

# Bestimmung der Höhe von Tideriffeln

Von H O R S T N A S N E R

## Summary

*In this paper prototype data of echo soundings of sand waves are analysed. A good relation between the fresh water discharge and the sand wave migration velocity in the upper part of a tidal river could be determined. The limitation of the sand wave heights as a function of the mean current velocities over the crests and the bed material characteristics is presented. States of equilibrium are described by dimensionless parameters. The latter are compared with model tests.*

## 1. Vorbemerkung

In dem folgenden Beitrag wird das Ergebnis der Untersuchungen von Echolotpeilungen in Bereichen der Unterweser mit ausgeprägten Tideriffeln aufgezeigt. Diese morphologischen Großformen in der Natur werden im englischsprachigen Schrifttum vielfach „sand waves“ (Sandwellen) oder „tidal dunes“ (Tidedünen) genannt. Da diese Sohlformen in ständiger Umlagerung durch Erosion der Luv- und Alluvion auf der Leeseite einen echten Massentransport bewirken, werden sie auch als Transportkörper bezeichnet (FÜHRBÖTER 1967).

## 2. Einleitung

In Tideflüssen, deren Sohle aus Sand besteht, treten häufig Transportkörper auf. Sie sind sehr bedeutsam für die Seeschifffahrt und Unterhaltungsbaggerung, da die nutzbare Fahrwassertiefe durch die Kämme dieser Sandwellen begrenzt ist.

Das Wasser- und Schifffahrtsamt Brake führt in unregelmäßigen Zeitabständen Längspeilungen der Wesersohle in Fahrwassermitteln von Weser-km 18 bis km 59 durch (Abb. 1). Die Echogramme wurden dem FRANZIUS-INSTITUT zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Die Peilunterlagen von 1966 bis 1972 sind mit dem Ziel untersucht worden, zu einem besseren Verständnis über das Verhalten der Tideriffel zu gelangen und um die Parameter zu ermitteln, die diese Großformen im wesentlichen beeinflussen. Die Untersuchungsbereiche in der Unterweser sind in Abbildung 1 eingetragen.

## 3. Untersuchungsergebnisse

In den Meßbereichen werden die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten durch das Oberwasser  $Q_0$  beeinflusst. Die vier Untersuchungsbereiche sind ebbestromorientiert und werden kurzfristig während einer Tide nur geringfügig umgeformt. Durch die langfristige Änderung der mittleren Ebbestromgeschwindigkeiten als Folge des veränderten Oberwassers wird die Höhe und Fortschrittsgeschwindigkeit der Tideriffel bestimmt.

Im folgenden werden nur Mittelwerte der Riffelhöhen  $\bar{h}$ , -längen  $\bar{L}$  und -fortschrittsgeschwindigkeiten  $\bar{u}$  betrachtet.

Für den Untersuchungsbereich 1 kann aus Abbildung 2 entnommen werden, daß der maßgebende Parameter für die Änderung der Sohlformen das Oberwasser ist, durch das direkt die Strömungsverhältnisse und indirekt die Riffelhöhe  $\bar{H}$  und die Riffelgeschwindigkeit  $\bar{u}$  beeinflusst werden. Die Höhe  $\bar{H}$  ist stärkeren Schwankungen unterworfen als die Riffellänge  $\bar{L}$  (gestrichelte Linie in Abb. 2 oben).

