

**bremenports GmbH & Co. KG**  
**Badelagune nördlich der Geestemündung**  
**Machbarkeitsstudie**  
**unter wasserwirtschaftlichen Aspekten**  
**Vorabzug**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Veranlassung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Verwendete Unterlagen .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Ausgangssituation.....</b>	<b>3</b>
3.1 Geplante Maßnahme.....	3
3.2 Bodenverhältnisse .....	4
3.3 Randbedingungen .....	4
<b>4 Hydraulische Betrachtungen .....</b>	<b>6</b>
4.1 Zuleitungsmenge.....	6
4.2 Wasserverluste.....	7
<b>5 Schlussfolgerungen.....</b>	<b>8</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab.1:</b> Zuleitungsmengen je nach Größe und Anzahl der Rohrleitungen.....	<b>6</b>
--	----------

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b> Wasserstandskurve (bsh.de, abgefragt am 27.01.21) .....	<b>4</b>
--	----------

## Anhänge

Anlage 1: Lageplan	1	:	1.000
Anlage 2: Schnitt	1	:	500/50

## 1 Veranlassung und Zielsetzung

Bremenports konzipiert derzeit eine Badelagune nördlich der Geestemündung. Die Lagune soll im Bereich des Strandbades, nach einer Verlegung der Nordmole in nördliche Richtung, angeordnet werden. Hierzu soll zunächst ein Uferwall angelegt und mit Sand abgedeckt werden. Hinter dem Uferwall wird landseitig eine Mulde ausgeformt.

Die Zuwässerung soll über eine Verbindung in der Nordmole aus dem Geestevorhafen erfolgen. Bei sinkendem Wasserstand in der Weser wird auch der Wasserstand in der Lagune langsam absinken. Es wird aber angestrebt, eine Restwassermenge in der Lagune zu halten.

Um das Konzept weiter planerisch bearbeiten zu können, werden Angaben zu den zu erwartenden Wasserverlusten in der Lagune benötigt, auf deren Grundlage eine Ermittlung der damit verbundenen Auffüllmenge und eine Berechnung des erforderlichen Zulaufes in der Hochwasserphase einschließlich der Dimensionierung des Zuleitungsrohres erfolgen kann.

Die Ingenieurgemeinschaft agwa GmbH wurde damit beauftragt, in einer Machbarkeitsstudie die wasserwirtschaftlichen Fragestellungen unter Berücksichtigung ökologischer und technischer Aspekte zu untersuchen und, soweit möglich, die Umsetzbarkeit und die Wirksamkeit der Maßnahmen zu prüfen.

## 2      **Verwendete Unterlagen**

- Schnitt Lagune.pdf, zur Verfügung gestellt von bremenports
- Tosbecken.pdf, zur Verfügung gestellt von bremenports
- Schnitt Nordmole.pdf, zur Verfügung gestellt von bremenports
- Übersicht Lagune.pdf, zur Verfügung gestellt von bremenports
- Maßnahmenskizze Badelagune, zur Verfügung gestellt von bremenports
- Baugrund Nordmole.pdf (Baugrunduntersuchungsbericht und Gründungsberatung, RI+P, Hannover, 06.11.2012)
- Auskünfte des Molenplaners, zur Verfügung gestellt von bremenports

### 3 Ausgangssituation

#### 3.1 Geplante Maßnahme (gemäß Maßnahmenskizze Badelagune)

Die Neuausrichtung der Mole hat Auswirkungen auf das nördlich der Mole gelegene Strandbad. Auf der einen Seite wird ein Teil des südlichen Strandabschnittes überbaut, auf der anderen Seite werden sich die Sedimentationsverhältnisse nördlich der Mole verändern. Die Uferlinie des jetzigen Strandbades wird sich durch Sedimentation verändern (siehe **Anlage 1**) und weiter in Richtung Weser wandern. Der zu erwartende Zuwachs wird durch eine Abdeckung mit Sand zu einem naturnahen Sandstrand gestaltet.

Die naturnah ausgestaltete Lagune soll über einen Durchlass in der Nordmole bewässert werden. Dabei war angedacht, den Durchlass auf einer Höhe von 1,6 mNHN anzulegen, so dass zum einen die Lagune bei jedem normal auflaufenden Tidehochwasser mit Frischwasser versorgt wird, zum anderen aber auch gewährleistet wird, dass nur vergleichsweise sedimentarmes Wasser zugeführt wird.

Die letzte Information des Molenplaners sieht einen Durchlass in der Nordmole vor, der weiter westlich von der Lagune gelegen ist. Zwischenzeitlich war von Rohren bis DN 250, dann von DN 400 die Rede, jetzt wurde der Durchmesser auf DN 200 begrenzt.

