

# Vergleichende Vermessung der Sohlage in einem Unterweserquerschnitt innerhalb der Schlickstrecke bei Nordenham

Von HELMUT MÜLLER

## Zusammenfassung

Veranlaßt durch die Untersuchungsergebnisse einer im Rahmen des KFKI-Projektes „Schlick und Schwebstoffe in Ästuaren“ im Frühjahr 1984 durchgeführten Rasterpeilung im Bereich der Schlickstrecke der Unterweser bei Nordenham, sind im Herbst 1984 vom Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven nochmals umfangreiche Vermessungen der Gewässerseele in einem ausgewählten Querschnitt durchgeführt worden. Diese Untersuchungen hatten zum Ziel, mit zwei unterschiedlichen Echolotfrequenzen die Schlickmächtigkeit und ihre zeitliche Veränderung zu ermitteln und Abhängigkeiten zwischen beobachteten Schlickerosionen oder -sedimentationen und gleichzeitig gemessenen möglichen Einflußparametern aufzuzeigen.

Die sich ergebenden Schwierigkeiten aus den Genauigkeitsanforderungen an die Meßwert-erfassung bei der Vermessung werden anhand der Meßergebnisse erläutert und Zusammenhänge zwischen Sohlveränderungen und mehreren Einflußfaktoren dargelegt.

## Summary

*Based on the measurement results obtained in the spring of 1984 in the context of the KfKI research project "Mud and Suspended Matter in Estuaries", extensive surveys of the bottom topography of a selected cross section of the Weser Estuary were repeated in the fall of 1984 by the Water and Shipping Authority, Bremerhaven. The goals of these investigations were to measure the mud thickness based on sonar measurements using two different frequencies and to determine temporal changes associated with erosion and deposition as well as the parameters affecting these processes.*

*Problems associated with the required accuracy in the data acquisition are illustrated using measurement results. Dependencies between morphological changes and several parameters are indicated.*

## Inhalt

1. Einführung . . . . .	210
2. Veranlassung . . . . .	211
3. Wiederholungspeilungen während einer Halbtide . . . . .	211
3.1 Durchführung der Peilungen . . . . .	211
3.2 Strömungsgeschwindigkeit, Salzgehalt und Wassertemperatur . . . . .	213
3.3 Vorstellung der Peilergebnisse . . . . .	213
3.4 Interpretation der Ergebnisse . . . . .	214
4. Querpeilungen zu unterschiedlichen Terminen . . . . .	218
4.1 Veranlassung und Durchführung . . . . .	218
4.2 Vorstellung der Peilergebnisse . . . . .	219
4.3 Oberwasserabfluß, Tideparameter, Leitfähigkeit, Wassertemperatur . . . . .	219
4.4 Diskussion der Ergebnisse . . . . .	223
4.5 Einfluß von Baggerungen auf die Ergebnisse . . . . .	224
5. Schlußbemerkungen . . . . .	225

## 1. Einführung

Zu den Hauptaufgaben der Wasser- und Schiffsverkehrsverwaltung des Bundes (WSV) im Küstenbereich zählt die ständige Vorhaltung einer festgelegten Solltiefe der Hauptschiffahrtswege zur Gewährleistung einer sicheren und leichten Abwicklung des Schiffsverkehrs zu den deutschen Seehäfen. Der Zuständigkeitsbereich des Wasser- und Schiffsverkehrsamtes Bremerhaven innerhalb der WSV erstreckt sich von Weser-km 40 (Brake) bis über die Ansteuerungstonne der Außenweser hinaus. Die Erhaltung und Verbesserung bestehender Ausbauzustände der Unter- und Außenweser erfordern fortwährende kostenintensive strombauliche Unterhaltungs- und Neubaumaßnahmen sowie Unterhaltungsbaggerungen.

Besonders in der Brackwasserzone der Unterweser mit der Hauptschlickfallstrecke zwischen km 51 und km 65 müssen jährlich erhebliche Mengen Baggergut mit einem Laderaum-Saugbagger (Hopperbagger) zur Erhaltung der Solltiefe in der Fahrrinne aufgenommen werden (1984: rd. 3 Mio. m<sup>3</sup>).

Aufgrund der Auswertung der Baggerergebnisse wurde 1978 das bis dahin angewandte Überlaufverfahren bei der Schlickbaggerung, bei dem der Schlick nur aufgenommen und anschließend dem Strom gleich wieder zugeführt wurde, umgestellt auf eine Verklappung des Schlickes in der Außenweser unter Hinnahme der zeitaufwendigen längeren Transportwege.

Baggerungen werden immer dann erforderlich und umgehend veranlaßt, wenn aufgrund der Auswertung sogenannter Verkehrssicherungspeilungen Mindertiefen in der Fahrrinne festgestellt werden. Zur Erfüllung der Peilaufgaben verfügt das Wasser- und Schiffsverkehrsamt Bremerhaven über ein Vermessungsmutterschiff mit zwei Peiljollen, die mit 15-kHz- und 100-kHz-Echoloten ausgerüstet sind.

In der Schlickstrecke der Unterweser wird die „feste“ Gewässersohle von einer Schlickschicht unterschiedlicher Mächtigkeit und Dichte überlagert. Da bei der Echolotung mit den beiden verwendeten Schallfrequenzen die höherfrequenten Schallimpulse ein geringeres Eindringvermögen aufweisen und schon an der Sprungschicht im Übergangsbereich Wasser-Schlick reflektiert werden, kann die Schlickmächtigkeit erfaßt werden. Da aber bisher noch keine genauen Kenntnisse über die Schlickdichte in Höhe des Reflexionshorizontes und über den Dichtegradienten bis zur festen Sohle sowie über das Manövrierverhalten von Schiffen beim Durchfahren von Schlick vorliegen, wird bei den Verkehrssicherungspeilungen in der Unterweser der erfaßte 100-kHz-Horizont aus Sicherheitsgründen für die Großschiffahrt als Ist-Tiefe angenommen.

In Unkenntnis der tatsächlichen Schlickdichteverhältnisse an der Gewässersohle sowie der zeitlichen Veränderung der Höhenlage des erfaßten Schlickhorizontes führt diese praktizierte Verfahrensweise zu einem erhöhten Baggerbedarf, da nach den bisherigen Erfahrungen davon ausgegangen werden kann, daß auch „scheinbare Mindertiefen“ von der Echolotanlage aufgezeichnet und als solche bei der weiteren Auswertung nicht immer erkannt werden.

Der heutige geringe Kenntnisstand über die Bildung und Erscheinungsform von Schlick, die Kausalitäten der Schlickablagerung und Schlickerosion, das Konsolidierungsverhalten von Schlick und die Schlickdichte an der Gewässersohle sowie die Schwebstofffracht in einem Gewässerabschnitt werfen etliche Fragen auf, an deren Beantwortung die Wasser- und Schiffsverkehrsverwaltung ein großes Interesse hat. Es werden geeignete praxisingerechte Lösungsvorschläge zur Minimierung der Kosten von Unterhaltungsbaggerungen u. a. durch eine Optimierung des Baggerbetriebes und Verringerung der Baggermengen erwartet. Das seit einigen Jahren geförderte KFKI-Projekt „Schlick und Schwebstoffe in Ästuaren“ mit dem Ziel systematischer Untersuchungen zu einigen der o. a. Fragestellungen muß als ein Weg angesehen werden, die „Schlickprobleme“ weiter aufzuhellen. Die Aktivitäten innerhalb

dieses Projektes im Bereich der Unterweser sind daher vom Wasser- und Schiffsamt Bremerhaven personell und in Form von Geräte- und Schiffsgestellungen aktiv unterstützt worden.

Die folgenden Ausführungen betreffen jedoch Untersuchungen, die vom Wasser- und Schiffsamt Bremerhaven in der Unterweser im Herbst 1984 unabhängig vom laufenden KFKI-Projekt durchgeführt worden sind.

