

## Baggerungen und wirtschaftliche Nutzung des Baggermaterials (3.1)

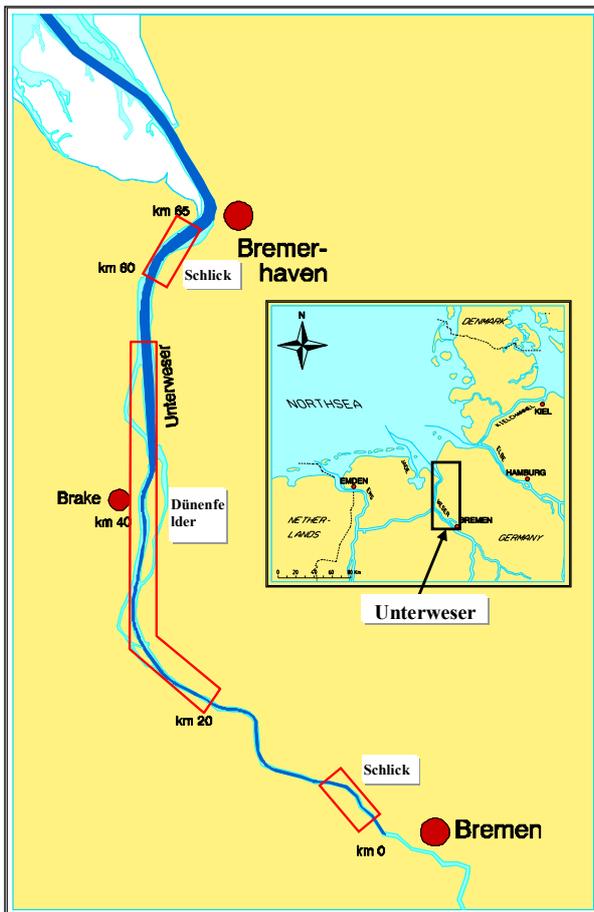
### Wasserinjektionsbaggerungen in der Unterweser: Eine ökologische und ökonomische Alternative zu Hopper Baggerungen

Dr.-Ing. Torsten Stengel

Wasser- und Schifffahrtsamt Bremen

#### 1. Einführung

Die Weser gehört zu den größten Flüssen Deutschlands, hat eine Länge von 488 km und mündet nördlich von Bremerhaven in die südöstliche Nordsee. Der Flussabschnitt zwischen Bremen und Bremerhaven wird als Unterweser bezeichnet (Bild 1). Die Unterweser erstreckt sich über ca. 65 Kilometer und ist Tide beeinflusst. Jährlich verkehren hier über 20.000 See- und Binnenschiffe.



**Bild 1:** Die Unterweser. Die rot umrahmten Bereiche zeigen die Gebiete, in denen hauptsächlich Unterhaltungsbaggerungen erforderlich sind.

Charakteristisch für die Unterweser ist das für Seeschiffe enge Flussbett mit einer Fahrrinnenbreite zwischen 130 m und 200 m sowie der hohe Tidehub von über vier Metern. Dieser bewirkt periodische Änderungen der Fahrwassertiefen (im Bereich südlich von Brake ergeben sich beispielsweise Fahrrinntiefen, die im Mittel zwischen 8,5 m und 12,5 m variieren). Dadurch bedingt

können Schiffe mit einem Tiefgang über 7,7 m Bremen nur noch tideabhängig erreichen. Hiervon sind jährlich ca. 1.000 Schiffe betroffen. Der maximale Tiefgang für Schiffe in Richtung Bremen beträgt 10,7 m. Diese Schiffe können nur zweimal täglich die Unterweser mit der Tidehochwasserwelle befahren. Ihnen steht hierfür ein „Tidefenster“ von lediglich 30 Minuten zur Verfügung.

Aufgrund der morphodynamischen Prozesse im Weser-Ästuar treten kontinuierlich Mindertiefen auf, die zu Einschränkungen im Schiffsverkehr führen können. Zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs ergibt sich hieraus die zwingende Notwendigkeit, das Fahrwasser regelmäßig mittels Peilungen zu überwachen und die Mindertiefen durch Baggerungen zu beseitigen.

