

Wirkung von Lahnungen im Küstenvorfeld#

Nicole von Lieberman, Andreas Matheja, Horst Schwarze, Claus Zimmermann*

In dem vom BMBF geförderten KFKI-Projekt MTK 0564 „Optimierung von Küstensicherungsmaßnahmen im Küstenvorfeld der Nordseeküste“ wurden im Teilprojekt „Wellenuntersuchungen in Modell-Lahnungen“ im FRANZIUS-INSTITUT für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover neben einer Studie zu Aufgabe und Wirkungsweise von Lahnungen, in physikalischen Modellversuchen die Durchlässigkeit und das Transmissionsverhalten von Wellen an Buschlahnungen sowie die Sedimentations- und Erosionsvorgänge in Lahnungsfeldern mit Hilfe numerischer Simulationen untersucht. Ergänzt wurden die Untersuchungen durch Messungen in der Natur in zwei im Rahmen des Forschungsvorhabens eingerichteten Testgebieten an der Westküste Schleswig-Holsteins.

1. Einführung

Für die Gestaltung von Lahnungsfeldern im Vorland, für die Bemessung und den Aufbau der Lahnungen und für die Unterstützung des Anwachsens in den Lahnungsfeldern im Küstenvorfeld der Nordseeküste werden seit rd. 200 Jahren vor allem praktische, oft ortsspezifische Erfahrungen herangezogen (Abb. 1 / s. auch [1]). Für eine Optimierung der Vorlandbildung mit Lahnungen fehlt bisher eine wissenschaftliche Analyse der hydromechanisch-morphologischen Wechselwirkungen in den Lahnungsfeldern.

In dem von 1994 bis 1997 geförderten KFKI-Forschungsvorhaben „Optimierung von Küstensicherungsarbeiten im Küstenvorfeld der Nordseeküste“ waren deshalb mit wissenschaftlichen Methoden Grundlagen für einen effektiven Einsatz von Lahnungen für die Vorlandbildung zu erarbeiten. Die Ergebnisse sollten zu einer Versachlichung des bezüglich der Nutzung, der Unterhaltung und der Gestaltung der künstlichen Vorländer bestehenden Konfliktes zwischen Küstenwasserbau und Naturschutz führen.



(a)



(b)

Abb. 1: Lahnungsarbeiten (a) und aufgewachsenes, begrüptes und beweidetes Lahnungsfeld (b)

Die Durchführung des Forschungsvorhabens wurde vom BMBF gefördert und vom LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN für das KFKI koordiniert. Das Vorhaben wurde in zwei Teilprojekten (TP) durchgeführt (Abb. 2):

- TP "Sedimentologie und Morphologie in Lahnungsfeldern" durch das FORSCHUNGS- UND TECHNOLOGIE-ZENTRUM WESTKÜSTE IN BÜSUM
- TP "Wellenuntersuchungen in Modell-Lahnungen" durch das FRANZIUS-INSTITUT

In zwei eigens für das Forschungsvorhaben eingerichteten Testgebieten an der Westküste Schleswig-Holsteins wurden in dort angelegten Lahnungsfelder topographische Messungen sowie Seegangs- und Strömungsmessungen von den ehemaligen ÄMTERN FÜR LAND- UND WASSERWIRTSCHAFT HEIDE und HUSUM durchgeführt.

Aufgabe des Teilprojektes „Wellenuntersuchungen in Modell-Lahnungen" des FRANZIUS-INSTITUTS war zunächst die Darstellung des Wissensstandes zu den Themenkomplexen „Lahnungen/Lahnungsfelder“ und „hydrologisch-morpho-logische Wechselwirkungen an kohäsiven Wattböden“. Hierauf aufbauend waren die unter bestimmten Randbedingungen auftretenden Strömungs- und Seegangsbedingungen zu erfassen und die hydrodynamische Wirksamkeit von Lahnungen aufgrund von physikalischen und numerischen Untersuchungen zu beurteilen.



Abb. 2: Struktur des KFKI-Forschungsvorhabens „Optimierung von Küstensicherungsarbeiten im Küstenvorfeld der Nordseeküste“

Die Wirksamkeit oder die Fähigkeit von Lahnungen, im Wasser mitgeführte Schwebstoffe und Sedimente zur Ablagerung zu bringen, sie am Boden zu halten, zu konsolidieren und so eine Auflandung von Wattflächen zu erreichen, hängt von

Vortrag im Rahmen einer Vortragsveranstaltung der Gesellschaft der Förderer des Franzius-Instituts am 03.06.1998

* Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover

einer Vielzahl von Parametern ab, die in enger Wechselwirkung zueinander stehen (Abb. 3). Dies sind z.B.

- Tide und Seegang und die daraus resultierenden Strömungen,
- morphologische/sedimentologische Bedingungen,
- die Lahnungscharakteristika wie Geometrie, Anordnung, Höhe und Durchlässigkeit der Lahnung,
- biologische, chemische und physikalische Einflüsse durch Flora und Fauna des Wattbodens,
- Vorlandmanagement, in Form von Begrüpfung, Unterhaltung von Lahnungen oder Beweidung

