

Untersuchungen zur Pendelbewegung von Tideripplern im Heppenser Fahrwasser (Innenjade)¹

Von Johannes Ulrich

Summary

Systematic surveys, which were carried out in the area of the Heppenser Fahrwasser (Inner Jade, German Bight) from 1968 until 1971, resulted in new insights concerning short-term tidal oscillations at large-scale sand ripples. These motion processes were repeatedly studied on the same track during two tidal periods (September 14, 1970 and July 8, 1971). The motions of the ripples fixed on numerous echograms were subject to statistical analysis.

Inhalt

1. Vorbemerkung	112	4.1 Rippelformen	117
2. Problemstellung	113	4.2 Langfristige Umlagerungen	118
3. Vermessungs- und Auswertungsmethode	113	4.3 Kurzfristige Pendelbewegungen	119
4. Morphologische Ergebnisse	117	5. Schlußbemerkung	120
		6. Zusammenfassung	120
		7. Schrifttum	120

1. Vorbemerkung

Im Rahmen einer großräumigen Bestandsaufnahme der für die Sandbewegungsvorgänge im deutschen Nordsee-Küstenbereich typischen Bodenformen konnten zahlreiche Gebiete mit relativ hohen Sandrippeln ermittelt und kartiert werden (J. ULRICH, 1973). Ein großer Teil von ihnen liegt in den durch Gezeitenströme besonders stark beeinflussten Mündungstrichtern der großen Flüsse, wodurch deren Fahrwasserrinnen ständigen Veränderungen unterworfen sind. Um diese Reliefänderungen der Gewässersohle zu erfassen, sind regelmäßig zu wiederholende, engabständige Vermessungsarbeiten erforderlich, deren kontinuierliche Durchführung sich vor allem in stark befahrenen Gebieten als außerordentlich schwierig erweist.

Besonders die Messung kurzzeitiger Bewegungsvorgänge, die sich innerhalb weniger Stunden oder während einer Tide abspielen, ist in einem verkehrsreichen Gewässer nur schwer möglich. Außerdem werden die Hauptfahrwasser zumeist durch Bagger- und Schütтарbeiten mehr oder weniger beeinflusst, so daß die naturgegebenen Verhältnisse gestört sind. Aus diesen Gründen wurde ein Testfeld ausgewählt, das sich für Untersuchungen über Bewegungsvorgänge bei Sandrippeln besonders gut eignete, aber dennoch abseits vom Hauptschiffahrtsverkehr gelegen ist, nämlich das in einem Seitenarm der Innenjade gelegene Heppenser Fahrwasser (Abb. 1). Größere Seegangsstörungen treten hier relativ selten auf, und mit Baggerarbeiten oder mit der Verklappung von Material brauchte in diesem Gewässer bisher nicht gerechnet zu werden. Ferner scheiden hier Störfaktoren wie die Oberwasserführung in Flußmündungen, die mit Abflussschwankungen verbunden sein kann, aus, so daß die Untersuchungen im Gegensatz zu denen in der Unterelbe (H. GÖHREN, 1971) oder im Bereich des Rio Paraná (T. STÜCKRATH, 1969) unter den „vereinfachenden“ Bedingungen im reinen Gezeitenstromrhythmus erfolgen konnten. Die Wassertiefen betragen hier etwa 8–12 m (unter SKN), Bezugspunkt war der in unmittel-

¹) Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Günter DIETRICH (Kiel) zum Gedenken.

barer Nähe des Untersuchungsgebietes (1000 m vom Zentrum des Testfeldes entfernt) gelegene Pegel Voslapp.

2. Problemstellung

Schon die Auswertung der Vermessungsergebnisse des Deutschen Hydrographischen Instituts und des Wasser- und Schiffsamtes Wilhelmshaven sowie die eigenen Lotungsergebnisse von 1968/69 aus dem Bereich des Heppenser Fahrwassers ließen eine besondere Häufung verschiedenartiger Riesen- und Großrippeln erkennen, deren Kämme quer zur Fahrwasser-richtung lagen. Über Form und Gefüge dieser stellenweise bis zu 3 m hohen Rippeln liegen bereits Untersuchungen von F. WUNDERLICH (1969) vor. Ein Vergleich der Echogramme einiger deckend liegender Längskurse aus den Jahren 1968/69 führte zu der Vermutung, daß bei den einzelnen Rippeln zumindest ein Teil der Sedimente Umlagerungserscheinungen ausgesetzt ist und daß möglicherweise Pendelbewegungen der Rippelkämme im Gezeitenrhythmus auftreten, die mit Hilfe einer geeigneten Vermessungsmethode erfolgreich untersucht werden können. Es handelt sich hierbei um zwei Phänomene, nämlich:

- die langfristigen Umlagerungs- (bzw. Auf- und Abbau-) Vorgänge und
- die kurzfristigen Pendelbewegungen und Umformungen der Rippeln oder ihrer Kämme.