## 2. Veranlassung

Im Rahmen des laufenden KFKI-Schlickprojektes sind im Frühjahr 1984 in der Schlickfallzone der Unterweser bei Nordenham u. a. flächenhaft ausgewertete Sohlpeilungen (Rasterpeilungen) mit einem 15-kHz- und einem 100-kHz-Echolot durchgeführt worden. Diese auf einen mehrwöchigen Zeitraum ausgelegten Untersuchungen sollten Aufschluß geben über die Schlickmächtigkeit und ihre zeitliche Veränderung in Abhängigkeit von der Oberwasserführung, dem Tidegeschehen und weiteren an der Dauermeßstation Nordenham gemessenen Parametern wie Wassertemperatur, Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt. Die Darstellung der erfaßten Reflexionshorizonte und der Vergleich der Ergebnisse mehrerer, in zeitlicher Folge durchgeführter Peilungen ließen bald den Verdacht aufkommen, daß die ermittelten Sohlveränderungen, die innerhalb weniger Tage bis zu mehreren Dezimetern betragen, nicht nur auf die ständig im Gewässer ablaufenden Sedimentations- und Erosionsprozesse zurückzuführen waren. Vielmehr wurde vermutet, daß die Genauigkeitsanforderungen an die Echolotung und Ortung während dieser Peilungen für quantitative Aussagen über mögliche Sohlveränderungen nicht hinreichend erfüllt wurden.

Diese Überlegungen haben das WSA Bremerhaven dazu veranlaßt, nochmals umfangreiche Peilungen mit einem genaueren Ortungsverfahren (Mini-Ranger) und einer modernen Peiljolle in der Schlickstrecke bei Nordenham durchzuführen.

## 3. Wiederholungspeilungen während einer Halbtide

### 3.1 Durchführung der Peilungen

Am 17. 9. 1984 sind in der Zeit von 8.40 Uhr mit Beginn der Ebbphase bis 14.30 Uhr mit Beginn der Flutphase 25 Querpeilungen im Querschnitt Weser-km 57,5 und 4 Längspeilungen zwischen Weser-km 57,0 und Weser-km 58,0 mit einem 15-kHz- und einem 100-kHz-Echolot (Typ Fahrentholz) durchgeführt worden (Abb. 1).

Um Ungenauigkeiten auszuschließen, die sich aus unterschiedlichen Fahrrichtungen ergeben könnten, wurde für die Peilungen eine immer beibehaltene Richtung gewählt. Bei den Querprofilen erfolgte die Meßwertaufnahme von Ost nach West, bei den Längsprofilen von Süd nach Nord.

Es wurde weiterhin versucht, möglichst langsam und gleichmäßig unter Beibehaltung des Sollkurses die Peilstrecken abzufahren. Die digitale Meßwertaufnahme erfolgte alle 2 m. Gleichzeitig wurde zur späteren Kontrolle der Digitalaufzeichnungen die Peiltiefe analog aufgezeichnet. Die Beschickung mit den Ist-Wasserständen erfolgte anhand der Tidekurve am Pegel Nordenham bei Weser-km 57,7.

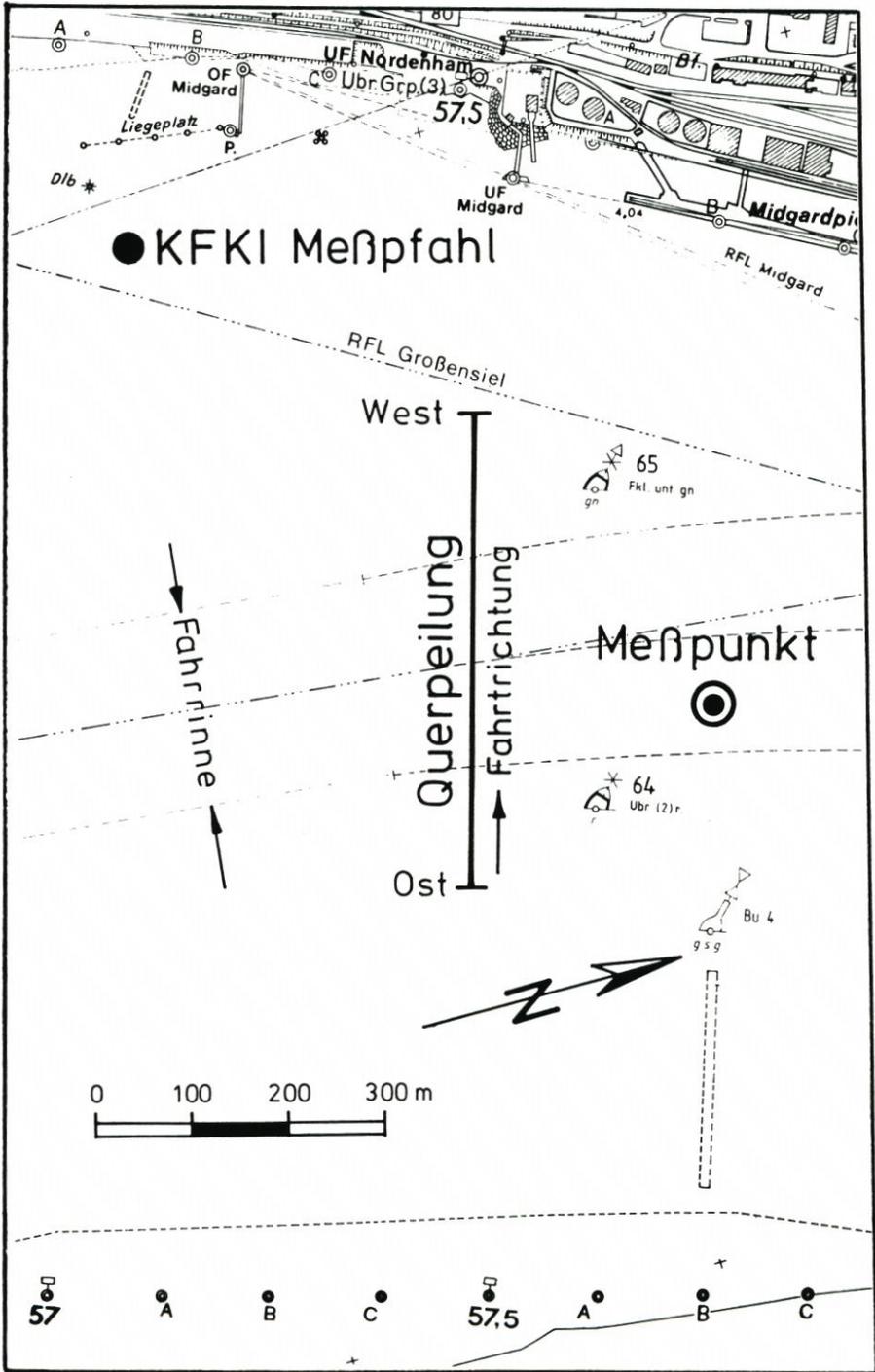


Abb. 1. Lageplan des Querprofils und der Meßstellen in der Unterweser

### 3.2 Strömungsgeschwindigkeit, Salzgehalt und Wassertemperatur

Zur Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit und -richtung, des Salzgehaltes und der Wassertemperatur während dieser Peilungen wurden neben einem vor Anker liegenden Schiff vier Aanderaa-Meßgeräte in unterschiedlicher Wassertiefe ausgesetzt.

Auf Abb. 2 sind die während des Meßzeitraumes vorgefundenen Strömungsgeschwindigkeiten, Salzgehalte und Wassertemperaturen in zwei Meßebenen dargestellt.

Die max. Ebbstromgeschwindigkeit beträgt rd. 190 cm/s in 9 m Höhe und rd. 115 cm/s in 3,25 m Höhe über der Sohle.