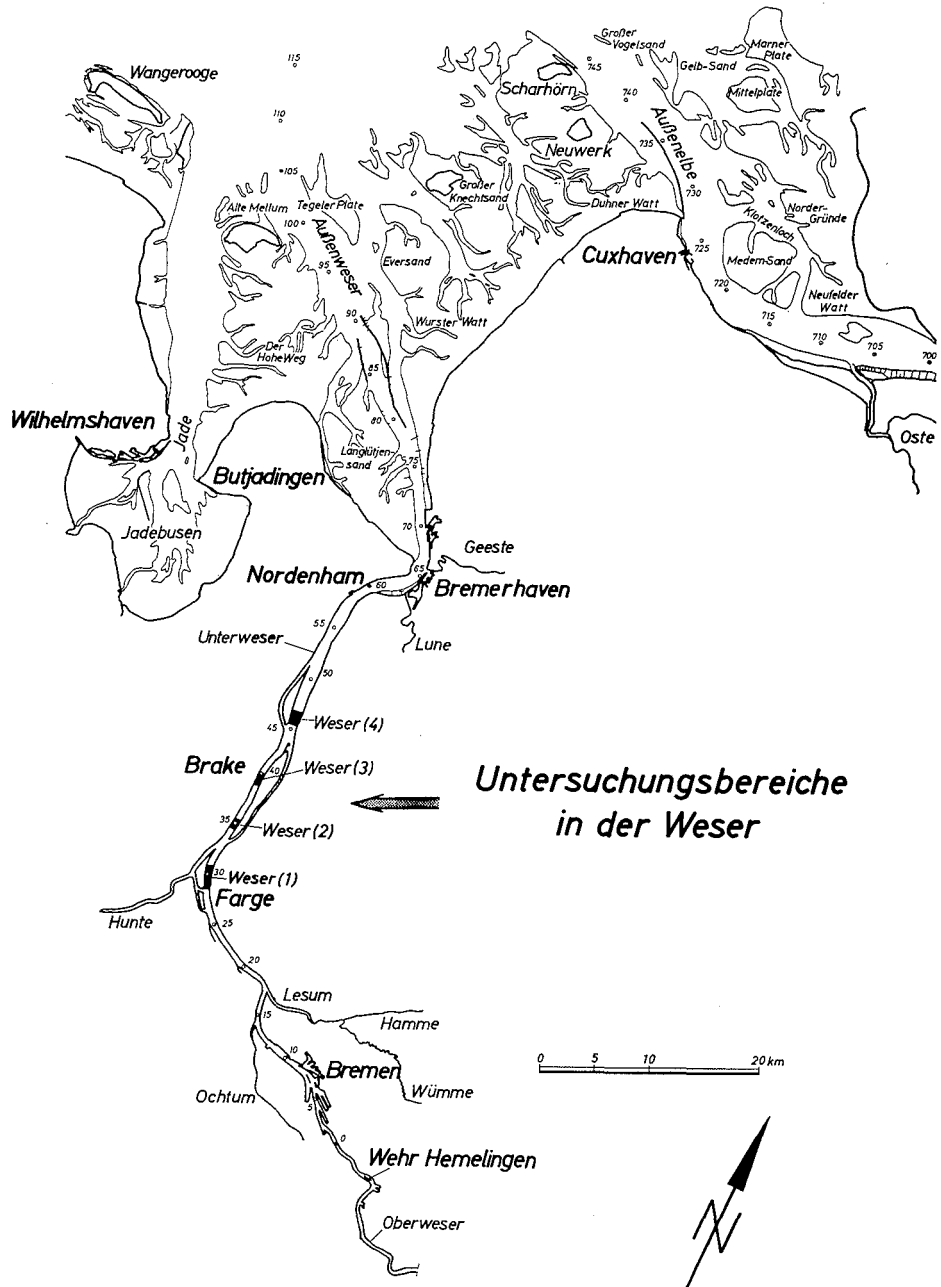


Abb. 1. Untersuchungsbereiche in der Weser

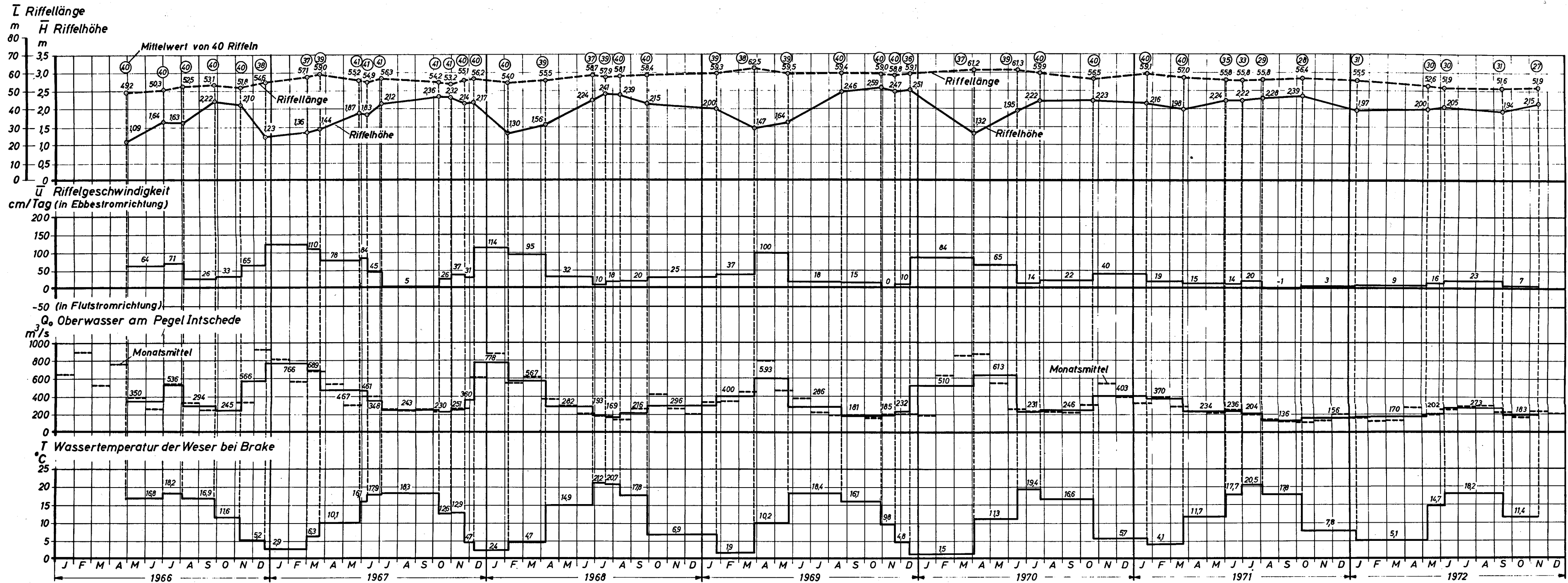


Abb. 2. Veränderungen eines Riffelfeldes in der Weser von km 28,4 bis km 30,9 (Bereich 1)

Eine Beziehung zwischen den Riffelkenngrößen und der Wassertemperatur konnte nicht festgestellt werden. Während der Wintermonate 1970/71 und 1971/72 waren ebenso hohe Riffel vorhanden, wie sie im allgemeinen nur in den Sommermonaten festgestellt werden (Abb. 2). Der Grund ist in der geringen Oberwasserführung und den damit verbundenen geringeren Ebbestromgeschwindigkeiten in den Wintermonaten 1970/71 und 1971/72 zu finden. Es kann also angenommen werden, daß die Wassertemperatur das Verhalten der Großformen nicht wesentlich beeinflußt.

Für alle Untersuchungsbereiche wurde ein guter Zusammenhang zwischen Riffelgeschwindigkeit  $\bar{u}$  und Oberwasser  $\bar{Q}_0$  (mittleres Oberwasser zwischen zwei Peilungen) festgestellt (NASNER, 1974a).