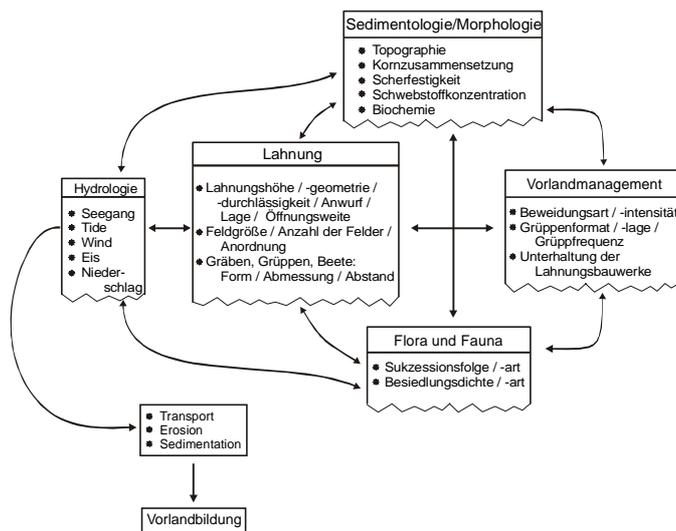


Abb. 3: Parameter der Vorlandbildung und Wechselwirkungen im Küstenvorfeld [2]

2. Untersuchungsprogramm

Um eine Grundlage für eine Beurteilung einzelner Elemente und Parameter einer Lahnung hinsichtlich ihrer Wirkung auf Wellen, Strömung und Sedimentation zu erhalten, die später auch in Empfehlungen für Bemessungen und Anordnungen einfließen können, wurden zwei Untersuchungslinien verfolgt:

1. Als wesentlich und für die weiteren Untersuchungen maßgeblich wurden zunächst die Durchlässigkeit von Buschlahnungen und die Wellendämpfung durch Buschlahnungen in Laboruntersuchungen bestimmt und mit Naturmessungen verglichen [2].
2. Mit diesen Kenntnissen konnten in einem zweiten Schritt die Strömungsfelder und daraus resultierend die Sedimentation und Erosion im numerischen Modell simuliert werden [3].

3. Physikalische Untersuchungen

3.1 Durchlässigkeitsbeiwert von Buschlahnungen

Der Widerstand bzw. die Durchlässigkeit eines porösen Bauwerkes läßt sich durch die Messung der Energiedifferenzen beim Durchströmen anhand der Wasserspiegellagen vor und hinter dem Bauwerk bestimmen.

In einer Strömungsrinne mit fester Sohle wurden daher zur Analyse des Durchströmungsverhaltens von Buschlahnungen Ausschnitte verschiedener Lahnungsbauweisen im Maßstab 1:1 naturgetreu nachgebildet. Für verschiedene tideabhängige – im Modell stationäre – Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten wurden Messungen der Wasserstände und der Geschwindigkeiten vor und hinter dem Lahnungsbauwerk durchgeführt (Abb. 4).

Die Lahnung wurde aus den in der Natur eingesetzten Materialien so eingebaut, daß sie den Ausführungsvorschriften des ehemaligen ALW HUSUM entsprach. Dieser Einbauzustand entspricht der Natur nur unmittelbar nach dem Einbau. In der Natur setzen sich saisonal und regional variabel im Verlauf weniger Wochen nach Herstellung und Anwurf der Lahnungen Sedimente sowie organische und anorganische Materialien zwischen das Buschwerk. Sie verringern durch diese Verdichtung den Grad der Porosität. Diese Phenomene können weder im numerischen noch im physikalischen Modell nachgebildet werden.

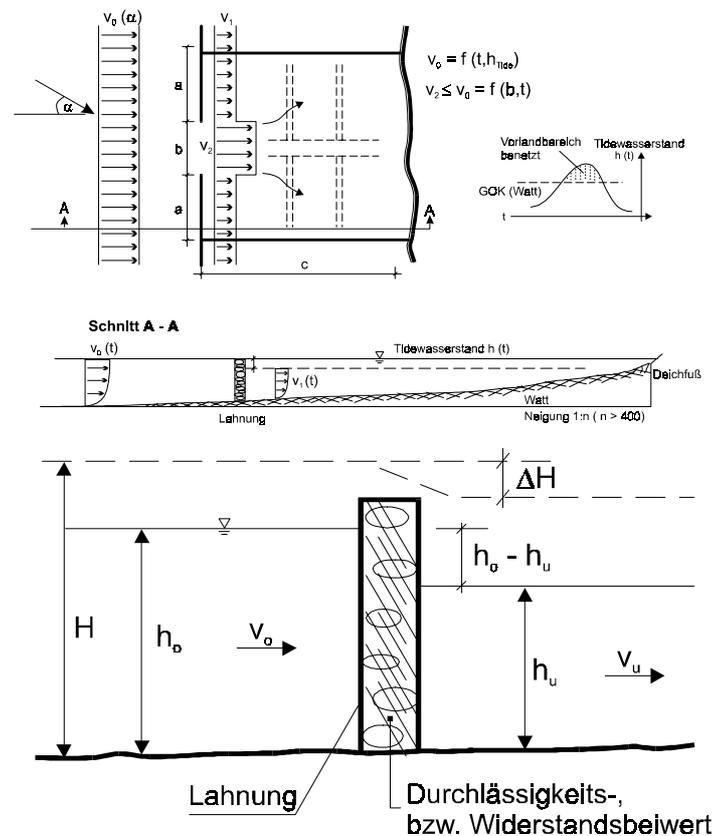


Abb. 4: Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes [2]

Im Labor wurden in einem zweiten Schritt aus praktischen Erwägungen die Nadelholzfaschinen im Zwischenraum der Buschlahnung durch den Einbau von äquivalenten Filterplatten schematisiert.

