

Gewässerkundliche Untersuchungen am Glameyer Stack

Von ARNO CROTOGINO und FRITZ MIESSNER

Zusammenfassung

Im Bereich des Elbeästuars lagerte dem Ufer oberhalb des Glameyer Stacks (bei km 716) bis zur Medemmündung ein bis zu 700 m breites Watt vor, welches bislang einen natürlichen Schutz für das Stack und das Uferdeckwerk bildete. Durch Strömungsangriff wurde der Wattstreifen in Breite und Höhe großflächig abgetragen. Im Bereich des Glameyer Stacks traten Kolke und uferparallele Rinnen mit Tiefen bis zu 6 m unter KN auf, die bereits zu Schäden am Stack und am Uferdeckwerk geführt haben.

Um die Ursachen dieser Entwicklung zu ergründen, wurden gewässerkundliche Untersuchungen sowohl für den Nahbereich als auch über das großräumige morphodynamische Verhalten durchgeführt. Sie mündeten schließlich in einer gewässerkundlichen Bewertung denkbarer Strombaumaßnahmen zur Sicherung des Glameyer Stacks.

Ursächlich für die Watterosion ist u.a. der auch nach Süden wachsende Medemgrund.

Summary

The so called Glameyer Stack in the Elbe Estuary is a dominant groyne situated at river km 716. The groyne, as well as the banks between the Glameyer Stack and the Medem River, are sheltered by intertidal flats having a width of up to 700 m. Currents have already generated channels with a depth of 6 m below chart datum. As a result, increasing large scale erosion of this intertidal area has already lead to embankment damage.

Inhalt

1. Einführung	71
2. Historische Entwicklung	72
3. Die Entwicklung seit 1960	76
4. Gewässerkundliche Messungen	78
5. Gewässerkundliche Beurteilung möglicher Strombaumaßnahmen	83
6. Schriftenverzeichnis	88

1. Einführung

Ein wasserbaulich interessantes Bauwerk ist das in der Elbemündung bei km 716 gelegene, ca. 300 m lange Glameyer Stack. Es wurde zunächst zum Schutz des südlichen Elbufers gegen Landabbrüche erbaut, doch hat es im Laufe der Zeit bedeutende stromregelnde Funktion erhalten. Das Glameyer Stack dient der Festlegung der tiefen Rinne der Elbe und damit der Erhaltung und Stabilität der Fahrrinne im Bereich zwischen der Medemmündung und Altenbruch.

Außer dem ständigen Angriff durch eine allgemeine südwärts gerichtete Verlagerungstendenz der Hauptrinne der Elbe unterliegt dieser Uferbereich den durch das Stack lokal erzeugten Walzenströmungen bei Flut- und Ebbstrom. Besonders die Gründung des Stack-

körpers ist den seit der Planung Ende des 18. Jahrhunderts durch Veränderung der Morphologie gestiegenen Belastungen nicht mehr gewachsen.

Die morphologische Entwicklung führte in letzter Zeit zu einer zunehmenden Beanspruchung sowohl des Stackbauwerks als auch des unter- und besonders oberhalb gelegenen Uferbereiches. Maßnahmen zur sofortigen aber auch zur längerfristigen Sicherung des Bauwerks und des Uferdeckwerks mit seinen vorgelagerten Watten sind erforderlich. Gewässerkundliche Untersuchungen werden zum Verständnis über das großräumige morphologische Verhalten durchgeführt, und lokale Meßeinsätze sollen das kleinräumige Strömungs- und Umlagerungsgeschehen darlegen.

Die gewässerkundlichen Untersuchungen sollen der Entscheidung dienen, aus den denkbaren Strombaumaßnahmen zur Sicherung des Glameyer Stacks die geeigneten herauszufiltern.



Abb. 1. Das Glameyer Stack, 1986

2. Historische Entwicklung

Im 17. und 18. Jahrhundert verursachte der nach Süden drängende Elbestrom in Verbindung mit großen Sturmfluten (z.B. 1756) erhebliche Abbrüche im Bereich des Hadelner und Ritzebütteler Elbufers. Die Chronik spricht von 750 Morgen (rd. 190 ha) Marschenland, das die Elbe innerhalb eines Jahrhunderts verschlang. Im Bereich des jetzigen Glameyer Stacks war der Deich durch seine exponierte Lage besonders gefährdet. Um den Bestand der Deiche zu sichern, mußte zu in damaliger Zeit noch nicht üblichen Ufersicherungsmaßnahmen gegriffen werden.

Im Jahre 1780 wurde deshalb zunächst senkrecht zum Deich eine Reihe dicker Pfähle (Stacks) in das Watt gerammt. Nach dem Besitzer des unmittelbar hinter dem Deich liegenden Gehöftes erhielt dieses Stack den Namen „Glameyer Stack“. Die Pfahlwand war von der Bauart her kein guter Strömungs- und Wellenbrecher und verursachte besonders nach Eisgang erhebliche Unterhaltungskosten. Von 1797 bis 1823 wurde von dem Wasserbaudirektor Woltmann nach Ritzebütteler Vorbild unter großen technischen und finanziellen Schwierigkeiten eine Steinbühne gebaut. Im Watt wurden auf einer Faschinenlage zwischen zwei

Pfahlreihen Feldsteine (Findlinge) zu einem schweren Bühnenkörper aufgesetzt. Diese schwere Bauweise hat sich bewährt und bildet bis heute die wesentliche Substanz des Glameyer Stacks. Auch das nach beiden Seiten anschließende Ufer wurde nach und nach mit einer schweren Decklage aus Findlingen gesichert.

Im 19. Jahrhundert bestand eine mit der heutigen im Prinzip vergleichbare Situation. Die Medemrinne hieß damals Klotzenloch und der Medemsand nahm den Rang des heutigen Medemgrundes ein (Abb. 2a). Das Klotzenloch bildete noch Anfang des 20. Jahrhunderts einen beachtlichen Priel zwischen Neufelder Watt und Medemsand und führte einen großen Teil des Tidevolumens zur Füllung und Leerung der Unterelbe, wurde dann aber im Laufe der Zeit von dem sich ausbreitenden Medemsand zurückgedrängt.

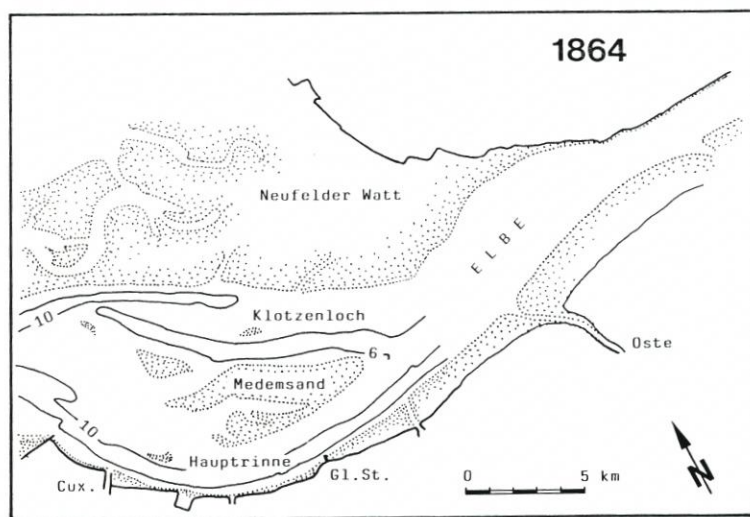


Abb. 2a. Schematisierte Karte der Elbemündung, 1864

Die Hauptursache für die Verlagerung des Klotzenloches liegt im wesentlichen darin, daß im Verlaufe der Umbildungen in der Außenelbe (Abb. 2b) der Anschluß des Kleinen Vogelsandes an das Neuwerker Watt in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts zu einer Ausbuchtung des Steilsandes und damit zum Beginn der Entstehung des heutigen Mittelgrundes führte (HENSEN, 1937). Dadurch wurde der Flutstrom nördlich abgedrängt und vorwiegend in das Klotzenloch gewiesen. Daß das Klotzenloch bei Flutstrom damals größere Bedeutung besaß als die Hauptrinne der Elbe, erklärt sich so zwanglos (s. a. Tab. 1). Die Ablenkung der Flutströmung wird den Anstoß dazu gegeben haben, daß im Klotzenloch die Wattkante an den Nordergründen angegriffen und ausgehöhlt wurde. Das gleichzeitige Vorschieben des Festlandes durch Eindeichungen an der Küste von Süderdithmarschen wird das Vorrücken des Neufelder Wattes sowohl nach Süden als auch nach Westen und damit die Verlegung der oberen Klotzenloch-Abzweigungen verursacht haben (HENSEN, 1937). Als Ergebnis beider Ursachen nahm das Klotzenloch zunehmend die Form einer S-Kurve an. Gleichzeitig reicherte sich der Medemsand stark an.

