

Gutachten über die Vorschläge zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider

Küstenausschuß Nord- und Ostsee
Gutachtergruppe Eider

Inhalt

I. Veranlassung	30
II. Die Versandung der Eider	
A. Sandbewegung und Versandung als Folge der Tide	31
B. Entwicklung der Eider	
1. Entwicklung der Untereider vor dem Bau der Abdämmung Nordfeld	36
2. Entwicklung der Tide-Eider nach dem Bau der Abdämmung Nordfeld	42
3. Entwicklung der Außeneider	45
C. Heutiger Zustand der Eider und ihre voraussichtliche Weiterentwicklung	
1. Heutiger Zustand	48
2. Voraussichtliche Weiterentwicklung	50
III. Beurteilung der Vorschläge zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider	
A. Grundsätze für die Beurteilung	51
B. Lösungen ohne neue Abdämmungen der Eider	
1. Baggerungen	51
2. Stromregelungen durch Bau von Bühnen	52
3. Spülbetrieb	53
4. Schöpfwerke	53
C. Abdämmungen mit Sielentwässerung in die Tide- oder Außeneider	53
D. Sturmflutsperrwerke	
1. Ersatz des Tidesperrwerkes Nordfeld	54
2. Sperrwerke unterhalb von Nordfeld	55
3. Sperrwerke mit der Möglichkeit zur Beeinflussung der Tidebewegung	55
E. Ableitung der Eider in den Heverstrom oder in die Piep	
1. Vorbemerkung	56
2. Damm A 2 mit Ableitung der Eider in den Heverstrom	56
3. Damm A 5 mit Ableitung der Eider in die Piep	58
IV. Zusammenfassung	59

I. Veranlassung

Im Anschluß an die nach 1945 vom Wasser- und Schiffsamt Tönning ausgeführten Untersuchungen zur Klärung der Ursachen für die nach der Eiderabdämmung bei Nordfeld im Jahre 1935 eingetretenen folgenschweren Veränderungen in der Tide-Eider ist zu Beginn der 50er Jahre im Einvernehmen zwischen dem Bundesminister für Verkehr und dem Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein als erste vorläufige Abhilfe die regelmäßige „künstliche Spülung“ aufgenommen worden. Da von dieser Maßnahme nicht mit Sicherheit eine endgültige Beseitigung der Schwierigkeiten erwartet wurde, übernahm die Wasser- und Schiffsverwaltung die Fortführung der Untersuchungen, die sich vor allem mit den Bewegungsvorgängen im Tidebereich der Untereider und der Wirkung der künstlichen Spülung befaßten. Trotz wertvoller Einzelerkenntnisse konnten die Untersuchungen erst nach Abschluß eines Vertrages zwischen Bund, Land und Eiderverband im Jahre 1959 und nach der dadurch möglich gewordenen Bereitstellung größerer Mittel wirksam fortgesetzt werden.

Hierzu wurde die bereits beim Wasser- und Schiffsamt Tönning bestehende Untersuchungsstelle in eine Vorarbeitenstelle umgewandelt.

Auf Grund der allgemeinen Untersuchungen hat die Vorarbeitenstelle verschiedene Vorschläge zur Lösung des Eiderproblems erarbeitet, ihre voraussichtliche Wirkung untersucht und die Kosten überschlägig ermittelt.

Die beiden Hauptforderungen an eine dauerhafte Lösung im Eidergebiet sind:

- Sicherung gegen Sturmfluten und
- Schaffung einer optimalen Vorflut.

Daneben steht die Forderung nach Aufrechterhaltung des Wasserverkehrs zwischen der Nordsee und dem Nord-Ostsee-Kanal mit den Häfen am Eiderlauf in dem nach 1936 möglich gewesenem Umfang.

Fast alle erarbeiteten Lösungen haben sich mit der Voraussage über ihre Wirkung auf die Strömung, die Wasserstände und die mitgeführten Stoffe auseinandersetzen.

Da die Voraussage über die Wechselwirkung zwischen menschlichem Eingriff und den Wirkungen der Gezeitenkräfte zu den schwierigsten Aufgaben im Tidegebiet gehört, beauftragten der Herr Bundesminister für Verkehr (am 6. Mai 1963) und der Herr Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein (am 2. Mai 1963) den Küstenausschuß Nord- und Ostsee mit der Erstattung eines Gutachtens über die Eideruntersuchungen und die zu treffenden Maßnahmen; der Küstenausschuß Nord- und Ostsee setzte dazu die Unterzeichneten als *Gutachtergruppe Eider* ein.

Die beiden Verwaltungen stellten der *Gutachtergruppe Eider* folgende Fragen:

1. Sind die Naturvorgänge in der Eider und im weiteren Mündungsgebiet sowie der Einfluß der Eiderabdämmung auf diese Vorgänge richtig erkannt worden?
2. Können Vorschläge für ergänzende grundsätzliche Untersuchungen gemacht werden?
3. Reichen die für die angesprochenen Lösungen durchgeführten Untersuchungen aus; welche ergänzenden Untersuchungen sind gegebenenfalls noch anzustellen?
4. Welche anderen als die erarbeiteten Lösungen können noch in Betracht gezogen werden?
5. Soweit keine wesentlichen Ergänzungs- oder Verbesserungsvorschläge für notwendig gehalten werden, wird um eine Stellungnahme gebeten, welche der angesprochenen Lösungen für die Herstellung eines wirksamen Küstenschutzes, für eine optimale Vorflut und für die Aufrechterhaltung von Schifffahrt und Fischerei die größte Sicherheit bietet.

Das Wasser- und Schiffsamt Tönning und die verschiedenen Dienststellen des Bundes und der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Schleswig-Holstein stellten alle vorliegenden Ergebnisse, Berichte, Entwürfe usw. für die Bearbeitung des Gutachtens zur Verfügung und stellten auf Wunsch der Gutachtergruppe noch ergänzende Untersuchungen und Berechnungen an.

Nur dank dieser von allen beteiligten Verwaltungen gegebenen Auskünfte, Unterstützung und stets schnellen Bereitstellung der für die Bearbeitung von uns erbetenen Unterlagen war es uns möglich, das Gutachten in der vorliegenden Form in verhältnismäßig kurzer Zeit zu erstellen.

II. Die Versandung der Eider

A. Sandbewegung und Versandung als Folge der Tide

Die heute in der Eider vorliegenden Schwierigkeiten sind ein Problem der Sandbewegung als Folge der Tide. Unsere Kenntnisse über die Sandbewegung ergeben etwa folgendes Bild: Bei gleichförmigen Strömungen über eine sandige Gewässersohle beginnen die Sandkörner von einer kritischen Strömungsgeschwindigkeit v_k an zunächst zu rollen und bei weiter steigender Ge-

schwindigkeit zu springen, sich also vom Boden zeitweise zu lösen. Ein Teil des aufgewirbelten Sandes fällt zur Sohle zurück, ein anderer Teil wird durch die Turbulenz der Strömungen in höhere Wasserschichten getragen (Austauschvorgang). Je nachdem, ob die Menge des nach oben transportierten Sandes größer oder kleiner als die zur Sohle zurückfallende ist, spricht man von Erosion oder Sedimentation. Die Erosion hängt hauptsächlich von der Geschwindigkeit und der Turbulenz der Strömung, von der Korngröße, Kornverteilung und dem spezifischen Gewicht des Sandes sowie von der Form und Beschaffenheit der Gewässersohle ab. Die Sedimentation hängt in erster Linie von der Sinkgeschwindigkeit der Sandkörner und der Turbulenz ab, genauer: von dem Verhältnis der Sinkgeschwindigkeit zum Austauschkoefizienten. Bei einer konstanten Strömungsgeschwindigkeit oberhalb der kritischen Geschwindigkeit stellt sich in einem homogenen Strömungsfeld ein Gleichgewicht zwischen aufgewirbelten und absinkenden Teilchen ein, das durch die Gleichung

$$s(z) = s_0 \cdot e^{-\frac{c}{A} z}$$

beschrieben werden kann, wobei z die Höhe über dem Meeresboden, $s(z)$ der Sandgehalt des Wassers in der Höhe z , s_0 der Sandgehalt für $z = 0$ (am Meeresboden), c die Sinkgeschwindigkeit des Sandes und A der vertikale Austauschkoefizient sind. Die vertikale Verteilung des Sandgehaltes kann also im Meere für den stationären Zustand durch ein einfaches Exponentialgesetz beschrieben werden. Die Sinkgeschwindigkeit c hängt von der Korngröße und Form des Sandes und seinem spezifischen Gewicht sowie von Temperatur und Salzgehalt des Meerwassers ab. Die Turbulenz hängt nicht nur von der Strömungsgeschwindigkeit, sondern auch von der Gesamttiefe des Wassers ab; der Durchmesser von Turbulenzkörpern kann diese nicht überschreiten. Deshalb ändert sich der Austauschkoefizient in flachen Seegebieten von einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit ab nicht mehr wesentlich.

Auf die doppelte Funktion der Strömung bei Sandbewegungsvorgängen, nämlich die Aufwirbelung des Sandes („Bagger-Wirkung“) und den Transport des Sandes („Verfrachtungswirkung“) sei besonders hingewiesen. Inwieweit die Strömung ihr Transportvermögen ausnutzt, hängt von den verfügbaren und aufgewirbelten Sandmengen ab. Diese doppelte Wirkung der Strömung wird häufig bei der Untersuchung über den Zusammenhang zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Sandtransport nicht unterschieden, was zu Fehlschlüssen führen kann; z. B. muß man beachten, daß die Baggerwirkung bei nachlassender Strömungsgeschwindigkeit früher aufhört als das Transportvermögen. Das Baggervermögen der Strömung wächst mit einer Potenz der Geschwindigkeit. Der Exponent schwankt in weiten Grenzen. Für den Eider-Sand z. B. scheint er nach den Beobachtungen des Wasser- und Schifffahrtsamtes Tönning zwischen 2 und 3, nach den Modellversuchen im Franzius-Institut bei 5 zu liegen. Der Exponent wächst mit zunehmendem Korndurchmesser. Der Austausch, ein Maß für das Transportvermögen der Strömung, wächst, wie bereits erwähnt, nicht in gleichem Maße, sondern nähert sich einem Grenzwert. Über den Sättigungswert, den eine bestimmte Strömungsgeschwindigkeit bei hinreichend großem Sandgehalt erreicht, sind noch keine zuverlässigen Untersuchungen aus der Natur bekannt.

Bei den periodisch veränderlichen Tideströmungen finden Sandaufwirbelung und Transport ebenfalls periodisch statt. Dabei wird der durch obige Gleichung gekennzeichnete Gleichgewichtszustand im allgemeinen nicht oder nur kurzzeitig erreicht; der zeitliche Verlauf des Sandgehaltes hat gegenüber der Strömung eine Phasenverschiebung. Das führt zu der bekannten Erscheinung, daß Strömungsgeschwindigkeiten gleicher Stärke im Mittel bei Beschleunigung einen kleineren Sandgehalt aufweisen als bei Verzögerung. Diese Erscheinung läßt sich theoretisch ableiten und als Sandwelle deuten, die im Gezeitenrhythmus von der Gewässersohle zur

In der Eider sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt. Hier wechseln Tiefen und Breiten und damit die Strömungsgeschwindigkeiten sowie das Sandangebot in kurzen Abständen. Man hat ferner zu berücksichtigen, daß der Sand nach seiner Aufwirbelung zunächst wolkenförmig auftritt, bevor Diffusionsvorgänge für eine gleichmäßigere Verteilung sorgen. Im übrigen haftet den heute gebräuchlichen diskontinuierlichen Meßmethoden leider noch ein hohes Maß von Unsicherheit an. Die große Streuung der Meßwerte bei den in der Natur durchgeführten Untersuchungen ist daher verständlich. Sie erlauben nicht, allgemeingültige und extrapolationsfähige Gesetze für den Sandtransport als Funktion der Tiden, d. h. aus gleichzeitig an einzelnen Stellen gemessenen Geschwindigkeiten und Sandgehalten, abzuleiten. Solche Untersuchungen geben immerhin einen Einblick in die Größenordnung der zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort bewegten Sandmengen. Insbesondere zeigen Bilanz-Untersuchungen über den Tideverlauf, daß es sich bei erodierten oder sedimentierten Sandmengen stets um kleine Differenzen großer Sandmengen handelt, die von der Tideströmung hin und her verfrachtet werden. Derartige Zustände sind in der Natur im allgemeinen sehr labil und schon gegen geringe Eingriffe besonders empfindlich.

Die Tidekurven an der Küste und in den Strommündungen der Deutschen Bucht zeigen keinen sinusförmigen Verlauf, sondern sind insbesondere zur Springzeit asymmetrisch. Sie steigen anfangs schnell, später langsamer und fallen gleichmäßig, zeitweise linear ab. Die Steigdauer ist meist kürzer als die Falldauer. Als Beispiel ist in Abbildung 1 die mittlere Springtidekurve in Tönning für 1935 dargestellt. Die Steigdauer beträgt 5^h06^m , die Falldauer 7^h15^m . Bereits 1 Stunde 30 Minuten nach Springtideniedrigwasser ist das Springtidehalbwasser erreicht. Da beim Auflaufen der Tidewelle der Tidehochwasserscheitel wegen der größeren Wassertiefe schneller flüßeinwärts läuft als das Tideniedrigwasser, verstärkt sich die Asymmetrie der Tidekurven beim Eindringen der Tide in einem Fluß, wie die Tidekurven in der Eider von Tönning, Friedrichstadt, Pahlhude, Lexfähre und Rendsburg zeigen (Abb. 2). Der Anstieg der Tidekurve von Rendsburg näherte sich 1925 fast dem Charakter einer Bore.

Treten Tiden dieser Art in einem Tidefluß auf, der unterhalb seiner natürlichen Tidegrenze abgesperrt ist und keinen Oberwasserzufluß hat, haben sie zur Folge, daß infolge der Reflexion der Tidewelle an der Sperrstelle sofort nach Kenterung des Ebbestromes ein starker Flutstrom einsetzt. Nach Überflutung der seitlichen Wattflächen (etwa um die Zeit des Tidehalbwassers) nimmt die Strömung rasch ab und ist in der zweiten Hälfte der Flutzeit verhältnismäßig schwach. Der Ebbestrom ist dagegen während längerer Zeit etwa gleichmäßig stark, aber schwächer als der Flutstrom. Mit Annäherung an die Absperstelle bleibt der charakteristische Verlauf mit einer steilen Flutstromspitze und einem Ebbestrom von fast gleichbleibender Geschwindigkeit nicht nur erhalten, sondern er verstärkt sich noch.

Dieser Strömungsverlauf ist für eine Versandung besonders förderlich. Der anfangs starke Flutstrom (Abb. 3) bewirkt eine starke Erosion. Während des Zeitraumes S_F um den Flutkenterpunkt K_F , in dem $v < v_k$ ist, sedimentiert der Sand. Überschreitet der Ebbestrom den Wert v_k , setzt erneut Erosion ein, die jedoch wesentlich geringer ist als zur Flutzeit. Nach Absinken des Ebbestromes unter v_k sedimentiert das aufgewirbelte Material wieder, doch wird aus Abbildung 3 deutlich, daß $S_E < S_F$. Die Sedimentationszeit ist im Anschluß an den Flutstrom wesentlich größer als im Anschluß an den Ebbestrom. Berücksichtigt man noch die oben erwähnte Phasenverschiebung zwischen dem Strommaximum und dem maximalen Sandgehalt, die sich besonders auch bei Schlick auswirkt, zeigt sich, daß das vom Ebbestrom erodierte Material, noch bevor es sedimentieren kann, zu einem großen Teil vom Flutstrom erfaßt und wieder flüßaufwärts verfrachtet wird. Nur für Schwebestoffe mit relativ großer Sinkgeschwindigkeit kann der Zeitraum S_E zur Sedimentation noch ausreichen.