Die festgestellten Geschwindigkeitsdifferenzen bei dieser Höhendifferenz von 5,75 m betragen etwa mit Beginn des vollen Ebbstromes bis annähernd 1 Stunde vor Kenterung Ebbe 60 bis 80 cm/s. Der Kenterzeitunterschied zwischen den beiden dargestellten Meßhöhen beträgt etwa 10 Minuten.

Der zu der Meßtide festgestellte Salzgehalt in der Unterweser ist relativ gering. Nur zu Beginn der Ebbphase ist ein Salzgehaltsgradient über die Tiefe festzustellen. Die Veränderung des Salzgehaltes über die Zeit läßt darauf schließen, daß nur ein geringes Salzgehaltslängsgefälle in diesem Weserbereich aufgetreten sein kann.

Bei der Wassertemperatur ist ähnliches festzustellen. Hier sind ganz geringe Temperaturschichtungen über die Tiefe gemessen worden. In diesem Weserbereich herrscht jedoch zum Zeitpunkt der Messung ein nach Oberstrom gerichtetes Temperaturlängsgefälle vor.

### 3.3 Vorstellung der Peilerggebnisse

Die verwendeten Echolote sind vor Beginn der Peilungen anhand der zu diesem Zeitpunkt gemessenen Dichte des Weserwassers kalibriert worden. Die relativ geringen Salzgehalts- und Temperaturänderungen und sich daraus ergebende Dichteänderungen während des Meßzeitraumes dürften daher nur einen unbedeutenden Einfluß auf die Genauigkeit der nachfolgend dargestellten Peilerggebnisse gehabt haben.

Abb. 3 zeigt zur Demonstration der graphischen Auswertung von Querpeilungen im Ausschnitt einen Plot mit dem 15-kHz- und 100-kHz-Horizont unter Seekartennull (SKN) im Weser-Querschnitt km 57,5. Von den insgesamt 25 während der Halbtide aufgenommenen Querpeilungen sind 16 in dieser Art mit Hilfe einer DV-Anlage ausgewertet worden. Die unterschiedlichen Horizonte sind auf dieser Darstellung sehr deutlich zu erkennen. Die Schlickmächtigkeit in diesem betrachteten Querschnitt weist bis auf einen Bereich östlich der Feuerlinie kaum größere Höhen auf. Hier befindet sich eine häufig mit Schlick aufgefüllte, etwa 2 km lange „Rinne“.

Der auf der Darstellung oben aufgetragene Linienzug stellt die Abweichung vom Sollkurs dar.

Um nun festzustellen, welche Horizontveränderungen sich im Verlauf der Meßtide einstellen, wurden die Horizontdifferenzen über den Querschnitt zwischen jeweils zwei Peilungen ermittelt und aufgetragen. Es zeigte sich jedoch sehr bald, daß diese Art der Auswertung und Darstellung zu keinem aussagefähigen Ergebnis geführt hätte.

Dies soll anhand der folgenden Darstellung (Abb. 4) belegt werden. Hier sind die Ergebnisse der 16 ausgewerteten Querpeilungen zusammenfassend aufgetragen worden. Die Ergebnisse der Längspeilungen sind auf Abb. 5 in gleicher Weise als Ausschnitt dargestellt.

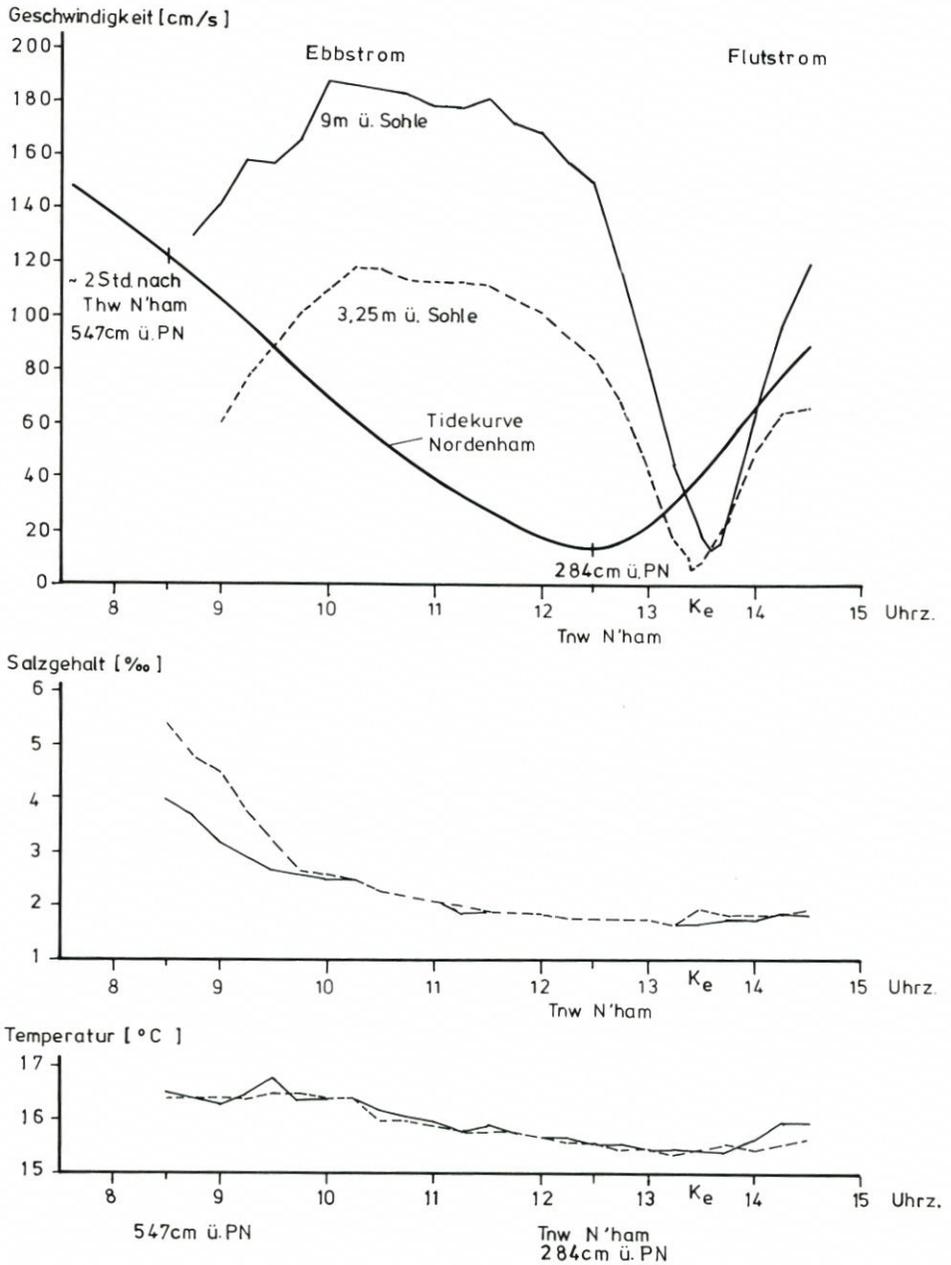


Abb. 2. Strömungsgeschwindigkeit, Salzgehalt und Wassertemperatur in zwei Meßebenen

### 3.4 Interpretation der Ergebnisse

Die sich ergebenden Schwankungen der Horizonte sind zeitlich nicht einzuordnen. Offensichtlich führen die Zufälligkeit der reflektierten Schallsignale bei der Echolotung und die Abweichung vom Sollkurs zu diesen interessanten Bildern.