3. Vermessungs- und Auswertungsmethode

In Ermangelung eines optimalen, aber auch kostspieligen lottechnischen Verfahrens (z. B. mit Hilfe fest installierter Geräte zur kontinuierlichen Messung der Sedimentbewegung am Boden sowie der ortsfesten Beobachtung von Einzelrippeln und ihrem Verhalten im Tidestrom) wurden die Vermessungsarbeiten mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nach der herkömmlichen Methode der Echolotung vom fahrenden Schiff aus vorgenommen, und zwar im Rahmen der hierbei möglichen technischen und navigatorischen Genauigkeiten. Durch die bereitwillige Unterstützung des Wasser- und Schiffsamtes Wilhelmshaven konnte das Seezeichenfahrzeug „Kurt Burkowitz“ für die Untersuchungen benutzt werden. Das Schiff besitzt eine moderne 210-kHz-Atlas-Echolotanlage (ATLAS-DESO 10, AN 1021, Öffnungswinkel des Schwingers 10°). Die Ablesegenauigkeit der Echogramme kann bei einwandfreien Aufzeichnungen (bei ruhiger See) optimale Werte von ± 5 cm erreichen.

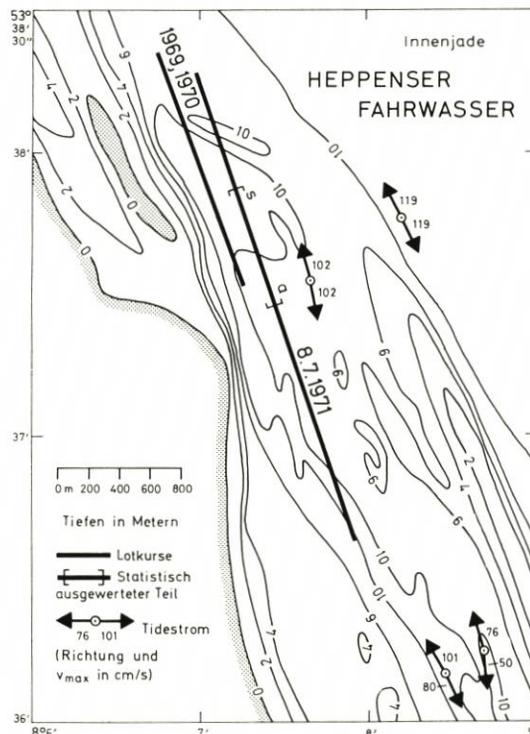


Abb. 1. Kurskarte für die Vermessungsfahrten von S.F. „Kurt Burkowitz“ im Heppenser Fahrwasser (mit Tiefenlinien, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit)

Außer zahlreichen einzelnen Peilfahrten fanden zwei jeweils eintägige Meßfahrten im Bereich des Heppenser Fahrwassers statt, deren Ergebnisse nachfolgend analysiert werden sollen.

Bei der ersten Fahrt am 14. 9. 1970 wurde in der Zeit von 8.16 Uhr bis 17.30 Uhr ein bereits 1969 mehrfach abgelotetes Profil systematisch (kontinuierlich) während einer Tide vermessen. Hierbei sind insgesamt 32 Kurse alternierend auf der etwa 3 km langen Lotlinie gefahren worden, wobei die Navigation während dieser ersten Fahrt lediglich mit DECCA-Ortung erfolgen konnte, so daß ein Teil der Profile wegen zu großer Kursabweichung (± 100 m) für eine exakte Auswertung nicht brauchbar war. Doch die Analyse der deckend (oder nahezu deckend) liegenden Kurse erbrachte immerhin erste Erkenntnisse zur Frage der langfristigen Bewegungsvorgänge, da ein exakter Vergleich zu einem am 16. Oktober 1969 auf dem gleichen Peilkurs gefahrenen Profil gegeben war (Abb. 2 oben).

