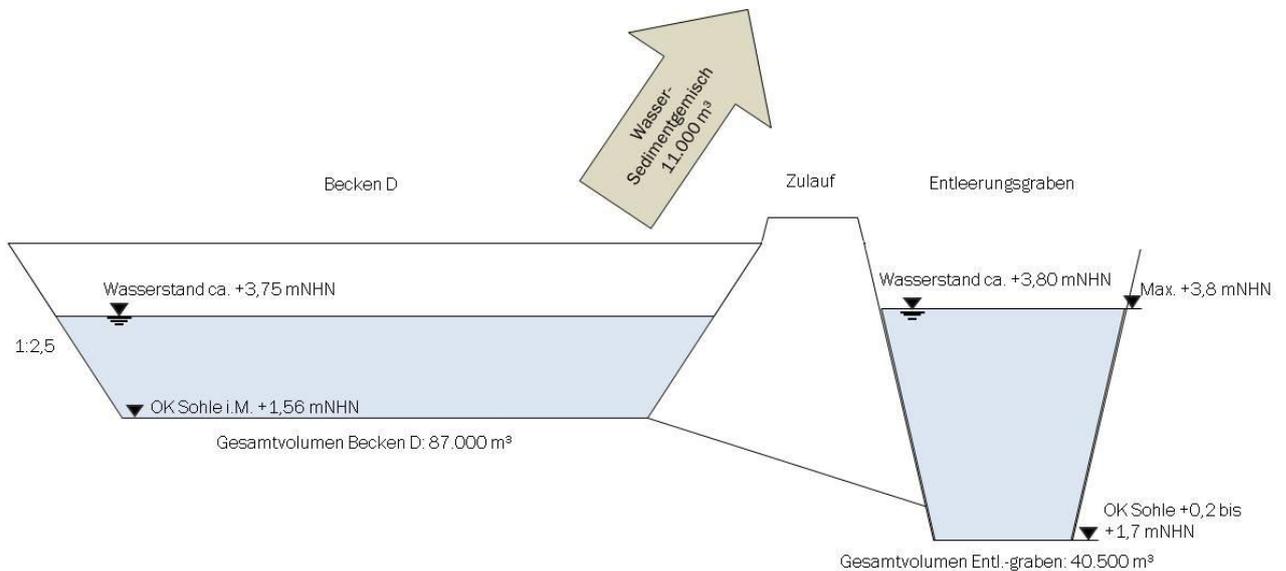
$$V_{WS-Gemisch} = 109 \text{ m} \cdot 343 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} \approx 11.000 \text{ m}^3$$

Anhand von Sedimentproben vom August 2017, die für eine chemische Analyse entnommen wurden, wird ein Wassergehalt der Suspension von maximal 90% angenommen [4]. Aufgrund der Annahme, dass ein 30 cm mächtiger Wasserkörper abgesaugt wird, verringert sich der Sedimentanteil von 10% bei 15 cm auf 5% bei 30 cm Suspension. Aus der Entwässerung der Suspension ergeben sich folgende Wassermengen pro Becken:

$$V_{Entwässerung \text{ Suspension}} = 11.000 \text{ m}^3 \cdot 0,95 \approx 10.450 \text{ m}^3$$

Durch das Entfernen von 11.000 m³ Beckenwasser wird in dem trapezförmigen Becken voraussichtlich einen Wasserstand von etwa +3,75 mNHN erreicht werden. Damit ist die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch gegeben.

Vor der Einleitung des Filtrates wird, wenn notwendig, eine gesonderte Reinigung bzw. Aufbereitung des aus der Suspension gewonnenen Wassers vorgenommen werden.