Das Vordringen des Mittelgrundes nach Norden hörte allmählich auf und wurde durch ein Zurückweichen nach Süden abgelöst, als das Kugelbakenfahrwasser und damit der Mittelgrund selbst dem Abbruch des Steilsandes folgten. Das Klotzenloch erhielt infolge der

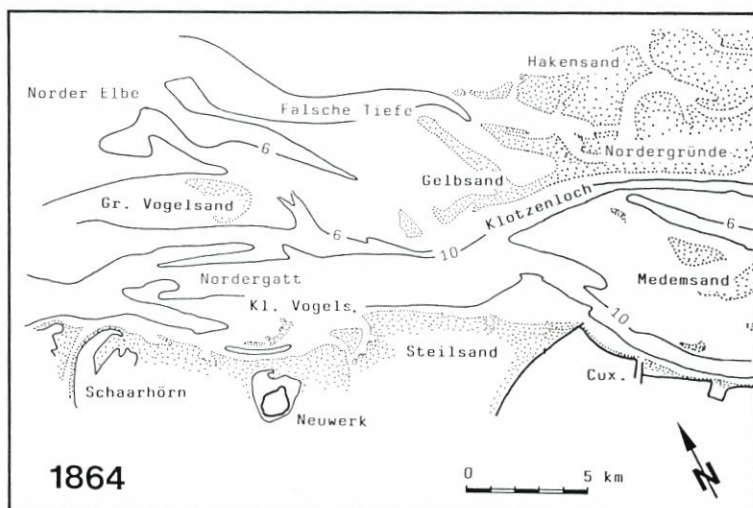


Abb. 2b. Schematisierte Karte der Außenelbe, 1864

Umgestaltungen des Außenelbebereichs nicht mehr dieselbe Fluteinströmung wie früher, und die Bedeutung des Klotzenloches als Flutrinne sank. Auch als Ebberinne verlor das Klotzenloch durch die Verlegung seiner oberen Abzweigung an Bedeutung. Besonders nach der Stromregelung bei der Ostebank (1921–29) ist die Abnahme der Querschnitte im Klotzenloch rasch fortgeschritten. Die Ursache dafür wird in der zunehmenden Verlandung der Nordseite der Elbe und in der, durch die Regelung beabsichtigten und erreichten, Heranziehung des Ebbestromes an die Südseite der Elbe liegen (s. a. Tab. 1).

Im Bereich Altenbruch – Glameyer Stack hat die Strombreite bis 1954 durch Rückgang der Südkante des Medemsandes erheblich zugenommen. Gleichzeitig bildet sich das Klotzenloch weiter zurück und ist seit 1960 als durchgehender Priel ohne Bedeutung.

Folge dieser Entwicklung ist die Neubildung der Medemrinne, die, durch den Medemgrund von der Fahrrinne getrennt, einen großen Teil des Tidevolumens anzieht und außerdem bei ständiger Nordverlagerung große Sandmassen der südlichen Medemsand-Kante umsetzt. Wegen der hydraulischen Verhältnisse in der Medemrinne, sie ist gegenüber der bogenförmigen Hauptrinne kürzer, erhält sie ein günstigeres hydrostatisches Gefälle und weitet sich auf Kosten des Medemsandes auf (s. Abb. 5).

In Abb. 3 sind die zeitlichen Änderungen des Flußquerschnittes in Höhe des Glameyer Stacks dargestellt, indem von links nach rechts mit den Jahren fortschreitend, die Lagen der einzelnen Tiefenlinien des Querschnitts miteinander verbunden sind. Die Darstellung liefert für jede Tiefe ein Bild der Lageänderungen im Verlauf über die Zeit. So erkennt man, daß die Nulllinie an der Nordseite und in noch stärkerem Maße die weiteren Tiefenlinien (bis zu 6 m) nach Norden gerückt sind. Die Nordseite des Querschnittes ist immer steiler geworden. Die 10-m-Tiefenlinie im Bereich der Hauptrinne hat sich im Mittel etwa gehalten.

Die rasche Zunahme der Tiefen in dem Kolk auf der Nordseite des Querschnitts hat anscheinend die Entstehung des südlich davon gelegenen flachen Rückens, mit Tiefen von weniger als 6 m, zur Folge gehabt. Seit 1965 hat sich dieser Medemgrund stark ausgeprägt.

Die Querschnittszunahme ist recht beträchtlich, über die Ursachen der Veränderungen lassen sich mangels unmittelbarer Messungen nur Vermutungen anstellen (HENSEN, 1938). Es ist möglich, daß sich mit der fortschreitenden Verlandung des Klotzenloches die von See

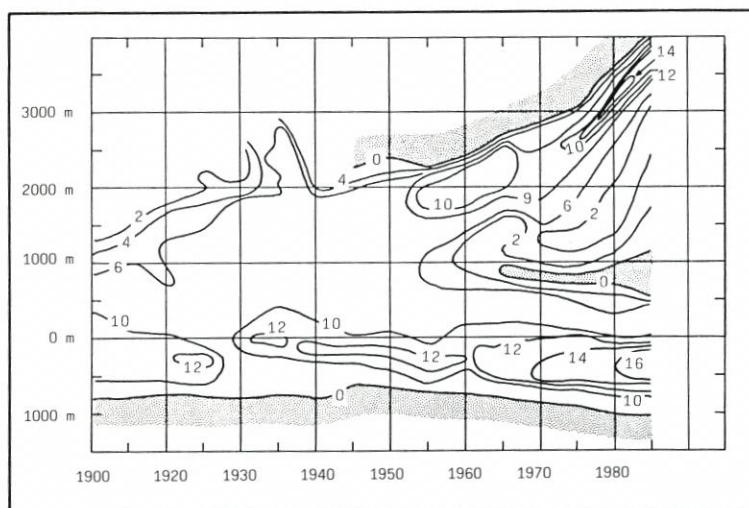


Abb. 3. Zeit-Weg-Linien für den Querschnitt bei Elbe-km 716

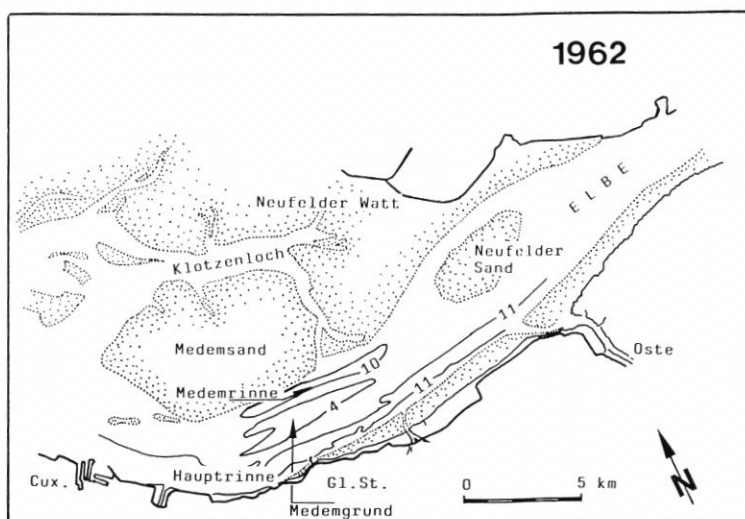


Abb. 4. Schematisierte Karte der Elbemündung, 1962

einlaufende Tidewelle in dem Gebiete des Medemsandes durch stärkere Reflexion höher aufstaute als früher und dadurch zu einer größeren Querströmung über die Südkante des Medemsandes führte. Für den Abbruch der Südkante des Medemsandes spräche auch, daß der noch verbliebene Strom aus dem Klotzenloch infolge der senkrechten Einführung in die Elbe (s. Abb. 4) zur Bildung von Wirbeln neigt, die den Abbruch verursachen.

Die Südkante des Medemsandes wird zudem auch dadurch angegriffen, daß der Ebbestrom mit der Zeit unter einem anderen Winkel als früher auf den Sand traf. Die von der Nordseite der Elbe kommende, am Neufelder Watt entlangziehende Ebbeströmung ist schwächer geworden, die von Süden dagegen, durch die infolge der Stromregelung eingetre-

tene Heranziehung des Ebbestromes an die Südseite der Elbe stärker, so daß die Ebbeströmung in der Medemrinne in Höhe des Glameyer Stacks resultierend eine nördlichere Richtung annahm als früher. Die Rechtsablenkung wird an diesem Verlauf beteiligt sein.