Es ist zu erwarten, dass die Wasserstände in der Lagune nach dem Befüllen etwa dem Tidehochwasser entsprechen. Ein Rückfluss aus der Lagune in den Geestevorhafen wird durch den Einbau einer Froschklappe verhindert. Mit dem ablaufenden Wasser wird es auch im Bereich der Lagune zu einem verzögerten Absinken des Wasserstandes kommen.

Um bei sehr hoch auflaufenden Fluten die Belastung auf den Strandwall gering zu halten, ist auf einer Höhe von 2 mNHN ein Überlauf von der Lagune in den Geestevorhafen vorgesehen. Dieser Überlauf lässt sich weiterhin im Bereich in unmittelbarer Nähe zur Lagune verwirklichen, da er unter dem Gurt bzw. unterhalb der Schrägpfähle verlaufen kann.

Im Fall von schweren Sturmfluten ist ein Brechen des Strandwalles nicht auszuschließen. Daher ist davon auszugehen, dass nach der winterlichen Sturmflutsaison regelmäßig eine Ausbesserung und Neugestaltung der Lagune erforderlich sein wird.

In einer ersten Skizze wurde die Lagune mit einer Gesamtfläche von rd. 4.000 m<sup>2</sup> eingezeichnet. Die Größe der Lagune sollte sich danach richten, ob der Wasserstand in der Lagune gehalten werden kann.

Der Uferbereich der Lagune sollte eine Neigung zwischen 1:3 und 1:5 besitzen (siehe **Anlage 2**).

### 3.2 Bodenverhältnisse

Im Bereich der bestehenden Nordmole wurden 2012 Baugrunduntersuchungen durchgeführt. Der feste Schlickboden steht gemäß Bodengutachten im Bereich der Lagune bei Tiefen zwischen -0,5 mNHN und -1,0 mNHN an. Darüber befindet sich eine Schicht Sandschlick. Oberhalb der Uferlinie wurde das Strandbad mit Sand aufgefüllt.

Der Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens wird stark durch den Sandanteil beeinflusst. Der feste Schlickboden hat einen  $k_f$ -Wert  $= 1 \times 10^{-7}$  m/s und der Sandschlick hat einen  $k_f$ -Wert  $= 2 \times 10^{-5}$  bis  $5 \times 10^{-5}$  m/s (Baugrund Nordmole.pdf). Der aufgefüllte Sand wurde nicht untersucht. Es ist zu erwarten, dass er einen  $k_f$ -Wert von ca.  $1 \times 10^{-4}$  m/s besitzt.

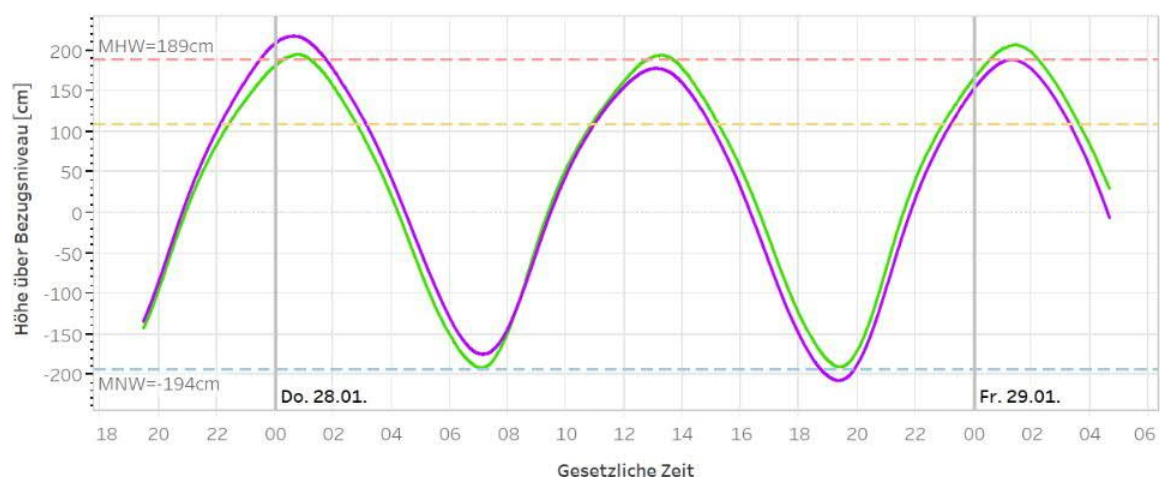
Nach Verlegung der Nordmole ist eine verstärkte Sedimentation im nördlichen angrenzenden Bereich zu erwarten. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich hier weiterhin schlickige Sedimente ablagern werden und sich die heutigen Watten weiter aufhohen und die Wattkante weiter in Richtung Weser wandert (vgl. mögliche neue Uferlinie in Anlage 1 und mögliche neue Sohle in Anlage 2)