7 Wasserstand in Becken D und Entleerungsgraben nach dem Bau des Zulaufs:

Das Wasservolumen abzüglich der Absenkung auf ca. +4,0 mNHN und des Wasser-/Sedimentgemischs beträgt:

$$V_{\text{Vermischung}} = V_{\text{Gesamt}} - V_{\text{Ablass}+4,0\text{mNHN}} - V_{\text{WS-Gemisch}}$$

$$= 142.000 \text{ m}^3 - 44.000 \text{ m}^3 - 11.000 \text{ m}^3 \approx 87.000 \text{ m}^3$$

Das Wasser im Entleerungsgraben sollte nicht höher als +3,80 mNHN anstehen, da sonst der Betriebsweg (OK Weg +4,0 mNHN) unter der Autobahnbrücke ggf. überspült wird und die Abdichtung zum Holzhafergraben und somit das schrittweise Einleiten nicht mehr gegeben ist.

Das Wasser im Entleerungsgraben entspricht ungefähr dem Volumen (ca. 40.000 m³) von der vorher abgelassenen Wassermenge des Wasserkörpers 1. Überschüssiges Wasservolumen fließt über den Dammbalkenverschluss in den Holzhafergraben ab.

Das Gesamtvolumen (Volumen Becken D und Entleerungsgraben bei einem Wasserstand von +3,80 mNHN), beträgt:

$$V_{\text{Füllung}} = V_{\text{Becken D}} + V_{\text{Entleerungsgraben}} = 87.000 \text{ m}^3 + 40.500 \text{ m}^3 = 127.500 \text{ m}^3$$

Wenn sich das Wasser aus dem Becken D in den Zulauf und den Entleerungsgraben verteilt, wird ein Wasserstand von ca. +3,80 mNHN im benetzten Gebiet mit einem Gesamtwasservolumen von 127.500 m³ erwartet.

Bei dieser Höhe wird der Betriebsweg unter der Autobahnbrücke nicht überflutet.

Anfänglich wird etwa 20.000 m³ Wasser bei der Entfernung des ersten Dammbalkens in den Holzhafengraben abgegeben. Ab einem Wasserstand von ca. +2,45 mNHN wird unter Entnahme eines Dammbalkens ca. 10.000 m³ schrittweise eingeleitet. Sobald der Stand des mittleren Tidehochwassers bei + 2,22 mNHN erreicht wird, sind noch ca. 54.000 m³ Wasser im Becken C, Becken D, dem Entleerungsgraben, dem Zulauf und Durchstich vorhanden. Ab diesem Wasserstand kann die Tide oberhalb der Abdichtungselemente in das Planungsgebiet ein- und ausströmen. Die Wassermenge beträgt ab dem MThw unter 6.000 m³ pro Ziehung eines Dammbalkens.

Das Becken C ist entleert, sobald ein Wasserstand von + 1,46 mNHN erreicht wurde, was bedeutet, dass das Becken C früher trockenfällt als das Becken D unter Tideeinfluss, da Becken D zu diesem Zeitpunkt schon auf + 0,8 mNHN ausgebaut ist.

10 Maximale Strömungsgeschwindigkeiten bei der schrittweisen Wasserzuführung:

Während der Baumaßnahme wird das Baufeld temporär von der Tide des Holzhafengrabens abgedichtet. Die Abdichtung erfolgt mit einem Dammbalkensystem, das im Bereich der Unterführung der BAB 1 hergestellt wird. Zur Wiederanbindung des Baufeldes an die Tide wird im Dammbalkensystem je Tide ein Dammbalken entfernt, um das Wasser im Baufeld schrittweise an das Tidegeschehen abzugeben.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass das Dammbalkensystem aus Dammbalken mit einer jeweiligen Höhe von 15 cm besteht. Der Effekt des Ziehens eines Dammbalkens entspricht dem Fall eines „vollkommenen Überfalls an einem Wehr“. Mit der nachfolgenden Überfallformel nach *Du Buat* kann der Durchfluss über ein Wehr (hier das Dammbalkensystem) berechnet werden:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b * \sqrt{2 * g} * h_{\ddot{u}}^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = \frac{2}{3} * 0,64 * 10 * \sqrt{2 * 9,81} * 0,15^{\frac{3}{2}} = 1,1 \frac{m^3}{s}$$

mit:	$\mu = 0,64$	Überfallbeiwert für eine scharfkantige Wehrkrone
	$b = 10 \text{ m}$	Breite des Wehres (hier Dammbalkensystem)
	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	Gravitationskraft
	$h_{\ddot{u}} = 0,15 \text{ m}$	Überfallhöhe

Hiermit wird ausgesagt, dass beim kompletten Ziehen eines Dammbalkens ein maximaler Durchfluss von 1,1 m³/s an Wasser über das Dammbalkensystem an den Holzhafengraben abgegeben wird. Mit abnehmender Überfallhöhe nimmt der Durchfluss ebenfalls ab, wodurch die zuvor berechnete Menge einen Maximalwert darstellt.