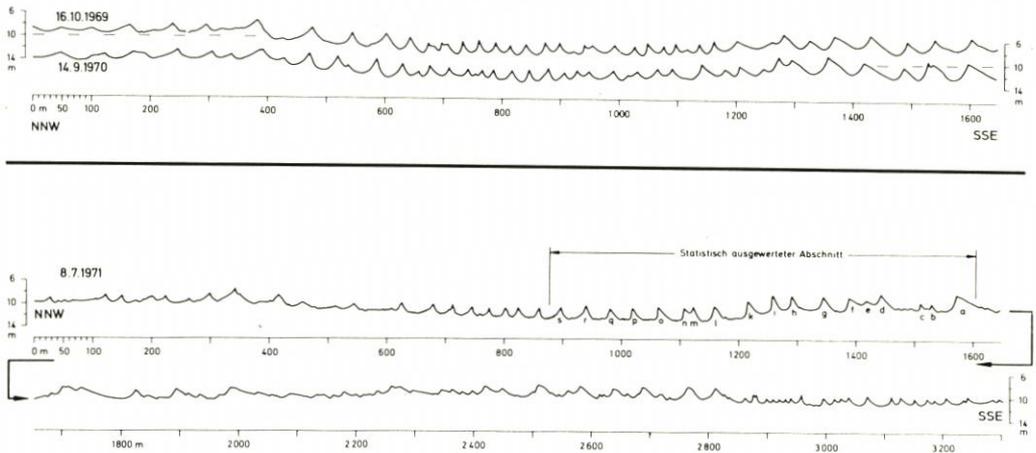


Abb. 2 (oben). Vergleich zweier Echolotprofile aus den Jahren 1969 und 1970 in einem ausgewählten Abschnitt des Heppenser Fahrwassers (unten). Echolotprofil des gesamten am 8. 7. 1971 in kontinuierlichen Wiederholungen während einer Tide gefahrenen Vermessungskurses (Profil Nr. 11, vgl. Abb. 5)

Auf Grund der im Jahre 1970 gesammelten Ergebnisse, die hier auszugsweise in 8 entzerrten Echolotprofilen wiedergegeben sind (Abb. 3), führte das gleiche Schiff am 8. Juli 1971 eine zweite konzentrierte Vermessung auf einem nahezu parallel verlaufenden Kurs in unmittelbarer Nähe durch (Lage s. Abb. 1). Hierbei wurde eine etwa 3,3 km lange Strecke in der Zeit von 6.38 bis 18.26 Uhr insgesamt 59mal während einer Tide abgelotet (Pegelstände s. Abb. 6). Als zusätzliches Navigationsmittel wurde diesmal ein optisches Peilverfahren mit Hilfe von zwei verankerten Radarbojen verwendet. Da die tidestrombedingten Schwoibewegungen der Bojen etwa in Kursrichtungen erfolgten, konnten die damit verbundenen Positionsfehler bei der Auswertung vernachlässigt werden.

Die durch geringe Stromversetzungen dennoch zeitweise auftretenden seitlichen Abweichungen von der Lotlinie wurden für die gesamte Strecke und ihre einzelnen Abschnitte statistisch erfaßt. Es stellte sich heraus, daß immerhin 38,5 % der Lotstrecke Abweichungen von höchstens ± 4 m aufweisen. Bei nur 18,5 % lagen die Werte über ± 20 m. Auf Grund dieser Berechnungen wurde ein besonders gut geeigneter Abschnitt zur statistischen Analyse hinsichtlich der Formveränderungen einzelner Rippeln ausgewählt (Lage dieses Testabschnittes s. Abb. 1).

Es sei hier erwähnt, daß durch die in stetem Wechsel gegenläufig gefahrenen Kurse keine Verfälschungen bei den Aufzeichnungen beobachtet wurden, so daß auch die jeweiligen Gegen-