Bis 2003 erfolgten die Unterhaltungsbaggerungen mit Hilfe des Einsatzes von Hopperbaggern. Seitdem wird, zunächst als langfristiges Experiment geplant, ein Wasserinjektions(WI)-Bagger eingesetzt. Ziel des für einen Zeitraum von 1,5 Jahren angelegten Experimentes war es:

- Erfahrungen über die Eignung des längerfristigen Einsatzes von WI-Baggern für Unterhaltungsbaggerungen grobkörniger, sandiger Sedimente zu sammeln und
- einen Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen dem WI-Verfahren und dem Hopperverfahren durchzuführen sowie die ökologischen Auswirkungen miteinander zu vergleichen.

Die nachfolgenden Erläuterungen stellen die Ergebnisse der Untersuchungen vor.

#### 2. Morphologische Eigenschaften der Unterweser und Auswirkungen auf die Unterhaltungsbaggerungen

Die Gewässersohle in der Unterweser steigt in Richtung Süden von 13 m auf 10,5 m unter Normalnull (NN) an mit einem zusätzlichen Sohl sprung auf 5 m unter NN im südlichsten Teil (Bild 2).

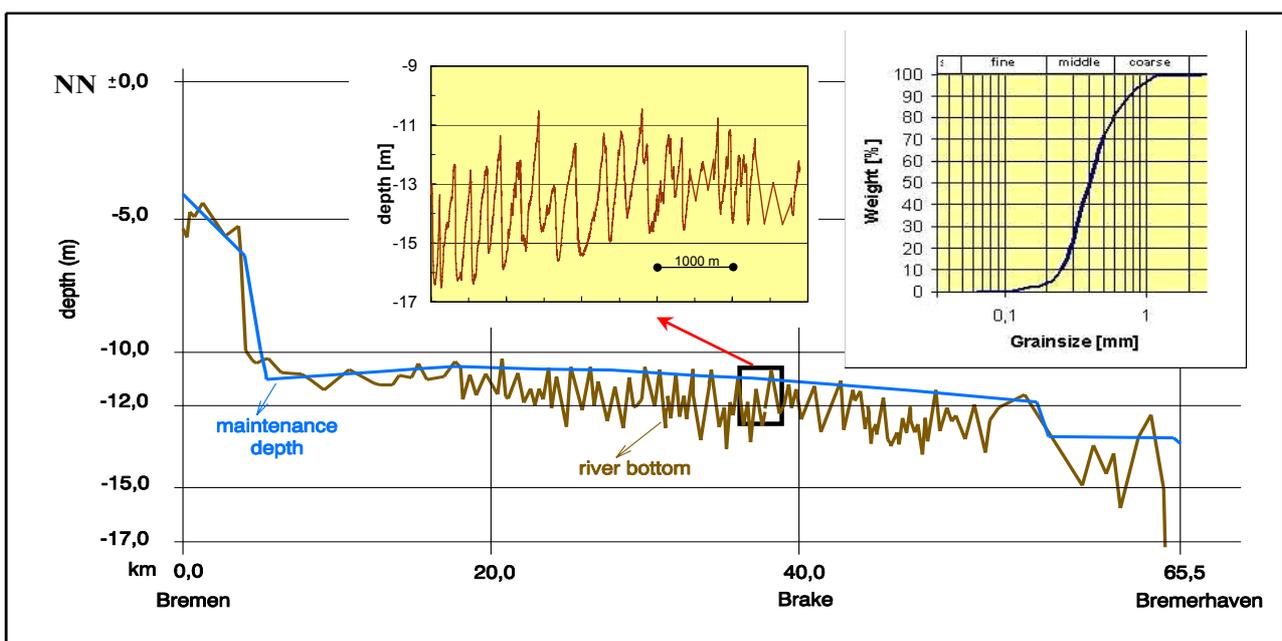
In einigen Gebieten treten schlickige Sedimente (konsolidierter und unkonsolidierter Schluff) auf (vgl. Bild 1); hier kommt es zu großflächigen Sedimenteintreibungen und daraus resultierenden Mindertiefen, die in den Seitenbereichen der Fahrrinne entstehen und sich in die Fahrrinnenmitte fortpflanzen.

