

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Eißfeldt, Fritz P.**

## **Aktuelles aus der Küsten-Geotechnik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105337>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Eißfeldt, Fritz P. (2009): Aktuelles aus der Küsten-Geotechnik. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Aktueller Stand und Herausforderungen der Geotechnik im Verkehrswasserbau. S. 5-15.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## Aktuelles aus der Küsten-Geotechnik

Dipl.-Ing. Fritz Peter Eißfeldt, Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg, Referat Geotechnik Nord (K1)

### 1 Einführung

Wegen der Ortsnähe zu den Dienststellen im norddeutschen Küstenbereich und wegen der typisch norddeutschen Böden (Klei, Mudde, Geschiebemergel) berät die Dienststelle Hamburg mit dem Referat Geotechnik Nord die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) seit vielen Jahrzehnten beim Bau von Wasserbauwerken und beim Ausbau der Wasserstraßen im nord- und ostdeutschen Raum. Damals wie heute bemüht sich das Referat bei der Bearbeitung der geotechnischen Probleme um eine ganzheitliche Betrachtung. Mit geotechnischen Laborversuchen und geotechnischen Bauwerksmessungen ist es möglich, die getroffenen Annahmen zu verifizieren und zu überprüfen. Zur Gewährleistung einheitlicher Aussagen zu den Standards an den Wasserstraßen sowie bei speziellen geotechnischen Fragestellungen und Laborversuchen wird eine enge Zusammenarbeit mit der Abteilung Geotechnik in Karlsruhe praktiziert. Dr. Schuppener als Fachkoordinator hat diese Zusammenarbeit stets gefördert und verbessert.

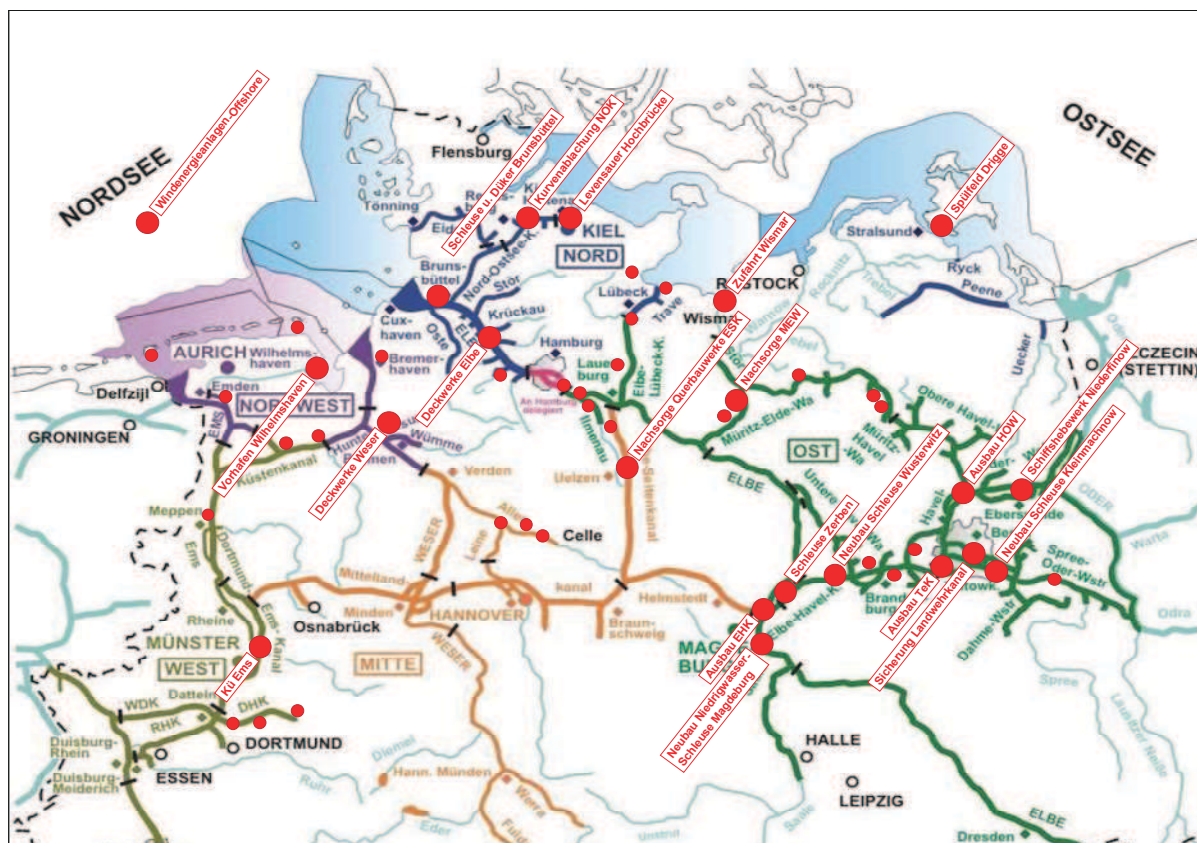


Bild 1: Derzeitige Projekte des Referates

Das Bild 1 gibt einen Überblick über die derzeit betreuten WSV-Projekte durch das Referat Geotechnik Nord. Die dicker herausgestellten Punkte stellen diejenigen Projekte dar, die aus dem Erfahrungswissen mit folgenden Schwerpunkten ganzheitlich bearbeitet werden:

- Erstellung des Baugrundgutachtens mit Hinweisen zur Bemessung (z. B. von Pfählen, Ankern etc.) und zur Gründung (z. B. Tiefgründung, Dichtsohlen etc.)
- Grundbauliche Beratung bei der Entwurfsplanung und Vorbemessung
- Konzeption und Durchführung geotechnischer Bauwerksmessungen

- Gründungstechnische Stellungnahmen (Gründungsgutachten) zum Entwurf
- Bewertung von Alternativ- und Sondervorschlägen auf geotechnische Gleichwertigkeit im Rahmen der Ausschreibung
- Beratungen bei Problemen und Fragen zur Bemessung und Bauausführung

In den Projekten der kleineren Punkte werden einzelne oder mehrere der vorgenannten Aufgaben bearbeitet oder bei Planung, Bemessung und Bauausführung beraten. Aus den Projektaufgaben ergeben sich immer wieder grundsätzliche, geotechnische Fragestellungen, die im Rahmen unserer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben – auch unter Beteiligung von Hochschulinstituten usw. – genauer untersucht werden.

Nachfolgend werden einige Projekte vorgestellt.

## 2 Erosionsverhalten von Geschiebemergel

Der Hamburger Hafen wird von immer größeren Schiffen mit mehr Tiefgang angelaufen und bis im letzten Jahr vor der Wirtschaftskrise haben die internationalen Verkehre derart zugenommen, dass eine Fahrrinnenanpassung der Unterelbe geplant ist. Der bei der Vertiefung anfallende Sand aus der Fahrrinne wird seitlich in so genannten Unterwasserablagerungsflächen (UWAs) abgelegt, die möglichst lange in ihrer Lage stabil bleiben sollen und deren Oberflächen und Randbereiche daher durch Abdeckungen vor Erosion gegen tide- und seegangsinduzierte Strömungen zu sichern sind. Nahezu gleichzeitig fallen aus den 7 Kurvenabflachungen an der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals (NOK) insgesamt 8,5 Mio. Kubikmeter kohäsiver Geschiebemergel vorwiegend steifer bis halbfester Konsistenz an, der hinsichtlich seiner Verbringung (z. B. Verklappung in der Ostsee) auf Erosionsstabilität gegenüber Strömung zu untersuchen ist.

In Zusammenarbeit mit dem Referat K2 Ästuarsysteme I der Dienststelle Hamburg wurde das Erosionsverhalten des Geschiebemergels in einer wasserbaulichen Versuchsrinne auf seine Erosionsstabilität als Abdeckmaterial für Unterwasserablagerungsflächen untersucht.

Die grundsätzliche Eignung wurde zunächst durch Vorversuche in einer kleinen Versuchsrinne (Länge 30 m; Breite 0,5 m und Tiefe 0,5 m) mit Strömungsgeschwindigkeiten bis 0,7 m/s untersucht. Im Ergebnis zeigte sich, dass der Geschiebemergel bei mehrstündiger Anströmung unter diesen Versuchsbedingungen erosionsstabil war. Das rechtfertigte weitergehende aufwändigere Untersuchungen in der Umlaufrinne (Breite 2 m; Wassertiefe 1,3 m) mit höheren stationären Strömungsgeschwindigkeiten bis 1,7 m/s (Bild 2).



Bild 2: Wasserbauliche Versuchsrinne

Dazu wurden mehrere Kubikmeter Geschiebemergel an der NOK-Böschung entnommen. An diesem Material wurde eine Vielzahl von Klassifikationsversuchen (Korngrößenverteilung, natürlicher Wassergehalt, Fließ-/Ausroll- und Schrumpfgrenze, Wasseraufnahmevermögen, Kalkgehalt, Korndichte, Zerfallsbeständigkeit und undrainede Scherfestigkeit) durchgeführt. Ein Vergleich mit den Ergebnissen von Klassifikationsversuchen aus der gesamten Oststrecke bestätigte die Repräsentativität des Probenmaterials. Der Geschiebemergel wurde anschließend mit einer Schichtdicke von 0,5 m in die Umlaufrinne eingebaut (Bild 3).

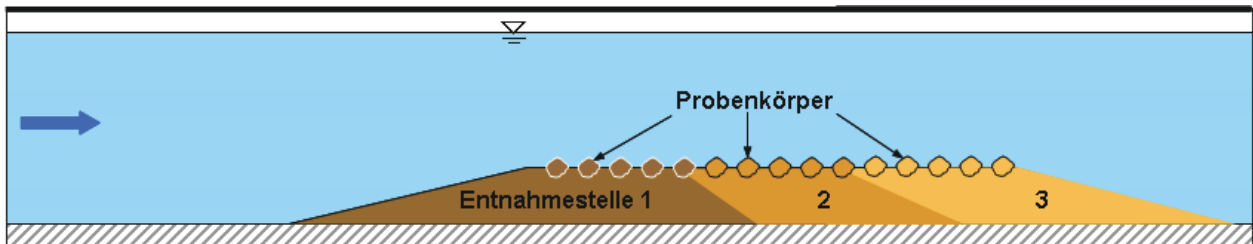


Bild 3: Mergleinbau in der Versuchsrinne mit Lage der Probenkörper

Beginnend mit Strömungsgeschwindigkeiten von 0,5 m/s wurden sie stufenweise um 0,2 m/s bis zu einer maximalen Strömungsgeschwindigkeit von 1,7 m/s gesteigert. In jeder Geschwindigkeitsstufe wurden dann Mergelproben für geotechnische Klassifikationsversuche entnommen. Die Untersuchungen in der Umlaufrinne gliederten sich in zwei Bereiche:

- Die wasserbaulichen Versuche hatten zum Ziel, die Entwicklung der Sohldicke mittels hochpräziser, flächiger Echolotungen in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit zu beschreiben.
- Die geotechnischen Versuche sollten nicht nur einen Vergleich der geotechnischen Eigenschaften vor und nach der Überströmung ermöglichen, sondern auch eine zeitliche Entwicklung von Korngrößenverteilung, natürlichem Wassergehalt, Konsistenz und Kalkgehalt in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit beschreiben.

Um die Entwicklung der geotechnischen Eigenschaften beurteilen zu können, wurden insgesamt 30 Geschiebemergelproben mit einem Durchmesser von 15 cm hergestellt, in strapazierfähige Kunststoffnetze verpackt und oberflächennah in die Geschiebemergelschicht in der Rinne eingebaut (Bild 4). Dies erlaubte, Probenkörper nach festgesetzten Überströmungszeiten gezielt zu bergen.

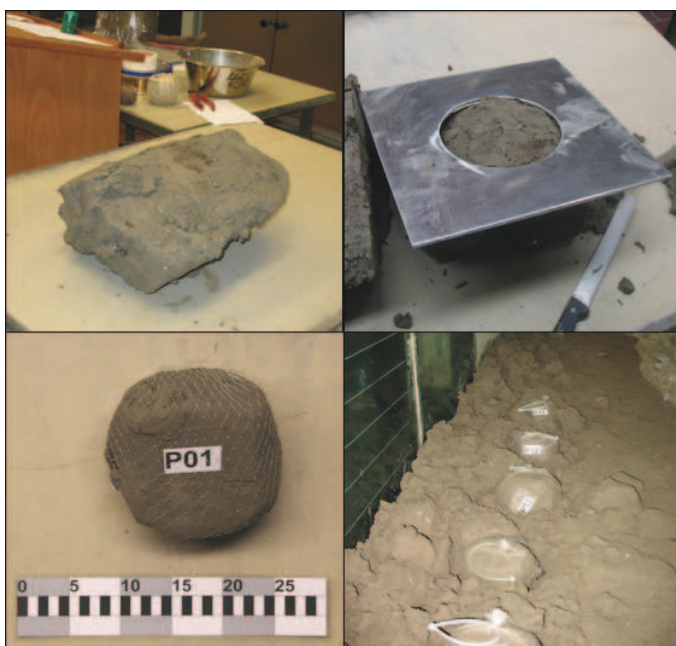


Bild 4: Herstellung und Einbau der Probekörper



Der Vergleich der Proben vor und nach dem Überströmen ergab keine relevante Änderung der Korngrößenzusammensetzung und des Kalkgehaltes (Bild 5). Erwartungsgemäß nehmen oberflächlich lediglich die undrained Scherfestigkeit und die Konsistenz mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit bzw. Verweildauer in der Rinne ab bzw. der natürliche Wassergehalt nimmt in der Aufweichungszone zu (Bild 5).