HEPPENSER FAHRWASSER

Nach Lotungen durch S.F. „Kurt Burkowitz“ am 14. 9. 1970

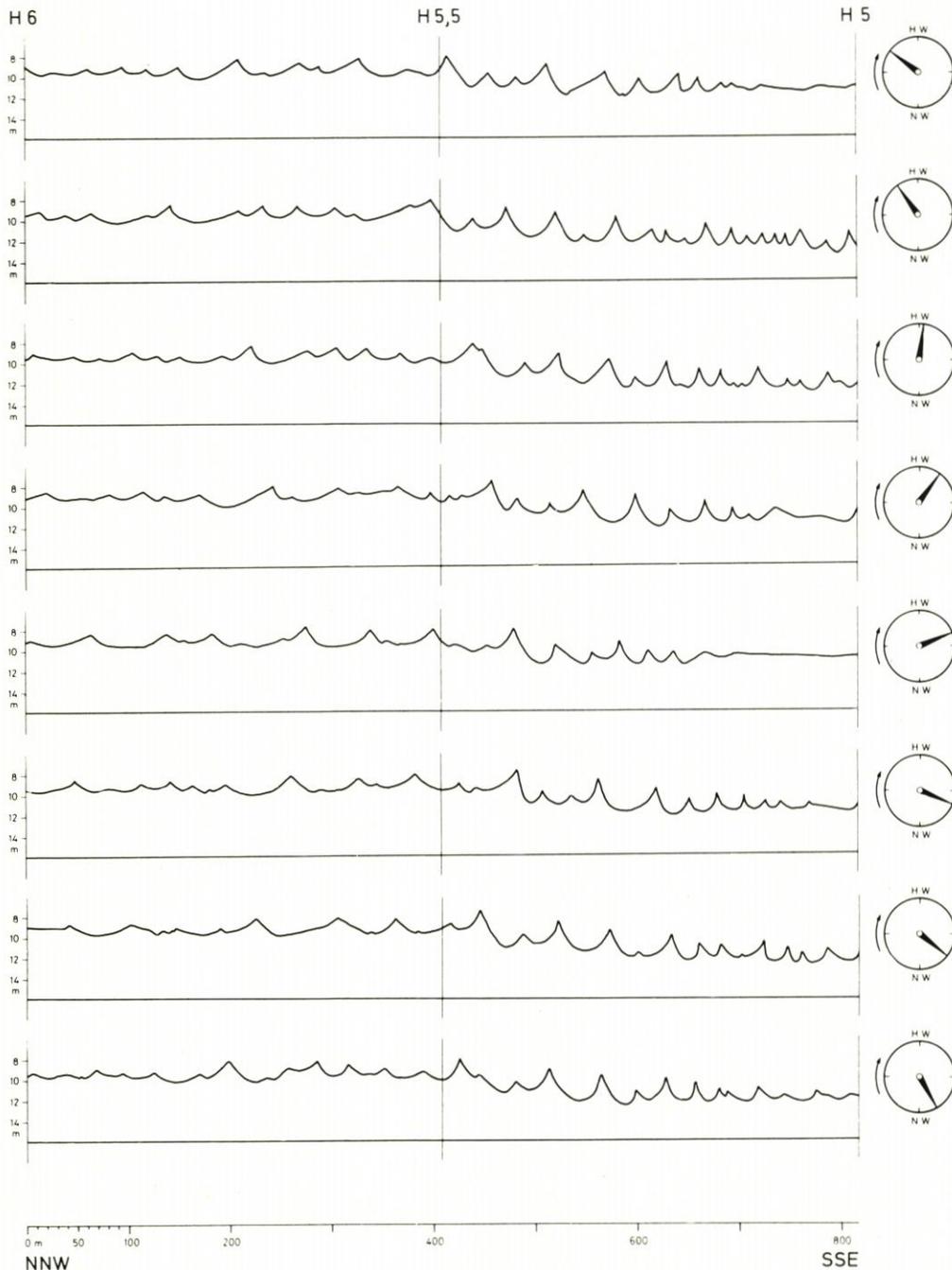
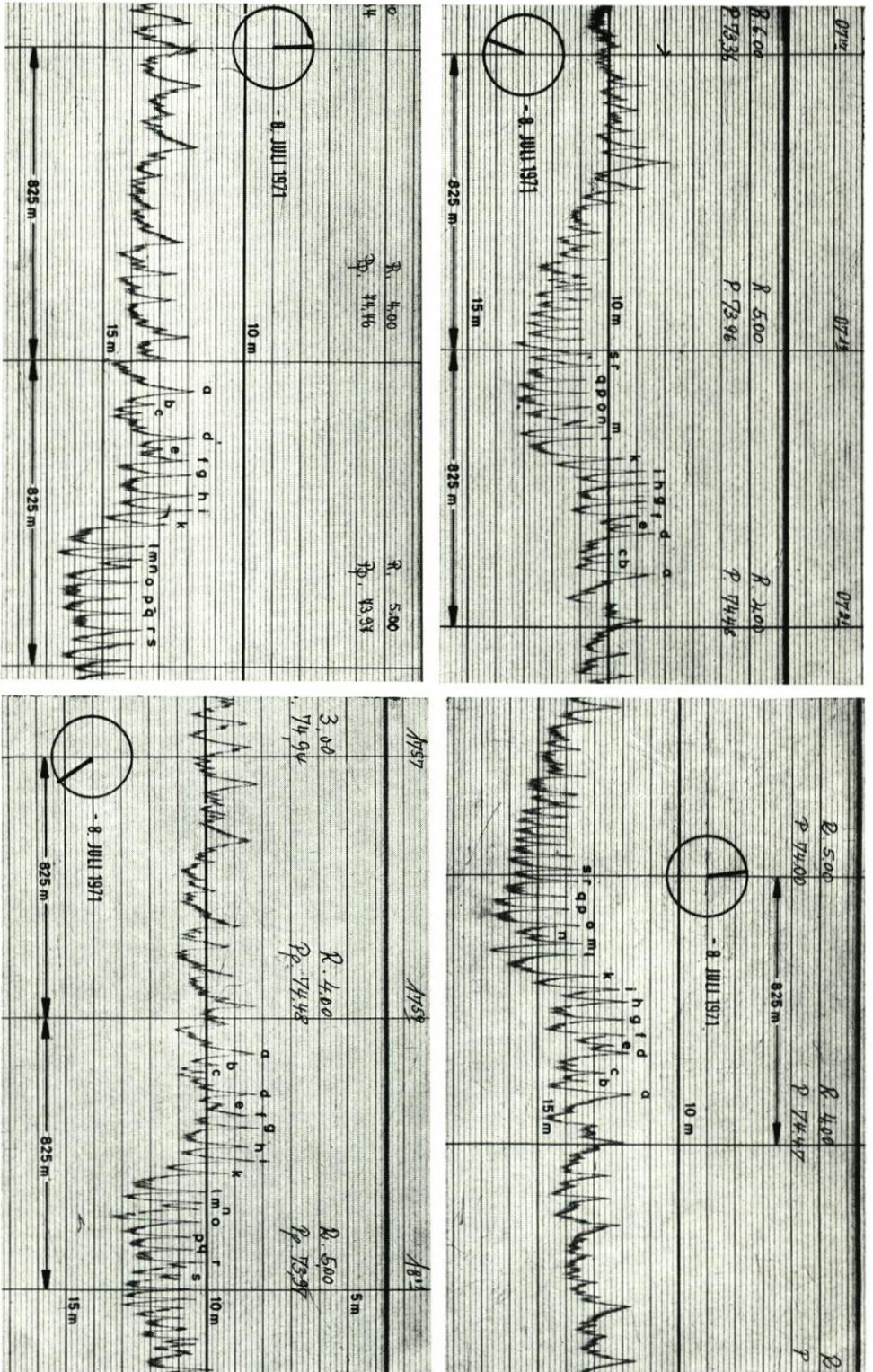