Mit Annäherung an die Absperstelle des Tideflusses wird ein Punkt erreicht, an dem der

maximale Ebbestrom unter die kritische Geschwindigkeit sinkt, während der maximale Flutstrom noch über ihr liegt. In diesem Flußabschnitt wird also der Sand nur noch flußaufwärts transportiert. Die relativ stärkste Sedimentation wird also in einem Flußabschnitt, in dem $v_{f \max} > v_k > v_{e \max}$ ist, stattfinden. Da v_k vor allem von der Korngröße abhängt, wird dieser Abschnitt für unterschiedliche Korngrößen in verschiedenen Entfernungen von der Absperrstelle liegen. Es findet also eine Sortierung des Sandes in dem Sinne statt, daß der feinere Sand weiter flußaufwärts, der gröbere in stärkerem Maße nach der Mündung zu sedimentiert. Eine solche Sortierung ist auch in der Eider vorhanden.

In dem Maße, in dem die Versandung den Fluß- und Flutraum einengt und damit die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten herabsetzt, rücken auch diese Zonen flußabwärts und führen so zu einer weiteren Verlandung, bis die Geschwindigkeiten so gering geworden sind, daß von der Strömung keine größeren Sandmengen mehr bewegt werden können. Diese Entwicklung ließe sich verhindern, wenn eine hinreichende Menge von Oberwasser, die die Null-Linie der Geschwindigkeit in Abbildung 3 so weit nach oben verlagert, daß sich die Wirkungen von Flut- und Ebbestrom zumindest ausgleichen, zugegeben werden könnte. Die Möglichkeit besteht in der Eider nicht.

Aus diesen Überlegungen kann allgemein gefolgert werden: In einem Tidefluß mit geringem oder ohne Oberwasser, an dessen Mündung

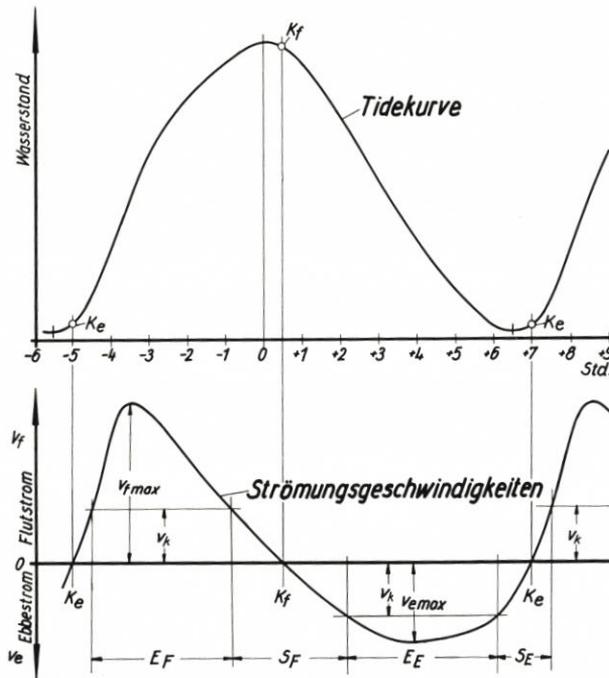


Abb. 3. Tidekurve und Strömungsgeschwindigkeiten in einem Tidefluß (schematisch)

ung Tiden mit kurzer Flut- und langer Ebbedauer herrschen und vor dem ein ausgedehntes Sandgebiet liegt, verstärken sich Versandung und weitere Verformung der Tidebewegung wechselseitig bis zu einer weitgehenden Verlandung des Flußlaufes.

Abschließend soll hier noch kurz auf die kennzeichnenden Faktoren für eine Versandung eingegangen werden. Als Kennzeichen für eine positive oder negative Sandbilanz wird in den Berichten des Wasser- und Schiffsamtes Tönning ausschließlich das Verhältnis $v_{e \max} : v_{f \max} = k$ in dem Sinne verwendet, daß für den Fall $k > 1$ Ausräumung, für $k < 1$ Versandung des Flußbettes eintritt und für $k = 1$ Gleichgewicht herrscht. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die maximalen Geschwindigkeiten für die Baggerwirkung der Strömung von besonderer Bedeutung sind und damit allerdings zu den wichtigsten Faktoren für die Aufstellung von Sandbilanzen gehören. Die k -Werte reichen jedoch allein für die Beurteilung der Sandbilanz nicht aus. Die Sedimentationszeiten um die Stromkenterpunkte wirken sich vor allem auf die Bilanz bei feinem Sand aus. Ferner ist zu beachten, daß die Geschwindigkeiten an einer Meßstelle niemals charakteristisch für eine größere Umgebung sind. Trotz maximaler

Ebbeströmung in einer Rinne kann die Verlandung von über T_{nw} gelegenen Gebieten zu einer Einschränkung des Flutraumes und damit zu einer langsamen Abnahme auch dieser Geschwindigkeiten führen. Eine weitere selbstverständliche Voraussetzung dafür, daß die maximale Geschwindigkeit wie ein Bagger wirkt, ist ein genügend großer Sandvorrat am Ort der Geschwindigkeit. Auch gibt es Anzeichen dafür, daß die Baggerwirkung des Flut- und Ebbestromes bei gleicher mittlerer Geschwindigkeit infolge der unterschiedlichen Turbulenz und des Brackwasser-Effektes verschieden groß ist. Es ist deshalb unmöglich, Fragen der Erosion und Sedimentation auf Grund nur eines Indikators zu beantworten. Es ist nach dem Stande der heutigen Kenntnisse des Tidegeschehens und seines Einflusses auf die Sandbewegung unmöglich, einen alle Einflüsse erfassenden Indikator zu bilden. Es bedarf vielmehr stets der sorgfältigen Abwägung aller geologisch-morphologischen und hydrologisch-dynamischen Gegebenheiten des gesamten Untersuchungsgebietes, um seine voraussichtliche Entwicklung beurteilen zu können.

Infolge der Verschiedenartigkeit der Zusammenhänge sind Einzelmessungen, sei es der Strömung, sei es des Sandgehaltes, wegen ihrer starken Streuung und ihrer örtlich und zeitlich begrenzten Gültigkeit für die Beurteilung der Sandbilanz nur sehr bedingt geeignet. Wir haben deshalb unsere Aufmerksamkeit besonders den Vorgängen in der Eider gewidmet, die integrierend die morphologischen Veränderungen im Eidergebiet und die hydrologisch-dynamischen Veränderungen, die sich in den Änderungen der Tidekonstanten ausdrücken, erkennen lassen. Solche Betrachtungsweise ist allein sinnvoll, weil es unmöglich ist, zeitlich und räumlich auseinanderliegende Einzelmessungen zu einem zutreffenden Gesamtbild zu verbinden.

B. Entwicklung der Eider

1. Entwicklung der Untereider vor dem Bau der Abdämmung Nordfeld

Durch die natürliche Veränderung der Tideverhältnisse in der Deutschen Bucht (säkularer Anstieg des Meeresspiegels, Zunahme der Sturmflutwirkung) und die seit dem Mittelalter immer stärker gewordenen Einwirkungen des Menschen auf den hydrologischen und morphologischen Zustand des Eider-Flusses ist dieser ehemalige Küstenfluß allmählich zu einem Tidefluß geworden. Die in der Grundlagenstudie 1 des Wasser- und Schiffsamtes Tönning gegebene Schilderung dieser Entwicklung ist nach unserer Auffassung grundsätzlich zutreffend. Es kann hiernach auch als wahrscheinlich angenommen werden, daß etwa vom Ende des 17. Jahrhunderts an die mittlere Tidebewegung in Rendsburg bemerkbar wurde. Um eine Anschauung über deren weitere Entwicklung in Rendsburg zu erhalten, sind die in den Grundlagenstudien des Wasser- und Schiffsamtes enthaltenen Tide- und Wasserstandsangaben ausgewertet worden. Das Ergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt. Es zeigt sich, daß in der Zeit des Baues des Eider-Kanals (1777 bis 1784) und des Nord-Ostsee-Kanals (1887 bis 1895) besonders einschneidende Veränderungen der Tideverhältnisse in Rendsburg eingetreten sind.

Mit dem Bau des Eider-Kanals waren für damalige Zeit umfangreiche Baggerungen, Flußbegradigungen und Durchstiche unterhalb von Rendsburg verbunden, die eine Vergrößerung des Tidehubes verursachten, was sich in erster Linie in einem Anstieg des MThw zeigte.

Im Zusammenhang mit dem Bau des Nord-Ostsee-Kanals wurde der Oberwasserzufluß der Eider in Rendsburg abgeschnitten. Hierdurch und durch weitere Eingriffe wurden die Tideverhältnisse der Untereider grundlegend verändert. Daran beteiligt waren auch fortschreitende Sommer- und Winter-Bedeichungen bis Rendsburg hinauf von etwa 1890 bis 1926. Diese Eingriffe führten zu einer Vergrößerung des Tidehubes, wie in der Grundlagen-Studie 1 geschildert ist. Alle dort genannten Maßnahmen erklären allein noch nicht die Vergrößerung des MThb

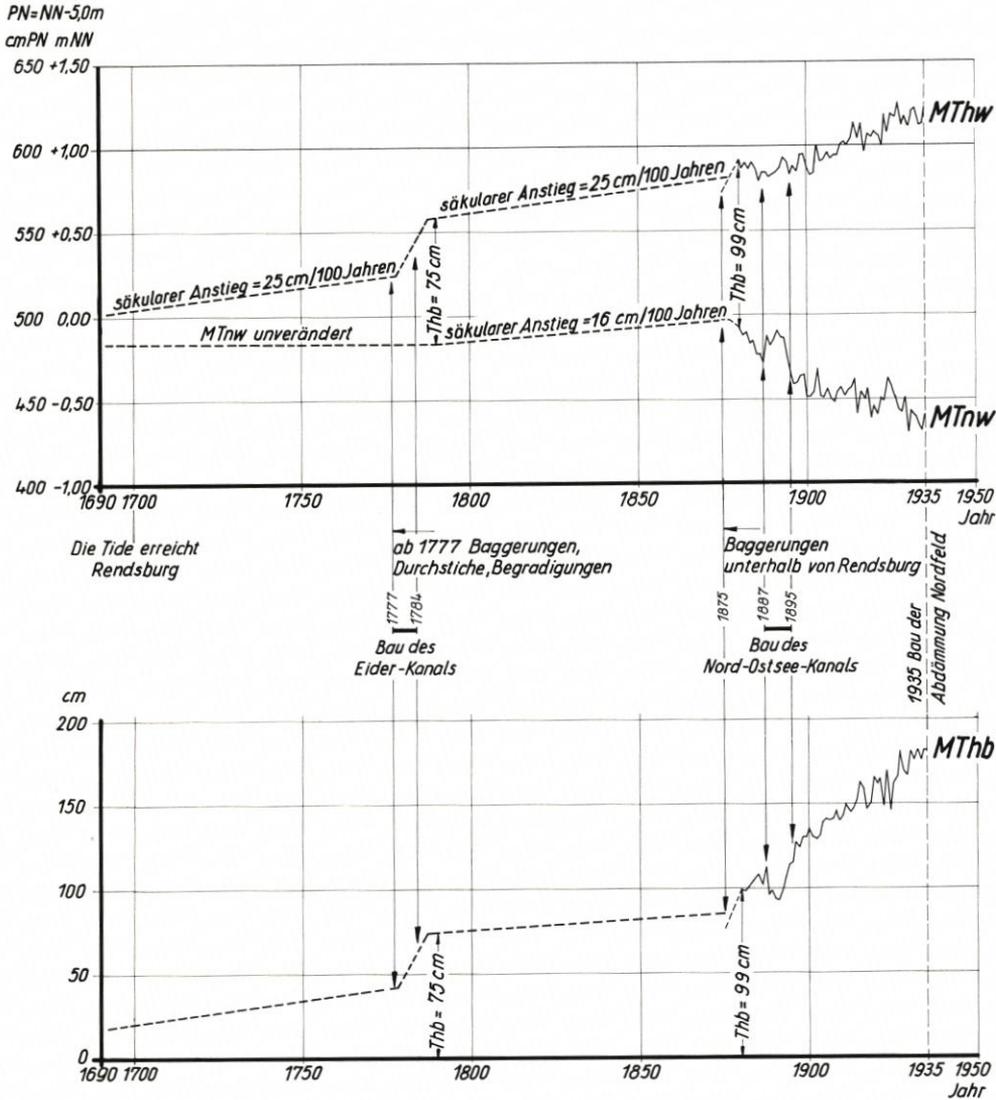


Abb. 4. Entwicklung der Tide bei Rendsburg von 1700 bis 1935

nach dem Bau des Nord-Ostsee-Kanals, die auch 1935 (Abdämmung Nordfeld) offensichtlich noch nicht abgeschlossen war. Wegen ihrer Bedeutung für die Beurteilung der Frage, ob sich die Eider zur Zeit des Baues der Abdämmung Nordfeld in einem Beharrungszustand befand, hielten wir es für notwendig, die Ursachen dieser Erscheinung besonders zu untersuchen.

In der Untereider zwischen Rendsburg und Westerrönfeld (km 0 bis km 3) war zur Zeit der Fertigstellung des Nord-Ostsee-Kanals eine Wasserfläche unter MThw (einschließlich des Stadtsees) von etwa 50 ha vorhanden. Diese hatte sich bis 1935 durch Aufspülung von Baggergut und Verlandung auf etwa 64% verringert und damit zu einer trichterförmigen Einengung des Flußbettes geführt.