Die BAW gibt in ihrem Gutachten [5] eine maximale Geschwindigkeit von ca. 0,6 m/s für den Ist-Zustand im Holzhafengraben an. Im Endzustand werden im Holzhafengraben von der BAW [5] bis zu 1,2 m/s erwartet.

Sofern das zusätzliche Volumen durch die Wasserabgabe aus dem Baufeld die Geschwindigkeit nicht um mehr als 0,6 m/s erhöht, kann die zuvor beschriebene Wasserabgabe als unkritisch angesehen werden, da der Endzustand nicht überschritten wird.

Die zusätzliche Strömungsgeschwindigkeit errechnet sich über die benetzte Fläche (Fließquerschnitt des Wassers) innerhalb des Unterführungsbauwerkes und den anstehenden Durchfluss. Hierbei wird der Fließquerschnitt im anstehenden Unterführungsbauwerk betrachtet, da dies die Engstelle gegenüber dem Holzhafengraben darstellt.

Die maximal zulässige Geschwindigkeit beträgt:

$$v_{max.} = 1,2 \frac{m}{s} - 0,6 \frac{m}{s} = 0,6 \frac{m}{s}$$

Der minimale Fließquerschnitt bzw. Wasserstand im Unterführungsbauwerk ist dabei:

$$A_{min} = \frac{1,1 \frac{m^3}{s}}{0,6 \frac{m}{s}} = 1,83 \text{ m}^2$$

$$h_{min} = \frac{1,83 \text{ m}^2}{10 \text{ m}} = 0,183 \text{ m}$$

Um die maximale Strömungsgeschwindigkeit von 1,2 m/s aus dem Endzustand nicht zu überschreiten, muss bei der Wasserabgabe an den Holzhafengraben mindestens ein Wasserstand von 18,3 cm im Unterführungsbauwerk vorhanden sein. Dieser Wasserstand muss lediglich in der Anfangsphase der Wasserabgabe gewährleistet sein, da mit Reduzierung der Überfallhöhe der Durchfluss sinkt und dementsprechend die Fließgeschwindigkeit und der Fließquerschnitt (benetzte Fläche).

11 Maximale Strömungsgeschwindigkeiten bei Wassereinleitung aus Sedimententwässerung

Bei der Entwässerung der Beckensedimente wird das anfallende Filtratwasser in den Holzhafengraben eingeleitet. Es wird von einer maximalen täglichen Fördermenge von 1.000 m³ ausgegangen. Bei einer durchschnittlichen Arbeitszeit von ca. 8h/d werden in der Stunde ca. 125 m³ Wasser-Sediment-Gemisch abgesaugt und entwässert.

Bei der Entwässerung fallen demnach maximal 125 m³/h bzw. 0,035 m³/s an Filtratwasser an. Diese Wassermengen sind vernachlässigbar klein und haben bei der Wassereinleitung keinen Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeiten im Holzhafengraben.

12 Niederschlag und Verdunstung

12.1 Niederschlag:

Der anfallende Niederschlag verändert den Wasserstand der Becken. Nachfolgend sind durchschnittliche monatliche Niederschlagsmengen [mm] für die Messstation Wandsbek aufgetragen, die der DWD aus der Jahresreihe von 1981 - 2010 ermittelt hat:

Tabelle 2: Mittlerer monatlicher Niederschlag (l/m² oder mm) der Station Wandsbek aus der Jahresreihe 1981 - 2010 [1]

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
77	59	72	51	58	76	75	85	70	69	68	79