In einem Abschnitt von ca. 40 km weist die Gewässersohle eine Dünenstruktur auf (Bild 2), wobei die Dünenkämme kleinräumige Mindertiefen quer zum Fahrwasser verursachen. Die Sedimente bestehen hier größtenteils aus mittleren bis groben Sandkorn mit geringen feinkörnigen Anteilen (Bild 2). Die Amplituden der Dünen betragen bis zu vier Meter, und die Abstände zwischen den Dünenkämmen variieren zwischen 50 m und 200 m. Dabei ist das Niveau der Dünen u. a. abhängig von den hydrologischen Parametern Tide und Frischwasserzufuhr. Beispielsweise erhöhen sich die Dünenkämme bei gleichzeitigem Absinken der Dünentäler während lang anhaltender Perioden mit niedrigem Oberwasserabfluss (i.d.R. im Sommer).

Obwohl innerhalb der Dünenfelder nur geringe Mengen an Baggergut anfallen (zwischen 300 m<sup>3</sup> und 1.000 m<sup>3</sup> pro Baggerfeld), sind die Mindertiefen zur Gewährleistung

### Umweltfragen (3)

## Wasserinjektionsbaggerungen in der Unterweser: Eine ökologische und ökonomische Alternative zu Hopper Baggerungen



**Bild 2:** Längsschnitt der Gewässersohle der Unterweser (blaue Linie: Sollsohle, braune Linie: Istsohle). Der vergrößerte Ausschnitt zeigt die kleinskalige Dünenstruktur. Die Korngrößenverteilung im Bereich der Dünenfelder ist oben rechts dargestellt

tion des durchgehenden Schiffsverkehrs möglichst schnell zu beseitigen. Dabei entstanden in der Vergangenheit mit die höchsten Baggerkosten pro Kubikmeter im Vergleich zu anderen deutschen Ästuaren aufgrund der relativ geringen Baggermengen (ca. 100.000 m<sup>3</sup>/Jahr) und der kleinen Baggerfelder.

### 3. Unterhaltungsstrategie in der Unterweser

Die Gewässersohle in der Unterweser wird i.d.R. einmal monatlich mittels Fächerecholot gepeilt. Nach Auswertung der Peilpläne durch das Baggerbüro und das Nautische Büro des Wasser- und Schifffahrtsamtes werden die Baggeraufträge an den Vertragspartner weitergeleitet. Dieser hat die Auflage, die Mindertiefen innerhalb von 72 Stunden zu beseitigen.

Es werden nur Baggeraufträge für die Bereiche erteilt, in denen Mindertiefen über 30 cm entstehen und die eine Ausdehnung über 50 m haben (ca. ein Drittel der Fahrrinnenbreite). Die einzelnen Baggeraufträge beinhalten die Koordinaten des Baggerfeldes und die zu baggernden Mengen unter Berücksichtigung einer „Baggertoleranz“ von 50 cm.

In der Unterweser wird das Baggergut entweder in tiefere Bereiche umgelagert (möglichst nicht zu weit entfernt von den Baggerfeldern) oder zum Schutz der Ufer verwendet (Strandvorspülung). Dadurch verbleiben die Sedimente im System und die ökologischen Einflüsse sind minimiert. In Abhängigkeit von der Baggertechnik und der weiteren Verwendung wird somit ein- oder zweimal in das System eingegriffen.

### 4. Erfahrungen mit Hopperbaggern

Bis 2003 wurden hauptsächlich Hopperbagger für die Fahrrinnenunterhaltung in der Unterweser eingesetzt. Aufgrund des relativ engen Reviers und der geringen Baggermengen handelte es sich dabei um kleinere Hopperbagger mit einem Laderaumvolumen von ca. 1.500 m<sup>3</sup> bis 2.500 m<sup>3</sup>.