### 3.3 Randbedingungen

Eine Auswertung der Wasserstandskurve des Pegels „Weser, Alter Leuchtturm“ zeigt, dass die Zuleitungszeit bei einer Rohrsohle bei 1,10 mNHN im Mittel ca. 4 h pro Tide beträgt (siehe Abb. 1). Wenn die Zuleitungsrohre höher angeordnet werden, verkürzt sich die maximale Zuleitungszeit. Unterschreitet der Wasserstand hafenseitig den Wasserstand in der Lagune, endet die Zuleitung. Es wird von einer mittleren Befüllhöhe entsprechend dem MTHW von 1,89 mNHN ausgegangen.

#### Bremerhaven, Weser, Alter Leuchtturm

Daten aktualisiert am 27.01.2021 15:00:37 Uhr



**Abb. 1:** Wasserstandskurve (bsh.de, abgefragt am 27.01.21)

Die Zuleitung kann über eine oder mehrere Rohrleitungen erfolgen, die jeweils mit einer Rückschlagklappe versehen sein müssen. Zusätzlich soll ein Überlauf eingerichtet werden, damit ein maximaler Wasserstand gehalten werden kann.

Die Entleerungszeit beträgt mindestens 8 h.

Der Einlauf soll relativ hoch angebracht werden, um nur sedimentarmes Wasser aus der Hochwasserphase einzufangen. Unterschreitet der Wasserstand die Sohlhöhe des Rohres, endet die Zuwässerung.

Nach ersten Aussagen der Planer der Mole sollten maximal 3 Rohre, vorzugsweise DN 250, die Mole durchdringen. Die Höhenlage OK-Rohr soll nicht höher als 2,1 mNHN und die UK-Rohr nicht unter - 0,5 mNHN liegen. Zwischenzeitlich wurden andere Aussagen getroffen.

Die Zuleitungsmenge ist abhängig vom beidseitigen Wasserstand.

## 4 Hydraulische Betrachtungen

### 4.1 Zuleitungsmenge

Die Zuleitungsmenge bei einer Fließgeschwindigkeit im Rohr von  $v = 1 \text{ m/s}$  beträgt bei DN 200 27 l/s bzw. 97 m<sup>3</sup>/h, bei DN 250 43 l/s bzw. 155 m<sup>3</sup>/h und bei DN 300 67 l/s bzw. 241 m<sup>3</sup>/h.

Der folgenden Tabelle 1 sind die zu erwartenden Wasserstandserhöhungen – abhängig von der Zuflussdauer, dem Rohrdurchmesser, der Rohrzahl und der Größe der Lagune – zu entnehmen. Die Wasserstandserhöhungen mit einer Zuflussdauer von 6 h sind als unwahrscheinlich anzusehen, da der Wasserspiegel der Weser aufgrund der Tide nicht 6 h Stunden über der Höhenlage des Rohres zu erwarten ist, wodurch der Zufluss in die Lagune nicht gewährleistet ist.

**Tab.1:** Anstieg des Wasserspiegels in der Lagune abhängig von der Zuleitungsmenge, Größe und Anzahl der Rohrleitungen

	2 h Rohrsohle bei >1,40 mNHN und niedrige Tide	4 h Rohrsohle bei 1,10 mNHN und mittlere Tide	6 h Rohrsohle bei 1,00 mNHN und erhöhte Tide
2 x DN 200	388 m <sup>3</sup>	776 m <sup>3</sup>	1.164 m <sup>3</sup>
Anstieg des Wasserspiegels bei Lagunengröße 2.000 m <sup>2</sup>	19 cm	38 cm	57 cm
Anstieg des Wasserspiegels bei Lagunengröße 4.000 m <sup>2</sup>	10 cm	19 cm	29 cm
2 x DN 250	620 m <sup>3</sup>	1.240 m <sup>3</sup>	1.860 m <sup>3</sup>
Anstieg des Wasserspiegels bei Lagunengröße 2.000 m <sup>2</sup>	31 cm	62 cm	93 cm
Anstieg des Wasserspiegels bei Lagunengröße 2.000 m <sup>2</sup>	16 cm	31 cm	47 cm
1 x DN 300	482 m <sup>3</sup>	964 m <sup>3</sup>	1.446 m <sup>3</sup>
Auswirkung bei einer Lagunengröße von 2.000 m <sup>2</sup>	24 cm	48 cm	72 cm
Auswirkung bei einer Lagunengröße von 4.000 m <sup>2</sup>	12 cm	96 cm	108 cm



## 4.2 Wasserverluste

Die Wasserverluste während einer Tide lassen sich über die Sickerleistung abschätzen, die als Flächenversickerung mit  $Q = A_S \times k_f / 2$  berechnet werden kann.