Schließlich muß im Zusammenhang mit der zunehmenden Verlandung des Klotzenloches die Wasserführung der Hauptrinne ständig größer werden, so daß eine Querschnittsvergrößerung bis zu einem gewissen Grade daraus von selbst erklärbar ist und auch nicht schädlich wäre, solange der Querschnitt sich nur im Verhältnis der Zunahme der Wasserführung vergrößern würde (Abb. 4).

Diese großräumige und auch in vergangene Jahrhunderte reichende Betrachtung des Kräftespiels der Natur ist ein wichtiger Beitrag zum Verständnis des Geschehens am Glameyer Stack. Im beschriebenen Fall ist es von Bedeutung, die eigentlichen Ursachen für die zunehmende Beanspruchung des Stacks zu finden. Sind es nur die lokalen Umströmungen und Überströmungen des Bauwerks, denen durch ausgewogene Strombaumaßnahmen die Entstehungsursachen, zumindest die Wirkungen genommen werden können? Oder befindet sich der Untersuchungsbereich in einem morphodynamisch sehr aktiven Gebiet, dessen Einflußgrößen an ganz anderer Stelle bestimmt werden oder dessen Gleichgewicht eben gerade in den dynamischen Umlagerungsvorgängen liegt?

Das Beispiel dieser Stromstrecke ist geeignet zu zeigen, wie künstliche oder natürliche Veränderungen weitgehende Folgen auf den Strom an weit entfernten Stellen nach sich ziehen können und daß man sich hüten muß, Veränderungen in einer Stromstrecke isoliert zu betrachten, wenn man die wirklichen Ursachen der Veränderungen aufdecken will.

3. Die Entwicklung seit 1960

Für die Tideströmung stellt das Glameyer Stack ein erhebliches Hindernis dar. Hinter und auch vor dem Stack, jeweils in Strömungsrichtung gesehen, bilden sich, besonders wenn das Stack freigelaufen ist, starke Neerströme aus, die in mehreren Walzen umlaufen.

Der Stackkopf bröckelte nach und nach ab, die Stichbuhne wurde zerstört, die Wattflächen wurden zunächst besonders unterstromseitig vom Ebbe-Neerstrom so weit abgetragen, daß das Stack schließlich im letzten Drittel durchzubrechen drohte. Dies wurde im Jahre 1962 durch eine Notreparatur verhindert. Fünf Jahre später wurde das Glameyer Stack gründlich saniert. Stackkopf, oberstromseitiges Längswerk und unterstromige Flanke wurden bis zur unterstromigen Stichbuhne mit großflächigen Senkstücklagen gesichert, der Steinkörper und die Stichbuhne selber wiederhergestellt.

Ende 1950 (s. Abb. 3) bildete sich, wie schon in der historischen Betrachtung angesprochen, als Querschnittsflächenausgleich für den zurückweichenden Medemsand der Medemgrund. Der Schwerpunkt dieses Sandes befand sich etwas unterhalb des Glameyer Stacks. Da gleichzeitig die Hauptrinne durch Baggerungen auf Tiefe gehalten und 1963 noch auf KN – 11,00 m vertieft wurde, begünstigte das Überangebot an Durchflußquerschnitt das schnelle Anwachsen des Medemgrundes, der 1964 erstmalig mit einer nennenswerten Fläche „in Erscheinung“ trat und sich mit dem Nordwärtsschreiten der Medemrinne entsprechend vergrößern konnte (s. Abb. 3). Mit der einhergehenden Einschnürung der Hauptrinne unterhalb des Stacks wurden der Druck auf das südliche Ufer zunehmend erhöht, die dortigen Uferwattflächen abgetragen sowie das Glameyer Stack an seiner Unterstromflanke unterspült.

Im Zuge des 12-m-Ausbaus wurde das Glameyer Stack, besonders dessen zerstörte Unterstromseite, im Jahre 1968 saniert.

Der Schwerpunkt der Medemgrundbildung verlagerte sich in den folgenden 10 Jahren

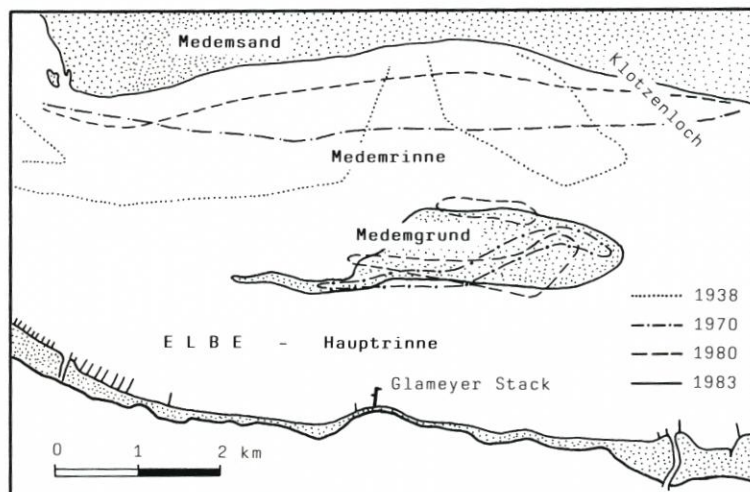


Abb. 5. Veränderung von Medemsand und Medemgrund; Darstellung der Wattkanten

stromaufwärts. 1970 bestand bereits ein etwa 4 km langer Grund, der zusammen mit dem südlichen Ufer wie ein Trichter wirkte und den Ebbstrom durch die Engstelle am Glameyer Stack preßte (Abb. 5). Bis 1981 hatte sich der Mittelgrund in der Längsachse um etwa 20° im Uhrzeigersinn gedreht. Die Engstelle lag jetzt oberhalb des Glameyer Stacks. An ihr wurden Ebb- und Flutstrom gleichermaßen eingeschnürt, das zu erhöhtem Druck auf das Südufer oberhalb des Stacks führte. Das Stack und die Uferwattflächen wurden jetzt oberstromseitig angegriffen und zerstört (s. Abb. 3).

Bis 1983 drehte sich der Medemgrund wieder um etwa 10° zurück, so daß heute eine nahezu uferparallele Kante von etwa 5 km Länge besteht. Damit ist aber unterhalb des Glameyer Stacks der enge Querschnitt von 1970 wieder erreicht, und auch unterhalb des Stacks muß wieder mit Abbrüchen gerechnet werden.

Durch den nach Süden drängenden Strom, den schnell wachsenden und sich in der Lage verändernden Medemgrund und den Ausbau der Fahrrinne auf 12 m und 13,5 m unter KN geriet das ursprünglich auf dem flachen Watt gebaute Stack unter immer stärkeren Druck. In den letzten Jahren sind erhebliche morphologische Veränderungen zu beobachten, besonders ein verstärkter Abtrag der oberstromigen Wattflächen (Abb. 6).