Dort wo großräumige Sedimentationen auftraten konnten die Mindertiefen mit Hilfe der Hopperbagger schnell

und „sauber“ beseitigt werden. Im Bereich der Dünenfelder kam es aus folgenden Gründen immer wieder zu Problemen bei der Beseitigung der kleinräumigen Mindertiefen:

- Das Auffinden der kleinflächigen Baggerfelder bereitet Schwierigkeiten, da sich die Dünenkämme in der Zeit zwischen Peilung und Baggerung (bis zu 5 Tage) verlagern können.
- Innerhalb der kleinen Baggerfelder sind verhältnismäßig umfangreiche Manöver erforderlich, um mit Hilfe des relativ kleinen Saugkopfes (ca. 4 m<sup>2</sup>) den gesamten Riffelkamm zu erfassen (Hopperbaggereinsätze sind i.d.R. nur in Längsrichtung zum Fahrwasser möglich, die Riffelkämme liegen jedoch rechtwinklig zum Fahrwasser).
- Auch unter Berücksichtigung einer Baggertoleranz von 50 cm ist ein exaktes Vorhalten der Saugkopftiefe erforderlich, um die im Baggerauftrag vorgegebene Baggermenge nicht zu überschreiten.

Aufgrund dieser Probleme kam es in der Vergangenheit vor, dass

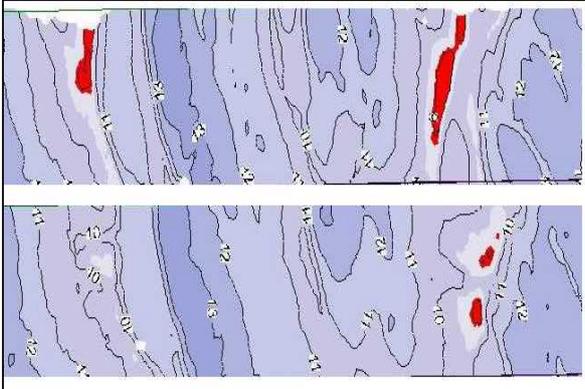
- die vorgegebenen Baggermengen überschritten wurden und
- Mindertiefen häufig nicht komplett beseitigt wurden, obwohl die vorgegebenen Baggermengen eingehalten wurden. Dies führte dazu, dass nach erfolgter Nachpeilung das Baggerfeld ein zweites Mal angegriffen werden musste.

In Bild 3 sind Ausschnitte von Peilplänen dargestellt, die die Bathymetrie vor und nach dem Einsatz eines Hopperbaggers wiedergeben. Hieraus wird ersichtlich, dass nicht sämtliche Mindertiefen durch einen Baggereinsatz vollständig beseitigt wurden. Dies konnte dazu führen, dass das Fahrwasser nur mit Tiefgangsbeschränkungen für die Schifffahrt befahrbar war.

### Umweltfragen (3)

#### Wasserinjektionsbaggerungen in der Unterweser: Eine ökologische und ökonomische Alternative zu Hopper Baggerungen

Der Einsatz von Hopperbaggern in Revieren mit kleinräumigen Baggerfeldern ist daher sehr teuer und teilweise auch wenig effektiv.



**Bild 3:** Tiefenpläne eines Abschnitts in der Unterweser. oben: vor dem Hopperbaggereinsatz, unten: nach dem Hopperbaggereinsatz. Die roten Flächen zeigen Bereiche mit Mindertiefen über 50 cm. Es wird deutlich, dass nicht sämtliche Mindertiefen beseitigt wurden und dass die Dünen wanderten (rechts unten).

#### 5. Erfahrungen mit Wasserinjektionsbaggern

Die Funktionsweise des Wasserinjektionsverfahrens besteht darin, dass eine große Wassermenge mit relativ geringem Druck in die oberen Sedimentschichten injiziert wird, um die Sedimente in einen fließfähigen Zustand zu bringen (Bild 4). Dadurch wird eine suspendierte Sedimentschicht gebildet, die eine höhere Dichte aufweist als die Umgebung. Die entstehende Dichteströmung führt zu einem Transport des suspendierten Materials vorwiegend in tiefere Bereiche.

Die Transportentfernungen hängen u. a. von der Korngröße der Sedimente, der lokalen Morphologie und der aktuellen Tidenströmung ab.