Für ein Jahr ergibt sich eine Niederschlagsmenge von 839 mm. Die Einzugsfläche beträgt ca. 125m x 370 m (Fläche Becken an der Oberkante). Hieraus ergibt sich eine zusätzliche Wassermenge für ein Becken von:

$$V_{\text{Niederschlag}} = 0,839 \text{ m} \cdot 125 \text{ m} \cdot 370 \text{ m} \approx 38.800 \text{ m}^3$$

12.2 Verdunstung:

Analog zum Niederschlag erfolgt eine gewisse Verdunstung des Beckenwassers. Aus den Unterlagen zur Fahrrienenanpassung von 1999 wurde für den Bereich der Unterelbe eine jährliche Verdunstung von ca. 650 - 700 mm angegeben [2]. Über die nachfolgend aufgeführte prozentuale Verteilung der Verdunstung pro Monat [3] ergeben sich monatliche Verdunstungsmengen [mm] von:

Tabelle 3: Monatliche prozentuale Verteilung der Verdunstung in Deutschland [3]

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1,5%	1,8%	5,3%	10,7%	17,3%	13,5%	14,7%	13,7%	12,8%	5,7%	2,4%	0,6%

Tabelle 4: Monatliche Verdunstungsrate [mm]

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
9,75	11,7	34,45	69,55	112,45	87,75	95,55	89,05	83,2	37,05	15,6	3,9

Für ein Jahr ergibt sich so eine Verdunstungsmenge von ca. 600 mm (0,6m). Die Verdunstungsfläche beträgt ca. 125m x 370 m (Fläche Becken am Beckenrand). Hieraus ergibt sich eine verdunstende Wassermenge für ein Becken während der Sperrzeit von:

$$V_{\text{Verdunstung}} = 0,6 \text{ m} \cdot 125 \text{ m} \cdot 370 \text{ m} \approx 27.800 \text{ m}^3$$

Zu beachten ist jedoch, dass durch den Einfluss vielfältiger Parameter die Bestimmung der Verdunstung sehr komplex ist und lokal sehr stark abweichen kann.

12.3 Verhältnis Niederschlag / Verdunstung:

Die ermittelte Verdunstungsmenge im Jahr ist geringer als diese, die in den Unterlagen zur Fahrrinnenanpassung angegeben wurde. Wird die Verdunstungsmenge der Planfeststellungsunterlagen angesetzt, beträgt die Verdunstung in einem Becken ca. 32.400 m³. Diese Summe entspricht in etwa dem Volumen des Niederschlags. Aufgrund der annähernd gleichen Niederschlags- und Verdunstungsraten und der geringen Dauer der Abdichtung des Baufeldes von der Tide haben der Niederschlag und die Verdunstung keinen relevanten Einfluss auf die Wasserstände.

Quellenverzeichnis:

- [1] DWD: Mittlere Niederschlagswerte für feste Stationen aus der Jahresreihe von 1981-2010; URL: ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/multi_annual/mean_81-10/Niederschlag_1981-2010_festerStandort.txt (abgerufen am: 27.09.2017)
- [2] WSV: Das Klima im Untersuchungsraum; Antragsunterlagen zur Fahrrinnenanpassung 1999. Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Band VIII Klima.; URL: https://www.portaltideelbe.de/Projekte/FRA1999/Antragsunterlagen/UUVU/Materialbestaende/Bereichsauswahl_Band_VIII/Texte_Band_VIII/kap_4.html
- [3] PAREY, Paul: Taschenbuch der Wasserwirtschaft; 6. Auflage; Hamburg, 1982
- [4] IfB, Institut für Bodenkunde, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Hamburg, Gröngröft, Dr. Alexander: Begutachtung bodenkundlich-hydraulischer Gegebenheiten; Fahrrinnenanpassung Unter- und Außenelbe - Tideanschluss Billwerder Insel; Hamburg, 2018
- [5] BAW- Bericht: FAP Tideelbe Gutachten zur Auswirkung der Kohärenzmaßnahme „Tideanschluss Billwerder Insel“ BAW-Nr. B3955.03.10.10217, 2018