Um einen unmittelbaren Vergleich mit den jeweils herrschenden Strömungsgeschwindigkeiten zu erhalten, wurden nach einer Kubisierung für eine mittlere Tide und verschiedenem Oberwasser der Weser (Wasser- und Schifffahrtsdirektion Bremen, 1972) die Strömungsgeschwindigkeiten in der Fahrrinne bestimmt (NASNER, 1974a).

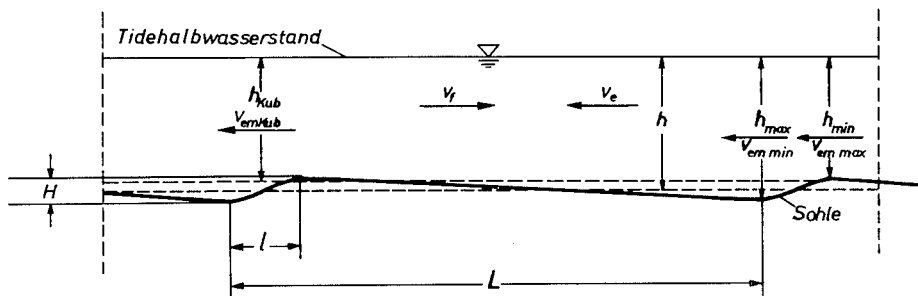
Für die einzelnen Untersuchungsbereiche ergaben sich die folgenden Werte:

Tabelle 1

Oberwasser und mittlere Ebbestromgeschwindigkeiten in der Fahrrinne

$Q_0$ m <sup>3</sup> /s	Bereich 1 $v_{em Kub}$ cm/s	Bereich 2 $v_{em Kub}$ cm/s	Bereich 3 $v_{em Kub}$ cm/s	Bereich 4 $v_{em Kub}$ cm/s
100	82	92	81	83
282	88	97	86	87
600	94	100	89	92

Der Tidehub und das Tidehalbwasser ändern sich nur geringfügig für einen weiten Oberwasserbereich. In der Kubisierung ist die mittlere Ebbestromgeschwindigkeit  $v_{em Kub}$  auf eine konstante Sohlage bezogen (Abb. 3). In der Natur ändert sich jedoch die Höhenlage der Riffelkämme  $h_{min}$  in Abhängigkeit von der mittleren Ebbestromgeschwindigkeit über den Riffelkämmen  $v_{em max}$  ( $h_{min} = f[v_{em max}]$ );  $v_{em max} = f[Q_0]$ .