Um festzustellen, ob sich die Flußquerschnitte auch flußabwärts verkleinert haben, sind

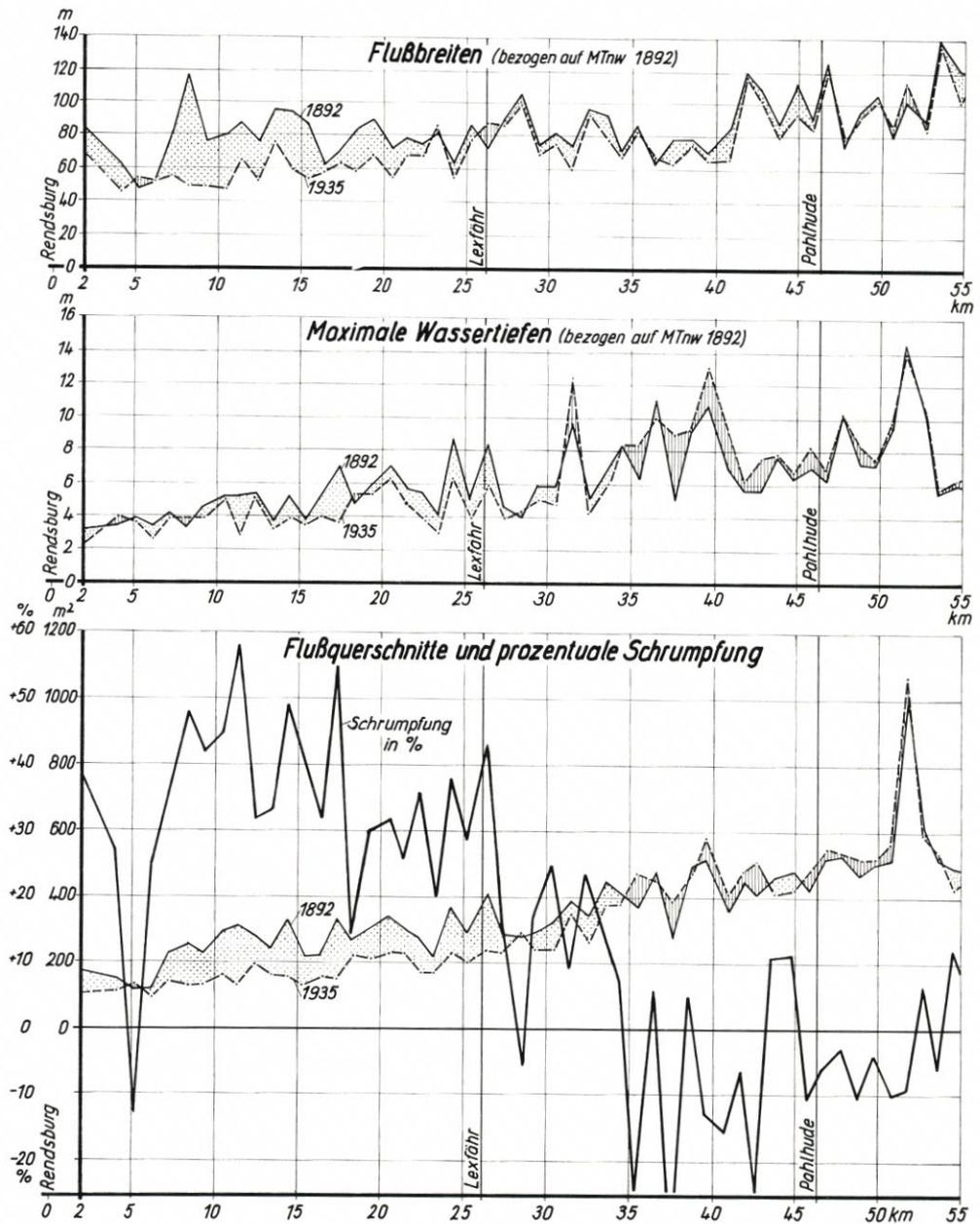


Abb. 5. Vergleich der Profilpeilungen in der Eider von km 2 bis km 55 (1892 und 1935)

die im Jahre 1892 ausgeführten Profilpeilungen (von km 2 bis km 55) mit den Peilungen von 1935 verglichen worden. Die Untersuchungen haben folgendes ergeben (Abb. 5):

- Die *Flußbreiten* in Höhe des MTnw von 1892 haben auf der ganzen Strecke von km 2 bis km 55 abgenommen, und zwar am stärksten bis km 20, dann allmählich abklingend.
- Die *maximalen Wassertiefen* (ebenfalls auf MTnw 1892 bezogen) sind von km 2 bis km 10 wenig verändert (Baggerungen im Fahrwasser), dann aber sind sie etwa bis km 30 um mehr

- als 1 m geringer geworden; weiter flußabwärts haben sich die maximalen Tiefen jedoch fast auf der ganzen Strecke vergrößert.
- c) Die aus a) und b) nach der Parabelformel berechneten *Flußquerschnitte* zeigen etwa bis km 35 eine wesentliche Schrumpfung, die auf langen Strecken (km 6 bis km 27) 25% bis 50% beträgt; nur von km 2 bis km 6 ist sie offenbar infolge von Fahrwasser-Baggerungen geringer. Unterhalb von km 27 klingt die Schrumpfung ab, und etwa von km 35 an ist eine gewisse Zunahme der Querschnitte eingetreten, die auf eine Vergrößerung der maximalen Wassertiefen zurückzuführen ist.
 - d) Durch die Schrumpfung der Flußquerschnitte, die hauptsächlich durch Abnahme der Flußbreiten verursacht ist, verstärkte sich der Trichter-Effekt, der durch die Tiefhaltung der Fahrwasserrinne (Baggerungen) zusätzlich vergrößert worden ist.
 - e) Der sich im Laufe der Jahrzehnte ständig verstärkende Trichter-Effekt verursachte eine Vergrößerung des MThb, die sowohl zu einer Erhöhung des MThw wie auch zu einer Erniedrigung des MTnw führten. Die Tidekurve nahm bei Annäherung an Rendsburg zunehmend eine bore-ähnliche Gestalt an.
 - f) Im Jahre 1935 (Bau der Abdämmung Nordfeld) war diese Tideentwicklung bereits so weit fortgeschritten, daß eine wesentliche Vergrößerung des Tidehubes in Rendsburg infolge der mit zunehmender Schrumpfung des Flußbettes wachsenden Energieverluste der einlaufenden Tidewelle nicht mehr zu erwarten war. Der Tidehub würde sogar mit der Zeit wieder abgenommen haben, ähnlich wie es später in Nordfeld nach dem Bau der Abdämmung der Fall gewesen ist. Die Verkleinerung der Querschnitte hätte sich nach der Mündung zu fortgesetzt (Abschnitt II. A.) und allmählich zu einer fast vollständigen Versandung des Flusses geführt.

Es sei noch ergänzend bemerkt, daß auf unsere Bitte vom Wasser- und Schiffsamt Tönning eine Vergleichsuntersuchung über die Versandung der Eider aufgestellt wurde; diese hat gleichfalls die Schrumpfung der Eider von km 2 bis km 35 bestätigt. Für diese Untersuchung sind auch Peilungen von 1912 von km 2 bis km 20 mit verwendet worden; das Maß der für dieses Jahr ermittelten Schrumpfung liegt etwa in der Mitte zwischen den für 1892 und 1935 gewonnenen Werten.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß die Tidebewegung bei Rendsburg durch den Trichter-Effekt grundlegend verändert worden ist. Zur Beurteilung der sich hieraus für die Untereider ergebenden Entwicklung sind die Aufzeichnungen der Eider-Pegel ausgewertet worden.

Als Ausgangspegel dient der Pegel Tönning. Die an diesem Pegel eingetretenen Schwankungen der Tidekurve sind mit denen in Cuxhaven verglichen worden, um festzustellen, inwieweit sie den allgemeinen Schwankungen in der Nordsee entsprechen oder auf andere Ursachen zurückzuführen sind.

Die in Abbildung 6 dargestellten Tidewerte lassen für die Pegel Cuxhaven und Tönning für die übergreifenden 3jährigen Mittel von 1895 bis 1934, das ist die Zeitspanne zwischen dem Bau des Nord-Ostsee-Kanals und der Abdämmung Nordfeld, erkennen, daß die MThw, $MT\frac{1}{2}w$ und MTnw einen gleichsinnigen Verlauf haben. Die absoluten Schwankungen sind jedoch in Tönning etwas größer als in Cuxhaven. Die Eidermündung mit ihren ausgedehnten Wattflächen und den gegenüber der Elbemündung flachen und schmalen Stromrinnen führt zu diesen vergrößerten Schwankungen. Die mittleren Tidehübe haben sich an beiden Pegeln in der betrachteten Zeitspanne im ganzen nur wenig geändert. Dies trifft besonders für Tönning zu. Die Schwankungen des MThb in Cuxhaven sind wahrscheinlich durch besondere Verhältnisse in der Elbe bedingt.

Aus dem Vergleich ergibt sich also, daß die Schwankungen am Pegel Tönning denen am Pegel Cuxhaven etwa entsprechen. Es kann daher angenommen werden, daß die Tidebewegung in Tönning von 1895 bis 1934 die allgemeine Entwicklung in der Deutschen Bucht zeigt und somit durch keine anderen örtlich bedingten Ursachen spürbar beeinflusst ist.

Die Entwicklung der Tide an den Eiderpegeln ist in Abbildung 7 dargestellt. In Rendsburg hat sich der MThb von 1881 bis 1934 stetig vergrößert, abgesehen von der Bauzeit des

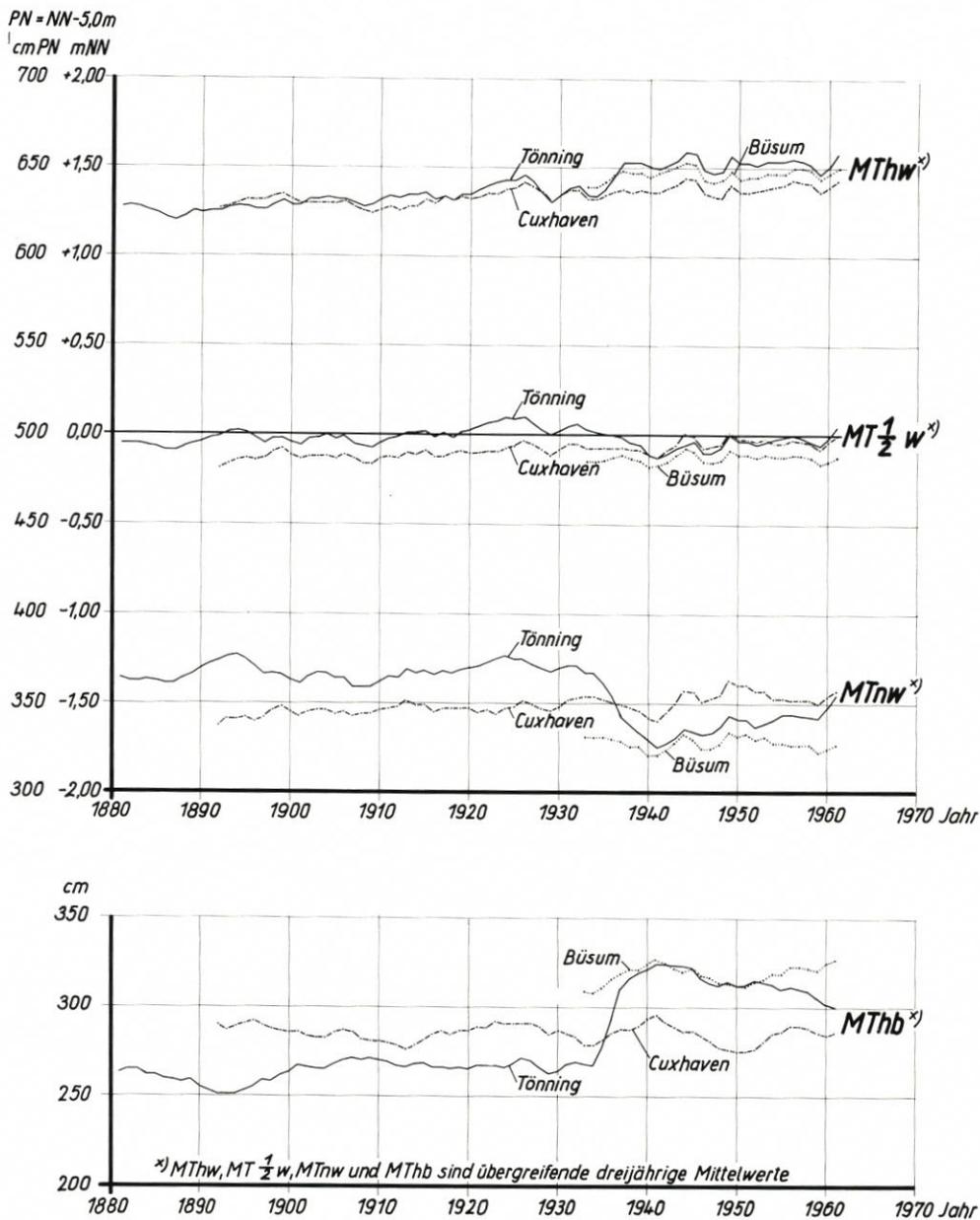


Abb. 6. Entwicklung der Tide an den Pegeln Büsum (seit 1932), Tönning (seit 1881) und Cuxhaven (seit 1892)

Nord-Ostsee-Kanals (1887 bis 1895), während der eine vorübergehende Verkleinerung des MThb eingetreten ist. Die gleiche Entwicklung ist am Pegel Pahlhude seit 1895, jedoch abgeschwächt, eingetreten. In Rendsburg hat sich der MThb von 1895 bis 1934 um 61 cm, in Pahlhude dagegen nur um 20 cm vergrößert. Diese Vergrößerungen äußerten sich sowohl in einer Erhöhung der MThw als auch in einer Erniedrigung der MTnw. Bis 1934 waren die

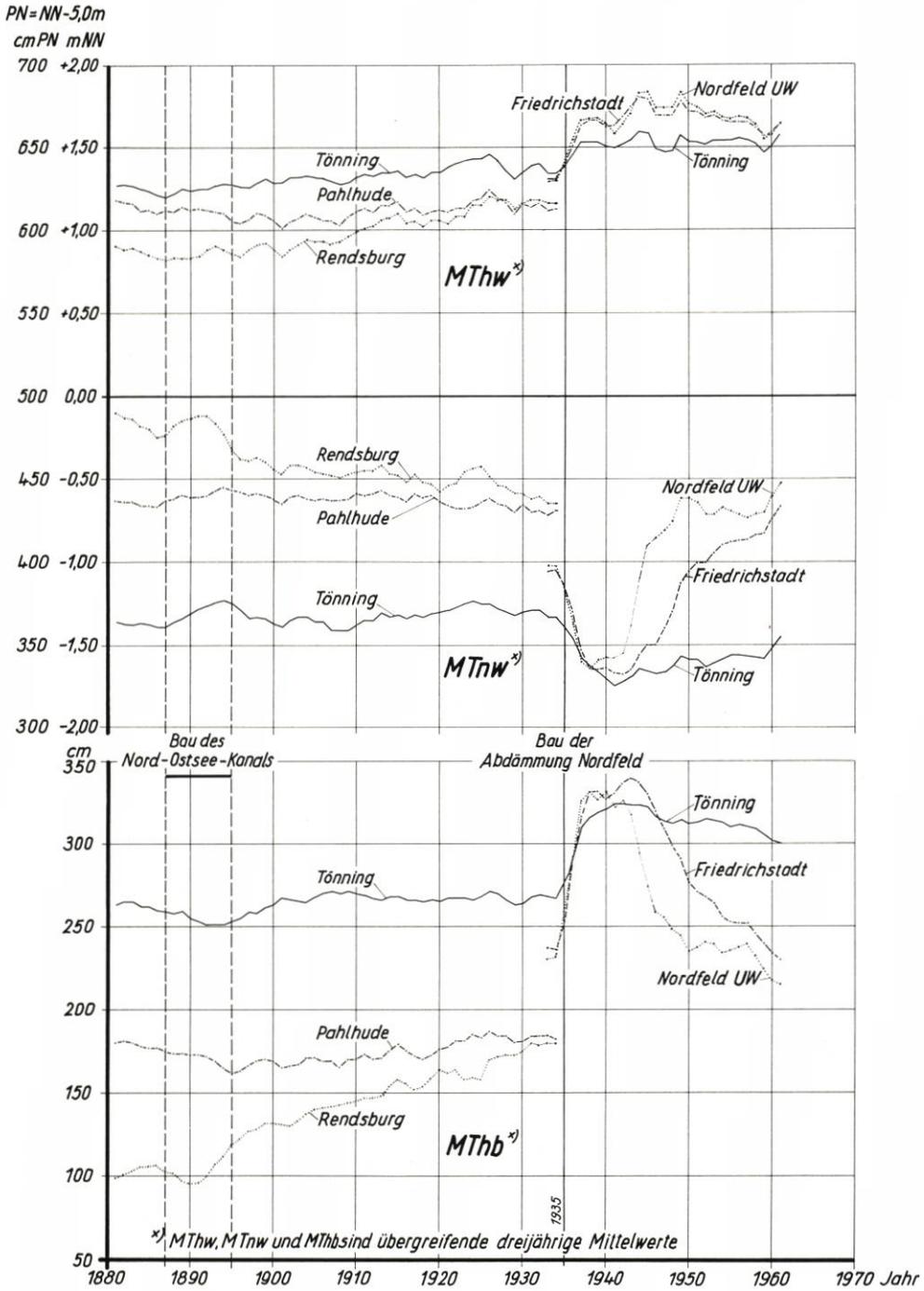


Abb. 7. Entwicklung der Tide an den Eiderpegeln seit 1881

mittleren Tidehöhe an beiden Orten fast gleich groß gewesen. Der in Rendsburg seit Beendigung des Baues des Nord-Ostsee-Kanals verstärkt aufgetretene Trichter-Effekt ist in Pahlhude (km 45,8) ebenfalls, wenn auch in geringerem Maße, wirksam gewesen.