Das WI-Verfahren hat sich besonders in schlickigen Medien bei der Unterhaltung von Hafenbecken bewährt. Darüber hinaus wurde es bisher bei der Unterhaltung kleinerer Fahrrinnenabschnitte eingesetzt, bei denen die Sedimente ebenfalls aus schlickigem Material bestehen.

Erste positive Erfahrungen mit dem WI-Verfahren im Bereich der Unterweser wurden bei der Beseitigung von Mindertiefen aus konsolidierten Weichsedimenten gemacht. Aufgrund des Konsolidierungsgrades der Sedimente war hier bisher nur der Einsatz von Eimerkettenbaggern möglich.

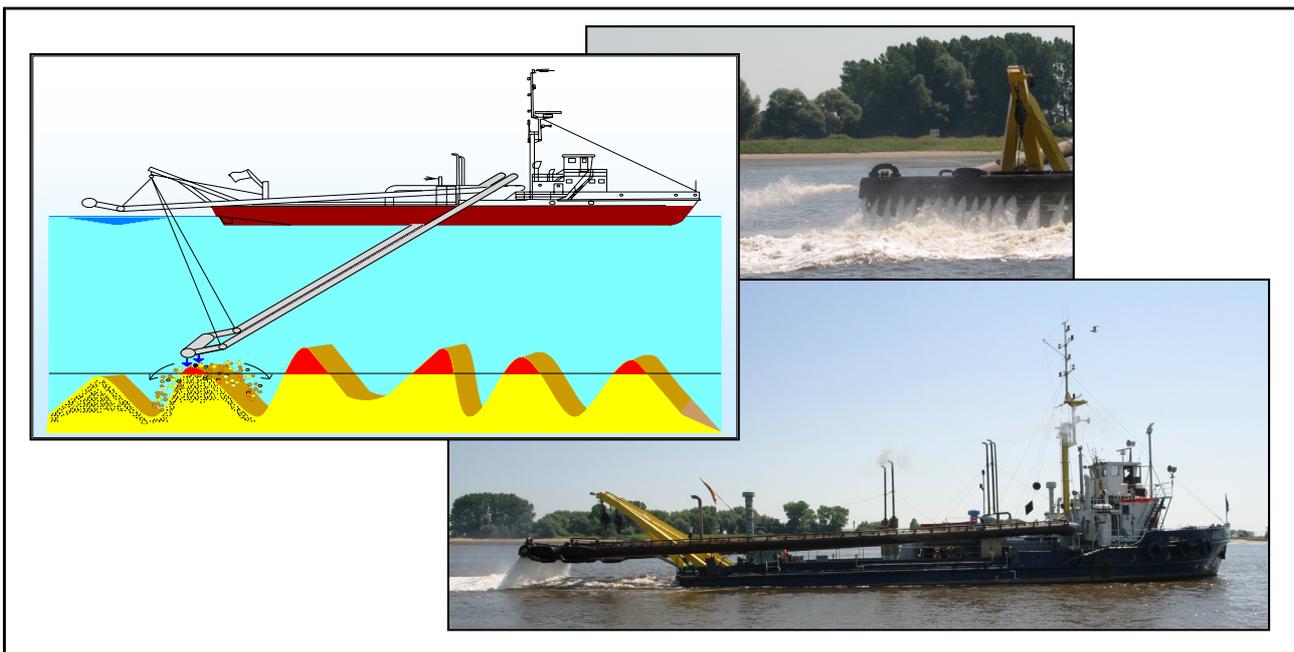
Durch die Umstellung des Baggerverfahrens auf Wasserinjektion konnte eine Kostenreduzierung von ca. 90 % erzielt werden.

Detaillierte Erfahrungen über die Einsatzfähigkeit des WI-Verfahrens in sandigen Sedimenten existierten jedoch nicht.