Abb. 3. Zur Umrechnung von  $v_{em Kub}$  auf  $v_{em max}$ 

Mit zunehmendem Oberwasser vergrößern sich die Ebbestromgeschwindigkeiten. Die Werte aus der Natur zeigen, daß – ausgehend von einem Gleichgewichtszustand – mit rechnerisch größer werdenden Ebbestromgeschwindigkeiten  $v_{em Kub}$  die Riffelkämme erodiert werden bis ein neuer Gleichgewichtszustand mit flacheren Riffeln erreicht worden ist.

Mit abnehmendem  $Q_0$  und  $v_{em\ Kub}$  wachsen die Riffel durch Sedimentation bis erneut ein Gleichgewicht erreicht wird (Abb. 4).

Zwischen dem Wechsel von  $Q_0$  und  $H$  besteht eine Phasenverschiebung, da sich die Transportkörper nicht unmittelbar an ein verändertes Oberwasser anpassen. In erster Näherung kann gesagt werden, daß ein Gleichgewichtszustand erreicht ist, wenn das Oberwasser etwa 30 Tage konstant ist und sich die Riffelhöhen gegenüber der vorausgegangenen Messung nicht wesentlich verändert haben.

Jeder Gleichgewichtszustand wird durch eine Grenzgeschwindigkeit über den Riffelkämmen bestimmt ( $v_{em\ max} = v_g$ ), die von den Eigenschaften des Sohlmaterials abhängt.

Die Ergebnisse für  $v_g = f(\bar{d}_m, \frac{\bar{d}_{90}}{\bar{d}_{10}})$  sind in der folgenden Tabelle 2 eingetragen:

Tabelle 2

Grenzgeschwindigkeiten mit  $\bar{d}_m = \frac{\bar{d}_{10} + \bar{d}_{20} + \dots + \bar{d}_{90}}{9}$

Bereich	$\bar{d}_m$ mm	$\frac{\bar{d}_{90}}{\bar{d}_{10}}$	$v_g$ cm/s
1	0,54	3,40	100
2	0,55	3,48	104
3	0,36	2,08	93
4	0,47	3,04	96

$\bar{d}_m$  ist der Mittelwert von mehreren Bodenproben, die in den einzelnen Untersuchungsbereichen entnommen wurden.

Mit Abbildung 4 kann die mittlere Kammlage der Riffel für einen weiten Oberwasserbereich bestimmt werden. Wenn die rechnerische Strömungsgeschwindigkeit  $v_{em\ Kub}$ , die zugehörige Wassertiefe unter Tidehalbwasser  $h_{Kub}$  und die vom Sohlenmaterial abhängige Grenzgeschwindigkeit  $v_g$  bekannt sind, ergibt sich  $h_{min}$  zu:

$$h_{min} = \frac{v_{em\ Kub}}{v_g} \cdot h_{Kub}$$

Mit der Erkenntnis, daß die vorherrschenden Einflußgrößen die Strömungsgeschwindigkeit und das Sohlenmaterial sind, wurden für alle Untersuchungsbereiche die Gleichgewichtszustände durch zwei dimensionslose Parameter beschrieben, die wie folgt definiert sind:

$$1. \quad \alpha_{min} = \frac{\bar{w}}{v_g}$$

wobei  $\bar{w}$  die Sinkgeschwindigkeit des Sohlenmaterials ist (nach WIEDENROTH, 1967)

$$\text{mit } \bar{w} = \frac{11,15}{d} (\sqrt{1 + 9,7 [\gamma_s - 1] \cdot g \cdot d^3} - 1)$$

und 2.

$$f_{max} = \frac{v_g}{g \cdot \bar{d}_m}$$

$$\text{mit } g = 9,81 \text{ m/sec}^2$$

Die Ergebnisse für die Untersuchungsbereiche sind in der folgenden Tabelle 3 angegeben:

Tabelle 3

$\alpha_{min}$ ,  $f_{max}$  und  $v_g$  für die Untersuchungsbereiche

Bereich	$\alpha_{min}$	$f_{max}$	$\bar{d}_m$ mm	$v_g$ cm/s	$\bar{w}_m$ cm/s
1	0,080	189	0,54	100	8,0
2	0,079	200	0,55	104	8,2
3	0,061	245	0,36	93	5,7
4	0,075	200	0,47	96	7,2