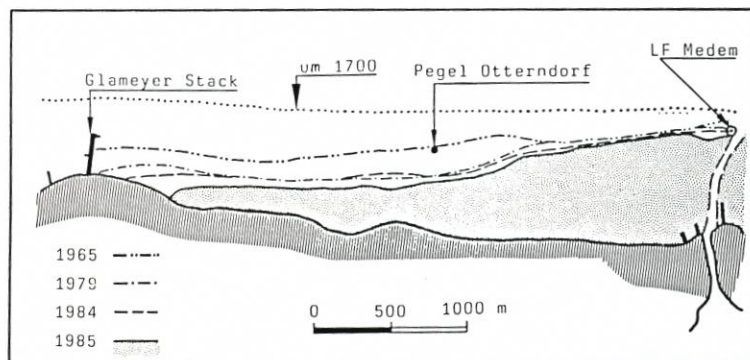


Abb. 6. Rückschreiten der Wattkante am Glameyer Stack

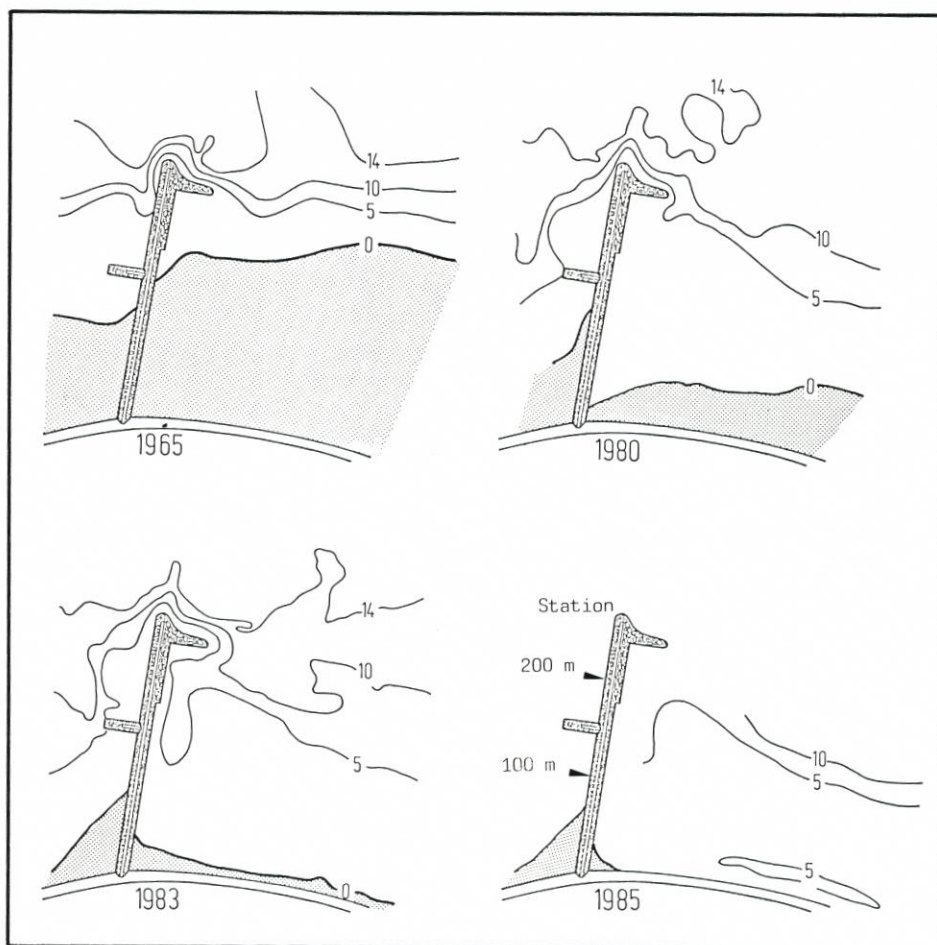


Abb. 7. Die morphologische Entwicklung im Nahbereich des Glameyer Stacks; Tiefenangaben bezogen auf KN

Der Bereich der bisher ungesicherten östlichen Stackflanke und des oberstromigen Uferdeckwerks wird durch neugebildete Rinnen und Kolke bedroht. Deshalb wurde die weitere Sicherung des Glameyer Stacks in den Rahmenentwurf zum Ausbau der Elbe auf 13,5 m unter KN aufgenommen. 1984, acht Jahre nach Beendigung der Baggerung der Fahrinne, sind die Schäden am und im Umfeld des Stacks so groß geworden, daß der Bestand des Bauwerkes ernsthaft gefährdet ist und damit auch seine Aufgaben zur Stromregelung durch Festlegung der Fahrinne mittelfristig nicht mehr garantiert werden können, sofern nicht Sicherungsmaßnahmen getroffen werden (Abb. 7).

4. Gewässerkundliche Messungen

Die bisherigen Betrachtungen zeigen, daß die langfristige Stromregelung, besonders die Festlegung der Fahrinne, zwischen Altenbruch und der Medemmündung das großräumige Geschehen mit einbeziehen muß.

Für eine kurzfristige Sanierungsplanung wurden zunächst nur die örtlichen Ursachen der morphologischen Änderungen am Glameyer Stack festgestellt. Im Jahre 1983 erfolgten deshalb im Bereich der Schadensstelle umfangreiche Messungen. Oberstromseitig wurden in einem Raster von ca. 100 m an 15 Punkten gleichzeitig Strömungen in Sohlennähe gemessen. Die Oberflächenströmung wurde durch Schwimmermessungen erfaßt.

Vom Wasser- und Schiffsamt Cuxhaven wurden mit 15 Aanderaa-Meßgeräten sohlennahe Dauerstrommessungen (15.02. – 01.03.1983) durchgeführt. Die Lage der Geräte und die Positionsnummern sind in Abb. 10 angegeben. Die Aufzeichnungen der Pos. 7 und 10 waren zunächst unbrauchbar, an diesen Stellen wurden Nachmessungen durchgeführt.

Normalerweise werden die Strömungsmessungen mit den EDV-Programmen des WSA Cuxhaven tabellarisch und graphisch ausgewertet. Dies ermöglicht einen schnellen Einblick in das tideabhängige Strömungsgeschehen im Untersuchungsgebiet. Im vorliegenden Fall tritt jedoch ein sich räumlich und zeitlich ständig veränderndes Geschwindigkeitsfeld auf, so daß die Kenterpunkte und die mittleren Strömungsverhältnisse vom Computer nicht mehr erkannt und somit nicht mehr ausgewertet werden können.

Die Abb. 8 dokumentiert einige charakteristische Meßaufzeichnungen (5-Minuten-Mittel) für verschiedene Positionen. Allen gemeinsam ist der deutlich ausgeprägte Gang des Salzgehaltes. Ansonsten zeigen sowohl Geschwindigkeits- als auch Richtungsverlauf in den einzelnen Positionen ein jeweils anderes, doch typisches Verhalten auf.

Pos. 4 liegt zum Fahrwasser hin und gibt in den Aufzeichnungen die bekannten Tideverläufe wieder. Die Strömungsrichtungen zeigen über die Tidephasen ein stabiles Verhalten, die Geschwindigkeiten sind bei Ebbe und Flut voll ausgeprägt. Gleiches gilt für die Pos. 2, 3 und 5.

Pos. 1 liegt im Schatten des Stackkopfes. Die Strömungen weisen während der Flutphase deutlich in Richtungen zwischen 50° und 70°. Diese Strömungsrichtung deutet auf eine ausgeprägte, stabile Leewalze hin und ist auch im Zusammenhang mit dem großen, parallelen Kolk oberstromseitig des Stacks zu sehen.

Während der Ebbedauer ist die dominierende Strömungsrichtung etwa bei 240°, wird jedoch mehrmals durch Störungen unterbrochen und bis auf die Richtung 360° abgelenkt. Die damit verbundenen Schwankungen der Geschwindigkeiten lassen sich dem ersten Bild der Abb. 8 leicht entnehmen.

Die Ursachen für diese kurzzeitigen Änderungen während der Ebbephase im Geschwindigkeitsfeld liegen möglicherweise darin, daß sowohl der oberstromseitige Kolkbereich als auch die anschließende uferparallele Rinne zunächst von der am Stackkopf abzweigenden Ebbestromwalze angenommen werden (s. Abb. 11), die aber infolge des Auftreffens auf das oberstromige Watt am Ende der Rinne stark reflektiert wird. Mit Sicherheit führt dieses instationäre Verhalten zu einer erhöhten Erosion durch ständige Auflockerung und Abtransport des Materials.

Pos. 9 liegt auf einem Sandrücken im Innenbereich des großen Walzensystems. Das Geschwindigkeitsbild der Abb. 8 zeigt zunächst einmal große Unregelmäßigkeiten, die sich bei genauer Betrachtung doch zusammenfassen lassen. Zu erkennen ist ein ständiger Wechsel der Richtungen um bis zu 180° während der gesamten Tide. Dies unterstützen die Beobachtungen aus den Abb. 11–13. Auf Grund der Schwimmerbahnen deuten sich zwei Walzensysteme an, wobei die Pos. 9 gerade zwischen beiden Systemen liegt und entsprechend richtungsmäßig instabil sein muß. Das größere System besitzt eine Länge von mehreren hundert Metern, das kleinere liegt unmittelbar am Stackkopf und weist einen Durchmesser von etwa 100 m auf. Abb. 12 und 13 belegen im Rahmen der Beobachtungsgenauigkeit die bei Ebb- als auch bei Flutstrom nahezu gleiche Lage der Walzensysteme.