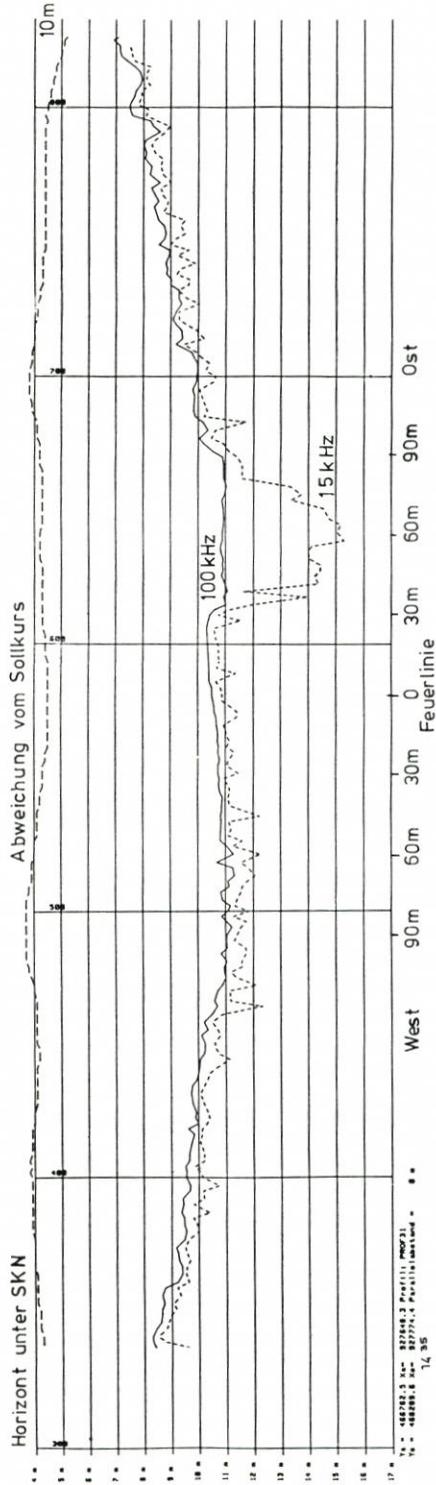


Abb. 3. Typisches Querprofil im Weserquerschnitt km 57,5

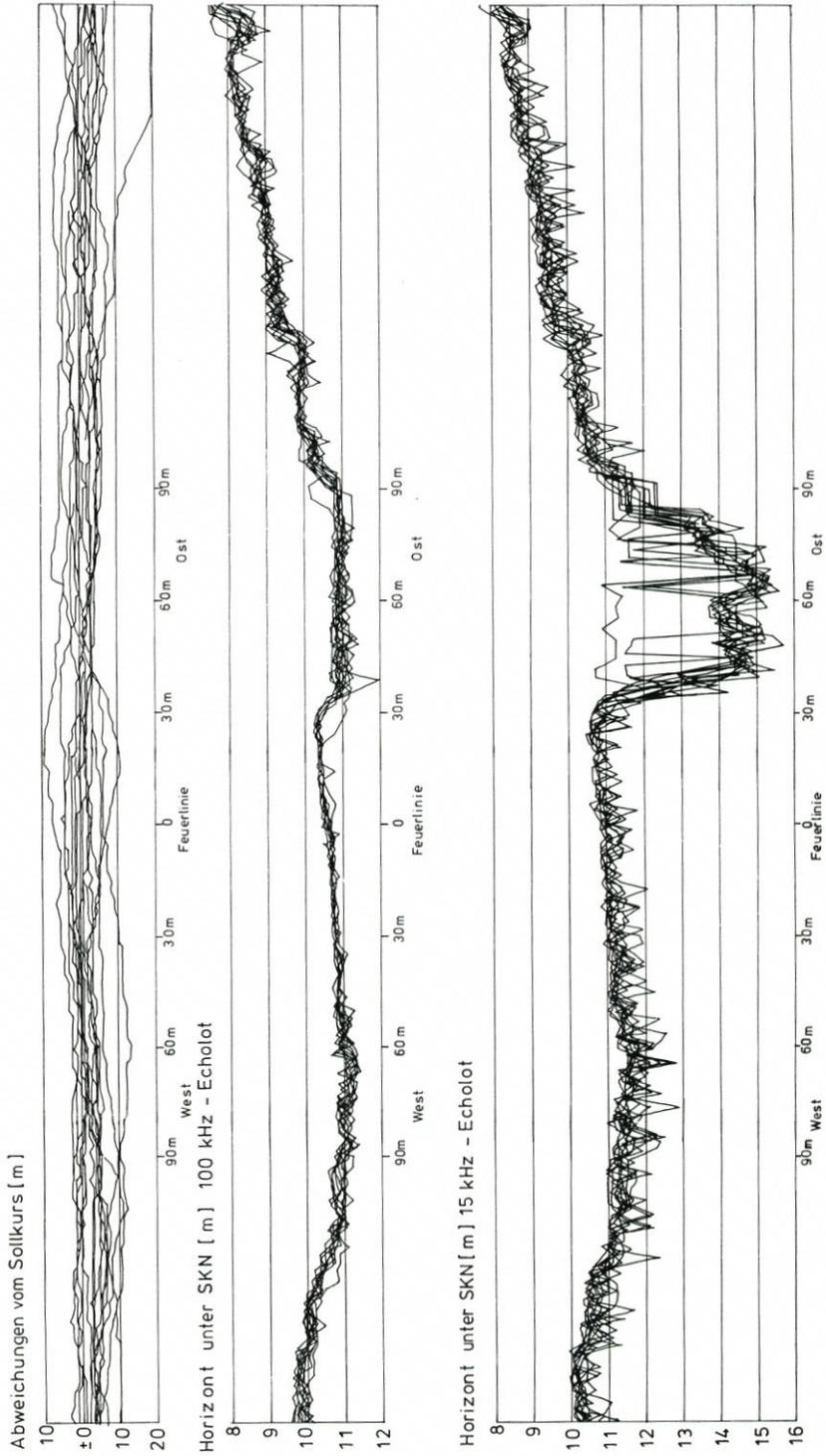


Abb. 4. Querpeilungen während einer Halbbride im Weserquerschnitt km 57,5 am 17. 9. 1984