Ein Vergleich der Wasserstände im Ober- und Unterwasser der Buschlahnung ohne seitlichen Anwurf, mit einem seitlichen Anwurf von 0,17 m Höhe und einem Anwurf von 0,30 m Höhe in Abhängigkeit vom Durchfluß zeigt, daß für die Lahnung mit einem Anwurf von 0,17 m Höhe im Vergleich zur Lahnung ohne Anwurf nur geringfügige Abweichungen des Wasserstandes im Unterwasser eintreten. Der Anwurf von 0,30 m Höhe hingegen erhöht den Durchströmungswiderstand der Lahnung so, daß der Wasserstand im Unterwasser reduziert wird (Abb. 5) und die Strömungsgeschwindigkeit zunimmt.

Von den verwendeten Einbauten – Buschlahnung und durch Filter schematisierte Lahnungen – zeigte ein Langlochfilter die größte Porosität. Eine geringere, aber immer noch größere Porosität als die der Buschlahnung ergab sich bei einem Rundlochfilter. Durch systematisches Verstopfen von Öffnungen des Rundlochfilters konnte der Verbaugungsgrad bzw. die Porosität der Buschlahnung erreicht werden. Sind 79,5% des Querschnittes durch den Rundlochfilter verbaut, d.h. rd. 20% des Querschnittes durchlässig, stellt sich für variable Durchflüsse ein nahezu gleiches hydraulisches Verhalten wie bei der Buschlahnung ein (Abb. 6). Der auf diesem Weg gewonnene Durchlässigkeitsbeiwert wurde in das numerische Modell übertragen.

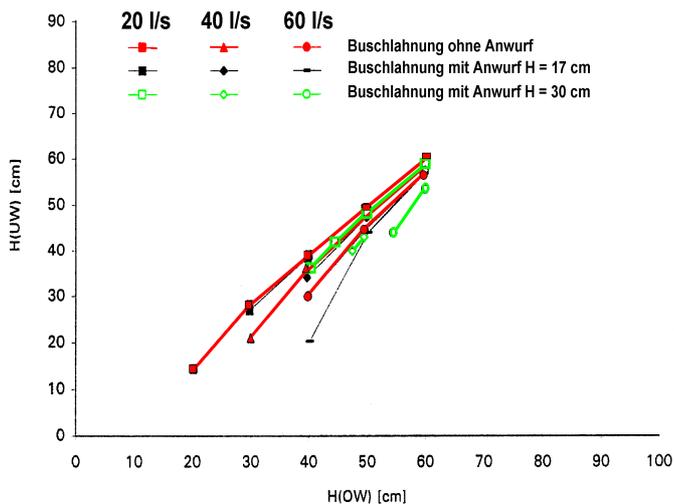


Abb. 5: Abhängigkeit des Wasserstandes vor der Lahnung (H_{OW}) vom Wasserstand hinter der Lahnung (H_{UW}) für verschiedene Durchflüsse ($Q = 20 \text{ l/s}$, 40 l/s bzw. 60 l/s) für die Buschlahnung, die Lahnung mit Langloch- und Lochblech [2]

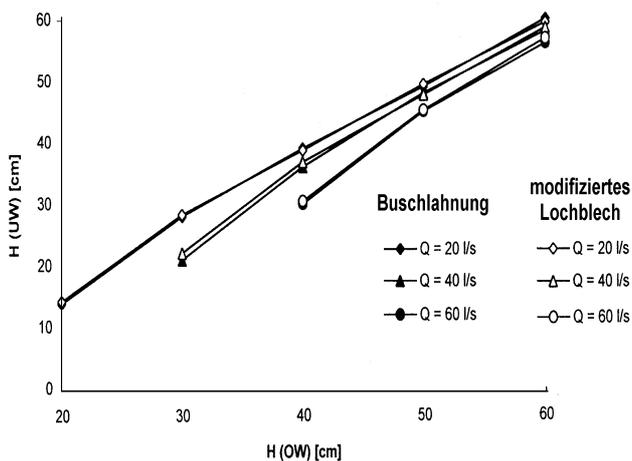


Abb. 6: Vergleich der Wasserstände $H(OW)$ und $H(UW)$ für die Buschlahnung und die Lahnung mit modifiziertem Lochblech [2]

3.2 Transmissionsverhalten von Seegang an Buschlahnungen

Der weitere Untersuchungsschwerpunkt lag auf der Beurteilung des Transmissionsverhaltens von Seegang an Buschlahnungen. Als kennzeichnende Größe wurde der Transmissionskoeffizient k_T ermittelt, der als das Verhältnis von Wellenhöhe im Transmissionsbereich H_T zur Ausgangswellenhöhe H_i definiert ist.

VARIANTE	AUFBAU DER LAHNUNG IM MODELL
W-1 Buschlahnung ohne seitlichen Anwurf $h = 1,00 \text{ m}$; $B = 0,25 \text{ m}$	
W-2 Buschlahnung mit 1:3,33 geneigten seitlichem Anwurf mit einer Höhe von 0,60 m $h = 1,00 \text{ m}$; $B = 0,25 \text{ m}$	
W-3 Buschlahnung ohne seitlichen Anwurf $h = 0,70 \text{ m}$; $B = 0,25 \text{ m}$	
W-4 Buschlahnung ohne seitlichen Anwurf $h = 0,70 \text{ m}$; $B = 0,50 \text{ m}$	
W-5 Buschlahnung ohne seitlichen Anwurf $h = 0,70 \text{ m}$; $B = 0,75 \text{ m}$	
W-6 Buschlahnung ohne seitlichen Anwurf $h = 0,40 \text{ m}$; $B = 0,25 \text{ m}$	
W-7 Gedichtete Buschlahnung ohne seitlichen Anwurf $h = 0,40 \text{ m}$; $B = 0,25 \text{ m}$	

Abb. 7: Im Wellenkanal untersuchte Lahnungsvarianten

In den Wellenkanal am Schneiderberg wurden Ausschnitte einer 1,00 m hohen und 0,25 m bis 0,75 m breiten Buschlahnungen im Maßstab 1:1 eingebaut. Die senkrecht auf das Bauwerk laufenden Wellen wurden als Wasserspiegelauslenkung über die Zeit mit „Delfter Pegeln“ vor und hinter dem Bauwerk gemessen.