Die Schrumpfung der Eiderquerschnitte war dagegen im Jahre 1935 erst bis etwa km 35 vorgedrungen (Abb. 5). Der MThb in Tönning ist in der genannten Zeit fast unverändert geblieben (Abb. 7).

Nach den vorstehenden Darlegungen hat sich die Wirkung des Trichter-Effektes, von Rendsburg ausgehend, allmählich flußabwärts ausgedehnt; sie ist auch schon in Pahlhude an den Tideverhältnissen erkennbar geworden, jedoch noch nicht in Tönning.

Zur Zeit der Abdämmung bei Nordfeld befand sich also die Eider nicht in einem Beharungszustand, weder bezüglich ihrer Tideentwicklung noch ihres Schrumpfungsvorganges.

2. Entwicklung der Tide-Eider nach dem Bau der Abdämmung Nordfeld

Durch den Bau der Abdämmung Nordfeld im Jahre 1935 wurde die Eider auf 78 km Länge vom Tideeinfluß abgeschnitten, wodurch ihre Flutwassermengen um etwa 12 Mio. m³ verringert wurden. In Nordfeld entstand eine neue Reflexionsstelle, vor der sich die an sich schon zur Versandung führenden Wirkungen der Tide (Trichter-Effekt) wesentlich verstärkten und damit den Schrumpfungsvorgang des Flusses erheblich beschleunigten. Neben der Reflexion und dem Trichter-Effekt haben sich aber auch Baggerungen, Bühnenbauten, Landgewinnungswerke und der Spülbetrieb an der Abdämmung Nordfeld auf die weitere Entwicklung des Flusses ausgewirkt, und zwar teils im ungünstigen und teils im günstigen Sinne.

Zur Klärung dieser Zusammenhänge sind in Abbildung 8 die Tidewerte von 1934 bis 1962 für die Pegel Nordfeld, Friedrichstadt, Tönning und Büsum, der zeitliche Ablauf der Versandung in der Tideeider sowie die wasserbaulichen Maßnahmen zusammengestellt. Im einzelnen ergibt sich hieraus folgendes:

- a) Die starke Vergrößerung der MThb an den Eiderpegeln unmittelbar mit Fertigstellung der Abdämmung, in erster Linie erkennbar an der beträchtlichen Erniedrigung des MTnw und an der geringeren Erhöhung des MThw, war eine Folge der Reflexion der Tidewelle. Die Vergrößerung der MThb war natürlich am größten unmittelbar an der Abdämmungsstelle. Sie nahm seewärts ab, betrug aber in Tönning noch rund $\frac{1}{2}$ m.

Hierdurch waren die Voraussetzungen für eine sofort einsetzende und fortschreitende Versandung des Tideflusses geschaffen; auf die Ausführungen in den vorhergehenden Abschnitten wird verwiesen. Im weiteren Verlauf trat durch die Versandung der Eider eine Erhöhung ihrer Sohle und damit besonders der MTnw ein; der mittlere Thb nahm dadurch allmählich wieder ab. In den Jahren 1938 bis 1942 hatten die MTnw in Nordfeld und Friedrichstadt ihre niedrigsten Werte erreicht. Das in dieser Zeit nach einem leichten Ansteigen wieder eingetretene Abfallen ist vermutlich auf Baggerungen 1941/42 zurückzuführen. Dann setzte sich die allgemeine Versandung verstärkt durch und führte infolge der Verkleinerung der mittleren Thb zu einem schnellen Steigen der MTnw an beiden Pegeln. Die geringen Schwankungen der MTnw in Tönning in der gleichen Zeitspanne hängen mit obigen Veränderungen nicht zusammen, wie der Vergleich mit Büsum zeigt.

- b) Der Verlauf der Versandung ist in der Tide-Eider seit 1935 unterschiedlich gewesen, wie aus den Versandungskurven (Abb. 8) für die Abschnitte A (km 79,0 bis km 85,9), B (km 85,9 bis km 98,9) und C (km 98,9 bis km 108,7) zu ersehen ist. Der obere Abschnitt A war bereits im Jahre 1942, das heißt sieben Jahre nach dem Bau der Abdämmung Nordfeld, zu 80 % versandet. Im Jahre 1948 hatte die Versandung einen Höchstwert von 95 % er-

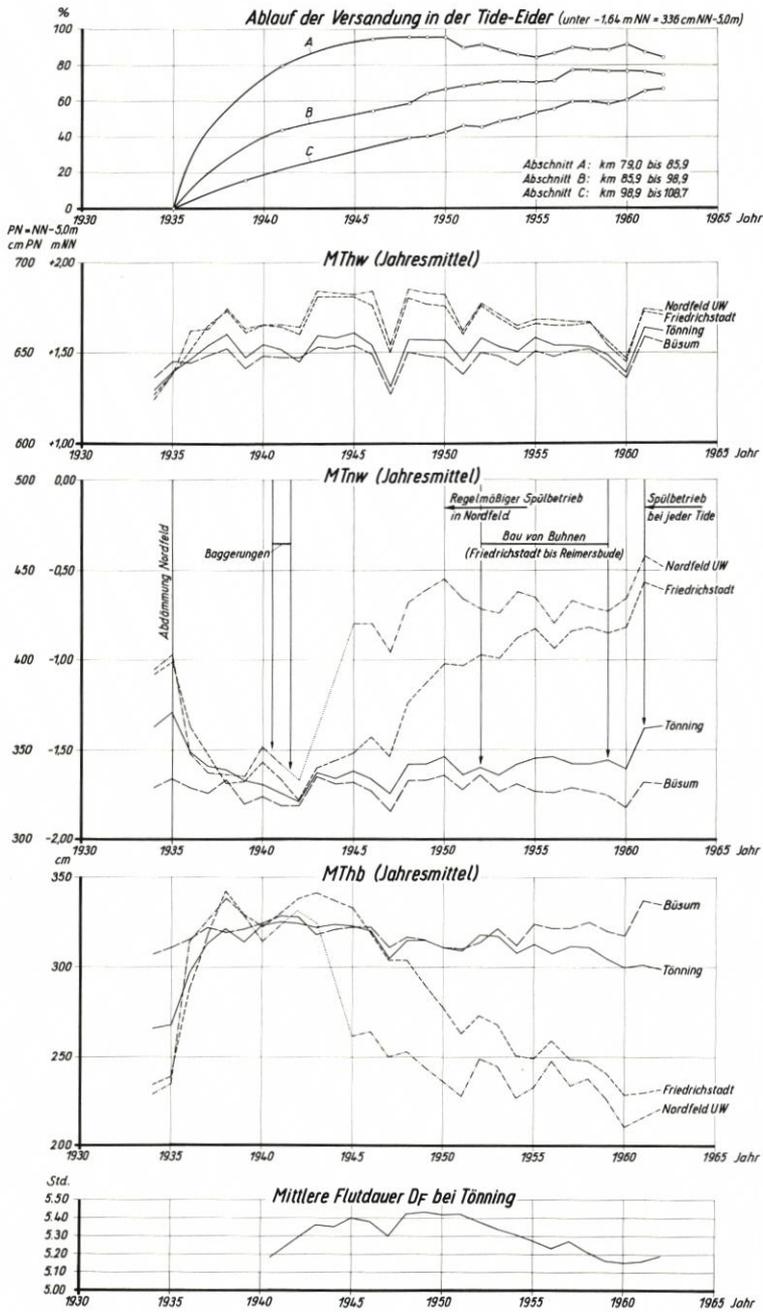


Abb. 8. Entwicklung der Tide unterhalb der Abdämmung bei Nordfeld seit 1934

reicht, die dann als Folge des Spülbetriebes in Nordfeld etwas zurückging und sich bis 1962 auf 80 bis 90 % gehalten hat.

Der mittlere Abschnitt B zeigt einen ähnlichen Gang der Versandung. Auch hier setzte sie zunächst schnell ein und nahm dann in langsamerem Maße, aber stetig zu. Im Jahre 1957 hat sie bisher ein Maximum von 77 % erreicht.

Der am weitesten nach See zu gelegene Abschnitt C zeigt von 1935 an einen fast geradlinigen Verlauf der Versandungskurve. Im Jahre 1962 betrug die Versandung in diesem Abschnitt bereits 67 %. Die Kurve läßt einen weiteren Anstieg vermuten.

- c) Der Fortschritt der Versandung wirkte sich auf die Tidewasserstände in Nordfeld, Friedrichstadt und Tönning merkbar aus. Die bis zum Jahre 1942 eingetretene Versandung im Abschnitt A von 80 % führte zu einer Verkleinerung der MThb, vor allem zu einer Hebung der MTnw; diese betrug in der Zeit von 1942 bis 1945 am Pegel

Nordfeld	87 cm,
Friedrichstadt	28 cm,
Tönning	17 cm.

In der gleichen Zeit war das MTnw in Büsum um 13 cm gestiegen. Dieser Anstieg beruhte auf einem allgemeinen Anstieg des MTnw in der Deutschen Bucht und muß bei den genannten Werten der Eiderpegel berücksichtigt werden.

Bei den MThw hat sich in dieser Zeit keine wesentliche Veränderung bemerkbar gemacht.

Von 1945 bis 1950 verlangsamte sich der Anstieg der MTnw in Nordfeld. Dies hängt offensichtlich mit der Verlangsamung des Versandungsfortschrittes im Abschnitt A zusammen. Der Anstieg der MTnw in Friedrichstadt hielt dagegen über 1945 hinaus bis 1950 unverändert an. Auch diese Erscheinung erklärt sich aus der Versandung, die im Abschnitt B noch unvermindert zunahm. In Tönning ist in der betrachteten Zeitspanne im Vergleich zu Büsum nur ein leichtes Ansteigen des MTnw eingetreten, das gleichfalls mit der fortschreitenden Versandung der Tide-Eider zusammenhängt.

Von 1950 an wurde versucht, die für die Erhaltung einer ausreichenden Vorflut für die Binneneider unerträglich gewordene Versandung der Eider durch regelmäßige Spülungen in Nordfeld und von 1952 an zusätzlich durch Bau von Buhnen auf der Strecke Friedrichstadt-Reimersbude wieder rückläufig zu machen. Die Spülungen konnten nur einen geringen, örtlich begrenzten Erfolg haben, weil sie nur einen kleinen Teil der durch die Abdämmung abgeschnittenen Tidewassermengen zugunsten der Tide-Eider nutzbar machen konnten.

Die Spülungen haben zwar die MTnw bei Nordfeld vorübergehend etwas erniedrigt und damit die Eidervorflut relativ ein wenig verbessert, bei Friedrichstadt den Anstieg der MTnw jedoch nicht nennenswert aufgehalten, höchstens ein wenig verzögert.

Der Buhnenbau zwischen Friedrichstadt und Reimersbude in den Jahren zwischen 1952 und 1959 hat die allgemein ungünstige Entwicklung nicht aufgehalten. Er muß im übrigen als ein unzulängliches Mittel zur Verbesserung eines Tideflusses in Fällen wie dem vorliegenden bezeichnet werden, weil durch Buhnen mit einer Kronenhöhe über MTnw infolge Auflandung der Buhnenfelder Flutraum verloren geht, wodurch die Flutwassermengen wiederum weiter verkleinert werden und die Versandung erneut beschleunigt wird. Die MThb in Nordfeld blieben von 1951 bis 1957 ziemlich unverändert, in Friedrichstadt jedoch hielt die Verkleinerung an. Das Maximum des MThb und der Beginn seiner Verkleinerung war in Nordfeld im Jahre 1942, in Friedrichstadt im Jahre 1943 erreicht. Diese Erscheinung ist also mit fortschreitender Versandung von der Absperrstelle seewärts fortgeschritten. Von 1957 bis 1962 ist an allen drei Eiderpegeln infolge fortschreitender Auf-

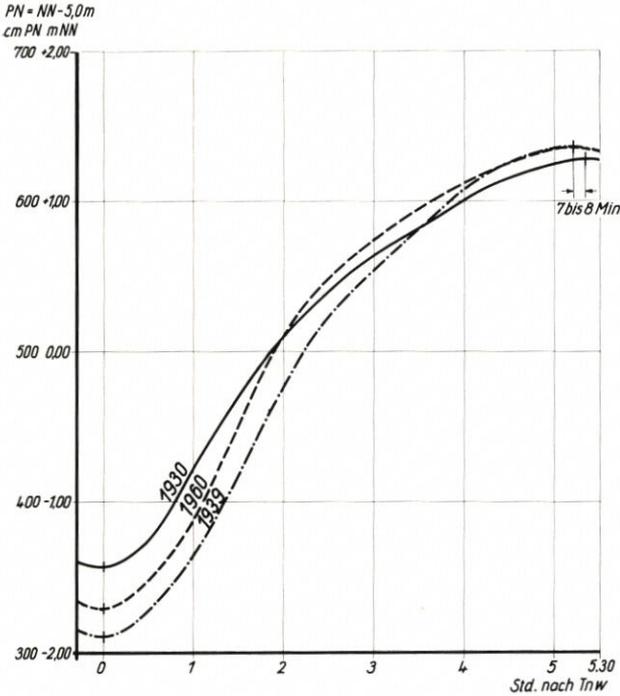


Abb. 9. Flutast der mittleren Tidekurven (Monat Mai)
am Pegel Tönning

durch ist auch eine entsprechende Veränderung des Strömungsverlaufes während einer Tide eingetreten, indem der Flutstrom und seine Wirkung wesentlich verstärkt, der Ebbestrom und seine Wirkung dagegen geschwächt wurden (Anlage 27 der Grundlagenstudie 4).