Abb. 3. Ausgewählte Echolotprofile der Vermessungsfahrt vom 14. 9. 1970 während einer Tide (Kurs s. Abb. 1)

Abb. 4. Ausschnitte aus Originalenodogrammen mit tideabhängigen Sandrippeln aus dem Heppenser Fahrwasser (Profile Nr. 4, 30, 31 und 37, vgl. Abb. 5), registriert mit dem Atlas-Echolot von S.F. „Kurt Burkowicz“ am 8. 7. 1971



kurse voll in die Analyse einbezogen werden konnten. Um Wind- und Stromversetzungen während der Meßfahrt möglichst kleinzuhalten, mußte eine relativ hohe Fahrtgeschwindigkeit (ca. 11 kn) eingehalten werden, wodurch trotz maximalen Papiervorschubs im Echogramm eine ziemlich enge Scharung der Rippeln zustande kam (Abb. 4 a-d).

Dennoch lassen die sehr klaren Aufzeichnungen bei detaillierter Betrachtung Formveränderungen bei den Rippelprofilen eindeutig erkennen. Daß solche Veränderungen im Rahmen eines tidebedingten Sandtransportes zu erwarten sind, ergibt sich bereits aus früheren Untersuchungen über die Sedimentbewegungen und die hydrographischen Verhältnisse im Bereich der Innenjade (W. KRÜGER 1922, M. GILLBRICHT 1956, F. WUNDERLICH 1969) sowie aus den Strömungsmessungen, die vom WSA Wilhelmshaven in diesem Gebiet durchgeführt wurden (Abb. 1). Bei der Tiefenlage der Gewässersohle von 8-12 m wurde im Heppenser Fahrwasser 3 m über Grund ein repräsentatives 14tägiges mittleres Maximum der Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/sec gemessen.

Für die morphologische Auswertung und die zeichnerische Darstellung in Echotprofilen war lediglich eine Beschickung nach dem jeweiligen Wasserstand (Pegel Voslapp) erforderlich. Die Messungen am 8. 7. 1971 erfolgten zur Zeit einer Springtide bei einem Tidenhub von

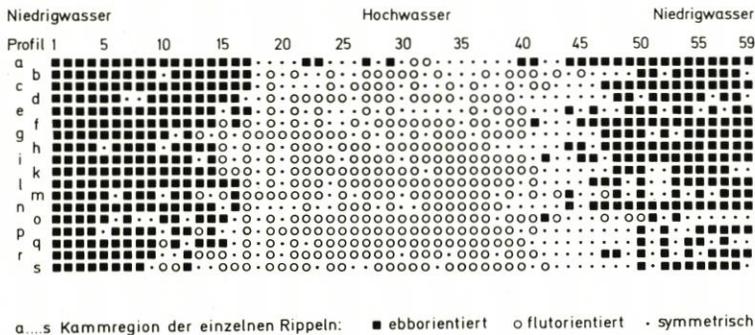


Abb. 5. Statistische Darstellung der Pendelbewegungen einzelner Sandrippeln in einem ausgewählten Abschnitt (a bis s) des Heppenser Fahrwassers (Lage s. Abb. 1)

3,80 m. Ortsschallgeschwindigkeit und Schwingertiefenlage sind von vornherein in den Registrierungen berücksichtigt. Die Lotprofile wurden im Maßstab 1 : 5000 bei 10facher Überhöhung dargestellt. Für die statistische Analyse der Teilstrecke a bis s wurden die Echogramme sämtlicher 59 Kurse benutzt (Abb. 5), da infolge der deckenden Lage der Lotlinien die Vergleichbarkeit der während einer Tide erfolgten Lotungen gegeben war und die Identität der einzelnen Riesen- und Großrippeln von Profil zu Profil feststand. Daher konnten Form- und Neigungsveränderungen über die gesamte Tide hinweg bei den Rippeln verfolgt werden.