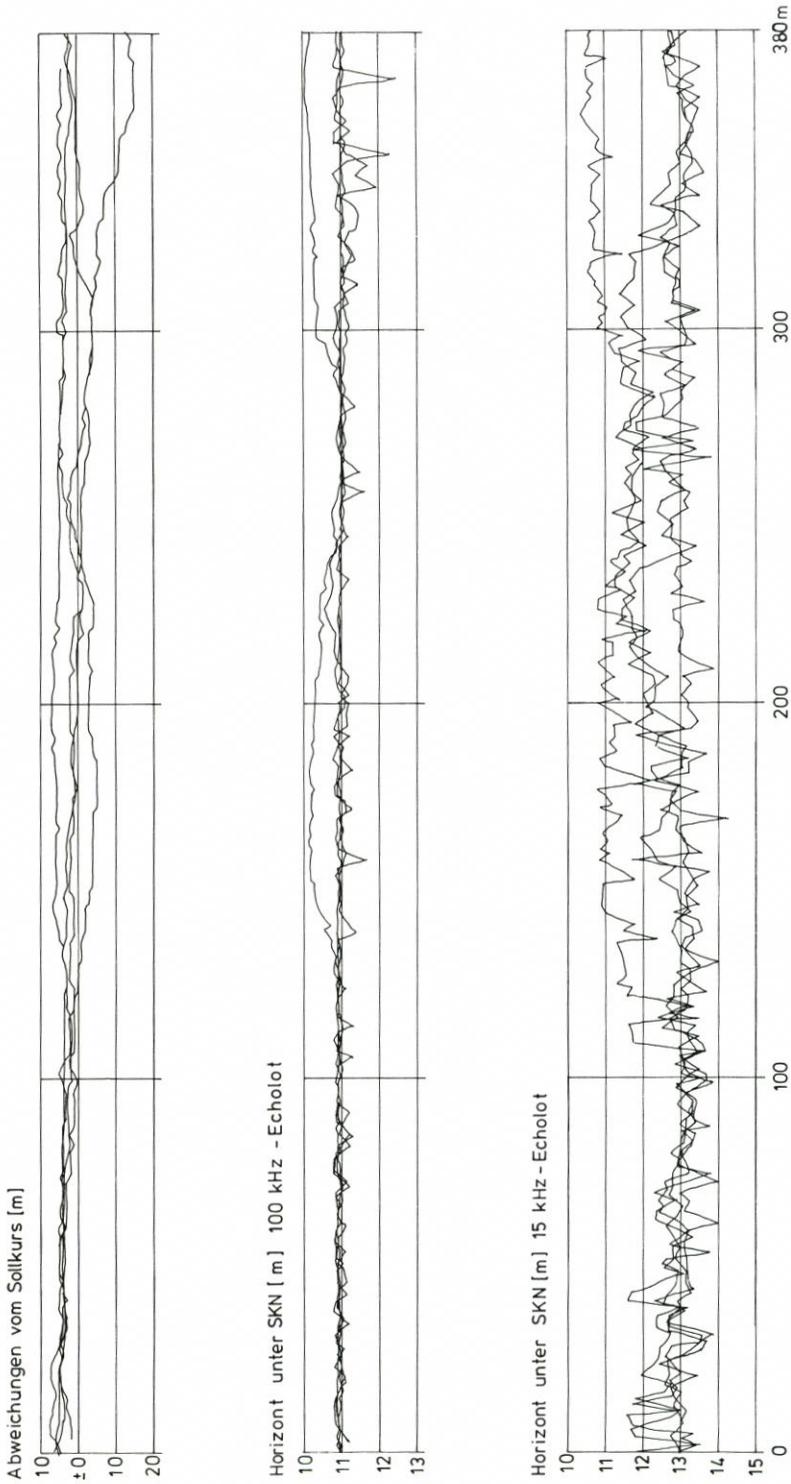


Abb. 5. Längsspeilungen während einer Halbide zwischen Weser-km 57,0 und 58,0; 60 m östlich der Feuerlinie am 17. 9. 1984

Die in Schlickfallgebieten an der Gewässersohle vorzufindenden unkonsolidierten „Schlicklinsen“ und Trübungswolken, die mit der Strömung versetzt werden und dabei auch eine Veränderung des Dichtegradienten erfahren, führen bei der Echolotung zu einer vertikalen Verschiebung des Reflektionshorizontes und damit zu unterschiedlichen Lottiefen. Die Streuung der Lottiefen mit der 100-kHz-Ultraschallfrequenz ist jedoch nicht so groß wie bei den 15-kHz-Lotungen. Die niederfrequenten Schallimpulse durchdringen die Schlickschicht und werden erst an Bodenschichten mit höherer Dichte reflektiert. Da das Eindringvermögen größer ist, ist auch die Wahrscheinlichkeit des Antreffens von Sprung- oder Streuschichten größer, so daß hiermit die größere Bandbreite der 15-kHz-Meßergebnisse erklärt werden kann.

Eine weitere Ursache der erzielten unterschiedlichen Meßergebnisse liegt in der Art der Meßwerterfassung mit dem Vermessungsschiff begründet. Es besteht heute noch nicht die Möglichkeit, mit den im üblichen Peilbetrieb zur Verfügung stehenden Schiffsgeräten und Ortungssystemen eine Strecke mit der für diese Untersuchung erforderlichen Genauigkeit abzufahren. Ein vorgegebener Sollkurs kann nicht exakt eingehalten werden, so daß Kursabweichungen in einer Größenordnung von  $\pm 10$  m nicht zu vermeiden sind. Bei einer stark profilierten Gewässersohle, differenzierten Dichte-Sprungschichten infolge Salinität, Wassertemperatur und Schwebstoffführung, wie sie in der Schlickstrecke der Unterweser vorzufinden sind, zeigen die in ihrer Lage unterschiedlichen Tiefenprofile auch ein unterschiedliches Bild.

Andere Ursachen, die ebenfalls die Peilergebnisse beeinflussen, sind u. a. die unterschiedliche Eintauchtiefe des Vermessungsschiffes in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und die Eigenbewegungen des Schiffes wie z. B. Rollen und Stampfen.

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, daß die Vermessung einer Gewässersohle von einem fahrenden Schiff aus trotz des Einsatzes moderner Echographenmeßtechnik und Ortungsverfahren etliche Probleme beinhaltet, wenn die Genauigkeitsanforderungen für vergleichende Betrachtungen sehr hoch gestellt werden. Die Hauptursachen der unterschiedlichen Ergebnisse werden jedoch bei den unvermeidbaren Kursabweichungen und Ortungszunzulänglichkeiten zu suchen sein.

#### 4. Querpeilungen zu unterschiedlichen Terminen

##### 4.1 Veranlassung und Durchführung

Die oben unter Pkt. 3 angeführte Vermessung der Sohllage im Querschnitt Weser-km 57,5 während etwa einer Halbtide hat zwar zu keiner Aussage über die mögliche Veränderung des Schlickhorizontes geführt, längerfristig jedoch werden in der Schlickstrecke immer wieder Sohlumformungen größeren Ausmaßes festgestellt.

Um den Nachweis für die Veränderung des Schlickhorizontes zu erbringen und mögliche Abhängigkeiten aufzuzeigen, wurden im November/Dezember 1984 zu fünf unterschiedlichen Terminen jeweils zwei Querprofile in gleicher Weise wie am 17. 9. 1984 aufgenommen. Gleichzeitig erfolgte während dieses Untersuchungszeitraumes eine Aufzeichnung der Strömungsgeschwindigkeit, Wassertemperatur und elektrischer Leitfähigkeit am Meßpfahl Nordenham.

#### 4.2 Vorstellung der Peilerggebnisse

Die in digitaler Form vorliegenden Peildaten wurden in schon dargelegter Weise ausgewertet; auf Abb. 6 sind die Ergebnisse zusammengestellt. Im Meßzeitraum vom 5. 11. 1984 bis 3. 12. 1984 ist eine sehr deutliche Abnahme des erfaßten Schlickhorizontes im östlichen Bereich der Fahrrinne zu verzeichnen. Etwa innerhalb eines Monats müssen hier Veränderungen der Schlickmächtigkeit in einer Größenordnung bis zu 3 m erfolgt sein. Die schon angesprochene „Schlickrinne“ ist förmlich leerräumt worden. Im nachfolgenden Zeitraum muß es wieder zu verstärkten Schlickablagerungen gekommen sein; der Schlickhorizont ist um etwa 1 m angestiegen. Eine Veränderung des Schlickhorizontes westlich und östlich der Schlickrinne ist während des gesamten betrachteten Zeitraumes nicht eindeutig erkennbar. Die dargestellten Horizonte schwanken in einem Bereich von etwa 0,5 m. Auch diese dargestellten Ergebnisse zeigen die Schwierigkeit einer Interpretation der zeitlichen Sohlveränderung auf.

Zur Verdeutlichung der im östlichen Fahrrinnenbereich festgestellten Veränderung des 100-kHz-Horizontes sind auf Abb. 7 die einzelnen Profile ausschnittsweise unter Einbeziehung der Peilerggebnisse vom 17. 9. 1984 noch einmal dargestellt. Hier erkennt man deutlich nicht nur die Tiefenveränderung, sondern auch eine Umbildung der erfaßten Schlickhorizonte in den Randbereichen der Schlickrinne. Mit zunehmender Vertiefung scheint auch eine Verbreiterung dieser Rinne einherzugehen.

Bei der Betrachtung dieser Meßergebnisse stellt sich die Frage, welche Ursachen zu dieser erheblichen Veränderung des Schlickhorizontes geführt haben können. Anhand der nachfolgend dargestellten und näher erläuterten Meßergebnisse einiger sicherlich maßgebender Randbedingungen wird der Versuch unternommen, mögliche Erklärungen dieser beobachteten Horizontveränderungen aufzuzeigen.