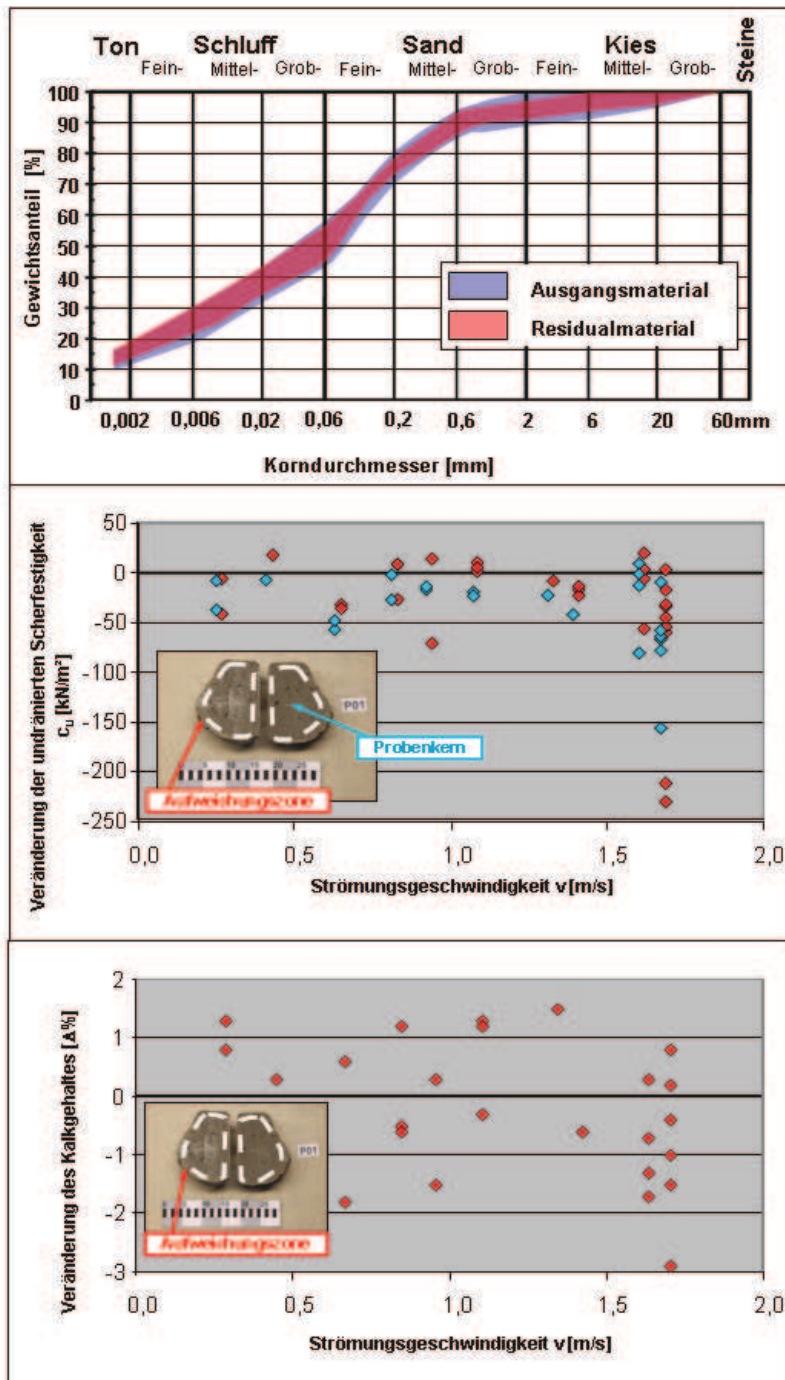


Bild 5: Vergleich von Kornzusammensetzungen, Kalkgehalte und undrained Scherfestigkeiten zwischen Ausgangs- und Rinnenresidualmaterial

Das Maß für die Erosionsstabilität unter Strömung ist deshalb nicht die Veränderung der beschriebenen geotechnischen Parameter, sondern der Zerfallprozess des Probekörpers, das heißt der Gewichtsverlust unter Berücksichtigung des erhöhten Wassergehaltes und die Anzahl der Probenanteile im Probennetz in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit. Bild 6 zeigt die Ergebnisse.

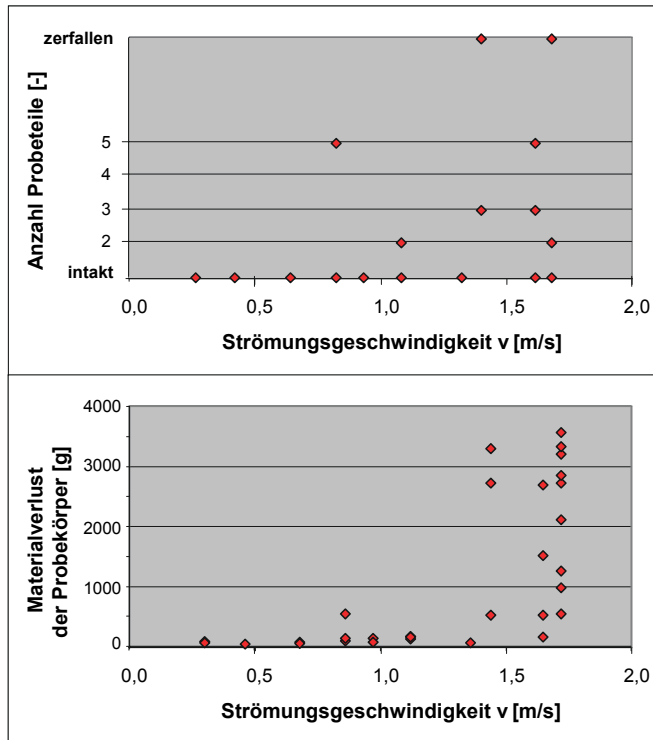


Bild 6: Zerfallene Probekörper (Probenanteile) und Materialverluste in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeiten

Im Ergebnis zeigt sich, dass die Probekörper des Geschiebemergels aus der Oststrecke des NOK bis zu einer Strömung von ca. 1 m/s erosionsstabil sind, wobei vereinzelt erste Materialverluste ab einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 0,8 m/s auftreten. Diese Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen stehen im Einklang mit den wasserbaulichen Versuchen, die erste Schichtdickenverluste ab 0,6 m/s und größere Erosion ab ca. 1 m/s ergaben (Bild 7). Auf Grundlage dieser Strömungsgeschwindigkeiten können Aussagen zur Eignung als Abdeckung von Unterwasserablagerungsflächen oder anderer Unterbringungskonzepte gemacht werden.