Für die in Abbildung 7 dargestellten Varianten wurden Transmissionskoeffizienten bei variablen Wasserständen und Seegangsbedingungen in Abhängigkeit folgender Parameter ermittelt:

- Bauwerksbreite B
- Relative Bauwerkshöhe h/d (h = Bauwerkshöhe, d = Wassertiefe) am Bauwerk
- Grad der Durchlässigkeit (Porosität) in Abhängigkeit vom gewählten Füllmaterial (Buschwerk bzw. Buschwerk mit Holzwand aus Rauhsplunddielen) bzw. einem seitlichen Anwurf

Abbildung 8 zeigt aus den Untersuchungen ermittelte Einflußgrößen. Die Untersuchungsergebnisse mit Buschlahnungen ohne seitlichen Anwurf und Höhen von 1,00 m, 0,70 m bzw. 0,40 m sind in Abbildung 8 (oben) zusammengefaßt. Es zeichnet sich im wesentlichen eine lineare Zunahme der Transmissionskoeffizienten, also eine Abnahme der Dämpfung der Wellenhöhen ab. Mit zunehmender Wassertiefe über dem Bauwerk nähert sich der Koeffizient einem Grenzwert an.

Ein Vergleich der Ergebnisse für die schmale Buschlahnung mit den Ergebnissen der breiteren Varianten zeigt mit zunehmender Bauwerksbreite abnehmende Transmissionskoeffizienten, d.h. stärkere Wellendämpfung (Abb. 8, Mitte). Dies gilt insbesondere für Wasserstände bis etwa zur Lahnungsoberkante (0,40 m \leq d \leq 0,70 m).

Der Vergleich der Versuchsergebnisse der niedrigeren Buschlahnung mit denen der mit einer Holzwand aus Rauhsplunddielen gedichteten Buschlahnung weist auf eine effektivere Dämpfung des Seegangs im Bereich von Wasserständen bis zu rd. 0,40 m über der Lahnungsoberkante durch die dichtere Lahnung hin (Abb. 8, unten). Für Wassertiefen größer als 0,80 m können wesentliche Unterschiede zwischen den Varianten nicht ermittelt werden.

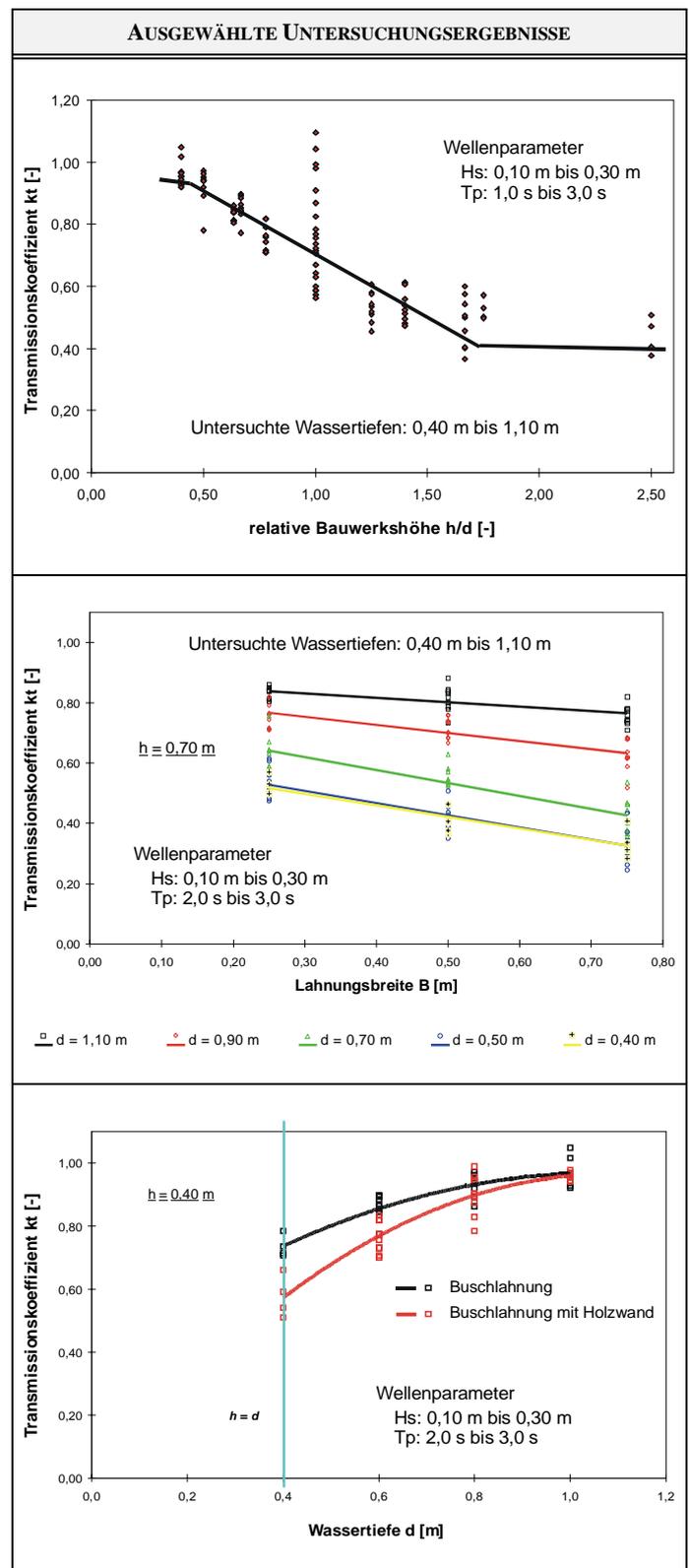


Abb. 8: Zusammenstellung ausgewählter Untersuchungsergebnisse [2]