Wasser- und Schiffsamt Cuxhaven
Ausgewertet u. System: DV - 2.2
Messung durchgeführt: Gew. K. - 2.3

Blatt: 5
Archiv Nr.: 2218
Ger. Nr.: 4782

Ganglinien der Geschwindigkeiten, Richtungen und des Salzgehaltes

Aufgestellt: Cuxhaven, den 08:03:1983:14:06:45

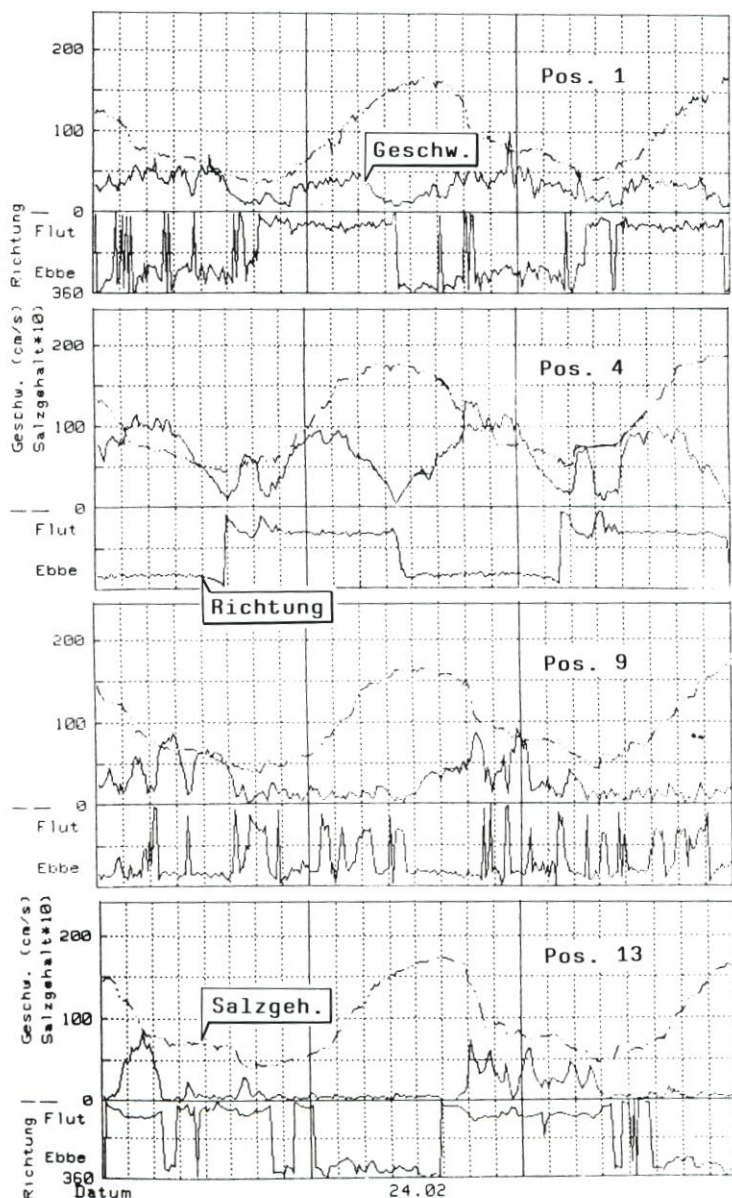


Abb. 8. Meßaufzeichnungen, Ganglinien der Geschwindigkeiten, Richtungen und des Salzgehaltes

Die Strömungsgeschwindigkeiten liegen während der Flutdauer, unabhängig von der Strömungsrichtung, deutlich unter 25 cm/s. Während der Ebbephase erreichen die Geschwindigkeiten max. 90 cm/s, jedoch nur bei Richtungen um 290°. Dreht die Richtung kurzzeitig auf bis zu 90°, so gehen auch die Geschwindigkeiten schlagartig auf etwa 20 cm/s zurück. Die gestaltende Wirkung dieses Strömungsverhaltens wird durch den Verlauf der 1-m-Linie belegt.

Pos. 13 liegt im Bereich der uferparallelen Rinne und zeigt das typische Verhalten der Pos. 12-15. Die Geschwindigkeiten liegen während der Ebbephase i.allg. deutlich über 50 cm/s und reichen bis 100 cm/s. Der mittlere Korndurchmesser dieses Bereichs beträgt etwa 100 μ m, das entspricht einer kritischen Geschwindigkeit beim Beginn der Kornbewegung von 20-40 cm/s. Während der Flut treten kaum nennenswerte Strömungsgeschwindigkeiten auf.

Ein Bild von der zeitlichen Entwicklung des Geschwindigkeitsfeldes läßt sich nur darstellen, wenn dieses im 2-Stunden-Abstand (oder enger) aufgetragen wird. Dabei sollte für alle Meßpunkte dieselbe Tide ausgewertet werden. Gewählt wurde die Tide vom 24. 2. 1983. Ein zusammenpassendes Geschwindigkeitsbild läßt sich in der betrachteten Situation nur aus Beobachtungen zum exakt gleichen Zeitpunkt ableiten; selbst die Verwendung von Stundenmittelwerten kann schon ein nicht mehr zusammenpassendes Bild erzeugen.

Die Abb. 9 und 10 zeigen das in der 14tägigen Meßreihe beobachtete typische Strömungsverhalten im Untersuchungsgebiet. Abb. 9 (wie auch Abb. 11 und 12) zeigt eine ausgeprägte Walze oberhalb des Stacks, wie sie während der Ebbedauer von etwa Thw (Cux.) +4h bis Thw (Cux.) +8h auftritt. Deutlich zu erkennen sind das voll ausgetauchte Stack und die starke Walzenströmung entlang der uferparallelen Rinne.

Abb. 10 (wie auch Abb. 13) zeigt das Strömungsgeschehen während des Flutstromes. Die hier gezeigten Geschwindigkeiten in der Walzenströmung werden nur für die Dauer von etwa einer Stunde angenommen, in der übrigen Zeit nehmen sie geringere Werte an. Die größere

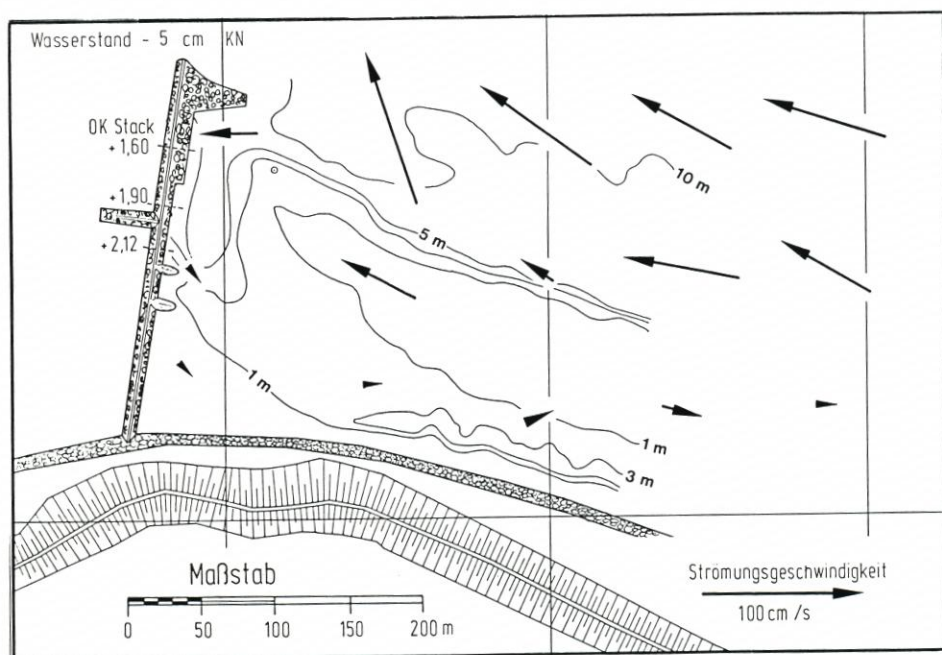


Abb. 9. Strömungsgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt Thw (Cuxhaven) +6 Std