Die mittlere Flutdauer der Tidekurven hat sich nach der Abdämmung Nordfeld 1939 gegenüber 1930 etwas verkürzt (Abb. 9). Sie hat sich bis etwa 1950 um rund $\frac{1}{2}$ Std. verlängert (Abb. 10). Die Ursache hierfür wird mit den komplexen Zusammenhängen zwischen dem Einlaufen der Tidewelle und ihrer Reflexion an der Abdämmungsstelle sowie mit den Bettänderungen der Eider zusammenhängen. Die verlängerte Flutdauer hat den steilen Anstieg des Flutastes in seinem ersten Teil nicht geschwächt. Nach 1950 sind zweifellos durch den Spülbetrieb in Nordfeld auch die Eintrittszeiten der MThw und MTnw und damit die mittlere Flutdauer an den Pegeln unterhalb von Nordfeld beeinflusst worden. Insgesamt hat sich bei Tönning eine Verkürzung der mittleren Flutdauer ergeben.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß der Flutdauer in diesem Fall keine besondere Bedeutung für den Versandungsvorgang zukommt, weil dieser entscheidend durch die Aufsteilung der Tidekurve während der ersten Flutzeit bedingt ist.

3. Entwicklung der Außeneider

Für die Beurteilung der Versandungen in der Außeneider standen bisher nur wenig Unterlagen zur Verfügung. Das Wasser- und Schiffsamt Tönning kommt zu dem Ergebnis, „daß die Versandung noch nicht oder nur ganz unwesentlich über die Seegrenze hinaus vorgerückt ist“ (Grundlagenstudie 3, S. 11).

landung der Sohle eine Verkleinerung der MThb und damit verbunden eine weitere Erhöhung der MTnw eingetreten.

Die Abdämmung Nordfeld und ihre Folgen haben die Tidekurve infolge der Veränderungen der Fortschrittszeiten der einzelnen Punkte der veränderten Tidewelle verformt, wie in Abbildung 9 an den mittleren Tidekurven des Monats Mai am Pegel Tönning für die Jahre 1930, 1939 und 1960 gezeigt ist. Man erkennt die Umformung der Tidekurve von 1930 zu einer bore-ähnlichen Form im Jahre 1960. Dicht unterhalb der Absperrung ist diese Erscheinung am stärksten ausgeprägt (Anlage 17 der Grundlagenstudie 3). Die für eine Versandung des Flußbettes schon förderliche Form der Kurve von 1930 (Abb. 3 und 9) hat 1939 und noch mehr 1960 eine Aufsteilung erfahren. Hier-

Nach Untersuchungen von BÄHR befindet sich der Küstenabschnitt vom Heverstrom bis zur Elbe in einem schon seit mehr als 100 Jahre andauernden Zustande der Versandung. Die Außeneider sei hiervon besonders stark betroffen; sie würde im Vergleich zum Heverstrom und zur Norder- und Süderpiep mit der Versandung nicht fertig. Im ganzen sei in Zukunft eine erhebliche Verschärfung des Sandzudrangs wahrscheinlicher als die gegenteilige Entwicklung.

Um die verschiedenen Auffassungen, die zwischen dem Wasser- und Schiffsamt Tönning und den Untersuchungen von BÄHR bestehen, zu klären, haben wir eine besondere Untersuchung der Wasserräume und -flächen unter SKN in der Außeneider veranlaßt. Außerdem sollten entsprechende Vergleichsuntersuchungen im Heverstrom und in der Norder- und Süderpiep klarstellen, wie dort die Veränderungen vor sich gegangen sind.

Hierfür wurden die in Abbildung 11 gekennzeichneten Flächen untersucht. Es hat sich ergeben, daß die Wasserräume unter SKN in der Außeneider von 1935 bis 1962 um rund 34 Mio m³ (= rund 18%) kleiner geworden sind (Abb. 12). In der gleichen Zeitspanne haben sich in der Norder- und Süderpiep die Wasserräume um rund 28 Mio m³ (= rund 5%) verringert. Die Versandung in der Außeneider war etwa 3¹/₂mal so groß wie in der Norder- und Süderpiep. Im Heverstrom sind die Wasserräume nicht besonders untersucht worden, sondern nur die Wasserflächen bei SKN, die aber ebenfalls für die Außeneider und die Norder- und Süderpiep ermittelt worden sind, so daß ein Vergleich für alle drei Wattgebiete möglich war. Es ergab sich, daß der Kurvenverlauf der Wasserflächen und der Wasserräume sowohl in der Norder- und Süderpiep als auch in der Außeneider gleichsinnig war (Abb. 12). Es kann angenommen werden, daß ein ähnlicher Zusammenhang zwischen Wasserfläche und Wasserraum im Heverstrom besteht und daß somit auch im Heverstrom keine wesentliche Verringerung der Wasserräume eingetreten ist. Die oben wiedergegebene Ansicht von BÄHR, nach der die Außeneider unter einem stärkeren Sandzudrang leidet als der Heverstrom und die Norder- und Süderpiep, wird durch diese Untersuchungen bestätigt. Beide Wattgebiete weisen also eine größere Beständigkeit ihrer Wasserräume auf als die Außeneider.

Ein Überblick über die Versandung der Querschnitte der Tide-Eider und der Außeneider in der Zeitspanne 1935/62 (Abb. 13) zeigt, daß zwischen Nordfeld und Tönning das absolute

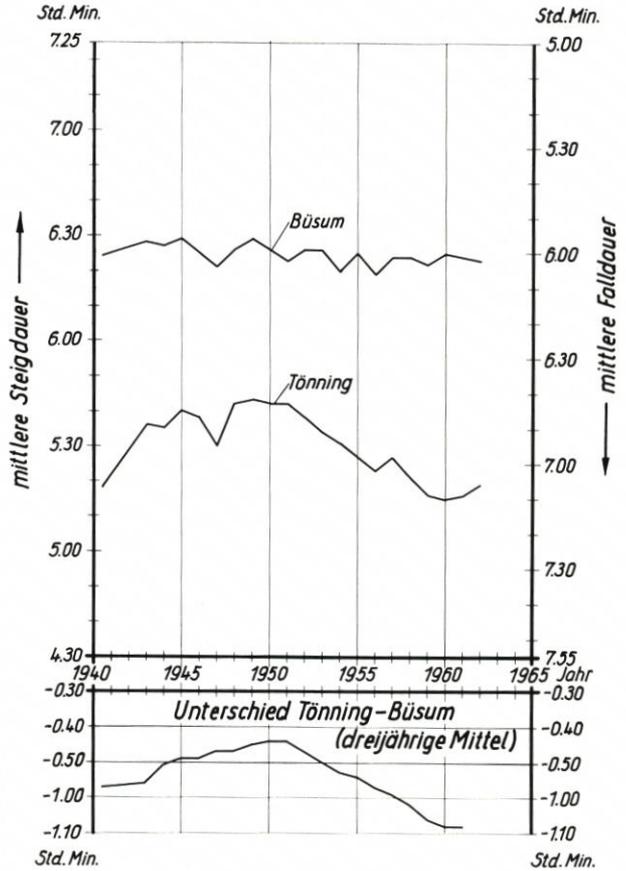


Abb. 10. Mittlere Steig- und Falldauer (Jahresmittel) in Tönning und Büsum

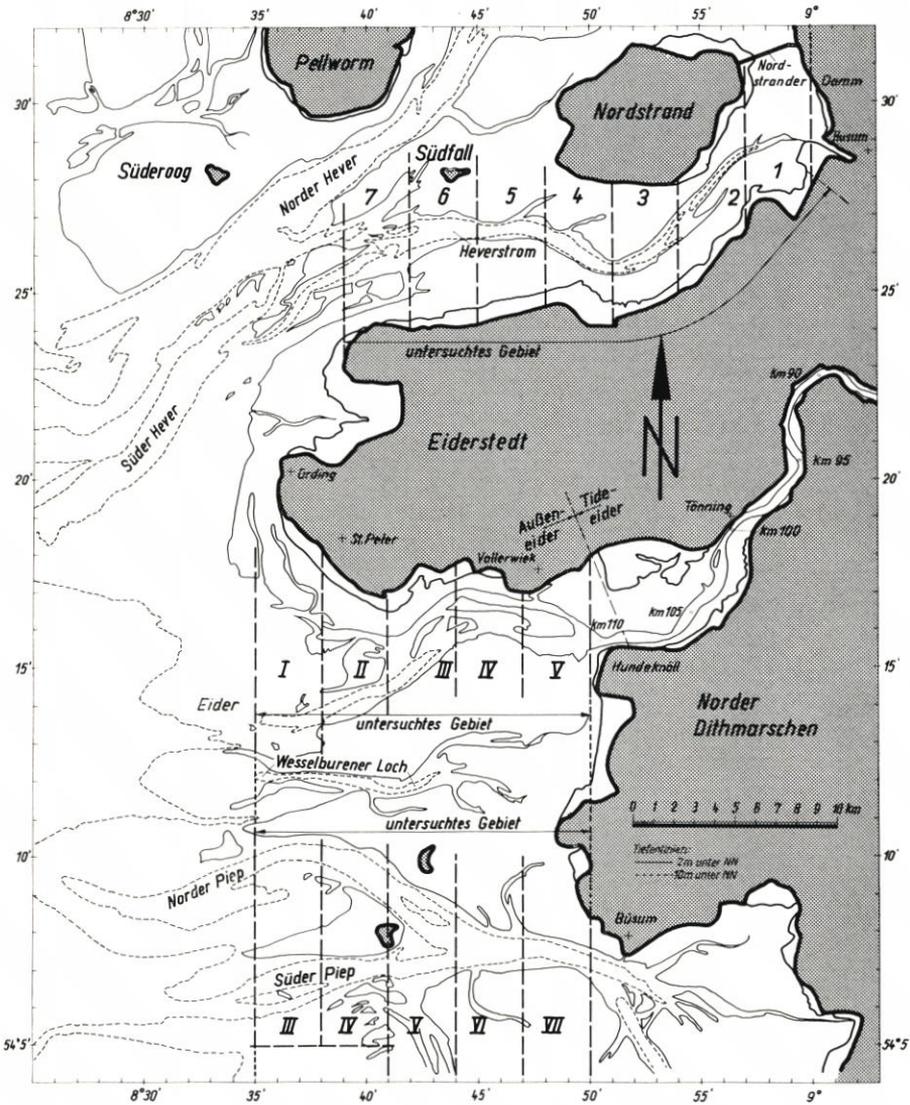


Abb. 11. Übersichtsplan vom Heverstrom bis zur Norder- und Süderpiep

Maß der Versandung ziemlich einheitlich zwischen 750 m^3 und 1000 m^3 je lfdm liegt. Unterhalb sind die Sandmengen erheblich größer, entsprechend den nach See zu wachsenden Querschnittsgrößen. Auf die Querschnitte von 1935 bezogen, hat die Versandung auf der Strecke oberhalb von km 104 überall 70 % überschritten. Nach See zu setzt sich die Versandung fort, sie nimmt allerdings allmählich bis auf im Mittel 18 % in der Außeneider ab.

Abgesehen von der offensichtlich von See herrührenden zunehmenden Anreicherung von Sand im Wattengebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste hat die Außeneider nach den Ergebnissen der vorstehenden Untersuchungen durch die Abdämmung Nordfeld einen zusätzlichen Sandeintrieb erfahren. Somit ist festzustellen, daß die Abdämmung Nordfeld auch noch auf das Gebiet außerhalb der Seegrenze (Hundeknöll-Vollerwiek) Einfluß hat.

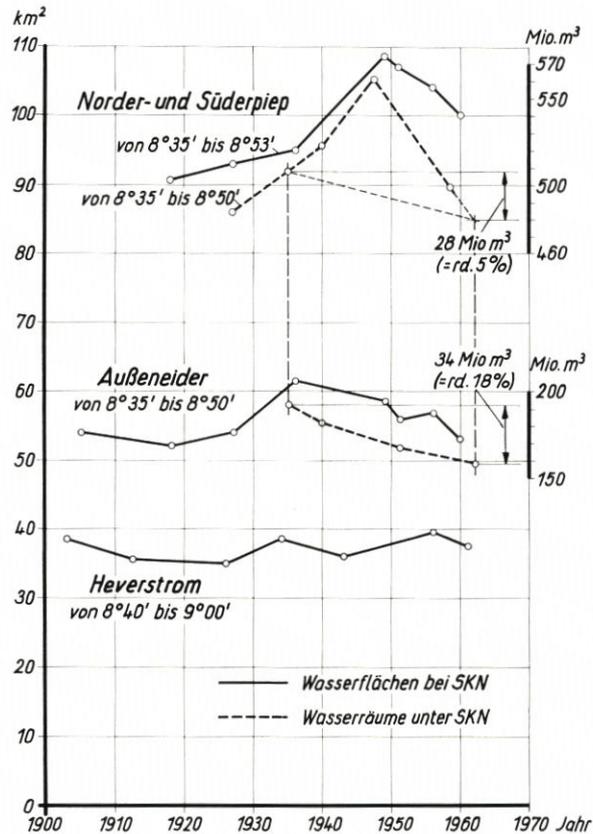


Abb. 12. Wasserflächen und Wasserräume der Norder- und Süderpiep, der Außeneider und des Heverstromes bei SKN

C. Heutiger Zustand der Eider und ihre voraussichtliche Weiterentwicklung

1. Heutiger Zustand

Wie in den Abschnitten II A und B nachgewiesen wurde, befand sich die Eider vor ihrer Abdämmung bei Nordfeld (1935) bereits in einem Zustand allmählicher Schrumpfung (Abb. 5). Der Bau der Abdämmung bedeutete die Schaffung einer neuen Reflexionsstelle für die Tide- wellen mit nachstehend genannten Wirkungen:

- Starke Vergrößerung der MThb sofort nach Bau der Abdämmung (Abb. 8).
- Veränderung der Tidekurve zu einer bore-ähnlichen Form im Flutast (Abb. 9), die die Wirkung des Flutstroms im Vergleich zu der des Ebbestroms erheblich vergrößerte.
- Dadurch waren die Voraussetzungen für eine sofort einsetzende starke Versandung geschaffen (Abb. 8, Versandungskurven).
- Die Versandung der Flußquerschnitte zwischen Nordfeld und Friedrichstadt bewirkte, nachdem sie etwa 80% erreicht hatte, wieder eine Verkleinerung der MThb, die hauptsächlich durch ein Ansteigen der MTnw, weniger der MThw, in Erscheinung trat (Abb. 8).
- Die Versandung trat gleichzeitig in der gesamten Tide-Eider auf, am stärksten im Abschnitt A, etwas abgeschwächt in den Abschnitten B und C (Abb. 8). Sie griff aber auch auf die Außen-