Die Sickerleistung bei sandigem Lehm ( $k_f$ -Wert  $= 1 \times 10^{-6}$  m/s) beträgt knapp 2 cm/h, bei schluffigem Sand ( $k_f$ -Wert  $= 1 \times 10^{-5}$  m/s)  $\sim 20$  cm/h und bei reinem Sand ( $k_f$ -Wert  $= 1 \times 10^{-4}$  m/s)  $\sim 2$  m/h. Der Absenk in der Lagune beträgt somit ab dem Zeitpunkt der einsetzenden Ebbe bis zum erneuten Befüllvorgang bei sandigem Lehm nur ca. 20 cm, bei schluffigem Sand bereits ca. 2,0 m.

Daraus wird ersichtlich, dass bei einer Sohle und Böschung aus schluffigem Sand oder reinem Sand die Lagune bis zum nächsten Befüllvorgang leerlaufen würde. Der Bereich der Lagune, in dem das Wasser längere Zeit gehalten werden soll, muss aus Boden mit einem Durchlässigkeitsbeiwert  $< 2 \times 10^{-6}$  m/s erstellt werden. Die Schichtdicke sollte mindestens 50 cm betragen, damit die Abdichtung nicht einfach zerstört werden kann. Beim Einbau des Materials ist auf eine gute Verzahnung und Verdichtung zu achten.

## 4.3 Sediment

Seitens der Planer der Badelagune ist eine Befüllung mit möglichst sedimentarmem Wasser gewünscht. Dies scheint in einem Widerspruch zu stehen, mit einer möglichst tiefen Rohrsohle der Zuleitung, um eine Zuwässerung über einen möglichst langen Zeitraum zu gewährleisten.

Der Bereich aus dem das Zuleitungswasser entnommen wird, ist die Südseite der neuen Nordmole. Hier wird die Sohle des Fahrwassers bei einer Tiefe von mehr als 5 m unter dem Wasserspiegel liegen.

Es liegen Untersuchungen zu der Dynamik von Flüssigschlick in Ästuarsystem<sup>1</sup> vor, die folgendes besagen:

Flüssigschlick ist eine Suspension, die aus mineralischen Partikeln, organischen Stoffen, Wasser und teilweise auch geringen Anteilen von Gasen besteht. Flüssigschlick wird durch turbulente Strömungen transportiert. Er sinkt in strömungsberuhigten Gebieten und in Phasen beruhigter Strömung, d. h. während der Kenterungsphasen in Tideströmungen, zu Boden und akkumulieren dort. Der Übergangsbereich zwischen einer Flüssigschlickschicht und dem darüber liegenden Wasserkörper weist in der Regel einen starken Dichtegradienten auf. Der Grenzschicht wird als Lutokline bezeichnet. Die Abbildung 2 in dem Artikel zur Untersuchung zeigt, dass die Lutokline erst in einer Wassertiefe von mindestens zwei Metern anzutreffen ist, sofern die Sohle ausreichend tief ist.

---

<sup>1</sup> Wehr, Denise (2018): Numerische Simulation der Dynamik von Flüssigschlick in Ästuarsystemen – Überblick und Ausblick. In: Die Küste 86. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 501-511.

## 5 Schlussfolgerungen

Aufgrund der verschiedenen Überlegungen kann man folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Das Konzept der Badelagune ist unter wasserwirtschaftlichen Aspekten als funktionsfähig einzustufen
- Die Badelagune sollte in den ersten Jahren maximal 2.000 m<sup>2</sup> umfassen. Wenn sich zeigt, dass der Wasserspiegel in der Lagune bei einem bestimmten Niveau gehalten werden kann, wäre eine Vergrößerung möglich.
- Die Sohle der Lagune sowie die Böschung bis zu einer gewissen Höhe, mindestens 50 cm über der Lagunensohle, sollten möglichst wasserundurchlässig sein. Sie müssen aus Boden mit einem Durchlässigkeitsbeiwert  $< 2 \times 10^{-6}$  m/s erstellt werden. Es ist zu prüfen, ob sich hierfür der Boden eignet, der bei der Zufahrt zur Geestemündung ausgebaggert wird.
- Die Schichtdicke der Abdichtung sollte mindestens 50 cm betragen.
- Es sollte eine Zuwässerung mittels zwei Rohrleitungen DN 250 mit möglichst tiefer Sohle gewählt werden.
- Die Zuwässerung mit nur einer Rohrleitungen DN 200 ist nicht geeignet, um die Wasserverluste auszugleichen.

Aufgestellt, 25. Februar 2021

Ingenieurgemeinschaft agwa GmbH

Dipl.-Ing. Karen Mumm