#### 4.3 Oberwasserabfluß, Tideparameter, Leitfähigkeit, Wassertemperatur

Auf Abb. 8 ist der Oberwasserabfluß am Pegel Intschede dargestellt. Die Angabe P auf der Zeitachse soll die Tage der Querpeilungen kenntlich machen. Demnach ist am Pegel Intschede eine fast stetige Abnahme des Oberwasserabflusses bis zum 22. 11. 1984 beobachtet worden. Dann folgt eine steil ansteigende Hochwasserwelle, die am 27. 11. 1984 ihr Maximum erreicht und dann schnell wieder abklingt.

Auf Abb. 9 sind die Scheitelwasserstände am Pegel Bremerhaven „Alter Leuchtturm“ während des Untersuchungszeitraumes aufgetragen. Auf der Zeitachse sind die Mondphasen kenntlich gemacht. Auffallend sind die geringen Thw-Scheitelwerte am 16./17. 11. 1984 und die hohen Scheitelwasserstände im Zeitraum vom 22.–26. 11. 1984. Hier hat sich eine leichte Sturmflut ereignet.

Auf den folgenden Abbildungen werden Daten unterschiedlicher Parameter dargestellt, die während des Untersuchungszeitraumes am Meßpfahl Nordenham in etwa 1 m Höhe über Grund ermittelt worden sind. Abb. 10 zeigt den Verlauf der mittleren Ebb- und Flutstromgeschwindigkeit sowie der Ebb- und Flutstromdauer, Abb. 11 den zeitlichen Gang der Wassertemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit (temperaturkompensiert) zu den Kenterzeiten  $k_e$  und  $k_f$ . Die Sprünge in den Geschwindigkeitsganglinien auf Abb. 10 sind dadurch zu erklären, daß innerhalb des Meßzeitraumes das Meßgerät zweimal gewechselt werden mußte und dabei das Gerät einmal in einer höheren Ebene über Grund positioniert wurde. Diese unterschiedliche Geräteanordnung – die Höhendifferenz betrug rd. 1 m – macht sich vor-

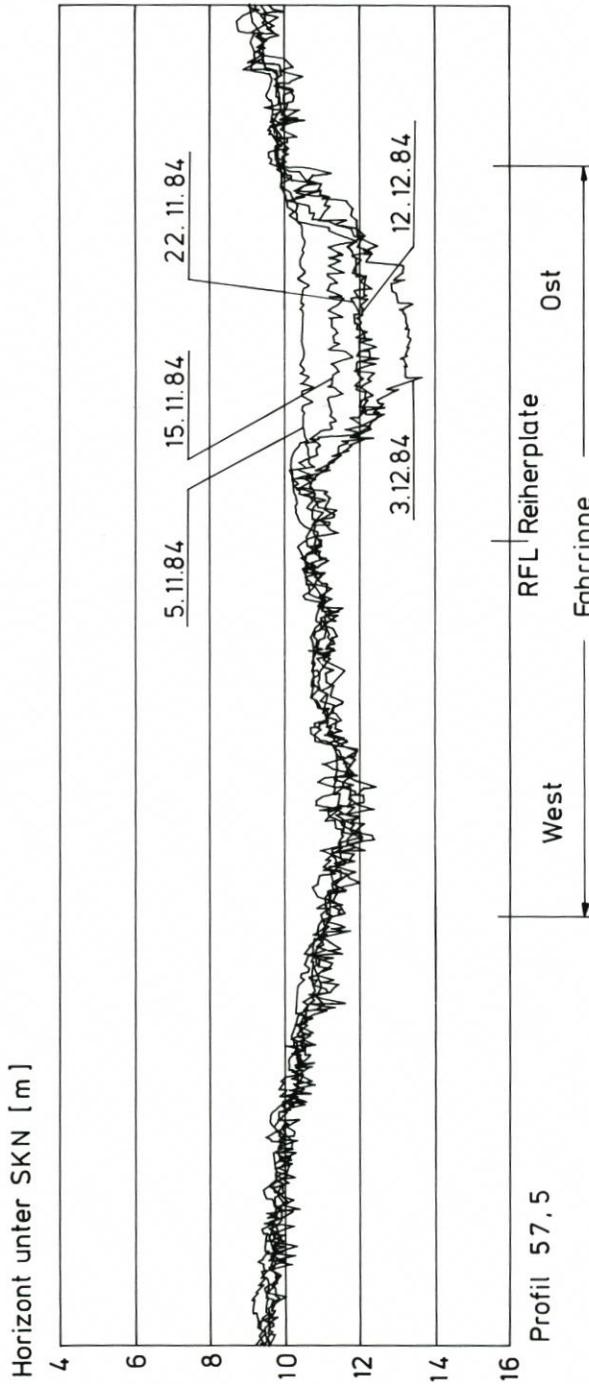


Abb. 6. Querpeilungen mit einem 100-kHz-Echolot im Weserquerschnitt km 57,5 zu unterschiedlichen Terminen