4. Numerische Untersuchungen

Um die Auswirkungen verschiedener Lahnungsbauweisen auf den Strömungszustand, die Seegangsdämpfung und die Sedimentations- bzw. Erosionsprozesse in Lahnungsfeldern zu untersuchen, wurde das Programmsystem MIKE21® des DANISH HYDRAULIC INSTITUTE angewendet.

Das Programmsystem umfaßt mehrere Module zur Modellierung von Naturprozessen. Für die Berechnung von Strömungen wurde das HD-Modul (Hydrodynamic Module) verwendet. Für die Simulation welleninduzierter Strömungen kam das EMS-Modul (Elliptic-Mild-Slope Module) zum Einsatz. Sedimenttransport wurde mit Hilfe des MT-Moduls (Mud-Transport Module) untersucht.

Zunächst wurde das an der Westküste Schleswig-Holsteins gelegene Testgebiet „Ockholm“ im Modell nachgebildet (Abb. 9). Ein Vergleich der in der Natur gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten, Sedimentations- und Erosionsraten in diesem Gebiet und der auf numerischem Wege gewonnenen Ergebnisse zeigt gute Übereinstimmung.

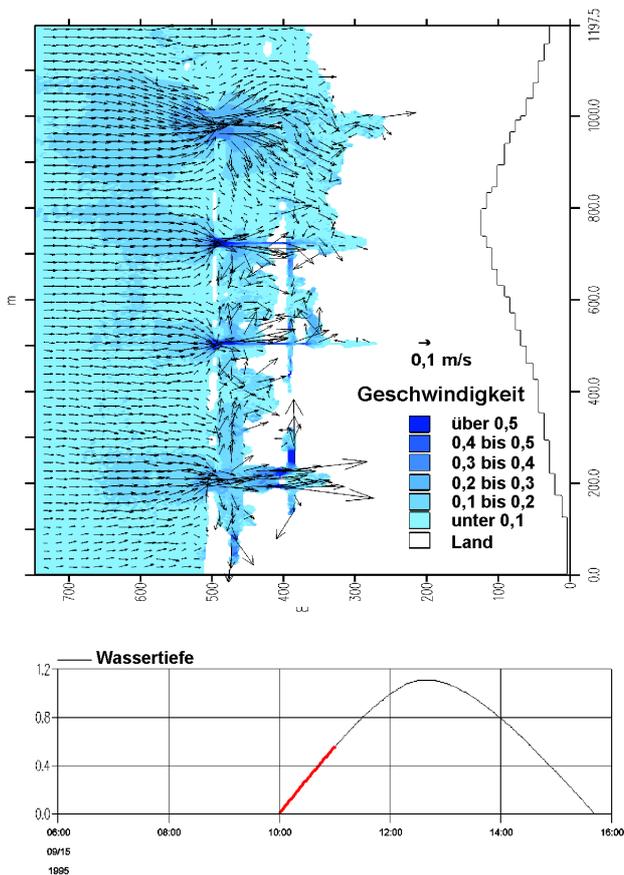


Abb. 9: Strömungsgeschwindigkeiten im Testgebiet „Ockholm“ bei mittleren Tideverhältnissen zum Zeitpunkt 11.00 Uhr; Bezugshorizont der Simulationstide: 0 m BH = 545 cm PN Pegel Schlüttsiel [4]

Im Anschluß daran wurde eine Parameterstudie mit schematisierten Randbedingungen durchgeführt. Ziel war es, die nachfolgenden Fragen zu beantworten:

Welchen Einfluß auf das Systemverhalten hat die Öffnungsweite des Lahnungsbauwerkes?

Bewirkt eine Begrüppung eine Änderung des Systemverhaltens?

Welche Auswirkungen hat ein Anwurf an den Lahnungen?

Kann die Sedimentation durch die Anordnung eines zweiten Feldes weiter verstärkt werden?

Für die gekoppelten Teilmodelle (Strömungs-, Seegang- und Sedimenttransportmodell) wurden die Eingangsparameter

- Anzahl der Lahnungsfelder (ein/zwei)
 - Größe der Lahnungsöffnung (25 m bis 90 m)
 - seitlicher Anwurf (mit/ohne)
 - Grüppen (mit/ohne)
 - Tide (mittlere Tide am Pegel „Schlüttsiel“)
 - Seegang ($H = 0,10$ m bis $0,23$ m; $T = 3,00$ s)
 - Anfangssedimentkonzentration ($17,5$ g/m³ bis $227,5$ g/m³)
- variiert. Die Richtung des Seegangs wurde senkrecht zur Küste gewählt; die Strömungen resultierend aus dem Verlauf der Tidekurve.