#### 5.1 Anwendung und Eignung des WI-Verfahrens in Dünenfeldern

Die Beseitigung von Mindertiefen innerhalb der Dünenfelder bedeutet, dass in der Regel nur geringe Baggermengen pro Baggerfeld anfallen ( $300 \text{ m}^3 - 1.000 \text{ m}^3$ ), da lediglich die Dünenkämme abgekappt werden müssen. Die kleinen Baggerfelder können in der Regel durch die Auswertung der Fächerecholotpeilungen exakt lokalisiert werden. Aufgrund der teilweise auftretenden Dünenwanderung während des Zeitraums zwischen Peilung und Baggerung müssen die Mindertiefen vor Beginn der Baggerungen mit Hilfe der an Bord der Bagger befindlichen Technik exakt lokalisiert werden. Ein Auffinden derartiger „gewanderter“ Mindertiefen ist mit Hilfe des über 10 m breiten WI-Balkens, der zunächst in etwa auf Solltiefe abgesenkt wird, schneller und exakter möglich als mit dem Saugkopf des Hopperbaggers.

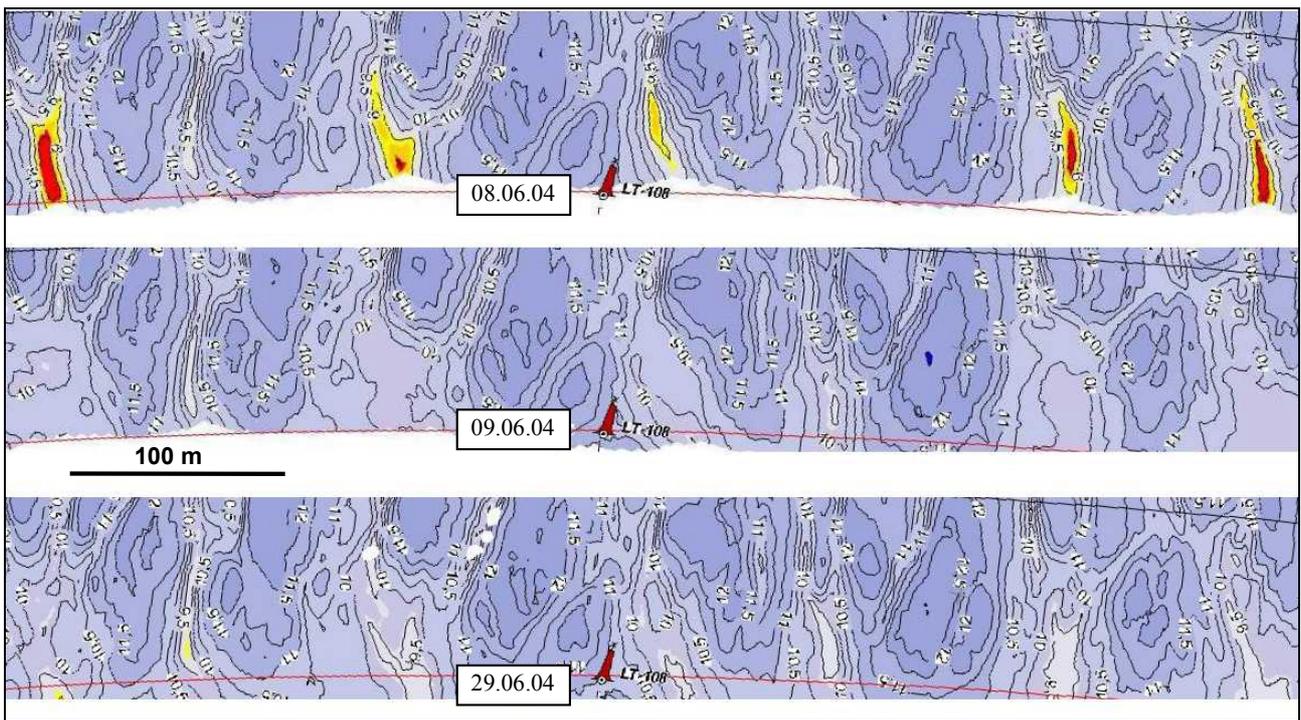
Beim Einsatz des WI-Verfahrens in den Dünenfeldern werden die Kämme geglättet, indem das mit einer Viel-



**Bild 4:** Grobes Schema des Wasserinjektionsverfahrens in Gewässersohlen mit Dünenstrukturen (links) und Wasserinjektionsbagger mit Injektionsrohr im Demobetrieb