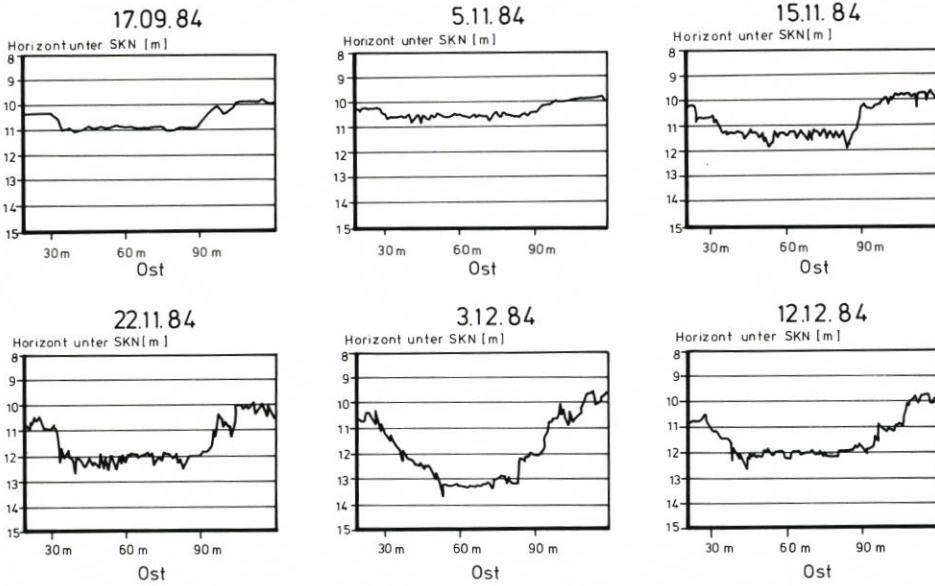


Abb. 7. Ausschnitt der Querprofile im Weserquerschnitt km 57,5

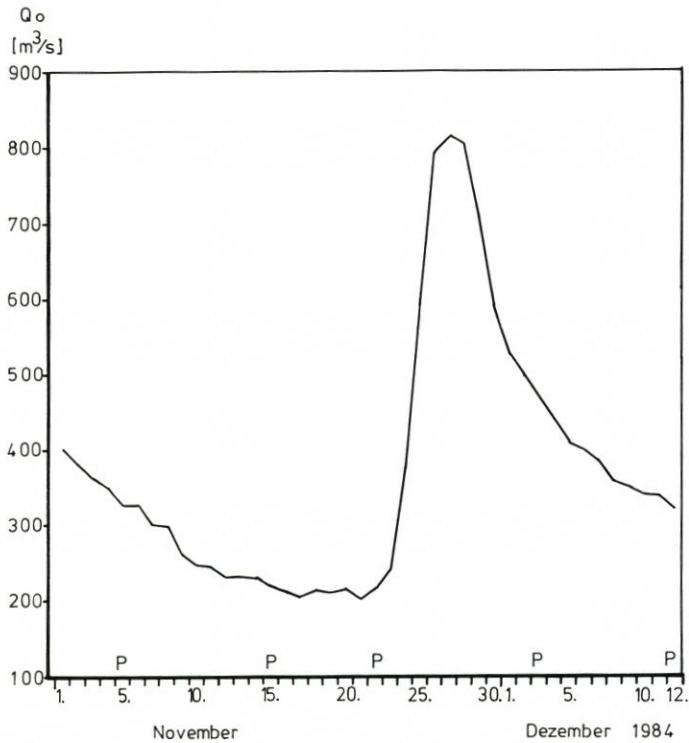


Abb. 8. Oberwasserabfluß bei Intschede

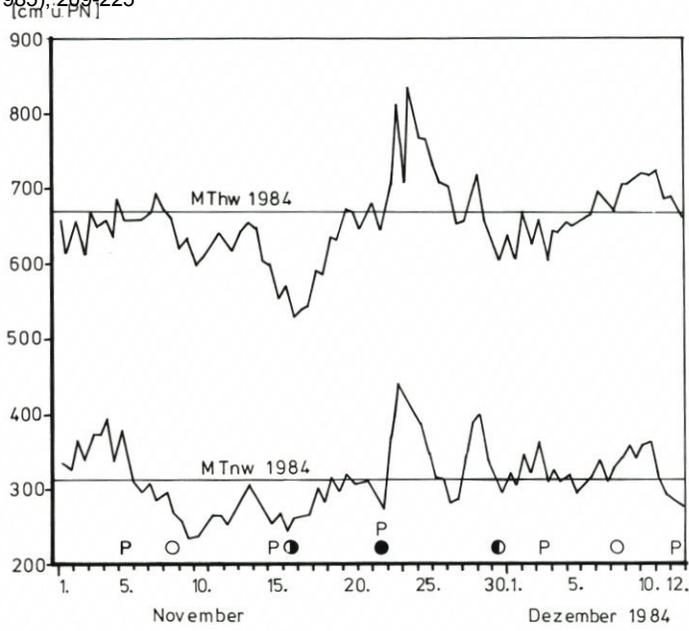


Abb. 9. Scheitelwasserstände am Pegel Bremerhaven (A. L.)

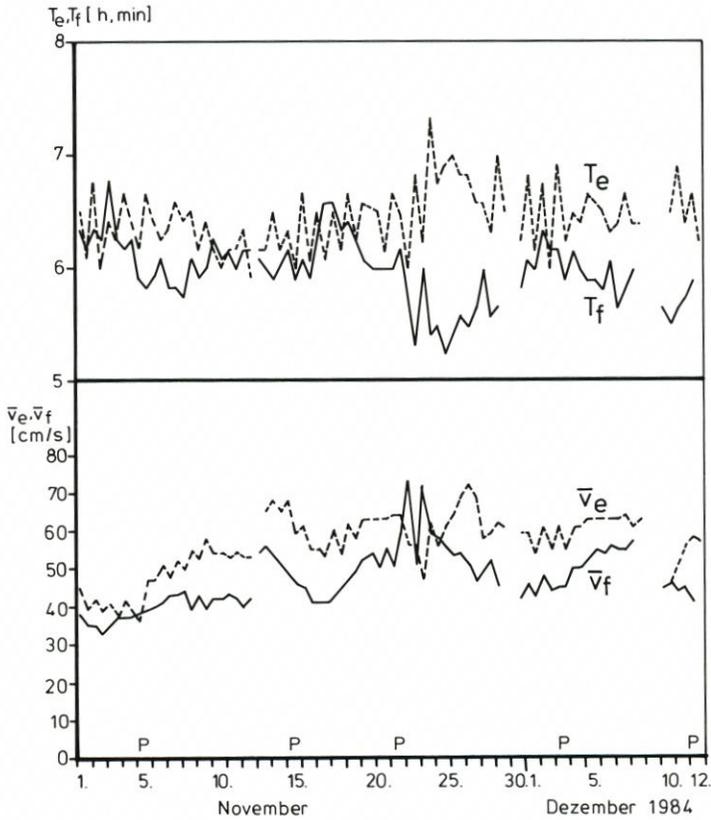


Abb. 10. Mittlere Ebb- und Flutstromgeschwindigkeit, Ebb- und Flutstromdauer am Meßpfahl Nordenham

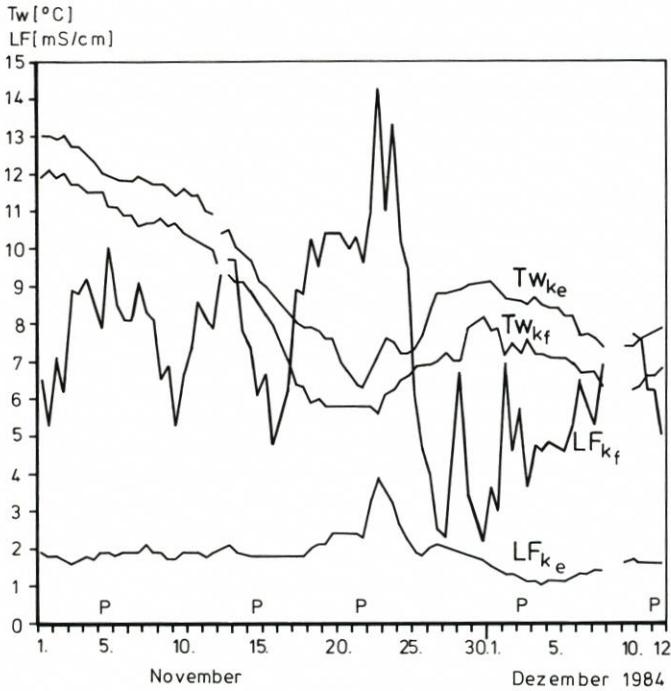


Abb. 11. Wassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit am Meßpfahl Nordenham zum Zeitpunkt der Kenterungen

nehmlich bei der gemessenen Strömungsgeschwindigkeit bemerkbar ( $\sim 10$  cm/s). Bei den anderen Parametern sind keine größeren Unterschiede erkennbar.

#### 4.4 Diskussion der Ergebnisse

Wenn die hier dargestellten Meßergebnisse an der Pfahlstation Nordenham auch nicht auf den gesamten Querschnitt und damit auch nicht auf die Verhältnisse im Bereich der „Schlickrinne“, in der die zeitliche Veränderung des Schlickhorizontes anhand der Echolotaufzeichnungen nachgewiesen werden konnte, direkt bezogen werden können, so lassen sich doch aus den zur Verfügung stehenden Daten Rückschlüsse ziehen auf mögliche Zusammenhänge zwischen Einflußgrößen und den beobachteten Horizontveränderungen.

Im Zeitraum vom 5. 11. bis 22. 11. 1984 – also vor dem Sturmflutereignis – nimmt die Schlickmächtigkeit um rd. 1,5 m ab. Gleichzeitig sinkt der Oberwasserabfluß unter das langjährige Mittel. Die Scheitelwasserstände liegen in diesem Zeitraum fast ausschließlich unter dem 84er Mittelwert. Bei der mittleren Ebb- und Flutstromgeschwindigkeit ist eine allgemeine Zunahme zu erkennen. Die Stromdauer unterscheidet sich nur zu Beginn des Untersuchungszeitraumes, dann erfolgt eine Angleichung, wobei der Flutstrom teilweise länger läuft als der Ebbstrom, wahrscheinlich hervorgerufen durch den geringen Oberwasser-einfluß auf die Ebbphase.