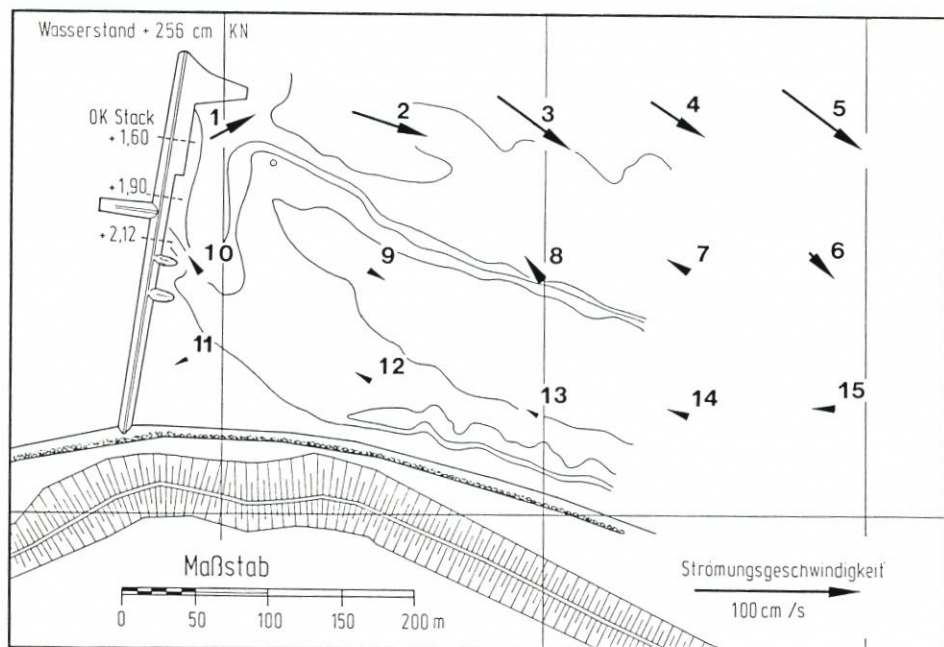


Abb. 10. Strömungsgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt Thw (Cuxhaven)

Geschwindigkeit in Pos. 1 und besonders der zugehörige größere Durchfluß werden sowohl aus der Walzenströmung als auch aus der Überströmung des Stacks genährt.

Durch seine exponierte Lage im Strom zweigt das Stack einen Teil der Tidesströmung ab, die dann ebenfalls in mehreren Walzen seitlich des Stacks weiterläuft (s. Abb. 11, 12). Die gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten scheinen auf den ersten Blick nicht besonders hoch zu sein. Durch die Walzen entstehen jedoch auf den Wattflächen und besonders an den Bauwerken starke Turbulenzen, die im Zusammenhang mit Seegang und Schiffsschwall das Sohlenmaterial lösen und aufwirbeln. Die Strömung trägt dann den gelösten Boden fort. Es bilden sich am Uferdeckwerk und an den Flanken des Stacks Erosionsstrecken und Kolke, die Fußsicherung wird freigespült.

Um weitere Informationen über das Strömungsgeschehen zu erhalten, wurden insgesamt zehn Schwimmer ausgesetzt. Deren Bahnen und die sich zeitlich verändernden Geschwindigkeiten der Schwimmer wurden vom Ufer aus per Augenmaß beobachtet und in einem Lageplan skizziert (s. Abb. 11–13).

Für die Schwimmermessungen wurden leichte Schwimmer mit abgehängten Kreuztafeln eingesetzt. Die Schwimmer waren mit dem Schiff wegen der turbulenten Strömung und der teilweise geringen Wassertiefen nur bedingt zu verfolgen. Die Positionen mußten größtenteils anhand von Landmarken, Stackstationen und des Leuchtturms Glameyer geschätzt werden.

Eine Schwimmerbahn kann immer nur abschnittsweise mit dem Geschwindigkeitsfeld der dazugehörigen Tidephase verglichen werden. Dabei müssen Abweichungen auftreten, da

- es sich bei den Dauerstrommessungen und den Schwimmerbeobachtungen um verschiedene Tiden handelt,
- die Messungen ein Jahr auseinanderliegen und sich in dieser Zeit die Topographie bereichsweise geändert hat,

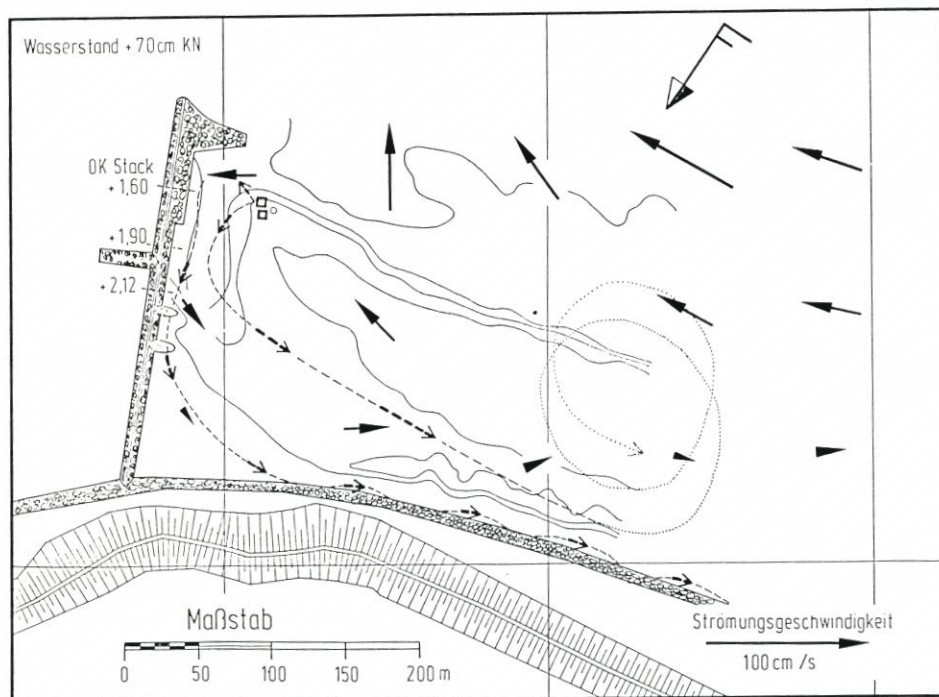


Abb. 11. Schwimmbahnen zum Zeitpunkt Thw (Cuxhaven) +4 Std

- die Geschwindigkeiten in Sohlennähe andere Richtungen haben als die in Oberflächennähe,
- der Windfluß beachtet werden muß,
- die Dauerstrommessungen in Sohlennähe durchgeführt wurden.

Die Schwimmbahnen sind in den Abb. 11-13 wie folgt dargestellt:

- Beobachtungszeitraum entspricht etwa der dargestellten Tidephase
- Beobachtungszeitraum liegt vor oder nach der dargestellten Tidephase
- > Geschwindigkeit des Schwimmers war groß
- > Geschwindigkeit des Schwimmers war mittel
- > Geschwindigkeit des Schwimmers war gering

Die Darstellungen in den Abb. 11 und 12 bestätigen tendenziell die ausgeprägte Strömung in der ufernahen Rinne während der Ebbephase.

In den Abb. 10 und 13 wird die Flutphase dargestellt. Zwar werden hier teilweise große Geschwindigkeiten der Schwimmer beobachtet, doch handelt es sich dabei um per Augenschein und zudem noch einmalig beobachtete Ereignisse, die man nicht überbewerten darf, die aber dennoch ein kennzeichnendes Bild geben.

5. Gewässerkundliche Beurteilung möglicher Strombaumaßnahmen

Die bisherige Darstellung sowohl der großräumigen als auch der lokalen Erscheinungen bildet eine erste Grundlage zur Bewertung der möglichen strombaulichen Sanierungsmaßnahmen (Abb. 14).