4. Morphologische Ergebnisse

4.1 Rippelformen

Bei den im Heppenser Fahrwasser auftretenden Tiderippeln handelt es sich um symmetrische und asymmetrische Riesen- und Großrippeln im Sinne der von H. E. REINECK et al. (1971) veröffentlichten Einteilung der Rippeln. Stellenweise sind ihnen kleinere Rippeln aufgesetzt oder zwischengeschaltet. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß diese nur im Echogramm erkenn-

bar werden, wenn sie Höhen von zumindest 10 cm erreichen. Nach der o. a. Rippelnomenklatur gelten sie dann jedoch bereits als Großrippeln. Riesenrippeln mit Höhen von über 2 m bis zu 2,60 m und einer Länge von ca. 75 m treten vor allem im SSE-Teil des Lotabschnittes auf. Bei den meisten der statistisch ausgewerteten 18 Einzelrippeln handelt es sich um etwa 2 m hohe asymmetrische Riesenrippeln mit z. T. sehr steilen Leehängen in der Kammregion ($> 30^\circ!$) und Kammabständen von 30 bis 60 m.

Zwischen ihnen (in der Sohlenregion) treten zumeist kleinere Großrippeln dichtgedrängt auf. Ihre Länge beträgt nur etwa 1–2 m, ihre Höhe 10 bis 30 cm²⁾. Ob es sich hierbei um wandernde Großrippeln ähnlich den kürzlich von J. H. J. TERWINDT (1971) an den Flanken von Sandwellen beobachteten „Mega-Strömungsrippeln“ handelt oder ob diese Rippeln ihre Lage generell beibehalten, konnte nicht eindeutig geklärt werden. Ebenso mußte auf eine weitergehende Analyse der einzelnen Rippeln bzw. auf eine Mittelwertbildung aus einer Spektralverteilung der Höhen und Längen unter Verwendung der Gleichungen von A. FÜHRBÖTER (1967) wegen der stark gerafften Darstellung der Rippelprofile im Echogramm hier verzichtet werden.

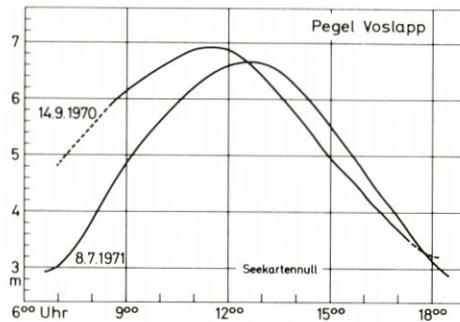


Abb. 6. Pegelkurven während der Vermessungszeiten am 14. 9. 1970 und am 8. 7. 1971 (Pegel Voslapp)

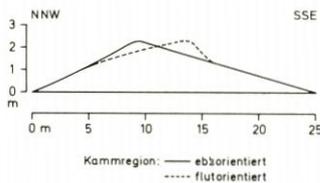


Abb. 7. Schematische Darstellung der Pendelbewegung eines Rippelkammes im Flut- und Ebbstrom, den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet entsprechend

4.2 Langfristige Umlagerungen

Vergleicht man die Vermessungsergebnisse im Zeitraum mehrerer Jahre miteinander, so sind keine großräumigen Verlagerungserscheinungen bei den Riesenrippeln erkennbar. Selbst kleinräumige Bewegungen von Rippeln konnten nur stellenweise beobachtet werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß es in den letzten Jahren keine außergewöhnlichen Sturmfluten gab, die möglicherweise zu größeren (oder zumindest meßbaren) Umlagerungen und zur

Wanderung von Rippeln hätten führen können. Auch ein detaillierter Vergleich der Echolotprofile eines im Jahresabstand wiederholt abgefahrenen Peilkurses läßt keine langfristigen Verlagerungsvorgänge erkennen. Die beiden Lotprofile vom 16. 10. 1969 und vom 14. 9. 1970 (Abb. 2 oben) zeigen keine wesentlichen Unterschiede. Das Rippelfeld ist in seiner Gesamtheit erhaltengeblieben, aber auch die einzelnen Riesen- und Großrippeln behielten ihre Lage und ihre Form generell bei.

Diese Befunde entsprechen den Untersuchungsergebnissen von W. KRÜGER (1922), nach denen sich seit 1859 keine Verschiebung der größeren Unterwasserbänke in der Innenjade feststellen ließ, während die Außenjade wiederholt starken Veränderungen unterworfen war (H. GÖHREN 1965).