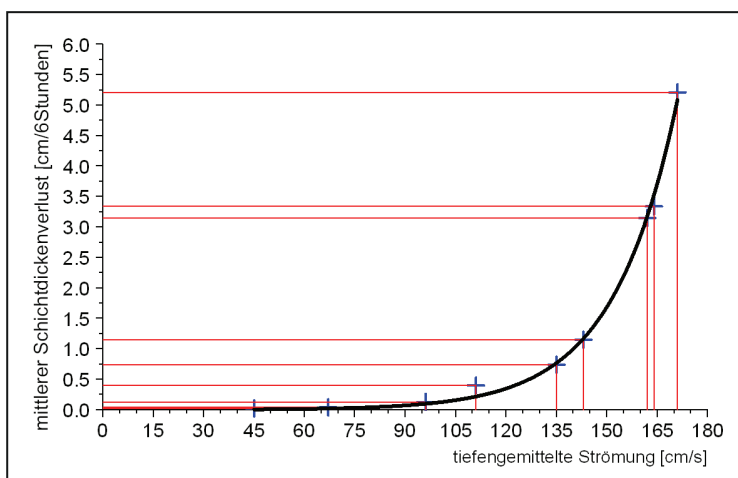


Bild 7: Schichtdickenverlust aus den wasserbaulichen Untersuchungen nach einer Überströmung von jeweils 6 Stunden

### 3 Neue Schleuse und neuer Düker in Brunsbüttel

Für die Schleusenanlage Brunsbüttel ist vor dem Bau der neuen 5. Schleusenkammer zunächst der Ersatzneubau eines Dükers für die vorhandenen Versorgungsleitungen auszuführen. Die Lage der geplanten 5. Kammer und des neuen Dükers ist dem Bild 8 zu entnehmen.

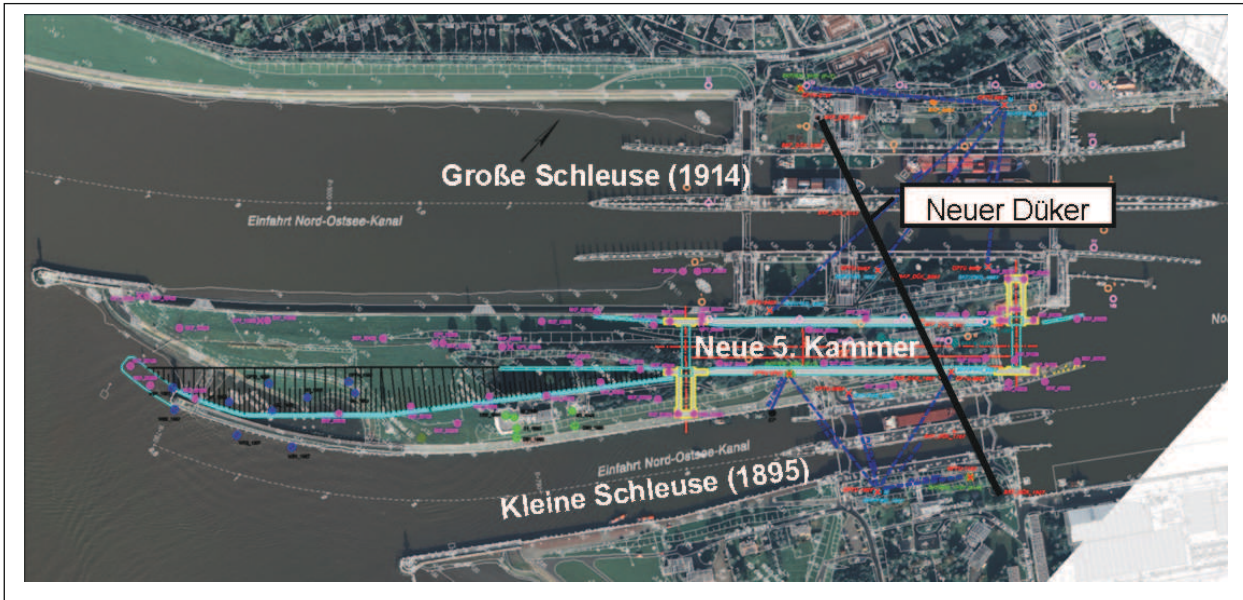


Bild 8: Lage der geplanten 5. Kammer und des neuen Dükers

Die Lage des Dükers ist mit dem erkundeten Baugrundaufbau im Bild 9 dargestellt. Wegen der bestehenden Kammerwandgründung auf Holzpfählen muss der Düker in ca. 37 m Tiefe vorgetrieben werden. Der Abstand zwischen OK Düker und UK Holzpfahlgründung beträgt lediglich 2,7 m. Zur Herstellung des Dükers sind in den Mittelmauern der beiden bestehenden Schleusen, auf der Schleuseninsel und jeweils auf der Landseite Schächte bis ca. 40 m Tiefe abzuteufen.