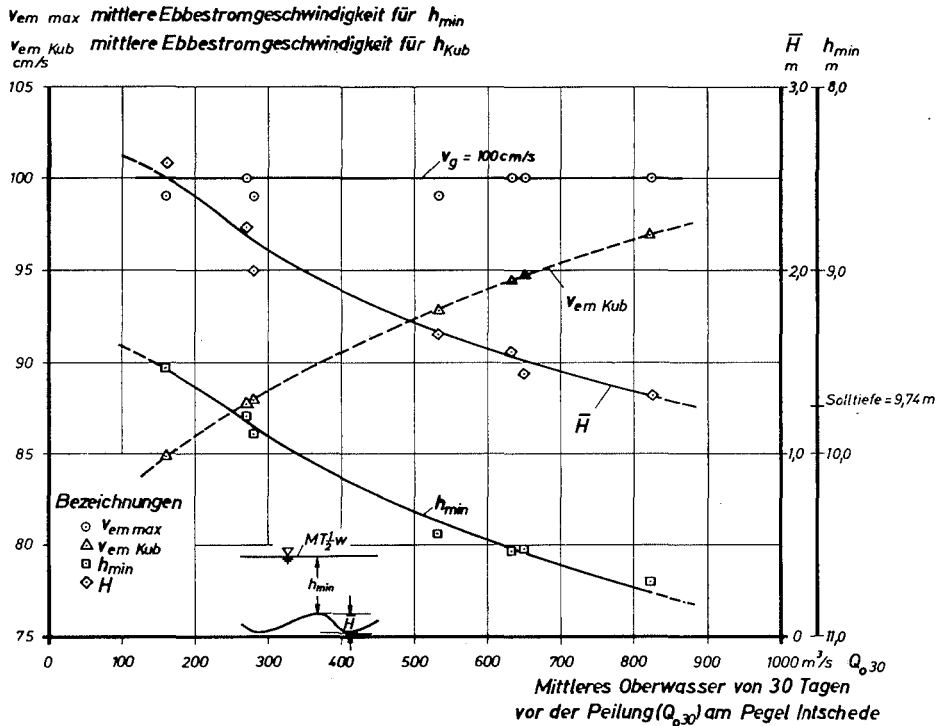


Abb. 4. Gleichgewichtszustände im Weserbereich 1

#### 4. Vergleich mit Modellversuchen

In einem ersten Versuch wurden die Ergebnisse der Naturuntersuchungen (mittlere Wassertiefe rd. 11,0 m) mit Modellversuchen (Wassertiefen 0,25 m bis 1,0 m) verglichen (DILLO, 1960; FRANZIUS-INSTITUT, 1960).

Die Versuche wurden mit natürlichem Sand als Sohlenmaterial durchgeführt. Bei einer bestimmten mittleren Strömungsgeschwindigkeit wechselten die Sohlformen im Modell von kleinen Strömungsriffeln zu Bänken mit Verhältnissen von Höhe zu Länge  $\frac{H}{L}$ , die den Werten der Weserriffeln entsprechen. Die Kenngrößen der im Modell untersuchten Sande waren:

Tabelle 4  
Kenngrößen der Modellgeschiebe

Modellgeschiebe	dm mm	$\frac{d_{90}}{d_{10}}$
„Syltsand“	0,30	2,32
„Norderneysand“	0,20	2,50
„Huntesand“	0,36	2,56

Bei den Versuchen mit dem „Huntesand“ wurden für mittlere Strömungsgeschwindigkeiten zwischen  $v_m = 28 \text{ cm/s}$  und  $v_m = 85 \text{ cm/s}$  kleine Strömungsriffel beobachtet. Bei  $v_m > 85 \text{ cm/s}$  traten Bänke auf. Eine Extrapolation der in Abbildung 5 und 6 ermittelten Kurven für  $\alpha$  und  $f$  ergibt für den „Syltsand“ und „Norderneysand“ Strö-