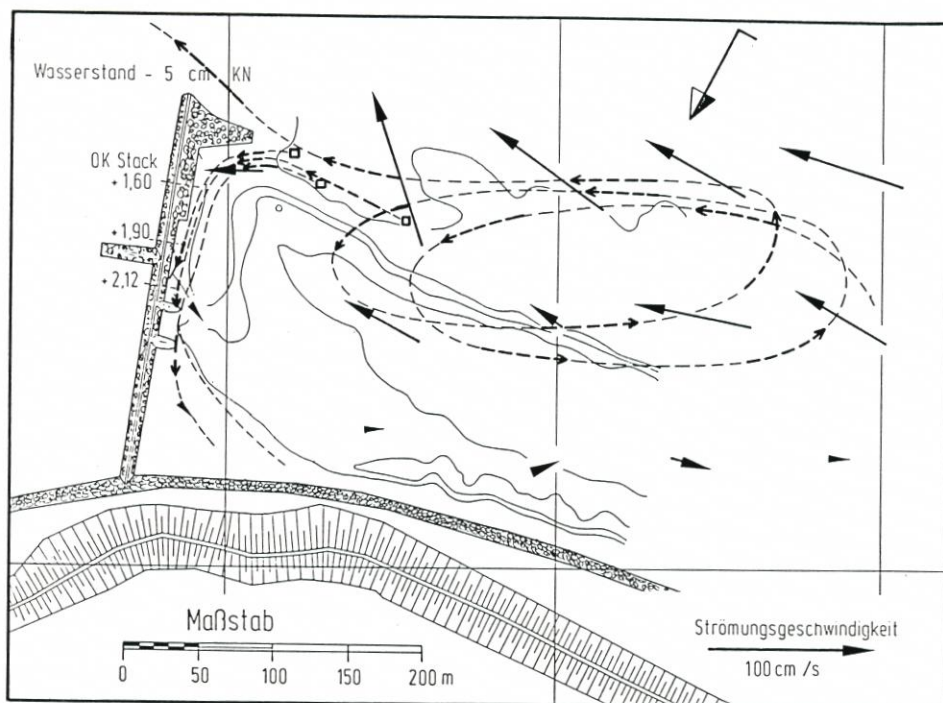


Abb. 12. Schwimmbahnen zum Zeitpunkt Thw (Cuxhaven) +6 Std

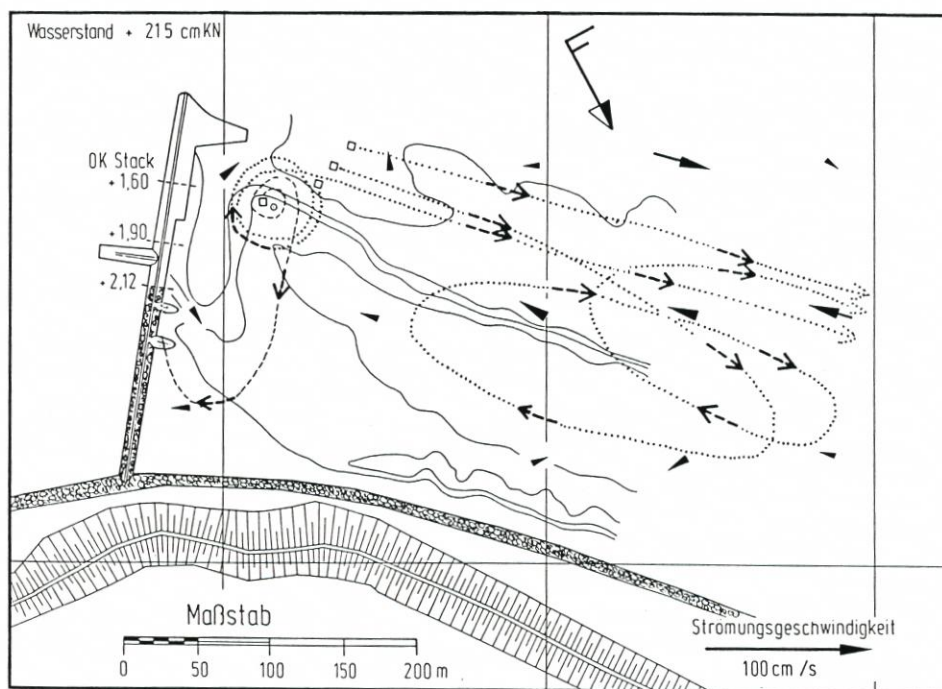


Abb. 13. Schwimmbahnen zum Zeitpunkt Thw (Cuxhaven) +10 Std

Entsprechend der unterschiedlichen Kräfte kann nur eine Kombination einzelner spezifischer Maßnahmen das Glameyer Stack längerfristig schützen und damit die bedeutende Wirkung des Bauwerks hinsichtlich der Stromregelung erhalten. Schon aus praktischen Gründen gibt es zeitliche und finanzielle Aspekte, die Art und Ausführung der Sanierungsmaßnahmen mitbestimmen. Eine besondere Rolle spielt das drohende Abrutschen des Uferdeckwerks, das zu einem sofortigen Handeln zwingt.

Vor diesem Hintergrund ist der Vorschlag zu sehen, eine Entlastungsbühne (A), etwa 300 m oberhalb des Stacks gelegen, zu bauen. Die Bühne muß am Uferdeckwerk ansetzen und 120 m in das Watt vorgetrieben werden, um die oberstromige Hauptwalze zu durchschneiden und den Neerstrom zu unterbrechen. Die Bühne würde an der Wurzel bis 1,00 m über KN und am Kopf bis 0,60 m über KN reichen. Der Bühnenkopf liegt in einer relativ strömungsarmen Zone und reicht bis in eine Tiefe von ca. 10 m unter KN. Bei einer Kronenbreite von 2 m und allseitigen Böschungsneigung von 1:4 würden die Baukosten knapp 2 Mio DM betragen. Bei einer möglicherweise erforderlichen Verlängerung der Bühne auf 150 m würden die Kosten wegen der zunehmenden Wassertiefe überlinear auf etwa 8,5 Mio DM ansteigen.

Obwohl dieses Bauwerk die Hauptwalze in ihrer Ausbildung behindert, werden jedoch besonders bei der erosionsintensiveren Ebbestromwalze deren Entstehungsursachen nicht verändert. Auf Grund der ungleichen Länge dieser Entlastungsbühne gegenüber dem Glameyer Stack und des Anströmwinkels prallt ein Teil des Ebbestromes unverändert auf das Glameyer Stack. Die in das neu entstandene Bühnenfeld einströmende Wassermenge wird total reflektiert und infolge des Aufstaus quer über den derzeitigen Wattrücken zum Fahrwasser hingeführt. Einerseits wird sich der vorhandene oberstromseitige Kolk dadurch nicht unbedingt wieder zurückbilden, andererseits ist die Entstehung neuer Kolke bzw. einer Rinne unterstromseitig an der Entlastungsbühne zu erwarten.

Für eine Ausführung dieser Maßnahme liegen z.Zt. nicht genügend gewässerkundliche Untersuchungen, besonders hydraulische Modellversuche, vor. In Anbetracht der Kosten einer solchen Entlastungsbühne ist eine kurzfristige Beurteilung der morphologischen Folgeerscheinungen nicht möglich.

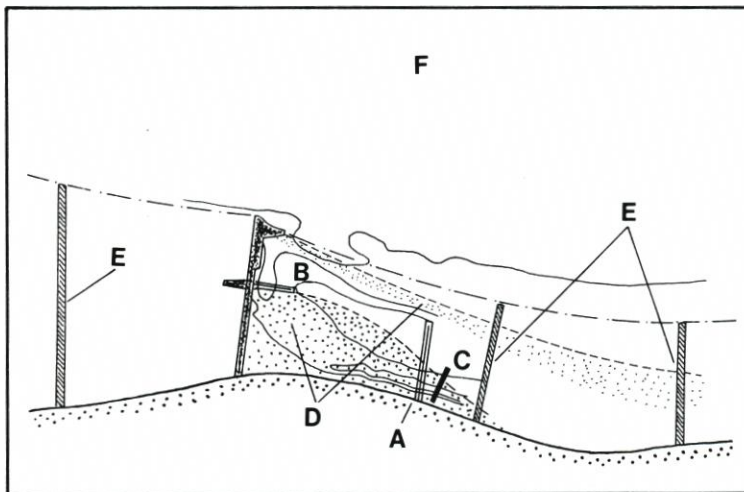


Abb. 14. Sanierungsmaßnahmen: A = Entlastungsbühne, B = oberstromseitige Stichbühne, C = Sohlschwelle, D = Vorspülung, E = Buhnengruppen, F = großräumige Maßnahmen

Der Bau einer oberstromseitigen Stichbuhne (B), ähnlich wie er vor Jahren auf der Unterstromseite nachgeholt wurde, führt zu einer Beruhigung des Strömungsangriffs im jetzigen Kolkbereich. Zwar würden die vom Glameyer Stack während der Ebbe abgeteilten Wassermassen weiterhin die großräumige Walze bilden, doch würde sich der Strömungsangriff nicht mehr auf den etwa 300 m langen Stackkörper, sondern auf den Kopf des neuen Nebenstacks konzentrieren. Die abgelenkte Walze dürfte auf Grund der geometrischen Verhältnisse auch weniger hart an das Uferdeckwerk geführt werden. Zumindest würden Vorspülungen diese Absicht unterstützen können und ein relativ stabiles Verhalten zeigen.