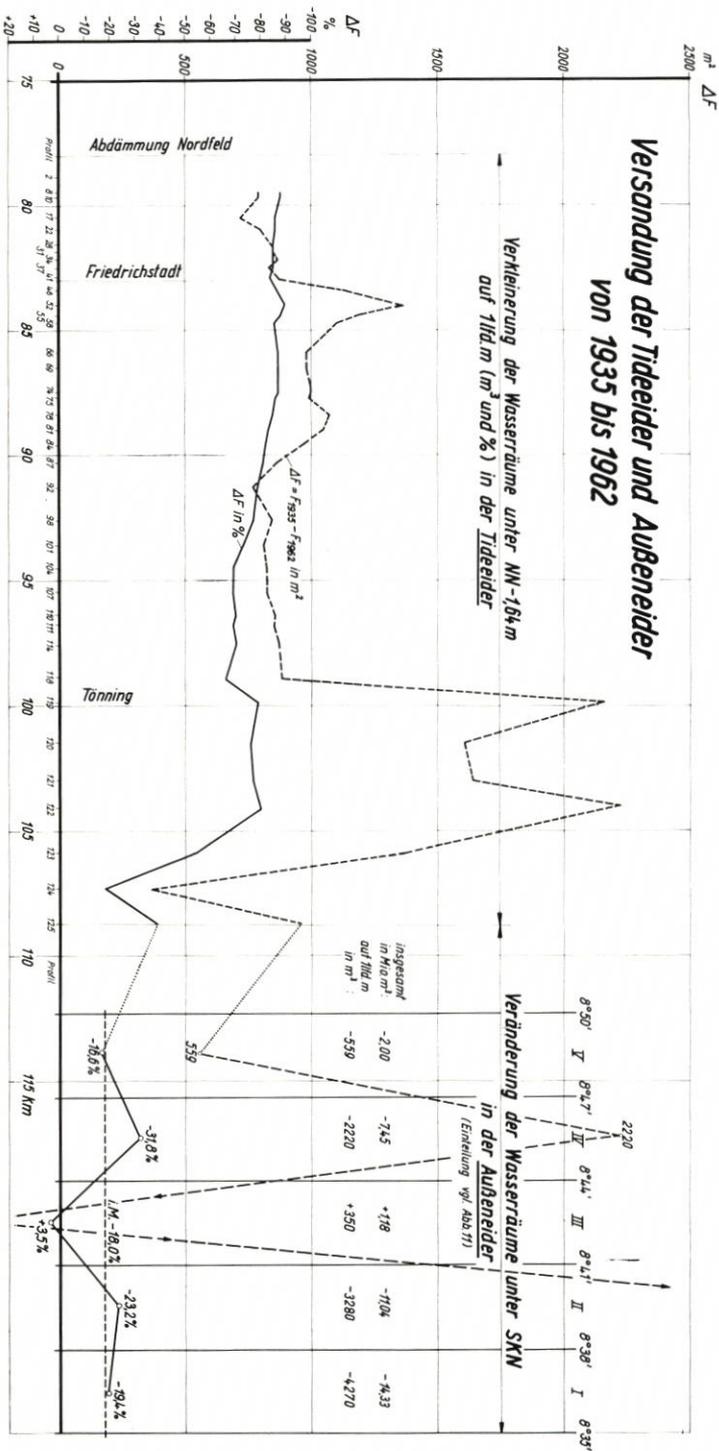


Abb. 13

eider über, wo sie 1962 bereits etwa 18% erreichte (Abb. 12 und 13). In der Tide-Eider unterhalb von Tönning und in der Außeneider war diese Entwicklung 1962 noch nicht abgeschlossen.

Der durch diese Wirkungen geschaffene Zustand der Eider hatte schwerwiegende Folgen für den Küstenschutz, die Entwässerung und den Wasserverkehr. Nach einer Untersuchung von HUNDT „Änderungen des Auflaufens der Sturmfluten“ (Grundlagenstudie 3, S. 22) bewirkt die Versandung bei den Sturmflutwasserständen auch eine größere Steigung der Scheitellinie in der Tide-Eider (Trichter-Effekt). Die Entwässerung des Binnenlandes ist infolge der Versandung durch das Ansteigen der MTnw erheblich verschlechtert worden; die Erhöhung der MTnw betrug im Jahre 1962 gegenüber 1940 in Nordfeld und Friedrichstadt etwa 1 m (Abb. 8). Durch Verkleinerung der Flußquerschnitte, und zwar sowohl in der Tiefe (Abnahme etwa 1 m) als besonders auch in der Breite, wurde der Wasserverkehr behindert; heute kann die Schifffahrt zwischen Tönning und Nordfeld von den größeren auf der Eider üblichen Schiffen nur unter Ausnutzung des Thw betrieben werden.

Es war ein unglückliches Zusammentreffen, daß die namentlich für die Entwässerung untragbaren Folgen der Versandung zu Beginn des Krieges eintraten, der die Einleitung wirksamer Gegenmaßnahmen unmöglich machte. Zwar wurde anfangs versucht, die Versandung durch Baggerungen und Bau von Bühnen aufzuhalten. Da dieses jedoch keinen Erfolg hatte, wurden die Arbeiten 1942 wieder eingestellt. Erst 8 Jahre später (von 1950 an) wurde ein regelmäßiger Spülbetrieb in Nordfeld durchgeführt und von 1952 bis 1959 wurden außerdem 90 Bühnen zwischen Friedrichstadt und Reimersbude gebaut. Diese Maßnahmen, wie auch der von 1962 an bei jeder Tide durchgeführte Spülbetrieb, brachten nur eine örtlich begrenzte Wirkung zwischen Nordfeld und Reimersbude, die allgemeine Versandung konnte aber hierdurch nicht aufgehalten werden.

2. Voraussichtliche Weiterentwicklung

Die voraussichtliche Weiterentwicklung kann nur durch Extrapolation der z. Z. erkennbaren Tendenz unter der Voraussetzung abgeschätzt werden, daß keine weiteren Eingriffe stattfinden. Die durch den Bau der Abdämmung Nordfeld verursachte Veränderung der Tideverhältnisse und als deren Folge die allgemeine Versandung können durch Baggerungen, Bühnenbauten und Spülungen nicht aufgehalten werden, weil durch diese Maßnahmen die Ursache der Versandung nicht beseitigt wird. Es muß damit gerechnet werden, daß die Versandung in der Tide-Eider fortschreitet und in zunehmendem Maße auf das Außeneider-Gebiet übergreift. Dieser Vorgang muß sich natürlich im Laufe der Zeit verlangsamen, je mehr das Flußbett versandet ist und die Versandungszone seewärts rückt. Über die Zeitspanne, in der sich diese Entwicklung vollzieht, können naturgemäß keine Angaben gemacht werden.

Diese Erkenntnisse sind bei allen Überlegungen, die zur Verbesserung der Verhältnisse an der Eider angestellt werden, zu berücksichtigen. Die vom Wasser- und Schiffsamt Tönning erarbeiteten Vorschläge haben wir unter diesem Gesichtspunkt beurteilt.

III. Beurteilung der Vorschläge zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider

A. Grundsätze für die Beurteilung

Die Vorschläge des Wasser- und Schiffsamtes Tönning zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider haben wir unter Beachtung der folgenden einzelnen Vorgänge und Zusammenhänge, die in den vorhergehenden Abschnitten im einzelnen behandelt wurden, beurteilt:

1. Die Eider befand sich zur Zeit des Baues der Abdämmung Nordfeld (1935) nicht in einem Beharrungszustand, vielmehr in einem Zustand der Schrumpfung, die bereits bis zum Eider-km 35 vorgedrungen war und sich weiter stromab fortgesetzt haben würde, wenn die Abdämmung nicht ausgeführt worden wäre.
2. Durch den Bau der Abdämmung Nordfeld hat sich nicht nur in der Tide-Eider, sondern auch in der Außeneider eine zunehmende Versandung (Abnahme der Wasserräume unter SKN) eingestellt, ein Zeichen dafür, daß trotz der aus örtlichen Messungen in den Stromrinnen scheinbar sich ergebenden Beharrungslage im gesamten Bereiche der Außeneider tatsächlich eine Versandung stattfindet.
3. Der Wert $k = v_{e \max} : v_{f \max}$ für eine bestimmte Meßstelle liefert weder einen hinreichenden Maßstab zur Beurteilung der Sandverfrachtungen in Flut- oder Ebbestromrichtung an dieser Meßstelle noch viel weniger für ein größeres Gebiet. Hinzu kommt, daß eine Geschwindigkeit gleicher Größe bei Flut- und Ebbestrom ungleiche quantitative Wirkungen auf die Sandverfrachtung (Erosion und Transport) ausübt, weil bei Flutstrom im allgemeinen eine höhere Turbulenz herrscht und der Brackwasser-Effekt hinzutritt.
4. Zu beachten ist, daß in den Zeiten, in denen die kritischen Geschwindigkeiten des jeweiligen Schwebstoffes unterschritten sind (um die Zeit des Stauwassers), die Erosion zwar aufhört, jedoch die Sandverfrachtung und die Sedimentation noch eine Zeitlang anhalten. Die zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessene Geschwindigkeit kann bezüglich ihrer Transportleistung an Sand nicht isoliert gewertet werden, sondern nur unter Beachtung der vorher herrschenden Strömungsvorgänge. Deshalb sind auch Dauerlinien der Strömungsgrößen über eine Tide zur Beurteilung der Sandverfrachtung ungeeignet.

Wir sind uns bewußt, daß bei der erforderlichen Beachtung der vorstehend genannten Punkte viele Vorschläge nur mit geringer Sicherheit des von ihnen zu erwartenden Erfolges gewertet werden können. Wir halten uns deshalb für verpflichtet, in Anbetracht der bisherigen, überwiegend schlechten Erfahrungen aus dem Bau der Abdämmung Nordfeld sowie den Baggerungen, Bühnenbauten und dem Spülbetrieb, die Vorschläge des Wasser- und Schiffsamtes Tönning und andere erwogene Lösungen zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider mit der gebotenen Vorsicht zu beurteilen.

B. Lösungen ohne neue Abdämmungen der Eider

1. Baggerungen

Die naheliegende Möglichkeit, durch natürliche Vorgänge eingetretene Verflachungen eines Flußbettes wieder zu beseitigen, ist die Baggerung. Allerdings muß man sich von vornherein darüber im klaren sein, daß durch eine Baggerung nicht die Ursache für die Verflachungen beseitigt werden kann und deshalb mit der Notwendigkeit von laufend zu wiederholenden Baggerungen gerechnet werden muß.

Der nach 1945 unternommene Versuch, durch Baggerungen den schnellen Schrumpfungsfortschritt der Eider unterhalb von Nordfeld aufzuhalten, scheiterte, nicht zuletzt deshalb,

weil der Geräteeinsatz gegenüber der Größe der Sandeintreibungen offenbar nicht hinreichend war.

Die Technik des Baggerwesens hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht. Es wäre daher nicht ausgeschlossen, die eingetriebenen Sandmengen in der Eider oberhalb der Seegrenze bei entsprechendem Geräteeinsatz in einigen Jahren mit Baggern zu entfernen. Hierdurch würden die vor 1935 bestehenden Verhältnisse in der Tide-Eider bezüglich des Tide- und Sturmflutverlaufes (Küstenschutz) sowie für die Schifffahrt angenähert wiederhergestellt, soweit die inzwischen eingetretenen Veränderungen in der Außeneider dies erlauben.

Trotz dieser zweifellos erreichbaren Erfolge kann nicht empfohlen werden, das Verfahren der Baggerungen zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider zu wählen, und zwar aus folgenden Gründen:

- a) Die Außeneider hat ebenfalls seit dem Bau der Abdämmung Nordfeld und — offenbar dadurch verursacht — Umbildungen und Sandeintreibungen erfahren, deren Einfluß, besonders quantitativ, auf die Wiedereintreibung von Sand in die Tide-Eider nicht abzusehen ist.
- b) Die Baggerungen beseitigen nicht die Ursachen der Versandungen in der Tide-Eider, so daß sie laufend wiederholt werden müßten. Es ist nicht vorauszusehen, ob in Zukunft durch äußere Umstände Verhältnisse eintreten können, die Baggerungen unmöglich machen.
- c) Der Aufwand für die erstmalige Ausbaggerung der Tide-Eider und für die laufenden Unterhaltungsbaggerungen wird trotz der bisher erzielten Verbesserungen im Baggereiwesen immer noch beträchtlich größer sein als für andere Lösungen.

2. Stromregelungen durch Bau von Buhnen

Regelungsmaßnahmen in Tideflüssen können durch den Bau von Buhnen getroffen werden, wenn es sich darum handelt, Überbreiten auf Strecken wechselnder Breite zu beseitigen. Wenn die Tidewelle im Tidefluß frei ausschlagen kann, d. h. wenn keine Reflexionen nennenswerter Größe vorliegen, treten die Kenterpunkte der Strömungen beträchtlich später ein als das Tnw oder Thw. Das führt dazu, daß der mittlere Wasserstand bei Flutstrom höher liegt als der bei Ebbestrom. Ein teilweiser Querschnittsverbau durch Buhnen verkleinert den Querschnitt bei Ebbestromung somit mehr als den bei Flutströmung. Entsprechend wird — vorausgesetzt, daß sich der Tideverlauf nicht seinerseits wieder durch den Buhnenbau ändert — die Ebbestromung durch solchen Buhnenbau mehr verstärkt als die Flutströmung.

Dabei ist aber zu bedenken, daß die Buhnenkronen nicht höher als auf MTnw liegen dürfen, weil sonst die Gefahr besteht, daß der vorhandene Flutraum über MTnw bis zur Buhnenkrone alsbald verlandet, mit dem Ergebnis, daß der Flutraum verkleinert wird und die Durchflußmengen sowie die Strömungsgeschwindigkeiten ebenfalls verringert werden. Dies wäre für eine Offenhaltung des Durchflußquerschnittes durchaus unerwünscht.

In der Tide-Eider gibt es bei der bestehenden Höhenlage der seitlichen Wattgebiete (über MTnw) keine Möglichkeit, durch Buhnenbau eine wirksame Veränderung des Geschwindigkeits-Verhältnisses der Ebbestromung zur Flutströmung zugunsten der Ebbestromung zu erreichen, auch schon deshalb nicht, weil infolge der Reflexion der Tidewelle am Sperrwerk Nordfeld die Kenterpunkte nicht weit von MTnw und MThw entfernt liegen.

Von einem Buhnenbau, der dem Zweck dienen soll, die Versandung der Tide-Eider zu verhindern, ist kein Erfolg zu erwarten. Es muß von solchen Maßnahmen nicht nur abgeraten, sondern vor ihnen nachdrücklich gewarnt werden.

3. Spülbetrieb

Über den Spülbetrieb bei Nordfeld liegen seit 1952 Erfahrungen vor. Das Wasser- und Schiffsamt Tönning hat sich in den letzten Jahren bemüht, einen Spülbetrieb in *jeder* Tide durchzuführen. Dies ist aber als Dauermaßnahme nicht möglich, weil der Spülbetrieb in Nordfeld die Entwässerung der Treene stark behindert. Jede Unterbrechung der Spülung macht aber den erreichten Erfolg in kurzer Zeit wieder hinfällig.

Ferner ist nicht zu erwarten, daß durch einen noch so intensiven Spülbetrieb die früheren Flußquerschnitte und Tideverhältnisse wiederhergestellt werden können, da (nach Grundlagenstudie 3) die in einer Tide bewegten Spülwassermengen nur etwa 20% der früheren Tidewassermengen betragen. Daher beschränkte sich die Wirkung auch nur auf eine begrenzte Strecke (auf etwa 10 km unterhalb von Nordfeld); hier wurden Querschnittsvergrößerungen erzielt, die $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{7}$ der Querschnitte von 1935 unter $-1,64$ m NN erreichten.