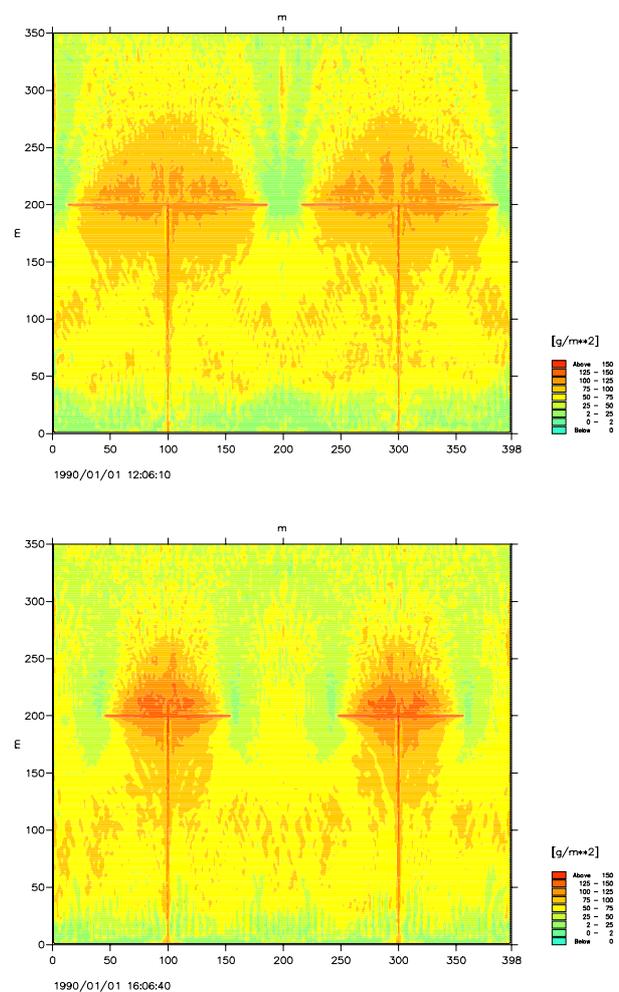


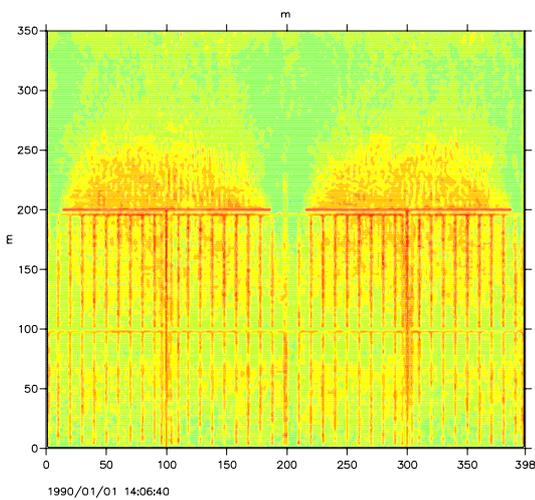
Abb. 10: Sedimentation bei einer Öffnungsweite von 25m (oben) bzw. 90 m (unten) [5]

Nachfolgend werden exemplarisch einige Ergebnisse der Parameterstudie vorgestellt*. In den Abbildungen 10 bis 13 sind jeweils Sedimentation und Erosion nach Ablauf einer mittleren Tide in einem bzw. zwei 200 m x 200 m großen Lahnungsfeldern dargestellt. Von gelb bis rot sind Bereiche zunehmender Sedimentation, grünlich Bereiche geringer bis negativer Sedimentation (Erosion) dargestellt.

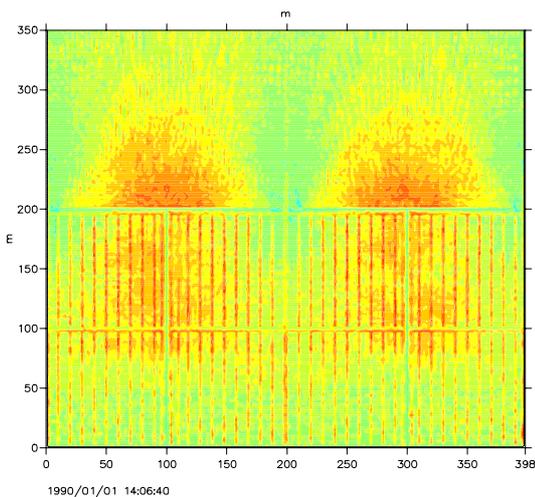
Zum Einfluß der Lahnungsöffnung:

Bei einer Vergrößerung der Lahnungsöffnung dehnen sich die Bereiche sehr geringer Sedimentation in der Nähe der Lahnungsöffnung aus (Abb. 10).

Alle untersuchten Varianten weisen am Ende der Querlahnungen Erosionsbereiche bzw. Bereiche mit sehr schwacher Sedimentation auf. Bei einer Vergrößerung der Öffnungsweite wandern in Varianten ohne Begrüppung diese Bereiche auseinander. In der Mitte der Lahnungsöffnung lagert sich Material ab.



1990/01/01 14:06:40



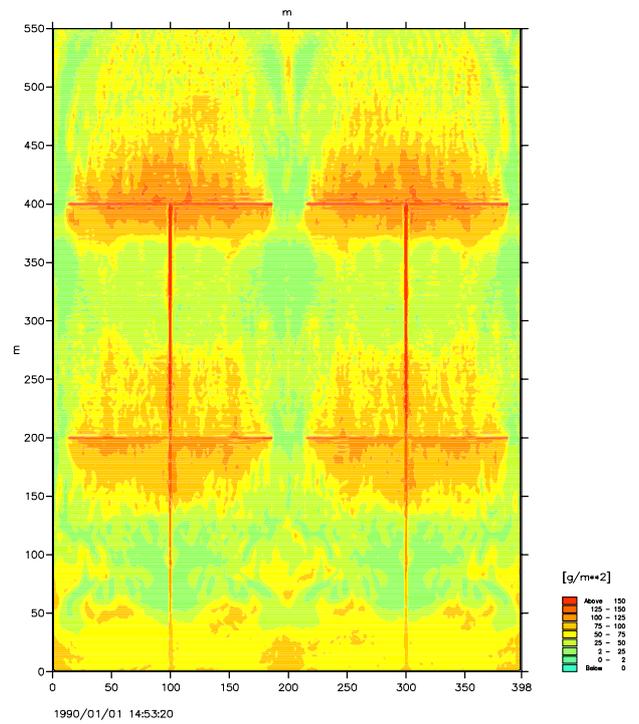
1990/01/01 14:06:40

Abb. 11: Sedimentation für begrüppte Felder mit (oben) und ohne Anwurf (unten) [5]