Da einerseits die Ende des 18. Jahrhunderts gelegte Gründung des Glameyer Stacks auf dem flachen Watt erfolgte und die heutige Belastung gar nicht vorherzusehen war, andererseits ein neues Nebenstack nach modernsten Erkenntnissen und mit unvergleichbaren technischen Mitteln gebaut werden kann, ist diesem eine entsprechende Strömungsbeanspruchung eher zuzumuten. Diese Baumaßnahme stößt jedoch bei der Bauausführung auf technische Probleme, hervorgerufen durch die Lage des Kolkes, den Anschluß an das Hauptstack und die Wirkungen aus der Überströmung des Stacks während der Flutphase. Die Kosten der Maßnahme dürften bis zu 1,0 Mio DM betragen. Auch hier ist kurzfristig eine sichere Beurteilung der morphodynamischen Folgeerscheinungen nicht möglich.

Der Bau einer Sohlschwelle (C) zur Durchdämmung der ufernahen Rinne stellt eine zeit- und kostenmäßig realisierbare Sofortmaßnahme zur Abschwächung der derzeit starken Erosion im Bereich des Uferdeckwerks dar. Ein Senkstück (55 × 20 m) mit einem bis zur Höhe von KN aufgeschütteten Steinkörper wird ca. 300 m oberhalb des Stacks eingebaut. Die Kosten werden mit 0,2 Mio DM abgeschätzt.

Diese Maßnahme für sich allein genommen, kann nur kurzfristig dem sich anpassenden Strömungsgeschehen standhalten. Im Zusammenwirken mit anderen Sanierungsmaßnahmen, wie z.B. einer Vorspülung, kann sie jedoch entscheidende Dienste leisten.

Eine großflächige Vorspülung (D) zur Sicherung des uferparallelen Deckwerkes und des Stackkörpers ist ebenfalls als eine realisierbare Sofortmaßnahme einzustufen. Zunächst würden die ufernahe Rinne und der oberstromseitige Kolk verfüllt, anschließend würde man, am Stack beginnend, den oberstromigen Wattbereich aufhöhen. Inwieweit die derzeitige Walzenströmung ausgeschaltet werden kann, hängt u.a. auch von den Ausmaßen der Vorspülfläche ab. Abb. 6 zeigt den fehlenden Wattstreifen oberhalb des Stacks, wie er durch Rückschreiten der Wattkante seit 1965 entstanden ist. Doch selbst eine Vorspülung zur Wiedererlangung der Verhältnisse von 1965 läßt erwarten, daß zum einen im Bereich des Stackkopfes eine, zunächst stark abgeschwächte, Ebbstromwalze erneut an der Vorspülung arbeitet, zum anderen der großräumig bestimmte Druck weiterhin diesen Uferabschnitt, ähnlich wie in den Jahren 1965–1985, abzudrängen versucht.

Da die Fortschritte einer Vorspülung räumlich und zeitlich variiert werden können und besonders, weil es sich im Gegensatz zu den sonst üblichen Bauwerken um eine „weiche“ Maßnahme handelt, ist hiermit eine interessante Alternative geboten.

Zur nachhaltigen Festlegung des südlichen Elbeufers wäre auch die Anordnung einer Bühnengruppe (E) aus strömungstechnischen Gesichtspunkten eine Lösung. Wenn sich die Längen der neuen Bühnen an der Lage des Glameyer Stack-Kopfes orientieren, ließen sich eine Streichlinie festlegen und die wesentlichen Ursachen der Walzenbildung ausschalten. Eine Abstimmung mit den oberstromigen Uferbereichen bis hin zu den Osteriff-Stacks als auch besonders mit dem unterstromig gelegenen Bereich ist herbeizuführen.

Eine derart massive Festlegung des südlichen Elbeufers greift auch künstlich in die langfristigen, großräumigen Umlagerungsvorgänge ein und muß deshalb mit größter Vorsicht

und intensiven Voruntersuchungen vorbereitet werden. Daß die Kosten für diese Maßnahme schnell bei 50 Mio DM liegen, kann nicht ganz unberücksichtigt bleiben.

Ähnlich wie die Veränderung des Klotzenlochs möglicherweise aus dem Geschehen im Außenelbebereich geprägt wurde, kann eventuell durch großräumige Maßnahmen (F), die jedoch ohne umfangreiche Modelluntersuchungen nicht bewertbar sind, eine ähnliche, global begünstigende Wirkung auf den Querschnitt vom Glameyer Stack bis zum Medemsand initiiert werden. Denkbar wären Eingriffe am Medemgrund oder im Bereich Klotzenloch/Neufelder Rinne oder am Kratzsand. Voraussetzung für derart großräumige Beeinflussungen sind u.a. intensive Untersuchungen im hydraulischen Modell mit beweglicher Sohle und im HN-Modell.

Möglicherweise befindet sich die Natur aber schon jetzt in einem Zustand der Selbstregulierung, die den Uferbereich in der Tendenz wieder entlastet.

Langfristig, doch damit ist die akute Bedrohung des Stacks sowie des Uferbereichs nicht behoben, kann mit einem natürlichen Rückgang des Medemgrundes nach Norden gerechnet werden. Die Entwicklung der Medemrinne ist noch nicht abgeschlossen, besonders in den letzten Jahren sind große Abbrüche aus der Mitte des Medemsandes zu verzeichnen, so daß die Wattkante bereits einen beträchtlichen Hohlbogen aufweist. Weil dadurch die Linienführung der Medemrinne hydraulisch zunehmend ungünstiger wird, kann in den nächsten 10 bis 20 Jahren mit einer Stabilisierung der Lage gerechnet werden. Die Verschiebung der Durchflußverhältnisse zur Hauptrinne führt zu einem dort größeren Tidevolumen, für das ein größerer Querschnitt erforderlich ist, der, wenn das Südufer z.B. durch ständige Vorspülung gehalten wird, nur durch Abdrängung des Medemgrundes nach Norden gewonnen werden kann.

Auf eine neue Entwicklung deutet vielleicht die sich seit ca. 10 Jahren bildende Flutrinne ab km 720 in Richtung Medemgrund hin, die offensichtlich zwischen Fahrrinne und Medemrinne einen geraden und kürzeren Weg sucht. Verläuft die morphologische Entwicklung ähnlich wie in den letzten 100 Jahren, kann in den nächsten Jahrzehnten mit der Bildung einer breiteren Hauptrinne bei Verkümmern der Medemrinne gerechnet werden.

Tab. 1. Die Entwicklung der Durchflußverhältnisse Hauptrinne/Medemrinne

Jahr	Ebbe		Flut	
	HauptR.	MedemR.	HauptR.	MedemR.
1864	51 %	49 %*	37 %	63 %*
1936	87	13*	79	21*
1960	54	46	61	39
1965	60	40	65	35
1970	57	43	58	42
1975	63	37	55	45
1978	70	30	73	27
1983	60	40	63	37

* Klotzenloch

6. Schriftenverzeichnis

- Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste: Die morphologischen Veränderungen der Elbe zwischen Brunsbüttel und Scharhörn in den letzten 30 Jahren. Arbeitsbericht 19, (unveröff.) 1961.
- Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste: Untersuchung der Sandbewegung im Gebiet der Medemrinne (Unterelbe) und der Norderrinne (Außenelbe). (Unveröff.), 1975.
- Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste: Das Tideregime der Elbe, Elbemodell mit beweglicher Sohle. 12. Bericht, (unveröff.), 1957.
- HENSEN, W.: Vergleich des Stromzustandes der Unterelbe von Brunsbüttelkoog bis Cuxhaven zwischen 1864 und 1936. Wasserstraßendirektion Hamburg, Kleine Studie Nr. 14, (unveröff.), 1937.
- HENSEN, W.: Änderung des Stromzustandes zwischen Cuxhaven und Glameyer Stack. Wasserstraßendirektion Hamburg, Kleine Studie Nr. 16, (unveröff.), 1938.
- Wasser- und Schiffsamt Cuxhaven: Bericht über die Fahrwasserverhältnisse im Altenbrucher Bogen. (Unveröff.), 1978.
- Wasser- und Schiffsamt Cuxhaven: Bericht über Strömungsmessungen am Glameyer Stack. (Unveröff.), 1986.
- Wasser- und Schiffsdirektion Hamburg: Teilentwurf Nr. 1 für den Ausbau des Glameyer Stacks oberhalb von Cuxhaven bei km 716. (Unveröff.), 1965.
- Wasser- und Schiffsdirektion Nord: Einzelentwurf Nr. 2.2.1.3-1 für Sicherung und Wiederherstellung des Glameyer Stacks. (Unveröff.), 1984.