### Umweltfragen (3)

## Wasserinjektionsbaggerungen in der Unterweser: Eine ökologische und ökonomische Alternative zu Hopper Baggerungen



**Bild 5:** Tiefenpläne eines Abschnitts der Dünenstrecke in der Unterweser. Oben: vor dem WI- Einsatz, Mitte: unmittelbar nach dem WI - Einsatz, unten: drei Wochen nach dem WI - Einsatz. Die blauen Flächen zeigen die Gebiete, in denen die Wassertiefen unterhalb der Solltiefe liegen, die roten Flächen zeigen Mindertiefenbereiche über 50 cm.

zahl von Wasserstrahldüsen ausgestattete Injektionsrohr schrittweise auf maximal 30 cm unter die Solltiefe abgesenkt wird. Dabei wird das Wasser mit einem Druck von 0,8 - 1 bar durch die Düsen gepumpt (Pumpleistung: ca. 6.000 - 8.000 m<sup>3</sup>/Std.). Die Baggereinsätze können tideunabhängig erfolgen, d.h. sowohl während der Ebbe- als auch während der Flutphase, und sind unabhängig von der Tideströmung. Das WI-Verfahren wird seit Mitte 2003 erfolgreich in der Unterweser zu Beseitigung von Mindertiefen in der Unterweser angewendet. In Bild 5 wird dies beispielhaft dokumentiert.

Der Vergleich der Peilpläne, die vor und nach den WI-Einsatz erstellt wurden (Bild 5), zeigt, dass die durch die Dünenkämme erzeugten Mindertiefen komplett beseitigt wurden. Dabei wurden die suspendierten Sedimentmassen hauptsächlich in die benachbarten Dünentäler transportiert (Bilder 6 und 7). Für den Transport der suspendierten sandigen Sedimente sind die Gravitationskräfte maßgebend. Die Transportweiten betragen maximal 50 m.

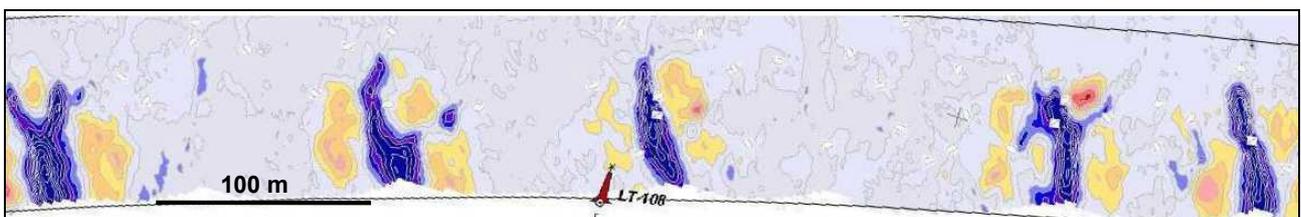
Mit der oben beschriebenen Technik des abgestuften Absenkens des Injektionsrohres wurden die Dünenkämme um bis zu 50 cm unterhalb der Solltiefe abgabbert. Die Wachstumsrate der Dünenkämme ist hauptsächlich von den hydrologischen Randbedingun-

gen (Tide, Oberwasserabfluss, Temperatur) abhängig, aber auch von der Baggertechnik. Bei Einsätzen der Hopperbagger mussten in den vergangenen Jahren aufgrund des schnellen Wiederanwachsens der Dünenkämme monatliche Baggerungen erfolgen. Durch den Einsatz von WI-Baggern konnte das Anwachsen der Dünenkämme nicht verhindert werden (Bild 7), aber die Einsatzintervalle konnten aufgrund der gründlicheren Beseitigung der Mindertiefen auf bis zu acht Wochen ausgedehnt werden.

Die Korngrößenanalysen der Sedimente vor und nach den WI-Einsätzen ergeben keinen Hinweis auf Änderungen der Kornzusammensetzungen. Dies deutet darauf hin, dass die Sedimente sich sehr schnell nach der Baggerung wieder konsolidieren.

Die Baggerkosten konnten im Vergleich zu den Hopperbaggerkosten um über 50 % reduziert werden.