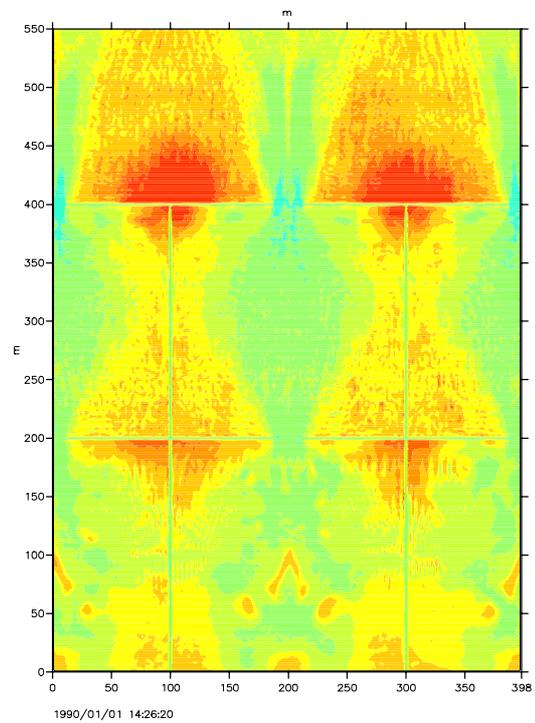
Zum Einfluß von Gruppen:

* Eine ausführliche Beschreibung des gesamten Forschungsvorhabens ist in [4] und [5] zu finden.

Im Bereich der Gruppen sind in allen Varianten stärkere Sedimentationen erkennbar. Ist kein Anwurf vorhanden, so sedimentiert in Fällen mit Begrüppung vor den Lahnungsköpfen vergleichsweise weniger Material (Abb. 11).



1990/01/01 14:53:20



1990/01/01 14:26:20

Abb. 12: Sedimentation für Lahnungen mit (oben) und ohne seitlichen Anwurf (unten) [5]

Zum Einfluß des Anwurfes (Abb. 12):

Vor den Lahnungsköpfen kommt es bei Anschüttung eines Anwurfes bei allen Varianten zu einer stärkeren Ablagerung von Material.

Für den Fall von Doppelgeometrien (zwei Lahnungsfelder voneinander) dehnen sich die Bereiche geringer Sedimentation in der Mitte des seeseitigen Feldes weiter aus. Im küstennahen Feld sedimentiert in Küstennähe weniger Material.

Zur Frage der Anordnung eines zweiten Lahnungsfeldes:

Im Bereich der Lahnungsöffnung des küstennahen Feldes geht die Sedimentation bei Vorbau eines zweiten Lahnungsfeldes zurück.

Bei größeren Öffnungsweiten – in Abbildung 13 für 90 m dargestellt – führt die Anordnung eines zweiten Feldes zu einer stärkeren Sedimentation vor den Lahnungsköpfen.

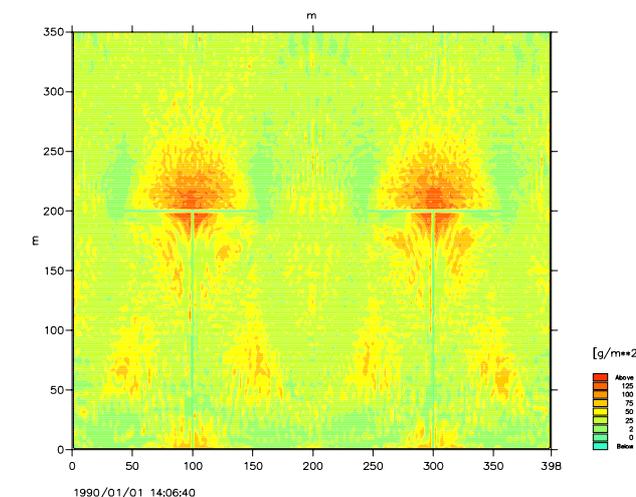
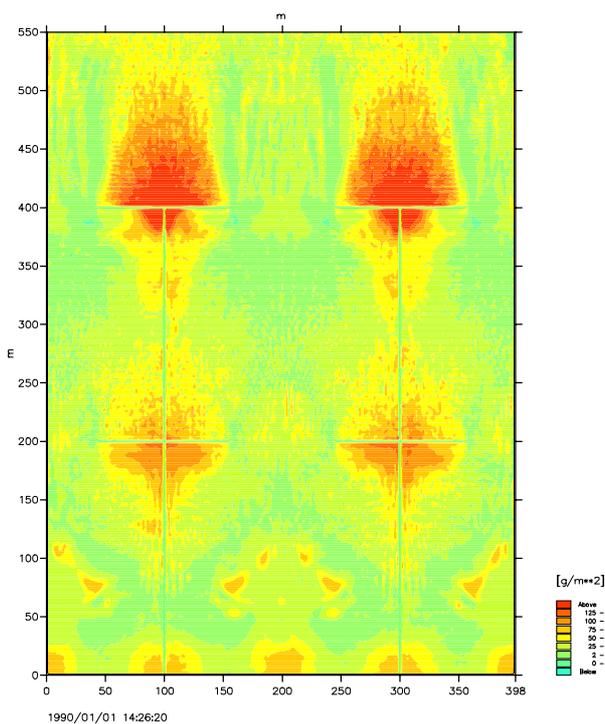


Abb. 13: Sedimentation für zwei (oben) bzw. ein Lahnungsfelder (unten) [5]

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der wesentlichen Versuchsvarianten zusammengefaßt. Dargestellt ist die jeweilige Sedimentationsrate pro Lahnungsfeld.