Das Wasser- und Schiffsamt Tönning kommt auf Grund seiner angestellten Beobachtungen und gewonnenen Erfahrungen zu dem Ergebnis, daß der Spülbetrieb keine Dauerlösung des Eiderproblems ist, sondern nur eine Notmaßnahme bis zur Ausführung einer endgültigen Lösung. Mit dem Spülbetrieb können die Ursachen der Versandung in keiner Weise beeinflusst werden. Der Auffassung des Wasser- und Schiffsamtes Tönning stimmen wir zu.

4. Schöpfwerke

Die Binnenentwässerung des Eidergebietes läßt sich durch Anlage von Schöpfwerken bei Nordfeld für die Binneneider, bei Friedrichstadt für die Treene und an weiteren Stellen an der Tide- und Außeneider (nach dem Vorschlage 1 des Wasser- und Schiffsamtes Tönning vom 1. 2. 1961) durchaus lösen. Bedenklich hierbei ist jedoch die Abhängigkeit von äußeren Umständen, die den Schöpfbetrieb weitgehend lahmlegen können.

Die Versandung der Tide-Eider wird weiter fortschreiten, da ihre Ursachen nicht beeinflusst werden. Auch in Verbindung mit einem Spülbetrieb kann nur eine örtlich und mengenmäßig beschränkte Ausräumung erzielt werden (Abschnitt III B 3). Für den Sturmflutschutz und den Wasserverkehr bringt die Schöpfwerkslösung keine Verbesserung des heutigen Zustandes und der zu erwartenden weiteren Entwicklung.

C. Abdämmungen mit Sielentwässerung in die Tide- oder Außeneider

Die Abdämmungen A 1 bis A 4 mit Entwässerungssiel und Schiffschleuse (Abb. 14) sind gewissermaßen eine seewärtige Vorverlegung der Abdämmung Nordfeld. Es würden sich hier die gleichen Erscheinungen und Folgen einstellen wie dort (Reflexionsstelle, Umformung der Tidekurve und -strömungen, Versandung).

Ja nach ihrer Lage werden die Dämme 1,5 km bis 13,0 km lang sein. Sie bringen aber eine Verkürzung der heutigen Hauptdeichlinie um 43 km bis 83 km. Außerdem wird ein glatter Küstenverlauf erreicht. Die außerhalb der Abdämmungen sofort nach Fertigstellung einsetzende starke Versandung wird alsbald zu Anlandungen am Damm und an den anschließenden Hauptdeichstrecken führen, wodurch der Wellenauflauf und -angriff gemildert werden. Durch die Abdämmungen wird also die Sicherheit des Landes gegen Sturmfluten erhöht.

Besonders nachteilig für die außerhalb der Abdämmungen liegenden Gebiete der Tide-

und Außeneider wirkt sich die Verminderung der Durchflußwassermengen aus. Während bei Nordfeld nur rund 12 Mio. m³ abgeschnitten wurden, würden

bei Damm A 2 rund 40 Mio. m³

bei Damm A 3 rund 118 Mio. m³

bei Damm A 4 rund 134 Mio. m³

zusätzlich abgeschnitten werden.

Diese Wassermengen stehen nach dem Bau der Abdämmungen für die Offenhaltung der Stromrinnen in der Außeneider nicht mehr zur Verfügung. Es verbleiben hierfür nur noch die unregelmäßig anfallenden und zeitweise sehr geringen Oberwassermengen des Eider- und Treenegebietes, die allein in der Zone der starken Versandung vor den Abdämmungen ein ausreichend leistungsfähiges Außentief für die Entwässerung nicht werden offenhalten können. Da sich die Spülwirkung eines Sieles hinter einem ausgedehnten und zur Versandung neigenden Wattengebiet erfahrungsgemäß nur auf eine begrenzte Länge erstreckt (1 bis 1½ km), tritt am seeseitigen Ende des Außentiefs eine Barrenbildung ein, die zu einer Erhöhung des MT_{nw} und damit zu einer Verschlechterung der Sielentwässerung führt. Da in der Außeneider alle vorgenannten Umstände vorliegen, werden also für die Sicherstellung der Vorflut schwierig durchzuführende Baggerungen notwendig sein, die nach Trockenzeiten und nach Sturmperioden einen erheblichen Umfang annehmen können. Noch schwieriger wird es sein, für den Wasserverkehr eine ausreichende Fahrwasserrinne offenzuhalten.

Abdämmungen in der Außeneider mit dem alleinigen Ziel einer Verbesserung der Vorflut können für eine Ausführung nur empfohlen werden, wenn ein für die Binnenentwässerung ausreichendes Außentief sicher offengehalten werden kann. Da dies aber nach den vorstehenden Ausführungen nicht zu erwarten ist, können nach unserer Auffassung die untersuchten Abdämmungen A 1 bis A 4 nicht als eine brauchbare Gesamtlösung des Eiderproblems für die Vorflut, den Küstenschutz und den Wasserverkehr angesehen werden. Dasselbe gilt für die Abdämmungen A 4 und A 4 a mit einer Sielentwässerung in das Wesselburener Loch.

D. Sturmflutsperrwerke

1. Ersatz des Tidesperrwerkes Nordfeld

Technisch würde ein Ersatz des Tidesperrwerkes Nordfeld durch ein Sturmflutsperrwerk mit der dann gleichzeitig notwendigen vollständigen Ausbaggerung der Tide-Eider von der Seegrenze bis Nordfeld auf die Querschnittsgrößen, wie sie 1935 beim Bau des Sperrwerkes bestanden, die Tide in die Binneneider zunächst bis Lexfähre wieder hineinlassen. Die damit eintretenden Tideverhältnisse werden zweifellos den seit 1935 noch gewachsenen Ansprüchen der Landwirtschaft an der Eider nicht genügen. Diese Möglichkeit scheidet deshalb schon aus diesem Grunde für eine Lösung des Eider-Problems aus.

Es kommt hinzu, daß gegebenenfalls auch die Abdämmung in Lexfähre noch beseitigt werden müßte, um den vollständigen Flutraum der Eider bis Rendsburg wiederzugewinnen.

Im übrigen wäre damit in der Eider der Entwicklungszustand, der schon bis 1935 in einem Schrumpfungsvorgang bestand, wiederhergestellt. Da nach der Abdämmung bei Nordfeld 1935 an der Binneneider die Deiche weitgehend beseitigt worden sind, wären auch an ihr gegebenenfalls noch manche baulichen Maßnahmen notwendig, um nicht das Sturmflutsperrwerk allzuhäufig schließen zu müssen.

Schließlich ist auch zu bedenken, daß das Außeneidergebiet seit 1935 Umwandlungen erfahren hat, die es wahrscheinlich machen, daß der schon vor 1935 in der Eider vorhanden gewesene Versandungsvorgang sich beschleunigt fortsetzen würde.

Wir halten es aus den angegebenen Gründen nicht für empfehlenswert, das Tidesperrwerk Nordfeld durch ein Sturmflutsperrwerk zu ersetzen.

2. Sperrwerke unterhalb von Nordfeld

Für Sturmflutsperrwerke in der Tide-Eider zwischen Nordfeld und der Seegrenze gelten die gleichen Bemerkungen wie zuvor. Solche Sturmflutsperrwerke werden im übrigen um so bedenklicher in ihrem Einfluß auf das außerhalb von ihnen gelegene Gebiet, weil die Sperrwerksbreite natürlich niemals über die volle Breite des Flußlaufes und seiner Wattgebiete ausgedehnt werden wird. Sie werden somit zu Engpässen im Flußschlauch führen, insbesondere zu Aufhöhungen der Waträume seitlich der Flußrinne und damit zu Verengungen des Flußbettes; außerdem werden solche Engpässe zu Verkleinerungen des Flutraumes unterhalb des Sperrwerkes führen und damit wiederum zur weiteren und beschleunigten Schrumpfung der Außeneider beitragen.

Zwar wird der Binnenstauraum für Sturmflutperioden um so größer, je weiter stromab die Sperrstelle liegt, jedoch kann dieser allein der Vorflutverbesserung dienende Umstand die Nachteile, die sich für die Entwicklung der Außeneider ergeben, nicht ausgleichen.

Sturmflutsperrwerke in der Tide-Eider unterhalb von Nordfeld können wir deshalb nicht empfehlen.

3. Sperrwerke mit der Möglichkeit zur Beeinflussung der Tidebewegung

Das Wasser- und Schiffsamt Tönning hat den Vorschlag für ein Sperrwerk, das eine Steuerung des Ein- und Auslaufens der Tidewelle in die Tide-Eider erlaubt, mit besonderer Ausführlichkeit bearbeitet. Den Schlußfolgerungen des Amtes vermögen wir uns aus folgenden Gründen dennoch nicht anzuschließen.

Bei der Beurteilung der Möglichkeit, die Tide im jeweils gewünschten Sinne zu beeinflussen, hat das Wasser- und Schiffsamt Tönning besonders von dem Verhältniswert $k = v_{e \max} : v_{f \max}$ Gebrauch gemacht und dessen Veränderung durch eingehende Modellversuche bei der Bundesanstalt für Wasserbau im Hamburg-Rissen geprüft. Wir haben oben bereits unsere Meinung über den k -Wert wiedergegeben.

Im übrigen halten wir es für ein sehr gewagtes Unternehmen, in das Naturgeschehen innerhalb eines weiträumigen Watten- und Flußgebietes mit einer technisch schwierigen und empfindlichen Einrichtung einzugreifen. Die Kenntnisse von dem dynamischen und morphologischen Geschehen im Tidegebiet sind unseres Erachtens noch viel zu wenig gesichert, als daß die mit einem so schwerwiegenden Eingriff wie dem des Baues einer „Tidesteueranlage“ verbundenen Folgen auch nur einigermaßen zutreffend, besonders im Hinblick auf ihre erwünschte gute Wirkung sicher vorausgesagt werden können. Die vielerorts und besonders auch an der Eider mit solchen und ähnlichen Eingriffen in das Naturgeschehen gemachten Erfahrungen sollten davor warnen, neue Einrichtungen zu schaffen, deren Erfolg und Auswirkungen nicht bis in die letzten Einzelheiten gesichert sind.

Besonders kritisch erscheint uns bei dem Vorschlage des Wasser- und Schiffsamtes Tönning die intermittierende Steuerung der Tide, weil in den langen Stauwasserzeiten sowohl innerhalb als auch außerhalb des Sperrwerkes eine Sedimentation der mitgeführten Sandmengen eintreten wird. Die Bilanz der Sandbewegung flußauf- und -abwärts wird dadurch in nicht vorhersehbarer Weise und wahrscheinlich im ungünstigen Sinne verändert. Außerdem wird durch diese Bettveränderungen vor allem außerhalb des Sperrwerkes eine Aufhöhung der

Waträume und damit erneut eine Verminderung des Flutraumes mit allen ihren Folgen eintreten. Entgegen der Auffassung des Wasser- und Schiffsamtes Tönning sind wir der Meinung, daß das Gebiet der Außeneider durch ein solches Sperrwerk noch stärker in Mitleidenchaft gezogen werden wird, als es schon jetzt durch die Abdämmung Nordfeld geschehen ist. Um Wiederholungen in den Einzelheiten der Begründung zu vermeiden, verweisen wir auf den Abschnitt II A unseres Gutachtens. Die Schwierigkeiten in baulicher Hinsicht für die Errichtung des Sperrwerkes selbst und in betrieblicher Hinsicht bezüglich der Bedienung der Anlage sollten nicht unterschätzt werden.

Ein Sperrwerk mit der Möglichkeit zur Beeinflussung der Tidebewegung ist nach unserer Ansicht aus den angegebenen Gründen nicht zu empfehlen, da keine Gewähr besteht, daß es die ihm zugedachte Aufgabe erfüllen kann; vielmehr spricht alles dafür, daß es zu einer weiteren Verwirrung der Strömungsverhältnisse im Außeneidergebiet führen wird. Gänzlich unmöglich erscheint es uns, auf dem Wege der Steuerung der Tide durch das Sperrwerk eine Art Baggerung in der Tide-Eider zu erzielen und den erodierten Sand wieder seewärts zu verfrachten. Vom physikalischen Standpunkte erscheint es uns unmöglich, eine Verkleinerung der hohen Spitzenwerte der Flutströmung zu erreichen, ohne Schäden (Strömungsverminderung, Sedimentation) an anderen Stellen herbeizuführen. Schließlich muß auch bedacht werden, daß durch die erwogene „Tidesteueranlage“ die Dauer der Flut- und Ebbeströmungen nur im ungünstigen Sinne verändert werden kann.

E. Ableitung der Eider in den Heverstrom oder in die Piep

1. Vorbemerkung

Alle bisher erörterten Vorschläge zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider gingen davon aus, die Eider als Tidefluß oder zumindest als Vorfluter für die Binnenentwässerung und als Verkehrsweg für die Schifffahrt zu erhalten. Wie die vorstehenden Beurteilungen der Vorschläge jedoch ergeben haben, kann auf dieser Grundlage keine Lösung gefunden werden, die die Hauptforderungen:

- Sicherung gegen Sturmfluten,
- Schaffung einer optimalen Vorflut und daneben
- Aufrechterhaltung des Wasserverkehrs

insgesamt befriedigend erfüllt. Das Wasser- und Schiffsamt Tönning hat als weitere Lösungen noch zwei Vorschläge gemacht, die eine vollständige Abdämmung der Außeneider und eine Ableitung der Binnenentwässerung in andere Stromgebiete (Heverstrom oder Piep) vorsehen (Abb. 14).

2. Damm A 2 mit Ableitung der Eider in den Heverstrom

Durch den Damm A 2 wird die Tide-Eider vollständig gegen die Außeneider abgesperrt, so daß die Binnenentwässerung und der Wasserverkehr unterbunden werden. Der weitere Sandeintrieb von See her in die Eider wird zukünftig verhindert; außerhalb des Damms werden jedoch sofort nach seiner Fertigstellung starke und ausgedehnte Versandungen eintreten. Der für die Binnenentwässerung und den Wasserverkehr herzustellende 7,5 km lange Kanal von Reimersbude nach Ülvesbüll durchschneidet die Halbinsel Eiderstedt und soll mit einem Siel und einer Schiffsschleuse in den Heverstrom münden.