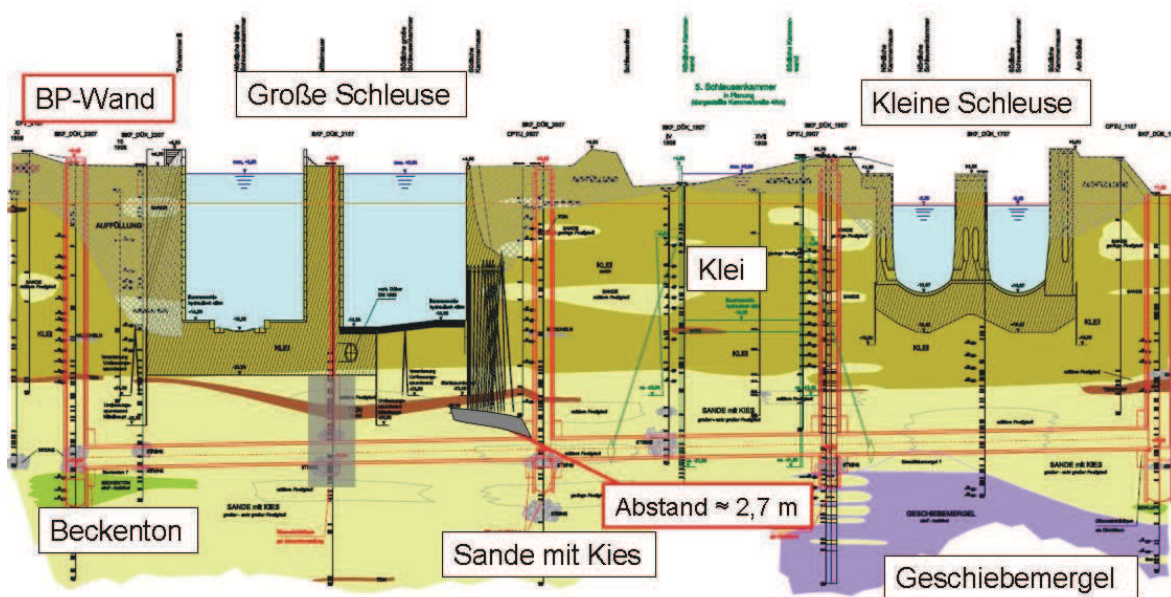


Bild 9: Düker im Schnitt mit Bodenaufbau



Die Baugrunderkundung ergab zwei maßgebende Bodenschichten: Unter der GOK steht in einer Mächtigkeit bis ca. 22 m ein typisch norddeutscher Klei weicher Konsistenz an, der in weiten Tiefenbereichen auch mehr oder weniger starke Sandbänderungen enthält und dort auch als sandiger Klei zu bezeichnen ist. Darunter schließen sich ab etwa NN -20 m Sande und kiesige Sande unterschiedlicher Kornzusammensetzungen an, denen nach den Sondierergebnissen eine vorwiegend große bis sehr große Festigkeit – örtlich allerdings auch mittlere – zuzuordnen ist. In die Sande eingelagert sind zahlreiche Steine und Blöcke, denen im Hinblick auf den Rohrvortrieb eine besondere Bedeutung zukommt. Sie stellen Hindernisse dar und müssen beim Vortrieb beseitigt werden. In den Sanden und kiesigen Sanden sind in größeren Tiefen bindige Schichten aus tragfähigem Geschiebemergel und Beckenschluff vorwiegend halbfester Konsistenz eingelagert.

Im Rahmen der Baugrunderkundung wurden in mehreren Bohrungen jeweils Porenwasserdruckaufnehmer in verschiedenen Tiefen im Klei und Sand eingebaut. Beim Einbau wurde durch unsere Aufsicht genau darauf geachtet, dass die Porenwasserdruckaufnehmer in der Bohrung oben und unten jeweils eine dichtende Tonschicht erhalten haben und somit die tatsächlichen Wasserdrücke in der jeweiligen Tiefenlage gemessen werden.