²⁾ Länge und Höhe der Rippeln wurden auf Grund der von J. C. HARMS (1969) gegebenen Begriffsbestimmungen festgelegt.

Um die langfristigen Rippelbewegungsvorgänge auch über extreme Sturmflutperioden hinweg zu erfassen, sind allerdings regelmäßige Vermessungsarbeiten mit engabständigen Lotkursen erforderlich, und zwar über Jahrzehnte hinweg. Im Heppenser Fahrwasser erscheint jedoch die Durchführung solcher Vergleichsmessungen wegen der geplanten Umgestaltung der Gewässersohle durch technische Projekte in naher Zukunft nicht mehr sinnvoll.

4.3 Kurzfristige Pendelbewegungen

Die statistische Auswertung der 59 Echogramme vom 8. 7. 1971 hat – zumindest für den ausgewählten ca. 800 m langen Abschnitt – einige eindeutige Erkenntnisse zur Frage der Pendelbewegung von Rippeln innerhalb einer Springtide erbracht. Die mittlere Höhe der einzelnen, in jedem Profil wiederzufindenden Riesen- bzw. Großrippeln beträgt etwa 2 m, ihre mittlere Länge – die hier oft dem Kammabstand entspricht – ca. 45 m. Daher ist $\frac{L}{H} = 22,5$ der Rippelprofil-Durchschnittswert. In Abbildung 4 sind die Formveränderungen, die nur die Kammregion (d. h. etwa das obere Drittel des Sandrippelkörpers) betreffen, erkennbar. Sämtliche Rippelkämme führen eine „horizontale“ Pendelbewegung aus, wobei die Kammspitzen eine Strecke von etwa 5 m während einer Tide zurücklegen. Diese sedimentären Umlagerungen führen zu einer Umkehr der Neigungsverhältnisse im Tidestromrhythmus (vgl. Abb. 7). Die Rippeln nehmen bei ablaufendem Wasser eine ebborientierte Form an, die sie über die Niedrigwasserphase hinweg beibehalten. Das „Umschlagen“ der Kämme zur Flutstromrichtung hin erfolgt bei den einzelnen Rippeln (a bis s) zu verschiedenen Zeiten während des auflaufenden Tidestromes. Symmetrische Formen treten hierbei seltener (kurzzeitiger) auf als bei dem entgegengesetzten Vorgang, d. h. beim Kentern von Flut- zu Ebborientierung. In dieser Ebbstromphase gibt es eine relativ lange Symmetriesituation bei den Kämmen der meisten Rippeln (vgl. Abb. 5, Profile Nr. 42 bis 46).

Betrachtet man die Häufigkeit des Auftretens von Ebb- bzw. Flutorientierung bei den Rippelkämmen des Testabschnittes, so läßt sich eine größere Häufigkeit der Flutorientierung im NNW des Abschnittes erkennen. Ein Vergleich mit der bathymetrischen Situation (Abb. 1) und den vier Echogrammausschnitten (Abb. 4 a–d) zeigt, daß die zu mehr als 50 % flutorientierten Rippeln (Rippel m bis s) in einem Teilgebiet mit etwas (rund 2 m) größerer Wassertiefe liegen, wo offenbar die Ebbstromwirkung auf die Bodensedimente weniger stark ist. Demgegenüber behält der (etwas separat) im SSE gelegene Rippel a seine Ebborientierung sogar über die Hochwasserphase hinweg weitgehend bei.

Die statistischen Auswertungsergebnisse lassen ferner erkennen, daß die Form der Rippeln im allgemeinen nicht genau den augenblicklichen Strömungsbedingungen entspricht. Wie bereits H. G. DILLO (1960) feststellte, hängt die Rippelform stets von der Einwirkungsdauer und der Größe früher vorhandener Strömungsgeschwindigkeiten ab. Es sei schließlich darauf hingewiesen, daß die Vermessungskurse auf Grund der seit 1968 auf 121 Lotprofilen gesammelten Erfahrungen quer über die hier annähernd parallel verlaufenden Rippelkämme gelegt wurden. Weitergehende detaillierte Aussagen über das Relief des submarinen Testfeldes, d. h. über Form und Ausdehnung der Rippeln sowie über den Verlauf der Rippelkämme zu beiden Seiten der Lotlinie und deren sedimentäre Umlagerungen sind auf Grund dieser linienhaften Lotungen mit einem Schiff nicht möglich. Hierfür sind engabständige synoptische Vermessungsarbeiten mit mehreren Schiffen, möglichst unter Verwendung moderner Flächenecholote, erforderlich. Lediglich die flächenhafte Ausdehnung des Rippelfeldes konnte auf Grund der Vermessungsergebnisse des Deutschen Hydrographischen Instituts erfaßt werden (siehe Rippeltypenkarte Nr. 15 in J. ULRICH 1973).