Bei diesem Vorschlage wird ein Hauptspeicherraum (Inhalt nach Anlage 3 des Vorschlages 3 = 36 Mio. m³) für die vorübergehende Aufnahme des Binnenhochwassers in der Tide-Eider

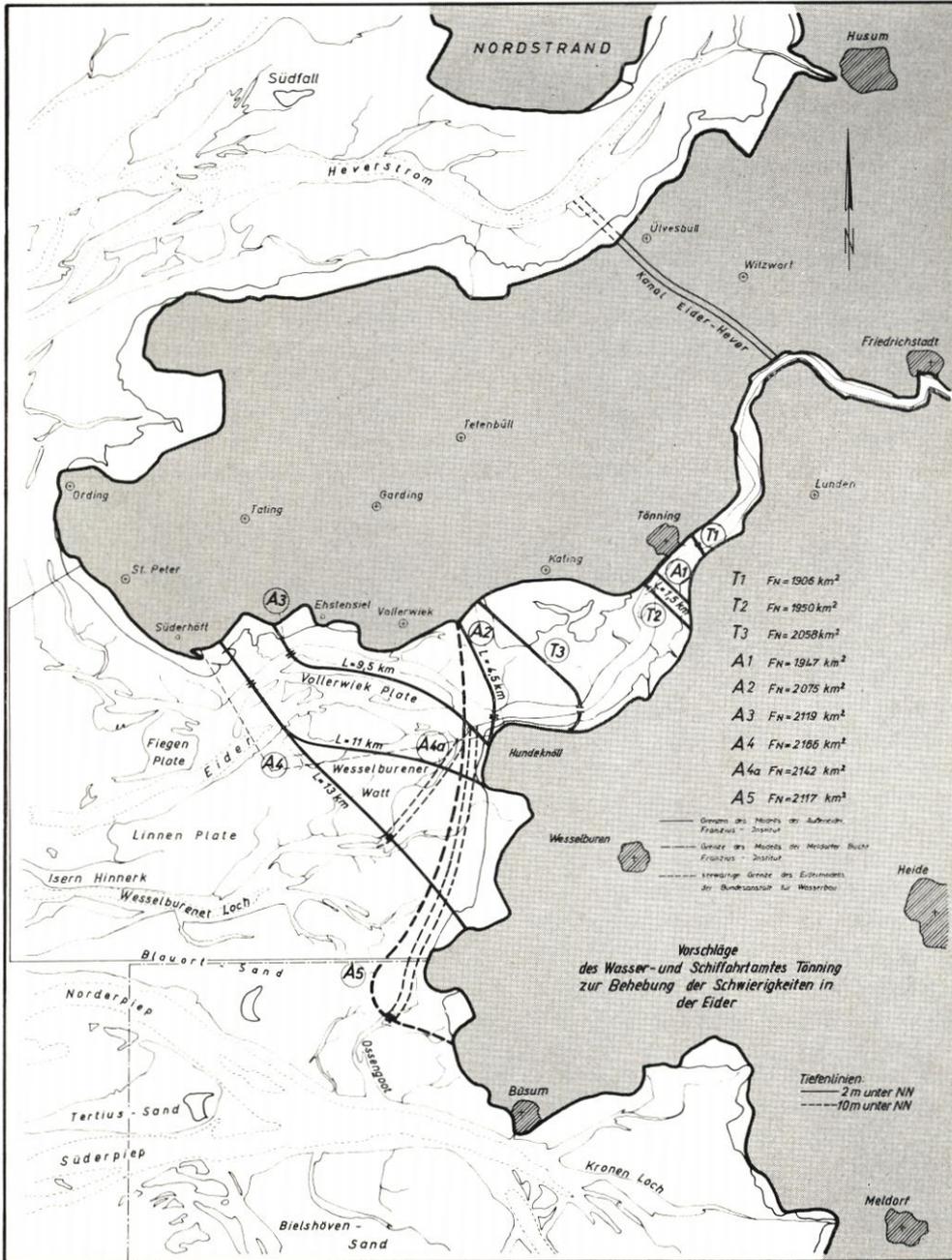


Abb. 14. Vorschläge des Wasser- und Schifffahrtsamtes Tönning zur Behebung der Schwierigkeiten in der Eider

zwischen Tönning und Damm A 2 geschaffen, der etwa 20 km vom Siel entfernt liegt. Diese sielferne Lage ist nachteilig für die Entleerung des Speicherraumes, weil die Entleerung längere Zeit erfordert, als wenn der Speicherraum unmittelbar am Siel läge. Zudem ist im vorliegenden Falle der Speicherraum ein seitlich vom Vorfluter liegendes, abgeschlossenes Becken von etwa 15 km Länge, in dem sich bei der Füllung und Entleerung gegenläufige Strömungen bilden.

Die Tideverhältnisse am Siel im Heverstrom werden nach dem Vorschlage 2 des Wasser- und Schiffsamtes Tönning (Ableitung der Eider in die Hever) eine ausreichende Vorflut für die Binnenentwässerung des Eidergebietes erlauben. Die Wasserräume des Heverstromes weisen auch eine größere Beständigkeit auf als die der Außeneider (Abb. 12), so daß, soweit vorhersehbar, die Entwässerung nicht durch Versandung behindert werden wird; das gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, daß künftig keine entscheidenden Veränderungen im Gebiet des Heverstromes durch bauliche Eingriffe vorgenommen werden.

Mangels hinreichender Unterlagen über die hydrologischen Verhältnisse des Heverstromes, besonders seiner Entwicklung nach dem Bau des Nordstrander Dammes, ist es noch nicht möglich, genaue Angaben über die Frage zu machen, ob und gegebenenfalls in welchem Ausmaße die zu erwartende verstärkte Bildung eines Brackwasserbereiches in dem Heverstrom für die Zufahrt zum Hafen Büsum nachteilig sein könnte. Nach den andernorts vorliegenden Erfahrungen ist u. E. keine spürbare Verschlechterung der Strömungs- und Sedimentationsverhältnisse im Heverstrom zu befürchten.

Die Offenhaltung des Außentiefs in dem südlichen Wattgebiet des Heverstroms wird mit vertretbarem Aufwande möglich sein.

Der Bau des Dammes A 2 mit Ableitung der Eider in den Heverstrom ist eine Lösung, bei der sowohl die Schaffung einer günstigen Vorflut für das Eidergebiet als auch die Aufrechterhaltung des Wasserverkehrs erreicht wird. Als nachteilig ist jedoch die sielferne Lage des Hauptspeicherraumes anzusehen. Für den Küstenschutz bedeutet der Damm A 2 natürlich eine wesentliche Verbesserung durch starke Verkürzung der Deichlinie.

3. Damm A 5 mit Ableitung der Eider in die Piep

Der Vorschlag einer Ableitung der Eider in die Piep durch Anlage des Dammes A 5 (Abb. 14) entspricht grundsätzlich dem Vorschlag einer Ableitung in den Heverstrom. Auch hier wird die Tide-Eider durch einen Damm (A 5) gegen die Außeneider abgesperrt, und die Binnenentwässerung und der Wasserverkehr werden unterbunden. Hinsichtlich der Versandungserscheinungen außerhalb des Dammes trifft das gleiche zu wie beim Damm A 2.

Der an der Binnenseite des Dammes A 5 für die Binnenentwässerung und den Wasserverkehr vorgesehene und durch Wattflächen führende Kanal von Hundeknöll bis zum Ossengoot (Länge rund 11,5 km) soll mit einem Siel und einer Schiffsschleuse in die Piep münden. Durch den Bau des Dammes A 5 würde ein Hauptspeicherraum für die vorübergehende Aufnahme des Binnenhochwassers entstehen, der mit den Flächen der Tide-Eider und des Wattgebietes einen Inhalt von rund 42 Mio m³ zwischen den Ordinaten - 1,00 m bis + 0,60 m NN (Anlage 3 des Vorschlages 3) aufweist. Ein besonderer Vorteil dieses Hauptspeicherraumes ist, daß er, im Gegensatz zum Vorschlag „Ableitung in die Hever“, im Zuge der Vorflut zum Siel und in günstigerer Lage (Sielnähe) liegt. Es ist noch hervorzuheben, daß durch diese Lage des Hauptspeicherraumes vor der Küste von Norderdithmarschen fast auf ihrer ganzen Länge auf noch größerer Strecke als bei dem Damm A 2 ein Süßwasserbecken geschaffen wird.

Ebenso wie an der Einführungsstelle des Entwässerungskanales in den Heverstrom sind auch am Siel im Ossengoot die Tideverhältnisse für die Binnenentwässerung des Eidergebietes günstig. Die Zuführung des Binnenwassers zum Siel im Ossengoot läßt sich durch ausreichende

Bemessung des Kanalquerschnittes so gestalten, daß die Gefälleverluste in tragbaren Grenzen bleiben; dies bietet keine besonderen Schwierigkeiten, weil der Kanal in seiner gesamten Länge im Watt verläuft.

Hinsichtlich der übersehbaren Sicherheit für die Aufrechterhaltung der Binnenentwässerung gilt grundsätzlich das bei der Ableitung in die Hever Ausgeführte. Die Wasserräume der Piep sind sogar noch wesentlich größer als die des Heverstromes und haben außerdem eine größere Beständigkeit als die der Außeneider (Abb. 12). Da der Flutraum der Piep durch den Damm A 5 nur in ganz geringem Maße eingeschränkt wird, werden für die Piep bei diesem Vorschlag keine Nachteile entstehen.

Die vor dem Damm A 5 eintretende starke Versandung wird sich auf die Außeneider und das Wesselburener Watt beschränken und nicht auf das Gebiet der Piep übergreifen. Eine Behinderung der Entwässerung am Siel durch Versandung ist daher, soweit vorhersehbar, nicht zu befürchten. Ebenso wie in der Hever gilt dies allerdings nur unter der Voraussetzung, daß im Gebiet der Piep und der Meldorfer Bucht künftig keine entscheidenden, d. h. das heute bestehende Gleichgewicht der wirksamen Naturkräfte in der Meldorfer Bucht störenden Veränderungen durch bauliche Eingriffe vorgenommen werden.

Im Interesse der Offenhaltung des neuen Außentiefs empfehlen wir, das Siel- und Schleusenbauwerk am Ossengoot noch weiter nach Süden zu verlegen.

Durch die Einleitung des Eiderwassers wird in der Piep unterhalb des Siels ein Brackwasserbereich entstehen. Da aber die Tidewassermengen der Piep im Vergleich zu den eingeleiteten Eiderwassermengen sehr groß sind, ist u. E. erfahrungsgemäß keine spürbare Verschlechterung der Strömungs- und Sedimentationsverhältnisse in der Piep zu erwarten.

Unter Abwägung aller Gesichtspunkte stellt die Ableitung der Eider in die Piep in Verbindung mit dem Bau des Dammes A 5 von allen behandelten Vorschlägen die beste und für die Behebung der Schwierigkeiten in der Eider sicherste Lösung dar, weil bei ihr sowohl die Schaffung und Sicherstellung einer optimalen Vorflut für das Eidergebiet, die Verbesserung des Küstenschutzes als auch die Aufrechterhaltung des Wasserverkehrs mit größter Sicherheit erreicht werden.

VI. Zusammenfassung

Die uns gestellten Fragen beantworten wir wie folgt:

Frage 1: Sind die Naturvorgänge in der Eider und im weiteren Mündungsgebiet sowie der Einfluß der Eiderabdämmung auf diese Vorgänge richtig erkannt worden?

Antwort: Die tatsächlichen Veränderungen in der Eider, d. h. die nach dem Bau der Abdämmung Nordfeld eingetretenen starken Sandeintreibungen in die Tide-Eider sind in ihren wesentlichen Ursachen (Veränderungen des Tideablaufes) vom Wasser- und Schiffsamt Tönning und den anderen beteiligten Dienststellen grundsätzlich richtig erkannt worden.

Zu wenig berücksichtigt wurden allerdings die mit dem hydrodynamischen Geschehen des Gezeitenvorganges verbundenen Erscheinungen, wie der Zusammenhang der Tidewelle als primäre Ursache aller Veränderungen des Tidehubes, der Tidehoch- und -niedrigwasserstände, der Tideströmungen und der Sandverfrachtung. Dadurch sind teilweise Vorstellungen von den Abhängigkeiten der Sandverfrachtung von den Strömungen entstanden, die nicht vollständig genug die einzelnen Einflüsse erfassen und deshalb zu unsicheren, manchmal sogar fragwürdigen Schlußfolgerungen geführt haben.

Immerhin haben die uns bereitgestellten Unterlagen genügt, um die verschiedenen Vorschläge mit der hier notwendigen integrierenden Betrachtungsweise und auf Grund der Erfahrungen beurteilen zu können.

Frage 2: Können Vorschläge für ergänzende grundsätzliche Untersuchungen gemacht werden?

Antwort: Wir halten ergänzende grundsätzliche Untersuchungen zur besseren Erkenntnis des Gesamtgeschehens in der Eider nicht für notwendig, weil aus solchen aus praktischen Gründen stets nur an einzelnen Stellen und zu einzelnen Zeiten möglichen Untersuchungen keine allgemeinen Schlußfolgerungen über das bereits allgemein Bekannte hinaus gezogen werden können.

Frage 3: Reichen die für die angesprochenen Lösungen durchgeführten Untersuchungen aus; welche ergänzenden Untersuchungen sind gegebenenfalls noch anzustellen?

Antwort: Wir halten es nicht für erforderlich, für die angesprochenen Lösungen weitere Untersuchungen auszuführen, weil davon u. E. keine Änderung in der Beurteilung der Vorschläge eintreten wird.

Frage 4: Welche anderen als die erarbeiteten Lösungen können noch in Betracht gezogen werden?

Antwort: Da das Wasser- und Schiffsamt Tönning bereits alle praktisch mehr oder weniger erwägenswerten Vorschläge für die Lösung des Eiderproblems untersucht hat, können wir selbst auch keine anderen sinnvollen und tatsächlich durchführbaren Vorschläge machen.

Frage 5: Soweit keine wesentlichen Ergänzungs- oder Verbesserungsvorschläge für notwendig gehalten werden, wird um eine Stellungnahme gebeten, welche der angesprochenen Lösungen für die Herstellung eines wirksamen Küstenschutzes, für eine optimale Vorflut und für die Aufrechterhaltung von Schifffahrt und Fischerei die größte Sicherheit bietet.

Antwort: Von den vom Wasser- und Schiffsamt Tönning angesprochenen und erarbeiteten Lösungen des Eiderproblems halten wir die Ableitung der Eider in die Piep durch den Bau des Dammes A 5 und eines Sieles mit Schiffsschleuse am Ossengoot für die beste.

Diese Lösung enthält im Vergleich mit allen anderen Lösungen — ausgenommen die Ableitung der Eider in den Heverstrom, die auch als eine mögliche Lösung anzusehen ist — das geringste Wagnis und damit die größte Sicherheit für die Herstellung eines wirksamen Küstenschutzes, für eine optimale Vorflut und für die Aufrechterhaltung von Schifffahrt und Fischerei.

Nachsatz

Wenn die Forderung nach Aufrechterhaltung des Wasserverkehrs an Gewicht verliert oder wegfallen kann, käme statt des Dammes A 5 für den Fall, daß er nicht in der erforderlichen Zeit angelegt werden kann, ein Abschlußdamm etwa in der Seegrenze (in der Linie Hundeknöll—Vollerwiek) mit Siel (keineswegs jedoch mit einem Sturmflutsperrwerk) und Schiffsschleuse als Zwischenlösung in Betracht. Dabei wird allerdings die zweifellos alsbald laufend notwendige Arbeit zur Erhaltung der Vorflut durch Ausbaggerung eines ausreichenden Außentiefs in Kauf zu nehmen sein. Sobald diese Lösung auch für die Vorflut zu untragbaren Erschwernissen führt, wird die Ableitung der Eider in die Piep (Damm A 5) ausgeführt werden müssen.

Hannover, den 15. April 1964

gez. Professor Dr.-Ing. W. Hensen, Hannover

gez. Dr. J. Joseph, Hamburg

gez. Dr.-Ing. K. Lüders, Hannover

gez. Dr.-Ing. Fr. Walther, Bremen