Blau sind die Varianten mit einer Öffnungsweite von 25 m, rot die mit 90 m dargestellt. Es zeigt sich, daß bei allen untersuchten Varianten die Gesamtmenge sedimentierten Materials mit zunehmender Öffnungsweite abnimmt.

Bei Einbau eines Anwurfes (2. Viertel der Grafik) nimmt die Sedimentationsmenge im Vergleich zu Varianten ohne Anwurf (1. Viertel der Grafik) ab.

Eine Begrüppung in Verbindung mit einem Anwurf (letztes Viertel der Grafik) bewirkte aber in allen Lahnungsfeldern eine merkliche Zunahme der Sedimentation.

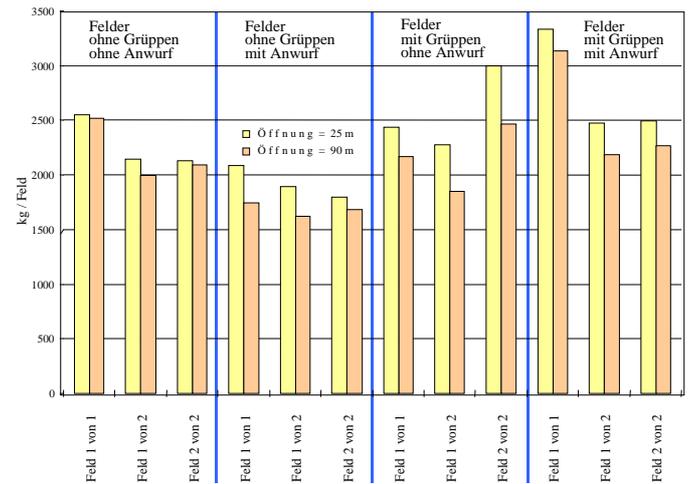


Abb. 14: Sedimentation in Lahnungsfeldern für verschiedene Geometrien, Öffnungsweiten, mit und ohne Anwurf, mit und ohne Gruppen [5]

5. Zusammenfassung

Die im Forschungsvorhaben „Optimierung von Küstensicherungsarbeiten im Küstenvorfeld der Nordseeküste“ gewonnenen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die physikalischen Untersuchungen haben gezeigt, daß
- sich für Buschlahnungen ohne seitlichen Anwurf im wesentlichen eine lineare Zunahme der Transmissionskoeffizienten, also eine Abnahme der Dämpfung der Wellenhöhen abzeichnet.
- Buschlahnungen mit Anwurf Seegang vergleichsweise besser dämpfen.
- der Transmissionskoeffizient mit zunehmender Bauwerksbreite abnimmt.
- durch mit Rauhspunddielen gedichtete Buschlahnungen bis Wassertiefen von rd. 0,40 m über der Bauwerksoberkante eine effektivere Dämpfung des Seegangs zu verzeichnen ist als bei nicht-gedichteten Buschlahnungen.

Die Ergebnisse der numerischen Simulationen zeigen, daß

- die Sedimentation mit zunehmender Öffnungsweite abnimmt.
- eine Begrüppung ohne Anwurf im allgemeinen zu einer Reduzierung der Sedimentation führt (nicht im seeseitigen Feld der Doppelgeometrie).
- eine Begrüppung in Verbindung mit Anwurf eine merkliche Zunahme der Sedimentation bewirkt.

Schrifttum

- [1] Fiege, M., Hagmeier, H., Schulz, N.: Lahnungsbauwerke – Entwicklung, Ausführungsvarianten und Entwässerungssysteme. Mitteilungen des Franzius-Instituts der Universität Hannover, H. 78, Hannover, 1996.
- [2] von Lieberman, N., Schwarze, H., Zimmermann, C.: Ausführung und Wirkungsweise von Lahnungen. Die Küste, H. 60, 1998.
- [3] Matheja, A., Schwarze, H., Zimmermann, C.: Simulation von Sedimentation und Erosion in Lahnungsfeldern. Die Küste, H. 60, 1998.
- [4] von Lieberman, N., Matheja, A., Schwarze, H., Zimmermann, C.: Schlußbericht zum Forschungsvorhaben „Optimierung von Küstensicherungsarbeiten im Küstenvorfeld der Nordseeküste“ – Teil 3: Wellenuntersuchungen in Modell-Lahnungen. 1997 (356 Seiten + 247 Seiten Anhang, unveröffentlicht).
- [5] von Lieberman, N., Matheja, A., Schwarze, H., Zimmermann, C.: Interdisziplinäres Forschungsvorhaben „Optimierung von Küstensicherungsarbeiten im Küstenvorfeld der Nordseeküste“ – Untersuchungen zur Wirksamkeit von Lahnungen durch Simulation der hydromechanisch-morphodynamischen Wechselwirkungen in physikalischen und numerischen Modellen. Mitteilungen des Franzius-Instituts der Universität Hannover, H. 82, Hannover, 1998.