5. Schlußbemerkung

Diese Untersuchungen waren nur möglich auf Grund der Weiterentwicklung der modernen Lotungstechnik. Die hier angewandte Vermessungsmethode läßt sich ohne weiteres auch in anderen, ähnlichen Testfeldern (z. B. Lister Tief) durchführen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei für die Unterstützung, die diesen Arbeiten im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ gewährt wurde, besonders gedankt.

Auch dem Wasser- und Schiffsamt Wilhelmshaven gebührt Dank für die Durchführung der Vermessungsarbeiten mit dem Seezeichenfahrzeug „Kurt Burkowitz“; Herrn Kapitän MEESMANN und den Besatzungsmitgliedern des Schiffes sei für die stets gewissenhafte Durchführung der viel Geduld erfordernden Vermessungsarbeiten ein besonderer Dank ausgesprochen.

6. Zusammenfassung

Systematische Vermessungsarbeiten im Heppenser Fahrwasser, die in den Jahren 1968 bis 1971 mit dem Seezeichenfahrzeug „Kurt Burkowitz“ durchgeführt wurden, erbrachten neue Erkenntnisse über die kurzfristigen Pendelbewegungen bei Tiderippeln. Die Untersuchungen erfolgten im wesentlichen auf zwei Kursbahnen (Abb. 1). Für den langfristigen Vergleich wurden hier zwei positionsdeckend liegende Profile aus den Jahren 1969 und 1970 ausgewählt (Abb. 2 oben); die kurzfristigen Bewegungsvorgänge wurden durch wiederholtes Abfahren des gleichen Kurses jeweils während einer Tide am 14. 9. 1970 (Abb. 2 oben und Abb. 3) und am 8. 7. 1971 (Abb. 2 unten) erfaßt. Die aus den Echogrammauswertungen resultierenden Formänderungen wurden statistisch analysiert (Abb. 5).

Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

1. Der langfristige Vergleich der Profilformen und der topographischen Lage der Tiderippeln ergab keine Hinweise auf signifikante Bewegungsvorgänge im Untersuchungszeitraum (1968 bis 1970). Wesentliche Tiefenänderungen konnten nicht beobachtet werden.
2. Kurzfristige Pendelbewegungen konnten in der *Kammregion* (d. h. im oberen Drittel) sämtlicher Riesen- und Großrippeln des statistisch ausgewerteten Abschnittes im Zeitraum einer Springtide beobachtet werden. Nur selten kam es zu einer völligen Umkehr der Luv- und Leehänge der Rippeln auch unterhalb der Kammregion.
3. Die Profilform der Rippeln unterliegt hier einem ständigen Wechsel von ebborientierter Asymmetrie über Symmetrie zu flutorientierter Asymmetrie entsprechend dem Tideablauf.
4. Die Pendelstrecke der Kammspitzen beträgt etwa 5 m.

7. Schrifttum

1. DILLO, H. G.: Sandwanderung in Tideflüssen. Mitteil. Franzius-Inst. Grund- u. Wasserbau 17 (1960), 135-253.
2. GOEHREN, H.: Beitrag zur Morphologie der Jade- und Wesermündung. Die Küste 13 (1965), 140-146.
3. GOEHREN, H.: Untersuchungen über die Sandbewegung im Elbmündungsgebiet. Hamburger Küstenforsch. 19 (1971).
4. FÜHRBÖTER, A.: Zur Mechanik der Strömungsriffel. Mitteil. Franzius-Inst. Grund- u. Wasserbau 29 (1967).
5. GILLBRICHT, M.: Die Hydrographie des Jadebusens und der Innenjade. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven 4 (1956), 153-170.
6. HARMS, J. C.: Hydraulic Significance of Some Sand Ripples. Geol. Soc. Am. Bull. 80 (1969), 363-396.

7. KRÜGER, W.: Die Jade, das Fahrwasser Wilhelmshavens, ihre Entstehung und ihr Zustand. Jber. Hafenbautechnische Ges. 4 (1922), 268-284.
8. REINECK, H. E., SINGH, I. B., und WUNDERLICH, F.: Einteilung der Rippeln und anderer mariner Sandkörper. Senckenberg. marit. 3 (1971), 93-102.
9. STÜCKRATH, T.: Die Bewegung von Großriffeln an der Sohle des Rio Paraná. Mitteil. Franzius-Inst. Grund- u. Wasserbau 32 (1969), 267-293.
10. TERWINDT, J. H. J.: Sandwaves in the southern Bight of the North Sea. Marine Geol. 10 (1971), 51-67.
11. ULRICH, J.: Die Verbreitung submariner Riesen- und Großrippeln in der Deutschen Bucht. (In Vorbereitung, 1973.)
12. WUNDERLICH, F.: Studien zur Sedimentbewegung. 1. Transportformen und Schichtbildung im Gebiet der Jade. Senckenberg. marit. 1 (1969), 107-146, Senckenberg am Meer, No. 279.