Bei der Leitfähigkeit sind zum Kenterzeitpunkt  $k_e$  kaum größere Schwankungen festzustellen, zum Kenterzeitpunkt  $k_f$  alterniert die Leitfähigkeit in Abhängigkeit von den eingetre-

tenen Hochwasser-Scheitelwasserständen. Die Wassertemperatur nimmt während dieses betrachteten Zeitraumes stetig ab.

Unter der Annahme, daß einige der aufgeführten Parameter zu der Veränderung des Schlickhorizontes beigetragen haben und gleichzeitig erfolgte Baggerungen in diesem Zeitraum in dem betrachteten Weserabschnitt unberücksichtigt bleiben, kommen vorwiegend folgende Einflußgrößen und ihr zeitliches Verhalten in Betracht:

- die relativ hohen Ebb- und Flutstromgeschwindigkeiten,
- der relativ lange laufende Flutstrom,
- die Abnahme der Wassertemperatur und damit Zunahme der kinematischen Zähigkeit des Wassers.

Es ist zu vermuten, daß alle drei Faktoren im Zusammenwirken zu einer Verminderung der Schlickmächtigkeit beigetragen haben könnten.

Die am 3. 12. 1984 festgestellte weitere Ausräumung der Schlickrinne wird auf die abgelaufenen Sturmzeiten zurückgeführt. Damit einhergehend haben sich die Ebb- und Flutstromgeschwindigkeiten erhöht. Die Flutstromdauer ist während dieser Periode relativ kurz, dagegen die Ebbphase relativ lang. Der Einfluß des erhöhten Oberwasserabflusses auf die Schlickerosion in diesem betrachteten Zeitraum kann nicht abgeschätzt werden, eine indirekte Abhängigkeit liegt jedoch nahe.

Die am 12. 12. 1984 beobachtete Wiederrücknahme der Schlickmächtigkeit untermauert die aufgezeigten Abhängigkeiten zwischen möglichen Einflußfaktoren und der Veränderung des Schlickhorizontes. Das Tidegeschehen und der Oberwasserabfluß sowie die Wassertemperatur und die Leitfähigkeit haben sich bei jetzt normalen Verhältnissen stabilisiert. Als Folge lagert sich wieder vermehrt Schlick in der Fahrrinne ab.

Die obigen Ausführungen und Rückschlüsse auf mögliche Einflußfaktoren für das Verhalten von Schlick in einem Tidestrom wie der Unterweser enthalten zweifellos Unsicherheiten, stellen jedoch einen Versuch dar, anhand beobachteter Veränderungen des Schlickhorizontes und zeitgleich gemessener Randbedingungen mehr Kenntnisse über das Schlickverhalten an der Gewässersohle zu erhalten. Für genauere Betrachtungen ist der Untersuchungszeitraum sicherlich zu kurz. Ein langfristig angelegtes Meßprogramm dürfte jedoch zu Ergebnissen führen, die genauere Aussagen zu Fragen der Schlickerosion und -sedimentation erlauben.

#### 4.5 Einfluß von Baggerungen auf die Ergebnisse

Bei den bisherigen Betrachtungen sind die Baggerungen in der Schlickstrecke innerhalb des Untersuchungszeitraumes nicht berücksichtigt worden. Abb. 12 zeigt Baggermengen, hier dargestellt durch die Anzahl der Baggerladungen, die während des betrachteten Zeitraumes im Weserabschnitt km 56 bis 58, also im Bereich des untersuchten Querschnitts km 57,5, der Fahrrinne entnommen worden sind.

Die Baggerladungen sind hier nur nach Fahrinnenbereichen aufgeschlüsselt; es liegen aber genauere Angaben zu den Entnahmestellen vor. Die Kornverteilung des aufgenommenen Baggergutes und die Lagerungsdichte im Baggerraum sind jedoch nicht bekannt. Somit stellen die Mengenangaben in der Darstellung der Baggerladungen nur einen rechnerischen Wert dar; die tatsächlich gebaggerten Mengen, bezogen auf eine Massenbilanzbetrachtung an der Gewässersohle, werden geringer sein.

Dennoch sind die in dem betrachteten Weserabschnitt aufgenommenen Mengen – besonders auf der Ostseite der Fahrrinne – nicht unerheblich. Jedoch sind diese Mengen nur zu einem geringen Teil aus der im Querschnitt km 57,5 liegenden Schlickrinne entnommen

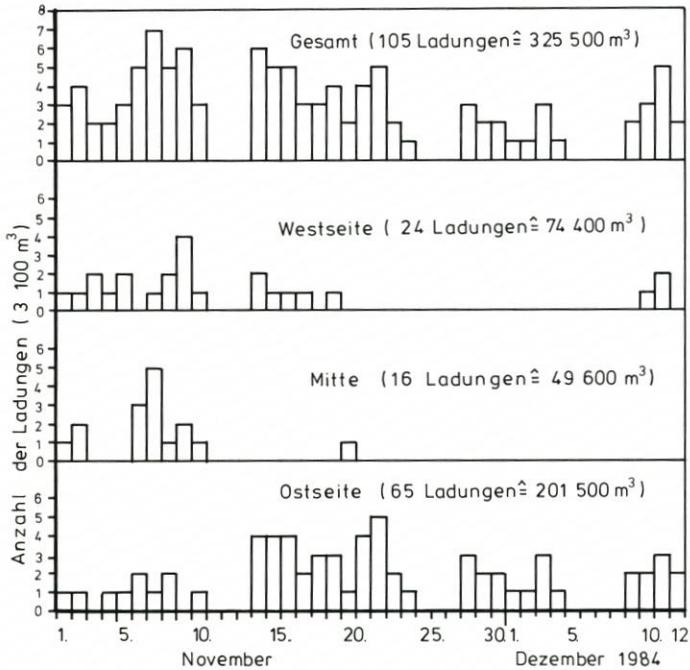


Abb. 12. Anzahl der Baggerladungen Weser-km 56 bis 58

worden. Längspeilungen in diesem Bereich zeigen sehr deutlich, daß der Schlickhorizont sich überwiegend durch die natürlichen Gegebenheiten im Gewässer verändert haben muß. Eine Beeinflussung durch die Baggerungen ist jedoch nicht auszuschließen.

Diese Vermutung verdeutlicht die Schwierigkeit, Kausalitäten der zeitlichen Veränderung der Schlickmächtigkeit in einer Schifffahrtsrinne festzustellen, wenn neben den natürlichen Mechanismen von Erosion und Sedimentation erforderliche Baggerungen für die Belange der Schifffahrt die Gewässersohle fortlaufend verändern.

### 5. Schlußbemerkungen

Die dargestellten Peilerggebnisse zeigen, mit welchen Unzulänglichkeiten die Vermessung einer Gewässersohle in Schlickstrecken trotz des Einsatzes moderner Vermessungsschiffe, Echographenmeßtechnik, Ortungsverfahren und DV-Anlagen heute noch behaftet sein kann. Dies ist den betroffenen Stellen bekannt, und man ist ständig bemüht, durch gezielte Maßnahmen die Genauigkeit bei der Seevermessung zu erhöhen.

So läuft z. B. beim Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven zur Zeit ein Untersuchungsprogramm zur Ermittlung der Parameterungenauigkeiten beim Peilen. Des weiteren bemüht man sich um eine Verbesserung der digitalen Erfassung, Aufzeichnung und Auswertung der Peildaten.

Zur Ermittlung vertikaler Schlickdichteprofile verfügt das Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven seit Anfang des Jahres 1985 über eine Gammasonde, die vom GKSS-Forschungszentrum Geesthacht entwickelt und gebaut worden ist. Hiermit besteht die Möglichkeit, innerhalb der Schlickfallstrecke der Unterweser den Dichtegradienten in Schlickablagerungen zu bestimmen und zu Vergleichen mit den Peilerggebnissen heranzuziehen.