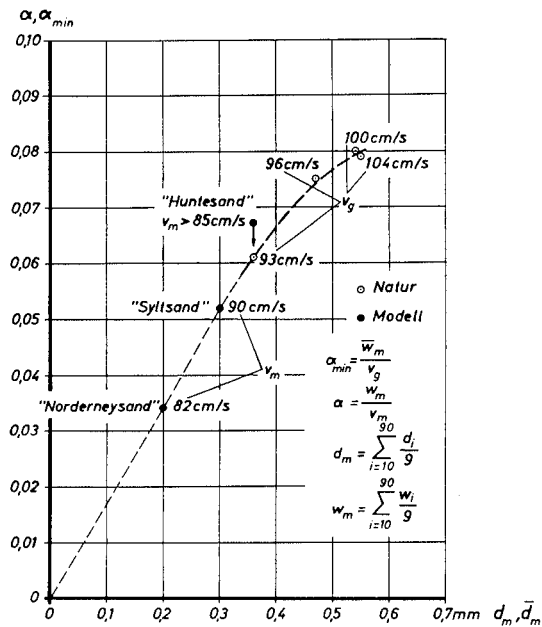


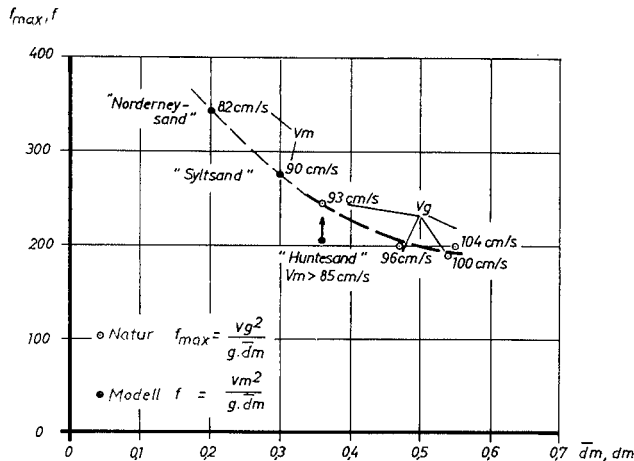
Abb. 5.  $\alpha$ -Werte und maßgebender Korndurchmesser in der Natur und im Modell

mungsgeschwindigkeiten, bei denen etwa die Bankbildung während der Modellversuche von DILLO mit Tideströmungen im Naturmaßstab (eine Modelltide = 12,4 Std.) einsetzte.

Trotz der unterschiedlichen Randbedingungen hinsichtlich der Wassertiefen und der Gerinnegeometrie ist ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen aus der Natur und im Modell gut erkennbar.

### 5. Schlußbemerkung

Nach den beschriebenen Untersuchungen können sich bei etwa gleich großen mittleren Strömungsgeschwindigkeiten geometrisch ähnliche Sohlformen in der Natur und im Modell bei entsprechendem Sohlenmaterial ausbilden. Um diese Tendenz zu bestätigen, sind

Abb. 6.  $f$ -Werte und maßgebender Korndurchmesser in der Natur und im Modell

weitere Untersuchungen in der Natur und im Modell erforderlich. Deshalb sind umfassende Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen den Kennwerten des Sohlenmaterials und den Parametern  $\alpha$  und  $f$  wünschenswert, um von der Bankbildung im Modell Rückschlüsse auf die Bankbildung in der Natur ziehen zu können und damit Übertragungskriterien zu finden.

Ausführlichere Beschreibungen der Untersuchungen sind in den „Mitteilungen des Franzius-Instituts“, Heft 40, 1974, veröffentlicht (NASNER, 1974a, 1974b).

## 6. Schriftenverzeichnis

- DILLO, H. G.: Sandwanderung in Tideflüssen. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Grund- und Wasserbau der Technischen Hochschule Hannover, Heft 17, 1960.
- FÜHRBÖTER, A.: Zur Mechanik der Strömungsriffel. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Grund- und Wasserbau der Technischen Hochschule Hannover, Heft 29, 1967.
- FRANZIUS-INSTITUT: Berechnung des Feststofftransportes in der mittleren Hunte, unveröffentlicht, 1960.
- NASNER, H.: Über das Verhalten von Transportkörpern im Tidegebiet. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Technischen Universität Hannover, Heft 40, 1974a.
- NASNER, H.: Dynamisches Verhalten von Transportkörpern, Vergleiche von Messungen in der Natur und im Modell. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Technischen Universität Hannover, Heft 40, 1974b.
- WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION BREMEN: Mittlere Strömungsgeschwindigkeiten in der Unterweser für die Oberwassermengen  $Q_0 = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $282 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  bei mittlerer Tide, unveröffentlicht, 1972.
- WIENROTH, W.: Untersuchungen über die Förderung von Sand-Wasser-Gemischen durch Rohrleitungen und Kreiselpumpen. Dissertation, Technische Hochschule Hannover, 1967.