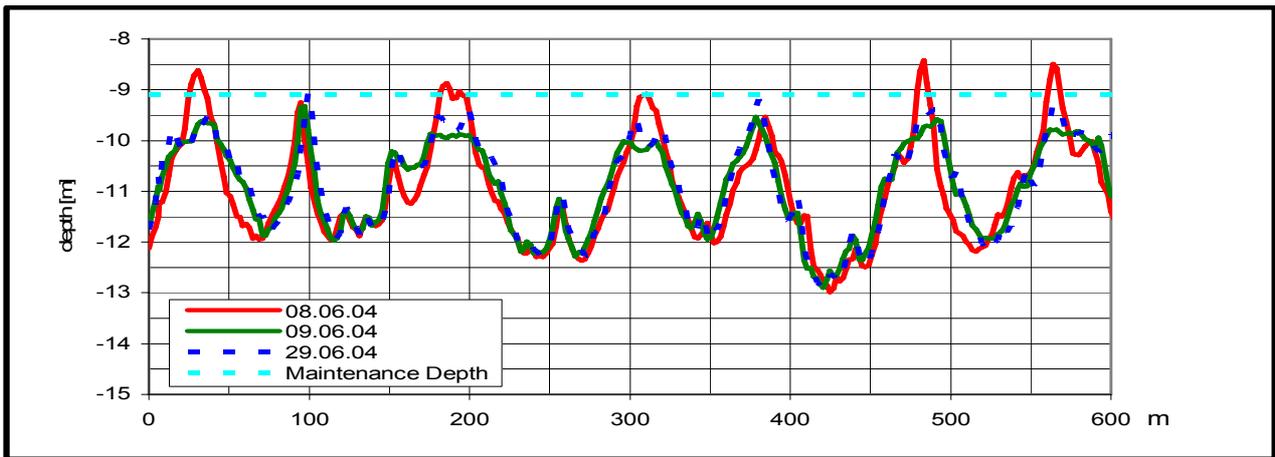
Da die Sedimente beim WI-Verfahren nur kleinräumig umgelagert werden und nur eine Wassersäule von ca. 3 m beeinträchtigt wird, ist der ökologische Eingriff in das System minimal.



**Bild 6:** Durch den WI-Einsatz erzeugte Differenzen der Bathymetrie. Die dunkelblauen Flächen zeigen die Erosionsbereiche (Abtragungen von 20 - 120 cm), die gelben und roten Flächen zeigen die Bereiche, in denen sich die Sedimente wieder abgelagert haben.

### Umweltfragen (3)

#### Wasserinjektionsbaggerungen in der Unterweser: Eine ökologische und ökonomische Alternative zu Hopper Baggerungen



**Bild 7:** Längsschnitt im Bereich eines Dünenfeldes. Der erfolgreiche Einsatz des WI-Baggers und die Regeneration der Dünenkämme werden ersichtlich. (rote Linie: Tiefenverhältnisse vor dem WI-Einsatz, grüne Linie: unmittelbar danach, blaue Linie: drei Wochen später).

#### 4. Zusammenfassung

Das Wasserinjektionsverfahren kann nicht nur in schlackigen Medien angewendet werden sondern auch erfolgreich in Dünenfeldern, die aus sandigen Sedimenten bestehen.

Die mittlerweile langjährigen Erfahrungen zeigen, dass die Anwendung der WI-Verfahrens in Dünenfeldern im Vergleich zu Hopperbaggereinsätzen zu einer Kostenreduzierung von über 50 % geführt hat.

Aufgrund der effizienteren Baggerungen konnten darüber hinaus die Intervalle für Folgebaggerungen um bis auf das doppelte verlängert werden.

Daher und aufgrund der kleinräumigen Eingriffe konnten die ökologischen Auswirkungen minimiert werden.

#### Verfasser

Dr.-Ing. Torsten Stengel  
Amtsleiter  
Wasser- und Schifffahrtsamt Bremen  
Franziuseck 5, 28199 Bremen  
Tel.: 0421 5378 – 300  
E-Mail: [stengel@hb.wsdnw.de](mailto:stengel@hb.wsdnw.de)