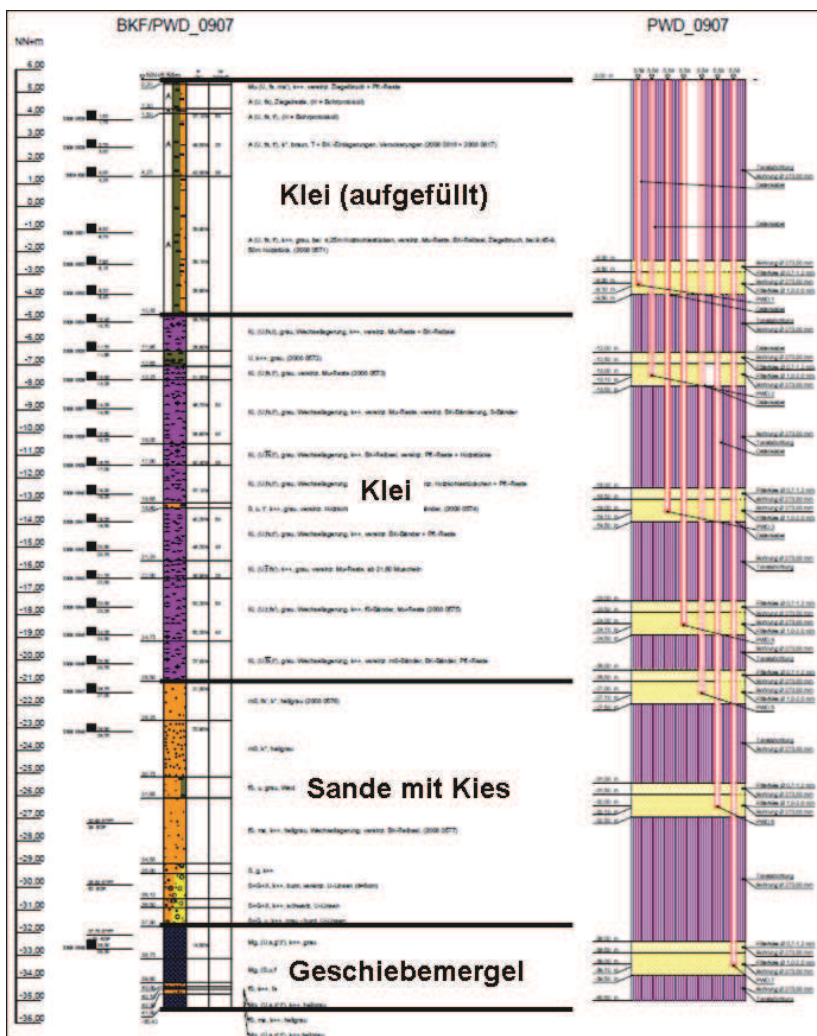


Bild 10: Anordnung der Porenwasserdruckaufnehmer in einer Aufschlussbohrung

Die Auswertungen führen zu dem Ergebnis, dass im Klei weder die Tideschwankungen der benachbarten Elbe noch die Schleusungen nennenswerte Schwankungen in den Grundwasserstandshöhen ergeben, während im Sand deutliche Grundwasserstandsschwankungen erkennbar sind. Das Fahrwasser der na-



he gelegenen Elbe schneidet die Sande an, so dass im Schleusenbereich dort gedämpfte Tideinflüsse vorhanden sind (Bild 11).

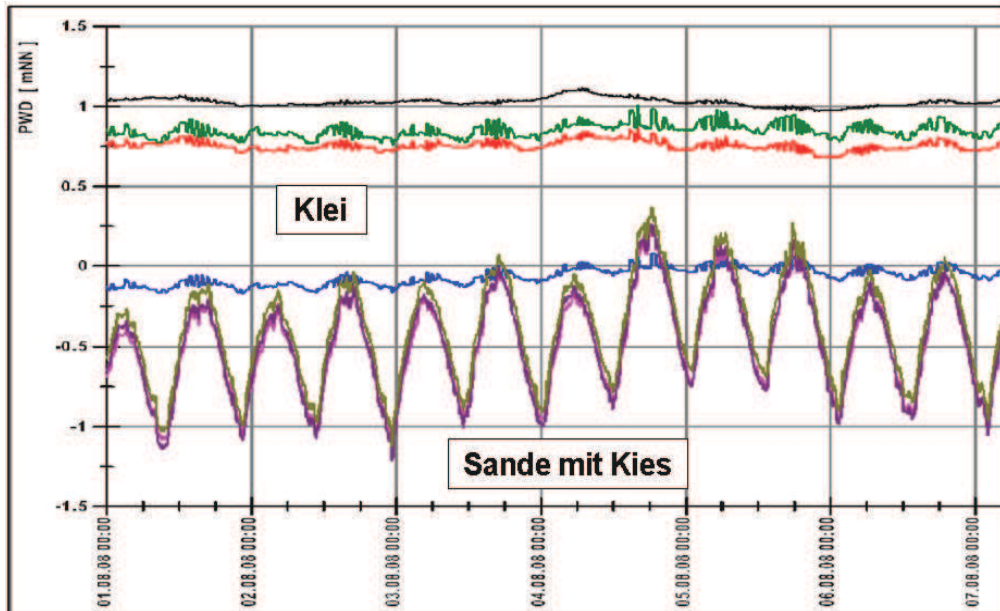


Bild 11: Grundwasserstandshöhen im Klei und Sand aus Porenwasserdruckmessungen

	Grundwasser	Elbewasserstand	Schleusenwasserstand	NOK-Wasserstand
LF 1	NN +1,5 m	NN -1,4 m	NN -1,4 m	NN -0,2 m
LF 2	NN +2,4 m	NN -2,4 m	NN -2,4 m	NN -1,0 m
LF 3	NN +4,5 m (oder GOK)	NN -1,4 m	NN -1,4 m	NN -1,0 m

	Grundwasser	Schleusenwasserstand	NOK-Wasserstand
LF 1	NN +0,3 m	NN -0,2 m	NN -0,2 m
LF 2	NN +1,4 m	NN -1,0 m	NN -1,0 m
LF 3	NN +3,0 m	NN -1,0 m	NN -1,0 m

	Grundwasser	Elbewasserstand	Schleusenwasserstand
LF 1	NN -0,7 m	NN -1,4 m	NN -1,4 m
LF 2 + LF 3	NN -0,7 m	NN -2,4 m	NN -2,4 m

Bild 12: Lastfallbezogene Grundwasserstände für die Bemessung der neuen Schleuse

Durch Auswertung der Porenwasserdruckmessungen konnten bereits für die statischen Vorberechnungen zur Schleusenplanung lastfallbezogene Grundwasserstände im Klei und im Sand angegeben werden (Bild 12). Außerdem liefern die Porenwasserdruckmessungen wichtige Informationen für den auszuführenden Rohrvortrieb. Der Stützdruck an der Ortsbrust lässt sich auf die wechselnden Grundwasserverhältnisse infolge Tide einstellen. Die Kenntnis des Grundwasserpotentials ist besonders wichtig, wenn der Rohrvortrieb aus dem Bereich der Kammerwand mit hohen geostatischen Auflasten in Richtung Schleusenammer mit geringen geostatischen Auflasten übergeht.

#### 4 Bau des neuen Schiffshebewerkes Niederfinow und der Südkammer Schleuse Wusterwitz

Im Rahmen der ganzheitlichen Bearbeitung von großen Wasserbauwerken mit hohem Schwierigkeitsgrad wurden für die Neubauten der Südkammer Schleuse Wusterwitz und des Schiffshebewerkes Niederfinow die dafür erforderlichen Baugrundbeurteilungen und Gründungsempfehlungen durchgeführt. Erfahrungsgemäß treten bei der Planung und Bauausführung immer wieder geotechnische Probleme und Fragestellungen auf, die es zu lösen und zu beantworten gilt. An diesen beiden Projekten soll kurz im Überblick gezeigt werden, welche geotechnischen Beratungen dort bei der Bauausführung erforderlich wurden.

Am neuen Schiffshebewerk Niederfinow sind z. Z. der obere Vorhafen und die Trogrannenbaugrube für das Hebewerk im Bau. Dafür wurden aktuell folgende Stellungnahmen erarbeitet:

- Eignung von Böden für Dammschüttung, Auflastfilter und Dränagen
- Beurteilung von Ankertragfähigkeiten zur Rückverankerung der Baugrubenwände
- Bettungsansätze für die Bodenplatte unter Berücksichtigung der Verpresspfähle der Unterwasserbetonsohle



Bild 13: Blick auf die Baugrube für das neue Schiffshebewerk Niederfinow

Auch die Südkammer der Schleuse Wusterwitz wurde im Schutze einer Baugrube hergestellt, deren Wände aus einer umlaufenden Dichtwand mit eingestellten Spundwandprofilen besteht. Die Dichtwand bindet in einen durchgehend tiefliegenden Braunkohleschluff halbester Konsistenz ein, der als dichtender Horizont in der Sohle genutzt wird. Auf eine Unterwasserbetonsohle mit Rückverankerung konnte daher verzichtet werden. Baubegleitend wurden zur Herstellung der Baugrube folgende Stellungnahmen erarbeitet:

- Einbindung in den Braunkohleschluff bei der Dichtwandherstellung
- Bewertung der Nachweise zur Auftriebssicherheit und zum hydraulischen Grundbruch im Bereich der Kammer und Häupter



Bild 14: Blick in die Baugrube der Südkammer Schleuse Wusterwitz

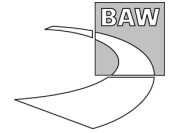
## 5 Korrosion an Spundwänden

Spundwände überbrücken Geländesprünge an Wasserstraßen und in Häfen und sind in der WSV ein weit verbreitetes tragendes Bauteil. Korrosive Wanddickenverluste führen zu einer Verringerung der Tragfähigkeit und damit zu einer Überschreitung der aufnehmbaren Momente, so dass die Standsicherheit gefährdet wird. Durchrostungen beschränken die Gebrauchstauglichkeit von Spundwänden, indem der hinterfüllte Boden durch die Löcher infolge Wellen und Grundwasserströmung ausgespült wird. Da die Korrosion maßgeblich die Nutzungsdauer eines Spundwandbauwerks beeinflusst und die Belange der Spundwandbemessung nach den neuen Normen EC 3-5 betrifft, kommt einer zutreffenden Beurteilung der Korrosion an Stahlspundwänden und einer Prognose eine hohe Bedeutung zu. Aus diesem Grunde werden seit über 20 Jahren Grundsatzuntersuchungen durchgeführt (siehe [1] bis [6]). Ziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist eine Optimierung der Messverfahren zur zuverlässigen Ermittlung der Restwanddicken und eine Entwicklung von Prognoseverfahren zur Beurteilung des Korrosionsverhaltens.

### Literatur

- [1] Alberts, D., Schuppener, B. (1991): Comparison of ultrasonic probes for the measurement of the thickness of sheet pile walls. Field Measurement in Geotechnics (FMGM 1991, Oslo), Sørum (ed.), Balkema, Rotterdam
- [2] Alberts, D., Heeling, A (1997): Wanddickenmessungen an korrodierten Stahlspundwänden. Statistische Datenauswertung zur Abschätzung der maximalen Abrostung. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- [3] EAU (2004): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“. Häfen und Wasserstraßen. EAU 2004. 10. Aufl., Ernst & Sohn, Berlin
- [4] ECSC (2005): European Coal and Steel Community: Design method for steel structures in marine environment including the corrosion behaviour. Final Report, Contract Number 7210-PR/317 (01-F6.04)





- [5] Heeling, A. (2006): Description an Assessment of the corrosion rate on corroded sheet pile walls. Vortrag auf dem 31. internationalen Schifffahrtskongress, Estoril, Portugal, Mai 2006
- [6] Heeling, A. (2007): Beurteilung des Korrosionszustandes von Stahlspundwänden mittels Restwanddickenmessung und Milieubeprobung, HTG-Kongress, Dresden 2007

